



Projeto de sistema de armazenamento e alimentação de chapa

JOÃO PEDRO PINTO FERNANDES

outubro de 2021

PROJETO DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E ALIMENTAÇÃO DE CHAPA

João Pedro Pinto Fernandes

1150721

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



PROJETO DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E ALIMENTAÇÃO DE CHAPA

João Pedro Pinto Fernandes

1150721

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 Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Doutora Elza Maria Morais Fonseca

Professor coordenador, ISEP

Orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor adjunto, ISEP

Arguente

Doutor Sérgio Manuel Oliveira Tavares

Professor auxiliar convidado, FEUP

AGRADECIMENTOS

Ao doutor Raul Campilho, por todo o apoio incansável prestado durante a elaboração deste projeto.

A todos os docentes do Departamento de Engenharia Mecânica, que ao longo de 5 anos deram-me o conhecimento necessário para a realização desta dissertação.

Ao Tiago Rocha, colega de trabalho na ARFIT, pela troca de ideias onde surgiu a ideia original que originou o tema desta dissertação.

À ARFIT, por todas as cedências que me deram e me ajudaram a realizar este projeto.

Aos meus pais, por todos os sacrifícios que fizeram para me darem as oportunidades e os meios de instruir-me ao mais alto nível. Por todo o apoio, paciência e confiança depositada em mim.

A todos os meus amigos que fiz ao longo destes anos, fora e dentro do curso. Todos eles ajudaram a alcançar esta etapa da minha vida.

PALAVRAS-CHAVE

Projeto Mecânico, Sistema de distribuição, Automação, armazéns Automatizados, Manuseamento de chapa

RESUMO

O manuseamento de matéria-prima é um processo fulcral na produção. Em todos os setores da indústria, a grande parte das empresas gasta imensos recursos e tempo a transportar o material de forma ineficiente para o posto onde este vai ser transformado. A indústria 4.0 e os processos automatizados deram às empresas todos os meios para aumentar a sua produtividade. Estas novas ferramentas permitem diminuir o custo de mão de obra, diminuir os tempos de produção, desviar os recursos para partes do processo mais críticas e aumentar a qualidade do produto final. No entanto, a transição para estes meios não é fácil. É necessário adaptar a linha de produção existente para uma transição suave sem ser necessário interromper a produção. A ARFIT dedica-se principalmente à produção de máquinas de climatização. A sua linha de produção depende muito da mão humana. A integração de processos automatizados é um passo necessário para a empresa crescer no mercado e fazer frente às grandes multinacionais do setor. Portanto, foi com isto em mente que este projeto foi desenvolvido.

O objetivo desta dissertação foi projetar uma solução capaz de transportar as chapas, necessárias para a produção das máquinas, para a punçadora. A exigência da empresa obriga que este equipamento seja compacto, devido às limitações de espaço. Esta solução terá que ser de fácil adaptação por parte da empresa utilizando os recursos já utilizados atualmente. Para atingir o objetivo principal foi feita uma análise da empresa, da solução atual e do problema de manuseamento de chapa existente na cadeia de produção, de modo a descobrir a solução que cumpra os requisitos exigidos. De seguida, as diversas soluções de anteprojecto foram analisadas até obter a solução que cumpre todos os requisitos e por fim foi feito o dimensionamento dos vários componentes.

Em modo de conclusão, esta solução permitiu diminuir a mão de obra e o tempo gasto no manuseamento da matéria-prima, o que consequentemente aumentou a eficiência da linha de produção da ARFIT e reduziu o custo de produção do produto final.

KEYWORDS

Mechanical Design, Distribution System, Automation, Automated Warehouses, Sheet Handling

ABSTRACT

Raw material handling is a key process in production. In all sectors of the industry, most companies spend much of resources and time handling the material inefficiently to the post where it will be transformed. Industry 4.0 and automated processes have given companies every means to increase their productivity. These new tools allow you to lower labor costs, decrease production times, divert resources to more critical parts of the process, and increase the quality of the final product. However, the transition to these means is not easy. It is necessary to adapt the existing production line to a smooth transition without stopping production. ARFIT is mainly dedicated to the production of air conditioning machines. Your production line depends heavily on the human hand. The integration of automated processes is a necessary step for the company to grow in the market and face the large multinationals in the sector. So, it was with this in mind that this project was developed.

The objective of this dissertation was to design a solution capable of transporting the plates, necessary to produce the machines, for the puncher. The company's requirement that this equipment be compact due to space limitations. This solution will have to be easily adapted by the company using the resources already used today. To achieve the main objective, an analysis was made of the company, the current solution, and the problem of handling existing sheet metal in the production chain, to discover the solution that meets the required requirements. Then, the various preliminary design solutions were analyzed until the solution that meets all the requirements and finally the various components were dimensioned.

In conclusion mode, this solution allowed to reduce the labor and time spent handling the raw material, which consequently increased the efficiency of ARFIT's production line and reduced the cost of production of the final product.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

AC	<i>Corrente Alternada</i>
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
AVG	<i>Automatic Guided Vehicles</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAE	Computer-Aided Engineering
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
DC	<i>Corrente Contínua</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Norming</i>
ISO	<i>International Organization for Standarsization</i>
Max	Máximo
MEF	Método de Elementos Finitos
Min	Mínimo
PME	Pequenas e Médias Empresas
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
SAE	<i>Society of Automative Engineers</i>
SCARA	<i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i>
SW	<i>Solidworks</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>

Lista de Unidades

€	Euros
cm	Centímetro
GPa	Gigapascal
Hz	Hertz
kg	Quilograma
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kgf/cm ²	Quilograma-força por centímetro ao quadrado
l/mm	Litro por minuto
m	Metro
m/s ²	Metro por segundo ao quadrado
m ³ /h	Metro cúbico por hora
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
N	Newton
N/m ²	Newton por metro ao quadrado
Nm	Newton metro

Lista de Símbolos

Ag	Prata
Al	Alumínio
C	Comprimento da chapa
Cr	Crómio

d	Distância
d_c	Diâmetro do cilindro
E	Espessura da chapa
F_{atuador}	Força de acionamento
F_{Cx}	Componente x da força aplicada em C
F_{Cy}	Componente y da força aplicada em C
F_H	Força de retenção teórica de sucção
F_p	Força do projeto
F_s	Força de sucção
F_x	Força no eixo x
F_y	Força no eixo y
$F_{y\text{max}}$	Força máxima no eixo y
F_z	Força no eixo z
$F_{z\text{max}}$	Força máxima no eixo z
g	Aceleração gravítica
L	Largura da chapa
m	Massa
M	Momento
m_{chapa}	Massa da chapa
m_{sv}	Massa do sistema de ventosas
m_{total}	Massa total
M_x	Momento no eixo x
$M_{x\text{max}}$	Momento máximo no eixo x

M_y	Momento no eixo y
$M_{y_{max}}$	Momento máximo no eixo y
M_z	Momento no eixo z
$M_{z_{max}}$	Momento máximo no eixo z
n	Número de ventosas
P	Peso
P_b	Chumbo
P_t	Pressão de trabalho
P_{total}	Peso total
R_{x1}	Componente x da reação de apoio na barra 1
R_{y1}	Componente y da reação de apoio na barra 1
R_{y2}	Componente y da reação de apoio na barra 2
S	Fator de segurança
S_n	Estanho
V	Taxa de sucção
V_s	Capacidade de sucção
μ	Fator de fricção
ρ	Massa volúmica

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Construção de uma torre em Canary Warf, Londres [6].	11
Figura 2 - Nave metálica [7].	11
Figura 3 - Ponte D. Luís, Porto. Obra de arte treliçada [9].	12
Figura 4 - Torre de alta tensão [10].	12
Figura 5 - Silos utilizados para o armazenamento de matéria sólida [11].	13
Figura 6 - União de duas chapas de aço por soldadura.	14
Figura 7 - Ligação aparafusada [13].	14
Figura 8 - Ligação rebitada numa roldana (Própria autoria).	15
Figura 9 - União de duas chapas por adesivo (Própria autoria).	16
Figura 10 - Simulação de uma estrutura utilizando os métodos de elementos finitos (Própria autoria) ..	17
Figura 11 - Simulação de uma estrutura reticulada (Própria autoria).	18
Figura 12 - Simulação de uma estrutura laminar (Própria autoria).	19
Figura 13 - Carro de transporte de plataformas de corte [22].	21
Figura 14 - Restrições da estrutura [22].	21
Figura 15 - Aplicação da força e respetivas distâncias [22].	21
Figura 16 - Zona da estrutura onde ocorre maior deformação [22].	22
Figura 17 - Modelo de uma estante convencional.	23
Figura 18 - Fileiras de estantes para paletes [23].	23
Figura 19 - Estantes de paletes dinâmicas [25].	24
Figura 20 - Mercadoria armazenada em profundidade [26].	24
Figura 21 - Exemplo de um armazém automatizado [29].	25
Figura 22 - Esquema da estrutura cartesiana [34].	27
Figura 23 - Esquema de uma estrutura cilíndrica [34].	27
Figura 24 - Esquema de uma estrutura polar [34].	28
Figura 25 - Esquema de uma estrutura articulada [34].	28
Figura 26 - Esquema de uma estrutura SCARA [34].	29
Figura 27 - Robô com estrutura <i>spine</i> [37].	29
Figura 28 - Robô Delta [34].	30
Figura 29 - Exemplo de uma ponte rolante monoviga [40].	31

Figura 30 - Exemplo de uma ponte rolante biviga [40].	31
Figura 31 - Exemplo de uma ponte rolante Suspensa [41].	32
Figura 32 - Exemplo de dois pórticos monoviga [42].	33
Figura 33 - Exemplo de um pórtico biviga [42].	33
Figura 34 - Exemplo de um semi-pórtico [42].	33
Figura 35 - Sistema <i>conveyor</i> [43].	34
Figura 36 - Elevador de carga [45].	34
Figura 37 - Empilhador elétrico em ambiente de fábrica [46].	35
Figura 38 - Porta-Paletes manual [47].	36
Figura 39 - Porta-Paletes elétrico [48].	36
Figura 40 - Exemplo de um sistema AVG [50].	37
Figura 41 - Exemplos de uma plataforma elevatória e das suas finalidades [52].	37
Figura 42 - Motores elétricos num sistema de rolos [53].	38
Figura 43 - Linha produção totalmente pneumática [54].	38
Figura 44 - sistema óleo-hidráulico em maquinaria pesada [55].	39
Figura 45 - Electroválvula [57].	39
Figura 46 - Motor de corrente alternada [58].	40
Figura 47 - Motor de corrente continua [59].	40
Figura 48 - Sistema hidráulico [61].	41
Figura 49 - Sistema pneumático [62].	42
Figura 50 - Logo da empresa ARFIT [63].	45
Figura 51 - Puncionadora com sistema automático de carga e descarga [64].	46
Figura 52 - Esquema do armazém vertical.	48
Figura 53 - Esquema da solução com armazém horizontal com carro.	49
Figura 54 - Esquema da terceira solução.	50
Figura 55 - Representação do equipamento	54
Figura 56 - Representação da Base.	55
Figura 57 - Carro/elevador tesoura.	55
Figura 58 - Elevação do carro.	56
Figura 59 - Estrutura que sustenta e eleva o sistema de ventosas.	56

Figura 60 - Sistema de ventosas completo.....	57
Figura 61 - Primeira estrutura do sistema de ventosas.....	57
Figura 62 - Segunda estrutura do sistema de ventosas.....	58
Figura 63 - Posição inicial do processo de carregamento.	58
Figura 64 - O sistema de ventosas e o andar superior do carro sobem ao patamar desejado.	59
Figura 65 - O sistema de ventosas avança sobre a chapa.	59
Figura 66 - Posição de descarga do carro.	59
Figura 67 - Colocação das chapas na puncionadora.....	60
Figura 68 - Localização de todos os componentes dimensionados.....	61
Figura 69 - Estrutura que suporta as ventosas e as suas respetivas localizações.	62
Figura 70 - Ventosa com conexão da FESTO [65].	64
Figura 71 - Representação das forças.....	66
Figura 72 - Propriedades de funcionamento do atuador MY1HT.	67
Figura 73 - Diagrama de corpo livre da guia linear.....	67
Figura 74 - Esquematização da distribuição de cargas na parte móvel do atuador.	67
Figura 75 - Posicionamento do centro de massa da estrutura.....	68
Figura 76 - Forças e momentos máximos suportados pelos atuadores escolhidos (Anexo D).	69
Figura 77 - Estrutura composta por 6 atuadores.....	70
Figura 78 - Simplificação das forças existentes no sistema.....	70
Figura 79 - Diagrama de corpo livre do elevador.	71
Figura 80 - Propriedades dos cilindros DFPI (Anexo E).....	74
Figura 81 - Forças aplicadas no sistema de distribuição.	75
Figura 82 - Estrutura montada no atuador e massas dos respetivos componentes.	75
Figura 83 - Valores máximos suportados pelos atuadores utilizados para este caso (Anexo D).....	76
Figura 84 - Sistema de descarga composto por 6 atuadores.	77
Figura 85 - Atuador montado no sistema de distribuição.	77
Figura 86 - Tabela comercial para os cilindros normalizados SMC.....	79
Figura 87 - Identificação do sistema de deslocação do carro.....	80
Figura 88 - Forças exercidas pelo atuador e respetivas pressões de funcionamento (Anexo G).	80
Figura 89 - Identificação das duas estruturas simuladas pelo MEF.....	81

Figura 90 - Versão inicial do suporte das ventosas.	81
Figura 91 - Versão do suporte de ventosas corrigida.	82
Figura 92 - Representação das fixações e forças aplicadas no suporte de ventosas.	83
Figura 93 - Resultados da tensão de von Mises.	84
Figura 94 - Resultados do deslocamento resultante.	85
Figura 95 - Resultados do fator de segurança.	85
Figura 96 - Estrutura de reforça instalada no suporte das ventosas.	86
Figura 97 - Sistema de ventosas equipado com 6 atuadores.	86
Figura 98 - Representação das fixações e forças aplicadas na versão final do suporte de ventosas.	87
Figura 99 - Resultado da tensão de von Mises da estrutura melhorada.	88
Figura 100 - Resultados do deslocamento resultante da estrutura melhorada.	89
Figura 101 - Resultados do fator de segurança da nova estrutura.	89
Figura 102 - Representação das fixações e forças aplicadas no sistema de carregamento (posição 1). ...	90
Figura 103 - Representação das fixações e forças aplicadas no sistema de carregamento (posição 2). ...	91
Figura 104 - Representação dos resultados relativos à tensão de von Mises na posição 1.	92
Figura 105 - Representação dos resultados relativos à tensão de von Mises na posição 2.	92
Figura 106 - Representação dos resultados relativos ao deslocamento resultante na posição 1.	93
Figura 107 - Representação dos resultados relativos ao deslocamento resultante na posição 2.	93
Figura 108 - Resultados do fator de segurança para a posição 1.	94
Figura 109 - Resultados do fator de segurança para a posição 2.	94
Figura 110 - GRAFCET referente ao processo de carregamento do carro e descarga das chapas na puncionadora.	98
Figura 111 - GRAFCET de expansão da macro etapa M100.	99
Figura 112 - GRAFCET do sistema de controlo de <i>stock</i>	100
Figura 113 - GRAFCET do sistema de emergência.	101
Figura 114 - Primeiro passo para a montagem do equipamento.	116
Figura 115 - Montagem do sistema de carga do carro.	117
Figura 116 - Montagem do suporte de ventosas.	117
Figura 117 - Tubos de aço e cantos de união soldados.	118
Figura 118 - Base do carro com os componentes montados.	118
Figura 119 - Montagem das barras de elevação.	119

Figura 120 - Estrutura para a parte superior do elevador.....	119
Figura 121 - Montagem completa do carro.....	120
Figura 122 - Equipamento totalmente montado.....	120

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Análise SWOT do armazenamento vertical.	51
Tabela 2 - Análise SWOT do armazenamento horizontal com carro.	52
Tabela 3 - Análise SWOT do armazenamento vertical com carro.	53
Tabela 4 - Tipo de levantamento e respetivas equações (Anexo A).....	63
Tabela 5 - Informação técnica das ventosas ESS [66].	64
Tabela 6 - Diâmetro das ventosas e respetiva capacidade de sucção.	65
Tabela 7 - Força necessária para os diferentes ângulos.	74
Tabela 8 - Simplificações da peça.	83
Tabela 9 - Informação relativa à malha utilizada.	84
Tabela 10 - Informação relativa à malha utilizada na estrutura melhorada.	87
Tabela 11 - Detalhes da malha utilizada.....	91
Tabela 12 - Codificação das entradas utilizadas nos diagramas GRAFCET.	95
Tabela 13 - Codificação das saídas utilizadas nos diagramas GRAFCET.	97
Tabela 14 - Processos de fabrico, materiais e quantidades dos componentes da base.	101
Tabela 15 - Listas dos materiais e dos processos do sistema de carga.	102
Tabela 16 - Lista de materiais e processos do suporte de ventosas.....	104
Tabela 17 - Lista de materiais e processos do carro.....	106
Tabela 18 - Lista de componentes normalizados.	110
Tabela 19 - Custo final do equipamento.	121

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Estrutura da dissertação	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	Estruturas metálicas.....	9
2.1.1	Projeto de estruturas metálicas	9
2.1.2	Materiais utilizados	10
2.1.3	Tipos de soluções para estruturas metálicas	10
2.1.4	Ligação dos elementos	13
2.1.5	Sistemas de guiamento	16
2.2	Método de Elementos Finitos	17
2.2.1	Princípios básicos	17
2.2.2	Vantagens da utilização no projeto.....	19
2.2.3	<i>Software</i> comercial e potencialidades	20
2.2.4	Exemplos de dimensionamento	20
2.3	Sistemas de armazenamento em fábrica.....	22
2.3.1	Estante convencional	22
2.3.2	Estante para paletes.....	23
2.3.3	Estante para paleta dinâmica	24
2.3.4	Armazenamento em profundidade.....	24
2.3.5	Sistemas de armazenamento automático.....	25
2.4	Sistemas de manuseamento em fábrica	25
2.4.1	Sistemas robotizados.....	26
2.4.2	Sistemas aéreos.....	30
2.4.3	Sistema de transporte (<i>conveyor</i>)	33

2.4.4	Estruturas mecânicas de transporte	34
2.4.5	Outros sistemas de manuseamento.....	35
2.5	Sistemas de acionamento	38
2.5.1	Sistemas eletromecânicos.....	39
2.5.2	Sistemas óleo-hidráulicos.....	41
2.5.3	Sistemas pneumáticos.....	41
3	DESENVOLVIMENTO	45
3.1	Caracterização da empresa	45
3.2	Solução atual.....	46
3.3	Caracterização do problema	46
3.4	Requisitos do projeto	47
3.5	Anteprojeto.....	47
3.5.1	Tempestade de ideias.....	47
3.5.1.1	Armazenamento vertical	47
3.5.1.2	Armazenamento horizontal com carro.....	48
3.5.1.3	Armazenamento vertical com carro	49
3.5.2	Escolha da solução a implementar.....	50
3.6	Projeto.....	54
3.6.1	Representação geral do equipamento	54
3.6.2	Funcionamento do equipamento.....	58
3.6.3	Métodos de dimensionamento utilizados.....	60
3.6.4	Projeto dos vários conjuntos da máquina	61
3.6.4.1	Dimensionamento do sistema de sucção	61
3.6.4.2	Dimensionamento dos atuadores sem haste de elevação	65
3.6.4.3	Atuadores para o movimento horizontal das ventosas.....	67
3.6.4.4	Atuadores do elevador tesoura	70
3.6.4.5	Guias lineares para o movimento horizontal da paleta de chapas.....	74
3.6.4.6	Atuador para o posicionamento final da paleta	77

3.6.4.7	Guia linear para o movimento horizontal do carro	79
3.6.4.8	Método de elementos finitos aplicado no projeto	80
3.6.4.8.1	Simulação do suporte de ventosas (versão inicial)	82
3.6.4.8.2	Simulação do suporte de ventosas (versão corrigida)	86
3.6.4.8.3	Sistema de carregamento	90
3.6.5	Sistema de controlo.....	94
3.6.6	Materiais e processos de fabrico.....	101
3.6.7	Lista de componentes	110
3.6.8	Montagem do equipamento	116
3.6.9	Custos associados ao equipamento	120
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	125
4.1	CONCLUSÕES.....	125
4.2	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	126
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	129
6	ANEXOS.....	137
6.1	Fichas técnicas.....	137
6.1.1	Anexo A	137
6.1.2	Anexo B	138
6.1.3	Anexo C.....	139
6.1.4	Anexo D	140
6.1.5	Anexo E.....	141
6.1.6	Anexo F.....	142
6.1.7	Anexo G	143
6.1.8	Anexo H	144
6.2	Desenhos técnicos.....	145

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Estrutura da dissertação

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Nos tempos de hoje, uma das principais prioridades da União Europeia e do mundo é ter uma economia competitiva, o que implica um crescimento elevado e sustentado da produtividade. Para uma empresa ser competitiva, tem de colocar no mercado os seus produtos e serviços com a maior qualidade possível da forma mais rápida e a preços competitivos, sem descorar os rendimentos obtidos face aos recursos utilizados na produção do produto final. Os métodos tradicionais de produção já não são suficientes para enfrentar as pressões competitivas e concorrenciais. Posto isto, devem ser feitos todos os esforços necessários para inovar os processos de produção de forma a reduzir os custos e tempo de produção, e assim aumentar a qualidade do produto final. Portanto, uma maior competitividade coloca grandes desafios às empresas que, não só necessitam de estar dispostas a apostar na criação e desenvolvimento de novos produtos, como também necessitam de estar a par das novas tecnologias de processamento, manuseamento e de produção. O núcleo de uma empresa é a linha de produção. Uma linha de produção atualizada e eficiente permite produzir mais com menos gastos e conseqüentemente garante um crescimento das receitas das empresas. Portanto, para triunfar no mercado é necessário que todas as etapas de produção funcionem na sua máxima eficiência.

A automação domina cada vez mais os processos de produção das empresas, e foi com o objetivo de aumentar a eficiência e a cadência de produção que os sistemas automatizados foram incorporados nas indústrias. Estes sistemas de grande precisão permitem reduzir ao máximo os desperdícios existentes nas linhas de produção e reduzem a necessidade de mão humana, o que conseqüentemente leva à redução do erro humano. Estes dois fatores conciliados permitem uma redução abrupta do custo de produção. Estes processos automatizados permitem também um aumento da qualidade, pois o processo reduz o erro humano, e uma maior flexibilidade de produção, pois os processos possuem uma grande adaptabilidade às necessidades e aos problemas da produção, através do comando por computador.

Em suma, foi com estas noções em mente que surgiu este trabalho. De forma a aumentar a eficiência da linha de montagem de uma empresa, projetou-se um sistema capaz de organizar e distribuir a matéria-prima para uma máquina de corte de chapa de forma rápida e eficaz. Assim foi possível poupar recursos, tempo e diminuir o custo de

produção, o que permitirá tornar a empresa competitiva e melhorar a sua posição no mercado nacional e global.

1.2 Objetivos

O objetivo deste projeto é criar um equipamento automatizado que responda às necessidades da empresa alvo. Este sistema deverá ser capaz de recolher a chapa desejada a um armazém de chapa e transportá-la até à punccionadora onde se efetuará o corte da mesma, para o fabrico de máquinas de tratamento de ar.

Para projetar o equipamento desejado é necessário realizar várias etapas. Primeiramente, é necessário realizar uma análise à solução existente da empresa com o objetivo de identificar e caraterizar o problema existente. Seguidamente, são estabelecidos os vários requisitos que o equipamento tem de obedecer de forma a realizar a função pretendida. Depois de os requisitos estarem estabelecidos, são descritas algumas soluções possíveis e comparados os pontos fortes e pontos fracos de cada uma, com o objetivo de escolher a melhor solução.

Por fim, com a escolha da solução final é possível proceder ao dimensionamento do equipamento. As forças de acionamento necessárias para o funcionamento adequado da máquina foram calculadas de forma a selecionar os atuadores mais adequados para o projeto. Para o manuseamento da matéria-prima foi escolhido um sistema de vácuo, composto por uma bomba de vácuo e por um conjunto de ventosas, que também são dimensionados e efetuada a seleção dos componentes acessórios. Para finalizar o dimensionamento, a resistência e rigidez das estruturas mais críticas são verificadas utilizando o método de elementos finitos.

Para concluir, todos as peças projetadas e todos os componentes necessários são descritos e contabilizados, com o intuito de estimar o preço de custo do equipamento projetado.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação divide-se em quatro partes distintas. A primeira consiste na introdução, onde é realizado um breve resumo introdutório da dissertação. Nesta parte é realizada uma contextualização da dissertação, os objetivos, com respetiva descrição das etapas seguidas para a realização deste projeto, e apresentada a estrutura da dissertação.

A segunda parte consiste numa revisão bibliográfica onde são apresentados ao leitor os vários desenvolvimentos técnicos e científicos relacionados com o projeto. Neste capítulo é explicado o conceito de estrutura metálica, é descrito o método de elementos finitos e apresentado o estado-da-arte dos vários sistemas de armazenamento, manuseamento e de acionamento.

A terceira parte é o desenvolvimento do projeto. Nesta parte, o leitor pode encontrar um breve resumo da empresa que acolheu este projeto, as várias soluções que surgiram durante a elaboração deste trabalho e, por fim, um dimensionamento e posteriormente uma análise cuidada da solução escolhida. Neste capítulo também é possível encontrar a descrição de todos os componentes utilizados bem como uma estimativa do preço de custo deste protótipo.

Por fim, a quarta e última parte consiste nas conclusões e propostas de trabalhos futuros. Inicialmente, é possível encontrar uma análise final de todos os resultados obtidos ao longo da elaboração do projeto, acompanhada com um breve veredicto sobre o funcionamento do equipamento e suas vantagens. De seguida, são apresentadas propostas de melhoria do trabalho realizado, que foram surgindo com a realização do mesmo, e podem ser usadas para a melhoria do resultado final.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Estruturas metálicas
- 2.2 Método de Elementos Finitos
- 2.3 Sistemas de armazenamento em fábrica
- 2.4 Sistemas de manuseamento em fábrica
- 2.5 Sistemas de acionamento

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estruturas metálicas

2.1.1 Projeto de estruturas metálicas

Uma das etapas mais importantes do ato de criar é o projeto. Esta etapa tem como finalidade obter resultados que promovam a melhoria de uma organização, ou que forneça a resolução para um problema existente. Quando se trata da realização de uma obra de engenharia, os engenheiros estão encarregues de analisar todos os fatores que podem pôr em causa a integridade dessa mesma obra. Com o objetivo de identificar e calcular todas as forças e movimentos presentes no sistema, de forma a poder determinar corretamente o tipo de materiais utilizados, as dimensões e as geometrias das peças envolvidas. Caso o projeto não seja bem delineado e cumprido corretamente, o resultado final pode ser desastroso. Num projeto de estruturas metálicas, por exemplo, a seleção impropria do material pode resultar em situações de perigo para quem utilizar estas mesmas estruturas.

Um projeto divide-se em várias etapas distintas [1]:

- Análise das necessidades do mercado alvo;
- Desenvolvimento do esboço do produto;
- Realização dos cálculos necessários;
- Identificação dos materiais utilizados e os vários processos de fabrico;
- Análise do design e do processo;
- Averiguação dos requisitos da qualidade;
- Criação do modelo detalhado do produto com todas as especificações;
- Estudo económico do produto;
- Desenvolvimento do protótipo;
- Testes ao protótipo;
- Produção;
- Realização dos testes finais antes do produto chegar ao destino final.

Contudo, os projetos têm que ser controlados e guiados. Por essa razão, foram desenvolvidas normas para o efeito, por diversas associações, como por exemplo, *International Organization for Standardization (ISO)*. As normas especificam como é que os produtos ou serviços devem funcionar ou interagir. A maioria das normas foram redigidas com o intuito de descrever a melhor forma de realizar tarefas, em várias áreas.

No entanto, algumas foram desenvolvidas com o objetivo de proteger o Homem. Sendo que essas normas funcionam como leis [2].

2.1.2 Materiais utilizados

A maioria das estruturas metálicas estão, durante o seu tempo de vida, sujeitas a cargas e a certos fatores externos como, por exemplo, fatores ambientais [3].

Por estas mesmas razões, o trabalho dos engenheiros é garantir um bom dimensionamento da estrutura e uma boa escolha de materiais, para que o projeto seja capaz de suportar as cargas. Consequentemente aumentar o tempo de vida da estrutura e prevenir acidentes.

Um dos materiais mais utilizados na indústria são as ligas de alumínio. A junção do alumínio, com fracas propriedades mecânicas, mas extremamente leve, com outros materiais resulta numa liga estrutural leve com boas propriedades mecânicas ideal para o setor aeroespacial.

Por outro lado, o aço é o material mais utilizado em, por exemplo, grandes estruturas metálicas destinadas a esforços elevados pois este um bom comportamento a nível mecânico, a nível de deformações e tensões. Este metal reúne as melhores propriedades mecânicas. Entre os aços utilizados em estruturas metálicas é possível encontrar os aços ao carbono, os aços ligados e os aços inoxidáveis para estruturas sujeitas ao meio ambiente [4].

2.1.3 Tipos de soluções para estruturas metálicas

Existe uma grande variedade de estruturas metálicas, cada tipo com a sua forma e empregabilidade distinta. As estruturas metálicas podem ser divididas em vários tipos, conforme se apresenta de seguida.

➤ Estruturas metálicas de múltiplos andares

As estruturas mais vulgares nos dias de hoje são as de múltiplos andares. Estas são constituídas por pilares e vigas metálicas unidas por uniões aparafusadas ou soldadas. As estruturas metálicas de múltiplos andares têm como principal finalidade servir como edifícios comerciais, públicos, residenciais e industriais [5]. A Figura 1 mostra um exemplo de uma estrutura metálica de múltiplos pisos.



Figura 1 - Construção de uma torre em Canary Warf, Londres [6].

➤ Sistema de pórticos

Os sistemas de pórticos apresentam a mais simples e rápida execução de todas as estruturas metálicas. Basicamente, estas estruturas são compostas por vigas e pilares, todas elas em perfil laminado ou com compostos de chapa soldada [4]. Os elementos são ligados maioritariamente por ligações soldadas e/ou aparafusadas. Para dar à estrutura mais rigidez, são vulgarmente utilizadas chapas de reforço nas ligações. Para além da estrutura, a cobertura é metálica o que torna o processo de montagem mais rápido e económico.

A Figura 2 mostra uma nave metálica com pilares e vigas em perfil laminado.



Figura 2 - Nave metálica [7].

➤ Estrutura de obras

As estruturas de obras são maioritariamente caracterizadas por pontes e viadutos. Estas estruturas podem ser de grandes ou pequenas dimensões. Elas variam muito na sua forma, mas são constituídas principalmente por perfis de alma cheia, treliças ou soluções de tirantes-pilares [5]. São estruturas muito utilizadas devido à grande utilidade. Na construção de pontes, as ligas de aço são muito utilizadas devido à resistência mecânica e versatilidade [8]. Na Figura 3 é possível ver uma ponte com dois tabuleiros feita em aço que une a margem do Porto com a margem de Gaia.



Figura 3 - Ponte D. Luís, Porto. Obra de arte treliçada [9].

➤ Estruturas reticuladas

As estruturas reticuladas, como a que se apresenta na Figura 3, são estrutura simples em termos de componentes e ligações, compostas por perfis metálicos unidos por ligações aparafusadas ou rebitadas. Logo são desenhadas sob a forma de estruturas treliçadas [5]. Desta forma, os efeitos das cargas são distribuídos pelos elementos das treliças, o que permite conferir mais rigidez à estrutura. Um outro exemplo onde se podem encontrar estruturas reticuladas é nas torres que suportam os cabos de alta tensão, como a representada na Figura 4. Com o método das treliças é possível construir estruturas altas capazes de suportar cargas variáveis como o vento.



Figura 4 - Torre de alta tensão [10].

➤ Estruturas de armazenamento

As estruturas de armazenamento são responsáveis para o armazenamento de qualquer tipo de material. Estas podem armazenar gases, líquidos e sólidos. Os reservatórios são formados por chapas de aço. A espessura das paredes da estrutura varia consoante o produto que se pretende armazenar e a pressão a que o mesmo estará sujeito [5].



Figura 5 - Silos utilizados para o armazenamento de matéria sólida [11].

2.1.4 Ligação dos elementos

Para unir dois ou mais componentes, sejam de materiais idênticos ou diferentes, existem diversas técnicas. Para obter o melhor rendimento da estrutura, este é um dos pontos que necessita maior atenção. De facto, uma ligação mal efetuada põe em causa a integridade de toda a estrutura.

Inicialmente, as ligações são classificadas de duas formas. Podem ser uniões amovível ou inamovível. As primeiras permitem a sua desmontagem. A desmontagem das segundas, se for possível, leva à destruição parcial dos componentes previamente ligados [12].

Na ligação das estruturas metálicas, os processos mais utilizados são as ligações soldadas, adesivas e as ligações mecânicas.

➤ Ligações soldadas

O processo de soldadura baseia-se na fusão do material de base e do material de adição. Por essa razão, este processo forma ligações permanentes.

De entre todos os tipos de ligação, este é o mais versátil, podendo ser usado para unir componentes de diferentes materiais das mais variadas formas e dimensões. Este sendo também bastante económico. A conjugação destes fatores contribui para que este

método seja o mais utilizado no setor metalomecânico [12]. A Figura 6 mostra o resultado preliminar de uma ligação soldada.



Figura 6 - União de duas chapas de aço por soldadura.

➤ Ligações Aparafusadas

É uma das formas mais comuns de unir duas peças (Figura 7). Esta forma permite a desmontagem do conjunto sem pôr em causa a integridade das peças. Encontra-se no mercado, muitos tipos de parafusos com dimensões variadas. Os parafusos têm que ser escolhidos conforme os esforços a que vão estar sujeitos.



Figura 7 - Ligação aparafusada [13].

Para utilizar uma ligação aparafusada é necessário preparar as peças. É necessário efetuar uma furação para os parafusos serem inseridos nas peças.

Este tipo de ligação tem como vantagem o baixo custo, a capacidade de unir diferentes materiais e a fácil desmontagem. Por outro lado, os furos nas peças reduzem a resistência mecânica das peças e com o tempo ocorre o desaperto das peças.

➤ **Ligação com pinos e cavilhas**

Os pinos e as cavilhas também são usados como elementos de ligação. Contudo, são utilizados para condições de trabalho distintas. Os pinos são utilizados quando se pretende unir duas peças resistentes à vibração e que articulem entre si. Por outro lado, as cavilhas são mais usadas para ligações sem articulação entre si.

Estes elementos também são utilizados quando se pretende manter uma posição relativa entre as peças. Desta forma, o movimento entre as peças é restringido.

➤ **Ligação com rebites**

Os rebites (Figura 8) podem ser de vários materiais. São muito utilizados na maioria das indústrias. Este tipo de ligação é um método simples e barato e de fácil controlo de qualidade. No entanto, a necessidade de uma furação nas peças a unir provoca uma redução da resistência do material.



Figura 8 - Ligação rebitada numa roldana (Própria autoria).

➤ **Ligações adesivas**

A ligação adesiva une dois substratos utilizando uma camada de adesivo. O adesivo é um material polimérico capaz de criar a união entre os dois componentes. Esta união resulta das ação combinada entre as forças de coesivas e as forças adesivas [14].

Estas ligações são consideradas permanentes e uma boa opção para ligar juntas de materiais distintos. Contudo, este processo é dispendioso, principalmente os adesivos

com finalidades estruturais. Na Figura 9, é possível visualizar uma ligação adesiva sobreposta.



Figura 9 - União de duas chapas por adesivo (Própria autoria).

2.1.5 Sistemas de guiamento

Os sistemas de guiamento têm como objetivo garantir o movimento relativo entre componentes. Para isso, estes sistemas devem ser constituídos por materiais com baixo coeficiente de atrito para promover o deslizamento.

Desde a criação do primeiro mecanismo que o Ser Humano se debate com o desgaste das peças e com as forças opostas ao desejado.

A tribologia é a ciência que se dedica ao estudo da interação entre as superfícies quando em movimento relativo. Esta ciência abrange temas importantes da mecânica como o atrito e o desgaste dos materiais [15]. Estas propriedades são importantes no estudo dos sistemas de guiamento.

O material ideal para sistemas de guiamento deve combinar as propriedades mecânicas com as propriedades tribológicas [15]. De todo o tipo de materiais, os metais são os mais procurados pelas razões referidas anteriormente. As ligas metálicas mais requisitadas para constituir os sistemas de guiamento são:

- Os bronzes. É uma liga de cobre muito utilizada pois possui boa resistência mecânica, resistência à corrosão e baixo coeficiente de atrito. Consequentemente, quando bem lubrificado e em contacto com ligas ferrosas tende a oferecer pouca resistência de movimentos. A liga Bronze-Crómio-Prata é um bom exemplo para estes sistemas. A adição de Crómio (Cr) e de Prata (Ag) garante a liga maior resistência ao desgaste, baixo coeficiente de atrito e aumentam a dureza da liga [16];
- Com base em alumínio (Al), as ligas de alumínio-chumbo e de alumínio-estanho são as mais utilizadas. Tanto o chumbo (Pb) como o estanho (Sn), contribuem

com a diminuição do coeficiente de atrito da liga. Comparativamente, a liga com chumbo possui propriedades mecânicas mais baixas [17];

- De todos eles, os mais comuns são os aços e os ferros fundidos. Ambos, quando em contacto com superfícies do mesmo material, conseguem deslizar razoavelmente bem. No caso dos ferros fundidos, a grafite presente na sua composição ajuda na lubrificação do contacto. Por outro lado, os aços sendo bem lubrificados podem ser usados para sistemas de guiamento contra qualquer outro metal.

No grupo dos não metais há outros materiais que oferecem boas propriedades tribológicas. No entanto, possuem baixas propriedades mecânicas. Exemplo disso são certos termoplásticos. Um dos problemas que muitos não-metais enfrentam é a baixa resistência à temperatura. Nos sistemas de guiamento as temperaturas tendem a aumentar quando as velocidades e/ou as cargas de operação são consideráveis. Para contornar a baixa resistência mecânica e a baixa resistência à temperatura, são adicionados a estes materiais não metálicos aditivos como fibra de vidro ou grafite [18].

2.2 Método de Elementos Finitos

2.2.1 Princípios básicos

O Método de Elementos Finitos (MEF) é uma técnica numérica. Utilizada para solucionar vários problemas de engenharia, como por exemplo, o representado na Figura 10. Este método consiste em dividir o modelo em secções mais pequenas de geometria simples (elementos). Entre os elementos estão presentes os nós. Desta forma, é possível obter soluções para problemas que satisfazem equações diferenciais e/ou integrais. Resultados esses que numa situação normal seriam impossíveis de obter devido há grande complexidade dos modelos [19].

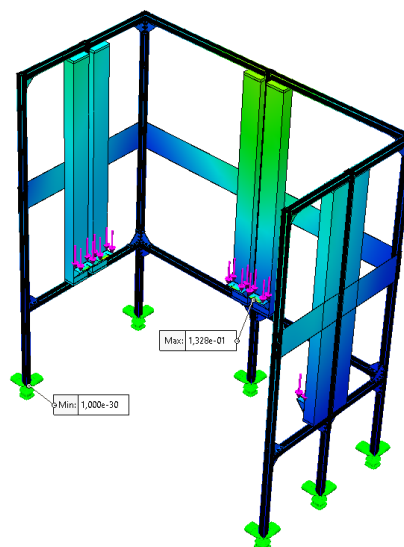


Figura 10 - Simulação de uma estrutura utilizando os métodos de elementos finitos (Própria autoria)

Os primórdios do MEF tem lugar em 1906 quando investigadores sugeriram, para análise de tensões, uma abordagem em rede. Contudo só em meados da década de 50 é que o método de elementos finitos é visto tal como nos dias de hoje. Desde então, este método tem sofrido avanços devido ao surgimento dos primeiros computadores e consequentemente a capacidade de solucionar sistemas de equações algébricas complexas. Atualmente, este método também é utilizado para resolver problemas de análise de temperatura e de fluídos. [20].

Quando é utilizado o MEF para realizar a análise de uma estrutura é necessário ter em conta certos aspetos relativos a geometria e ao modo como as ações são aplicadas na estrutura. Posto isto, a análise pode ser dinâmica ou estática, linear ou não linear e considerar o tipo de estrutura analisado [21].

Na maioria dos casos, as ações estudadas são dinâmicas. Sendo assim é necessário considerar as forças de inércia de cada elemento da estrutura. No entanto, na maioria dos casos, para efeitos de simplificação, é possível desprezar as forças de inercia. Esta simplificação é possível pelo facto de em muitos casos ser possível considerar que as ações são aplicadas na estrutura de forma lenta [21].

No MEF existem dois tipos de análise linear: linear geométrica e linear material. Geometricamente, a análise é classificada de linear quando todo o estudo é realizado sobre o pressuposto que a geometria da peça não se altera com a carga aplicada. Esta consideração pode ser feita devido ao facto de os deslocamentos das superfícies serem muito pequenos quando comparados com o comprimento total da peça. Por outro lado, ao nível do material, é habitual considerar que a relação entre tensão e deformação é linear, para evitar o uso de algoritmos próprios para casos não lineares [21].

Por fim, as estruturas podem ser classificadas de duas formas distintas. Podem ser reticuladas ou laminares. As Estruturas reticuladas são constituídas por barras caracterizadas pelas dimensões transversais que são muito pequenas quando comparadas com o comprimento. As barras estão ligadas entre si pelas extremidades, designadas por articulações. Muitas vezes, as estruturas reticuladas são divididas caso é considerado ou não rotação nas articulações [21]. Na Figura 11 é possível ver um exemplo de uma estrutura reticulada.

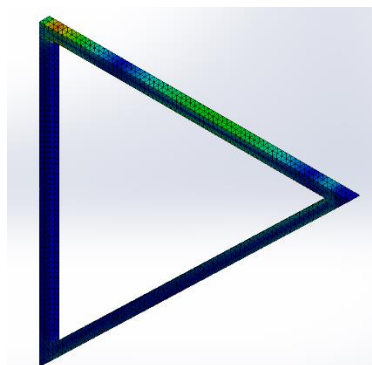


Figura 11 - Simulação de uma estrutura reticulada (Própria autoria).

As estruturas laminares são caracterizadas por terem duas dimensões consideráveis e uma terceira muito pequena comparativamente [21]. A Figura 12 mostra um exemplo de uma análise a uma estrutura laminar.

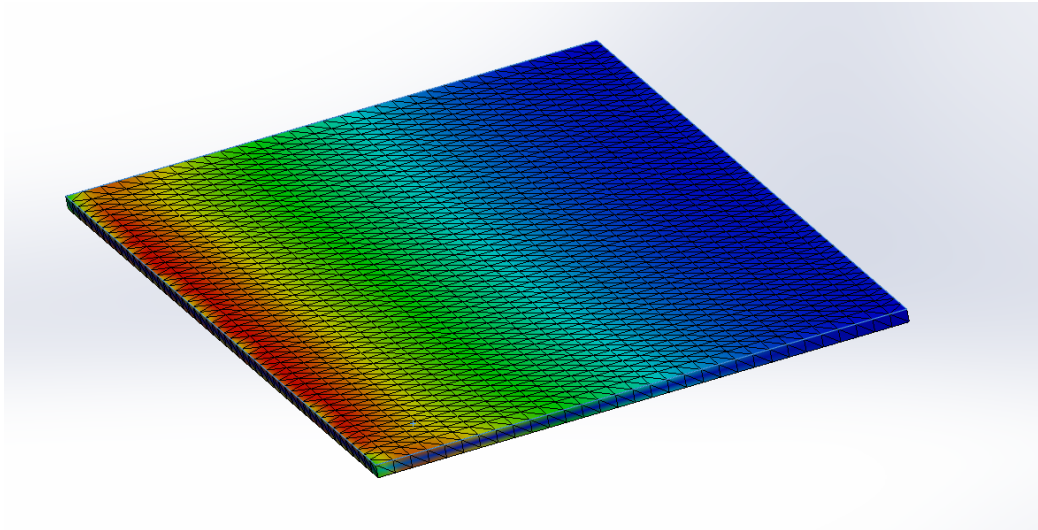


Figura 12 - Simulação de uma estrutura laminar (Própria autoria).

2.2.2 Vantagens da utilização no projeto

O MEF é suportado por ferramentas avançadas de *Computer-Aided Design* (CAD) *Computer-Aided Engineering* (CAE), como por exemplo, o *Solidworks*. Isto permite a fácil modelação dos objetos e geração da respetiva malha de elementos finitos. Estas ferramentas têm por base métodos numérico-computacionais. Portanto, concede ao MEF uma maior eficiência na análise das estruturas pois necessitam de um curto espaço de tempo para serem realizados. Em seguida são enumeradas diversas vantagens deste método.

Tempo e custo reduzidos

Estas ferramentas permitem modelar e simular as condições de funcionamento do objeto. Portanto, permitem assim testar a estrutura sem precisar de fabricar um protótipo de teste. Consequentemente, evita-se custos desnecessários e reduzindo o tempo de desenvolvimento.

Melhoramento do produto na fase de desenvolvimento

As simulações permitem avaliar o desempenho da estrutura no seu meio de funcionamento permitindo qualquer alteração com o objetivo a melhorar a sua eficiência de trabalho.

Flexibilidade no mercado onde se insere o produto

No mercado ocorre muitas e rápidas transições. Portanto as empresas precisam de acompanhar essas mudanças. O MEF proporciona consegue proporcionar essa mesma agilidade.

Reutilização

Estas ferramentas permitem a reutilização de desenhos e cálculos efetuados noutros projetos, aumentando a produtividade.

Rápida alteração

Estes programas permitem-nos fazer alterações aos equipamentos, como por exemplo, redimensionar ou alterar o tipo de material da estrutura, da forma mais rápida possível.

2.2.3 *Software comercial e potencialidades*

Existe uma grande variedade de *software*, cada um com peculiaridades diferentes. Cada *software* é desenhado para responder a exigências das empresas de diversas áreas da engenharia.

Nos dias de hoje os *softwares*, mais conhecidos e utilizados são o *Solidworks*, *Inventor*, *Catia*, *Creo* e *Geomagic Design*. Estes programas de CAD permitem fazer análises de métodos finitos e, em geral, têm características tais como:

- Utilizar diferentes materiais;
- Diversas condições de contacto;
- Definir condições de projeto;
- Definir malha com refinamento seletivo;
- Simplificação do espaço de modelação;
- Visualização gráfica;
- Resultado da análise;
- Criação de relatórios;
- Exportação dos dados para o *Microsoft Excel*.

Um dos Programas mais conhecidos na área da engenharia mecânica é o *Solidworks* (SW). O SW permite modelar e fazer uma análise da estrutura criada. *SW Simulation* possui imensas ferramentas e opções para a análise com MEF. O SW Simulation tem como função analisar por MEF podendo ser aplicado em peças e em conjuntos. Este programa possui uma grande variedade de opções como elementos de fixação, tipos de carregamento, contactos entre superfícies, entre outras. Este *software* será utilizado no desenvolvimento deste projeto.

2.2.4 *Exemplos de dimensionamento*

Para demonstrar as vantagens deste método, vai ser demonstrado neste capítulo alguns exemplos de estruturas desenvolvidas e analisadas por *softwares* de MEF.

Primeiro Exemplo [22]

O caso de estudo debruça-se sobre um carro de transporte de plataformas de corte. A estrutura divide-se em quatro partes. É constituída pelo chassi, apoios para as

plataformas, cubos de rodas e a lança para a barra de tração. Todos estes componentes são de aço SAE 1020. A estrutura, no seu todo, tem um peso total de 3350 kg. Na Figura 13 está representado o objeto de estudo deste exemplo.



Figura 13 - Carro de transporte de plataformas de corte [22].

A estrutura foi restringida tal como mostra na Figura 14.

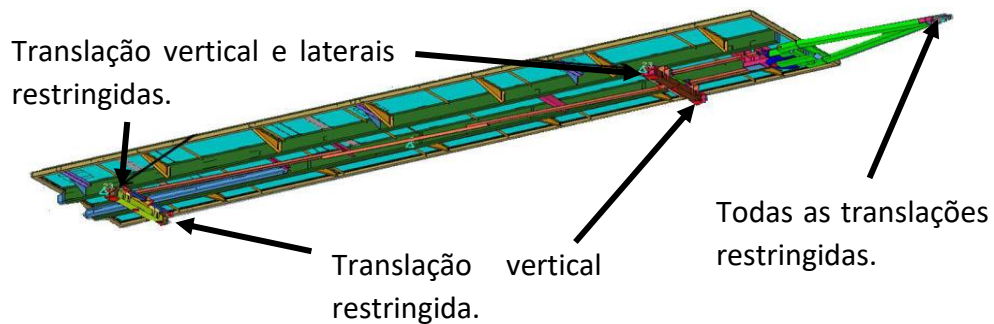


Figura 14 - Restrições da estrutura [22].

Para o estudo considerou-se as condições de trabalho mais críticas. Neste caso seria carregar a plataforma de corte mais pesada. Portanto, para a simulação aplicou-se uma força de 49050 N nos pontos indicados na Figura 15.

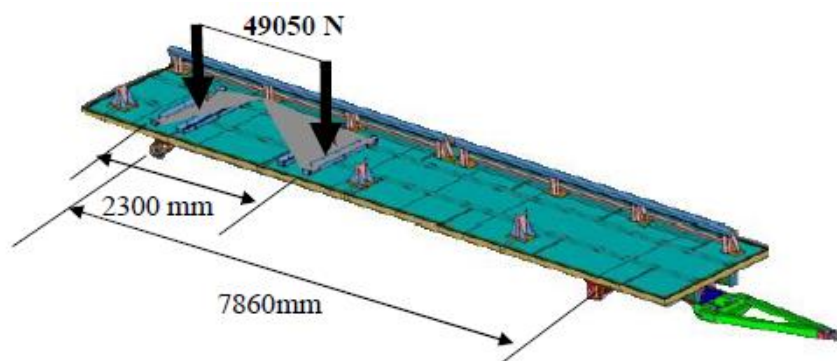


Figura 15 - Aplicação da força e respetivas distâncias [22].

O resultado da deformação está demonstrado na Figura 16. Isto ocorre no eixo traseiro devido ao facto de a carga estar apoiada sobre este local. Nesta zona está aplicada uma tensão de 239,7 MPa.

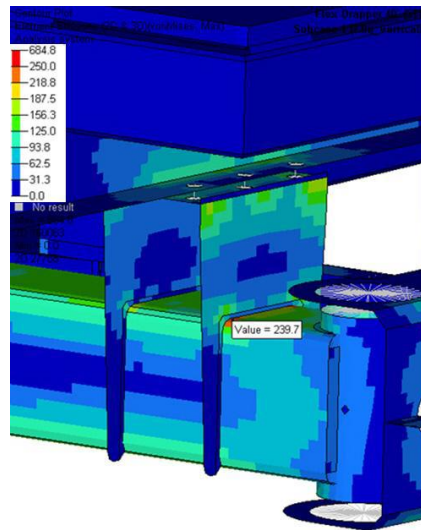


Figura 16 - Zona da estrutura onde ocorre maior deformação [22].

2.3 Sistemas de armazenamento em fábrica

Numa fábrica, a zona de armazenamento é dos locais mais importantes. Lugar onde são colocadas as matérias-primas de qualquer produto e também os produtos finais. Infelizmente, é dos locais mais ignorados no que toca à organização, na maioria dos locais de produção.

A falta de organização da zona de armazenamento, ou até mesmo, a ausência de uma, causa enormes atrasos na produção e na distribuição. Leva também, a uma perda de qualidade. Consequentemente a uma baixa procura por parte de clientes.

Portanto, para uma fábrica ter um maior rendimento, necessita de um armazenamento que satisfaça os seus requisitos de forma rápida e eficiente. Há vários sistemas que ajudam a alcançar esse objetivo. Deve ser feito um estudo com base no espaço disponível, o tipo e a quantidade, exigida pela produção, de matéria-prima e o nível de investimento disponível.

2.3.1 Estante convencional

Dos sistemas mais comuns, não só na indústria como no dia-a-dia, a estante convencional é a forma mais básica de agrupar e guardar produtos. Destina-se apenas para cargas médias e de fácil transporte. Na seguinte figura, Figura 17, está representada uma estante convencional.



Figura 17 - Modelo de uma estante convencional.

2.3.2 Estante para paletes

Uma boa organização requer que os objetos sejam agrupados em grupos uniformes. Grupos constituídos por objetos iguais ou com objetos com o mesmo tamanho ou com a mesma finalidade. Por vezes, é necessário transportar os referidos grupos de materiais para os locais de produção. A melhor forma de o fazer é utilizando paletes. As paletes podem ser transportadas usando diversos meios de manuseamento o que torna o seu uso indispensável. Portanto, é sempre necessário, numa fábrica, local onde se possa guardar grupos de paletes.

A construção das paletes e as suas dimensões facilitam o armazenamento e o transporte dos conjuntos de material. Utilizando o mesmo conceito das estantes referidas anteriormente. Agora em maior escala, é possível empilhar várias paletes em várias colunas. Proporcionando assim uma arrumação vertical salvando assim, área útil que pode ser utilizada para a produção ou para mais armazenamento. Tal como demonstrado na Figura 18, esta solução torna-se bastante eficiente no que toca à organização dos produtos.



Figura 18 - Fileiras de estantes para paletes [23].

2.3.3 Estante para paletes dinâmica

Estante de paletes dinâmicas é um sistema compacto que incorpora o transporte ao armazenamento, tal como podemos ver abaixo, Figura 19. Rolos instalados na estante com uma pequena inclinação, permite a deslizamento das cargas, por força da gravidade, do ponto A para o ponto B, depois de serem armazenadas em A [24].



Figura 19 - Estantes de paletes dinâmicas [25].

2.3.4 Armazenamento em profundidade

Sempre com o objetivo de economizar o máximo de espaço possível, foi criada esta alternativa. Destinada a produtos com baixa ou media rotatividade, este armazenamento acumula os produtos em filas. A vantagem está em só precisar de um ponto de acesso, como demonstrado na Figura 20. Descartando assim os corredores existentes entre as estantes referidas anteriormente. Desta forma, é possível otimizar o espaço em altura e no chão de fábrica.



Figura 20 - Mercadoria armazenada em profundidade [26].

2.3.5 Sistemas de armazenamento automático

O mais indicado quando se pretende a máxima eficiência no processo de armazenagem e de distribuição. Os sistemas automatizados manuseiam, depositam e extraem os materiais com a maior precisão e eficiência com pouca ou até mesmo sem ajuda dos operários. Estes sistemas podem variar de pequenos a grandes instalações que pode ocupar grandes áreas [27]. Usando a versatilidade dos sistemas de automação e a capacidade de processamento dos computadores. Estes armazéns conseguem delinear todo o processo e cumprir todos os pedidos do cliente e da produção de forma rápida e económica. Para além destas vantagens, estes sistemas também possuem a capacidade de controlar o inventário.

Na indústria atual, estes sistemas são cada vez mais procurados, em todo o tipo de sectores, devido à procura por um aumento da produção, à redução dos custos de transporte e à precisão na organização de inventários. Um dos exemplos disso é a instalação de um armazém automatizado, para alcançar os objetivos atrás referidos, na *Trincher Family Estates*, líder mundial na indústria dos vinhos [28]. A Figura 21 mostra um armazém totalmente automatizado.

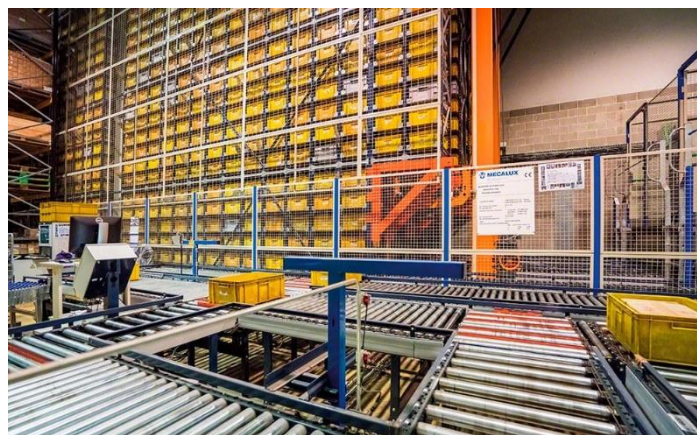


Figura 21 - Exemplo de um armazém automatizado [29].

2.4 Sistemas de manuseamento em fábrica

Nos dias de hoje, o principal objetivo das empresas de todo o mundo é servir os clientes com produtos de qualidade no menor tempo possível. Uma parte importante no atendimento dos pedidos é o armazenamento e o manuseamento de material em fábrica. Muitas operações de armazém têm custos que por vezes podem ser minimizados. Portanto um dos objetivos das empresas é tornar os armazéns o mais eficientes possíveis de forma a tornar o processos mais rápido e económico [30].

O armazém destina-se a guardar desde matérias-primas a produtos de todas as fases da produção. O sistema de armazenamento é parte importante de uma empresa. Alimenta a produção com matéria-prima e armazena e organiza o produto acabado antes de este

mesmo ser levado ao cliente. Portanto é necessário que haja uma rápida receção, armazenamento eficiente e célere expedição.

Como já foi referido, o objetivo principal é reduzir o custo, no entanto é necessário ter em conta certos aspetos que irão ter efeito tanto no custo como na qualidade dos produtos. A mercadoria tem que ser movimentada de maneira eficiente e promovendo segurança a todos os envolvidos no armazém [31].

2.4.1 Sistemas robotizados

Robótica é um ramo tecnológico que reúne vertentes da mecânica, eletrónica e computação. Os sistemas robotizados mudaram por completo a indústria. Substituíram o Homem na realização de trabalhos pesados. Estes são utilizados de forma a reduzir a mão-de-obra, o custo e o tempo de produção [32]. Atualmente existem 3 tipos de sistemas robotizados: o sistema de manipulação, móvel e o sistema robotizado de aquisição e controlo de dados.

O sistema robotizado de manipulação é dos mais comuns na indústria. São constituídos por braços robotizados. Podem trabalhar entre 4 e 6 eixos e com vários graus de liberdade. Este sistema tem a capacidade de executar uma vasta variedade de funções. Entre elas a função de soldar, movimentar objetos, etc. [33].

O sistema robótico móvel consiste numa plataforma automatizada capaz de transportar objetos do ponto A para o ponto B. Na maior parte das vezes são utilizados para transportar ferramentas e/ou peças suplentes [33].

Por fim, os sistemas robóticos de aquisição e controlo de dados são sistemas que recolhem, processam e transmitem dados para diversos recetores. Geralmente tratam e fornecem dados para outros sistemas robotizados [33]. Como já foi referido, o sistema mais utilizado são os braços robotizados. A razão disso é a sua grande versatilidade em termos de movimento e tarefas.

A razão para isso é os vários tipos de braços robóticos, cada um com estruturas distintas. Portanto estes sistemas dividem-se principalmente em 5 categorias:

➤ Estrutura Cartesiana

Estrutura com três juntas que garantem o movimento linear nos 3 eixos cartesianos. Baseia-se numa estrutura modular de fácil expansibilidade. Devido aos básicos movimentos, o controlo e a sua programação são simples. São braços robóticos rígidos e com capacidade de transportar cargas elevadas [34], [35], [36]. Na Figura 22 está representado os graus de liberdade de um braço robô cartesiano.

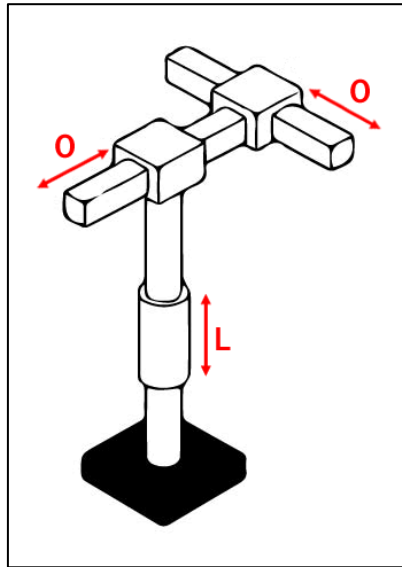


Figura 22 - Esquema da estrutura cartesiana [34].

➤ Estrutura cilíndrica

Esta estrutura junta dois eixos ortogonais de movimento linear com um eixo de movimento rotativo. Proporcionam uma maior liberdade de movimentos relativamente à estrutura referida anteriormente. Tal como a estrutura cartesiana, esta é de fácil programação. É capaz de operar a grandes velocidades e oferece grande fiabilidade devido a simples estrutura que compõe este sistema robótico.

Estes braços robóticos são muito utilizados para soldadura localizada como operações de montagem [34], [36]. Na Figura 23 representa os graus de liberdade da estrutura cilíndrica.

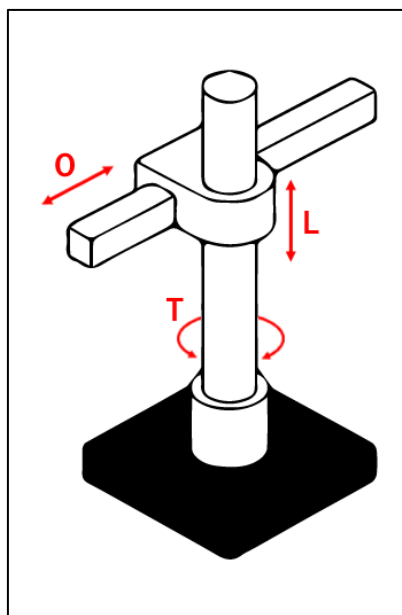


Figura 23 - Esquema de uma estrutura cilíndrica [34].

➤ Estrutura polar

Esta estrutura combina um movimento linear com dois movimentos de rotação. Ao contrário das estruturas referidas anteriormente, a estrutura polar é mais exigente de se usar. Requerem uma maior área de trabalho. Têm a capacidade de trabalhar a grandes velocidades e têm uma elevada capacidade de carga. O braço robótico polar pode ser usada para soldadura, montagem e para manuseamento de máquinas de fundição [36]. A Figura 24 representa os graus de liberdade de uma estrutura polar.

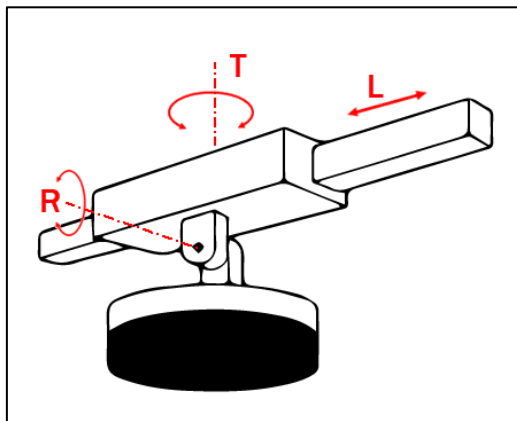


Figura 24 - Esquema de uma estrutura polar [34].

➤ Estrutura articulada

Constituída apenas por eixos de movimento rotativo. É um dos braços robóticos mais versáteis e cobijados pois é o que possui maior grau de liberdade comparativamente aos tipos de robôs mencionados anteriormente. Conseqüentemente, a programação é mais complexa e uma menor exatidão.

No entanto, as vantagens deste sistema é a grande flexibilidade, capacidade de trabalhar a grandes velocidades. São utilizados para distribuir, remover e manuseamento de materiais [34], [36]. Os graus de liberdade da estrutura articulada estão representados na Figura 25.

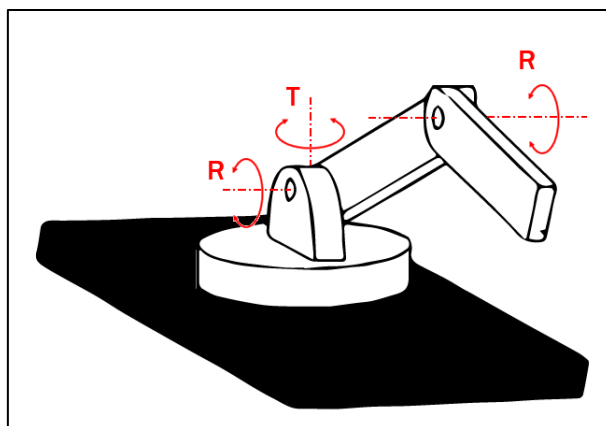


Figura 25 - Esquema de uma estrutura articulada [34].

➤ Estrutura SCARA

Selective Compliance Assembly Robot Arm (SCARA) combina a estrutura circular com a estrutura articulada. Os eixos de rotação são montados verticalmente reduzindo os movimentos realizados enquanto este move alguma peça. Tem elevada velocidade de trabalho, grande área de trabalho e uma programação moderadamente fácil. No entanto tem aplicações limitadas e um braço muito complexo. São normalmente utilizados para trabalhos *pick and place* e operações de montagem, geralmente, de componentes elétricos [36]. Os graus de liberdade estão demonstrados na Figura 26.

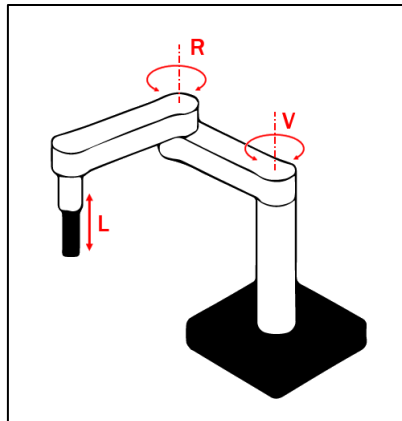


Figura 26 - Esquema de uma estrutura SCARA [34].

➤ Estrutura Spine

Assemelha-se a um só braço compacto e totalmente flexível, protegido por uma manga. É composto por um grande número de articulações motorizadas e rotulas interligadas por cabos de aço tensionados. Oferece seis graus de liberdade permitindo uma grande amplitude de movimentos. Além disso, é extremamente flexível, permitindo movimentos em espaços confinados. Na Figura 27 apresenta-se uma estrutura *spine*.



Figura 27 - Robô com estrutura *spine* [37].

➤ Robô Delta

Move-se em formato de cúpula com movimentos em todos os planos, mas não permite rotação. Desenhado para trabalhar com cargas pequenas e/ou pesadas e para velocidades elevadas para uma produção em serie. É uma ótima solução para trabalhos *pick and place* [34].

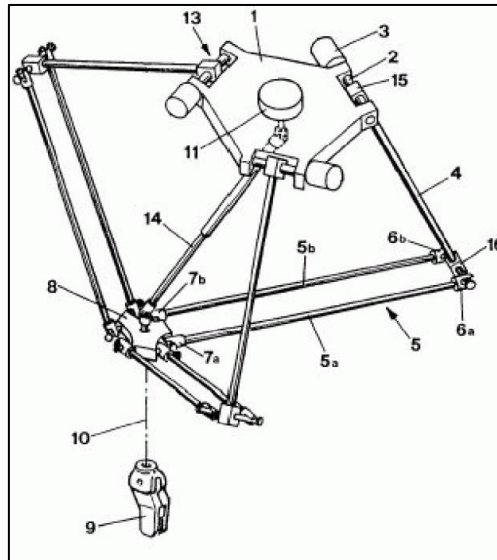


Figura 28 - Robô Delta [34].

2.4.2 Sistemas aéreos

Os sistemas aéreos de manuseamento de carga são uma boa solução quando se pretende transportar cargas por vários pontos da área de trabalho. Estes sistemas elevam a carga e deslocam-na pelo ar. Deste modo os obstáculos, como por exemplo máquinas, operários e outros elementos presentes no chão de fábrica, são evitados. Tornando este sistema, muitas vezes, mais eficaz e rápido. Principalmente quando se trata de transportar cargas pesadas e volumosas. Os sistemas aéreos são constituídos principalmente por componentes modulares *standard*, como por exemplo rodas e motoredutores, e por uma estrutura metálica.

Atualmente no mercado existe uma grande variedade de sistemas aéreos. Os mais comuns na indústria são as pontes rolantes, os pórticos, guindastes e as travessas de carga.

➤ Pontes Rolantes

Têm como principal objetivo levantar e movimentar cargas. Tem uma variedade de tipologias. Podem ser apoiadas ou suspensas. Variando também na quantidade de vigas que constituem a ponte rolante e a forma como são estruturadas.

➤ Monoviga

Este tipo de ponte rolante é constituído por uma viga principal apoiada nas cabeceiras que proporcionam o movimento no eixo perpendicular à viga. O mecanismo de elevação e o mecanismo de movimento paralelo à viga funcionam ambos sobre a viga principal [38], [39]. A estrutura representada na Figura 29 é uma monoviga instalada no interior de um armazém.

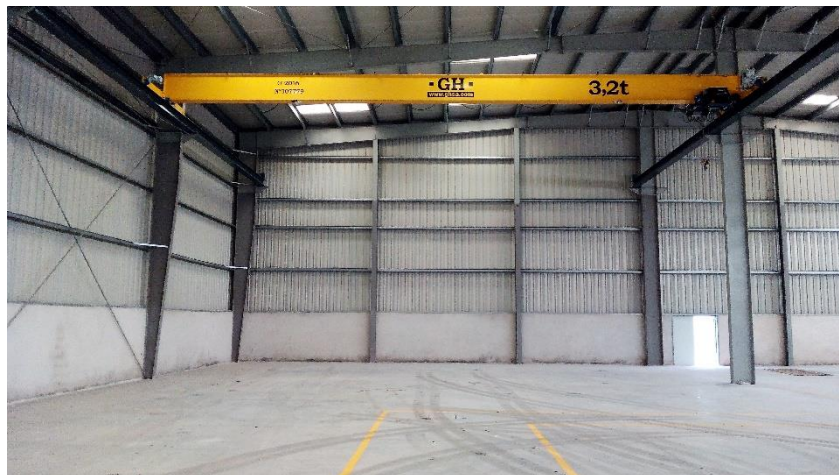


Figura 29 - Exemplo de uma ponte rolante monoviga [40].

➤ Biviga

A biviga tem o mesmo conceito e o mesmo princípio de funcionamento que a monoviga. Com a única diferença a residir no número de vigas principais. Este sistema possui duas vigas principais sendo que o mecanismo de elevação e de direção desloca-se entre essas duas vigas [38]. Essa diferença permite a este tipo de pontes rolantes suportar uma carga muito superior comparando com outras soluções [39]. A ponte rolante biviga está representada na Figura 30



Figura 30 - Exemplo de uma ponte rolante biviga [40].

➤ Suspensa

O mecanismo é muito idêntico à ponte rolante monoviga. A única diferença entre as duas é que a suspensa não possui uma ponte móvel. A ponte é constituída por uma viga tipo “I” e um carro de translação que se desloca, pelas flanges inferiores, ao longo da viga principal [39]. Tal como é representado na Figura 31.



Figura 31 - Exemplo de uma ponte rolante Suspensa [41].

➤ Pórticos

Este sistema aéreo não é muito diferente das pontes rolantes. O que difere é o facto de a ponte ser suportada rigidamente por uma estrutura de apoio que por sua vez se desloca por meios de carris fixos no chão da fábrica [39]. Estes equipamentos trazem uma grande versatilidade comparativamente às pontes rolantes. Ao contrário das pontes rolantes que só podem ser instaladas no interior dos edifícios, os pórticos podem ser instalados no interior como no exterior. Tal como como as pontes suspensas, os pórticos possuem diversas variações.

○ Pórtico completo

É das configurações mais popular na indústria. É constituída por duas estruturas metálicas que funcionam como apoios às vigas principais. Os pórticos podem ser constituídos por uma ou duas vigas. As vigas podem ter vários formatos. Na maioria dos casos são utilizadas vigas caixão e perfis L (laminados).

Tal como nas pontes rolantes a utilização de uma segunda viga principal deve se a necessidade de elevar cargas mais elevadas a uma maior altitude. Na Figura 32 encontra-se dois pórticos monoviga instalados no exterior. Um exemplo de um pórtico biviga pode ser visto na Figura 33.



Figura 32 - Exemplo de dois pórticos monoviga [42].



Figura 33 - Exemplo de um pórtico biviga [42].

○ Semi-Pórtico

Nos semi-pórticos apenas um dos lados é suportado por uma estrutura metálica apoiada em trilhos em rodas. Sendo o outro lado desloca-se numa pista instalada na estrutura do próprio edifício. Desta forma obtemos uma melhor aproveitação do chão de fábrica [42]. Na Figura 34 encontra-se um exemplo de um semi-pórtico.

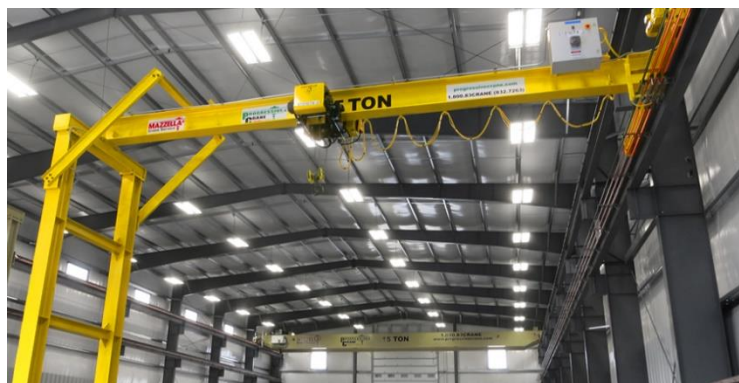


Figura 34 - Exemplo de um semi-pórtico [42].

2.4.3 Sistema de transporte (*conveyor*)

Os *conveyors* são um dos sistemas de transporte mais simples e diversificados na indústria. A transportadora de rolos permite várias configurações como curvas de

diversos ângulos e inclinações. Desta forma, permite transportar os produtos através do chão da fábrica contornando todo o tipo de obstáculos. A sua estrutura pode variar entre alumínio ou aço. O diâmetro dos rolos e o distanciamento entre eles pode variar consoante o que se pretender transportar. Na Figura 35 está representado um sistema de transporte com várias configurações.



Figura 35 - Sistema *conveyor* [43].

Este sistema apresenta numerosas vantagens tais como fácil instalação e manutenção o que o torna um sistema económico. Possui um longo tempo de utilização sem ser necessário substituição de peças e apresenta um funcionamento silencioso [44].

2.4.4 Estruturas mecânicas de transporte

As estruturas mecânicas de transporte são, na sua forma mais simples, estruturas metálicas ligadas com o propósito de facilitar o deslocamento de cargas pesadas. As componentes metálicas estão ligadas entre si, na grande maioria, por conectores mecânicos, para facilitar a sua substituição e reparação. A juntar a isso, um sistema de acionamento encarrega-se de transportar a carga. Na sua maioria, são usados para movimento de cargas na vertical. Como é o caso dos elevadores de carga, Figura 36. No caso do elevador, referido, é uma estrutura estática, no entanto há estruturas de transporte que podem ser guiadas por um operário.



Figura 36 - Elevador de carga [45].

2.4.5 Outros sistemas de manuseamento

Em alternativa aos sistemas mencionados anteriormente, temos os sistemas mais convencionais e mais comuns. Presentes em todos os armazéns e fábricas de todo o mundo. São eles:

➤ **Empilhadores**

São camiões industriais equipados com forquilha ajustáveis. Com a finalidade de levantar e transportar grandes cargas. Os empilhadores podem ser de 3 tipos distintos. Podem ser elétricos, movidos a diesel ou a Gás natural/GPL. Cada um com vantagens e finalidades distintas.

○ **Elétricos**

São, principalmente, destinados ao uso dentro de fábricas. Onde é exigido a ausência de gases de escape. Emitem pouco ruído e são altamente fiáveis, resistentes e económicos. As baterias permitem utilizar o empilhador durante um dia de trabalho sem necessidade de recarregar [46]. Uma outra vantagem destes empilhadores é o seu tamanho compacto. Isto permite a sua utilização em espaços reduzidos.



Figura 37 - Empilhador elétrico em ambiente de fábrica [46].

○ **Diesel**

Os empilhadores movidos a diesel são, de entre todos, os mais baratos, devido a sua simplicidade. Uma outra vantagem é a sua elevada potência e trabalho. No entanto, estes empilhadores desvantagens tais como o ruído produzido durante o seu funcionamento e a libertação de gases de efeito de estufa.

Sendo esta última o motivo pelo qual não pode ser utilizado no interior de fábricas. Por fim, os custos de manutenção, em comparação com os empilhadores elétricos, são muito mais elevados.

- **Gás/GPL**

Os empilhadores movidos a GPL conciliam o melhor dos dois mundos. Mesmo sendo uma tecnologia poluente, estes podem ser usados tanto no exterior como no interior. Fazem menos barulho que os empilhadores a diesel. Possuem acelerações e velocidades superiores aos empilhadores elétricos e apresentam uma maior autonomia.

- **Porta paletes**

Atualmente, existem dois tipos de porta paletes. Os manuais e os elétricos. Ambos são manobrados e controlados por um operário. O que os distingue é o seu modo de funcionamento. Os primeiros são acionados com uma força induzida pelo operário, Figura 38. O segundo, Figura 39, são acionados por um simples sinal elétrico induzido por um botão.



Figura 38 - Porta-Paletes manual [47].

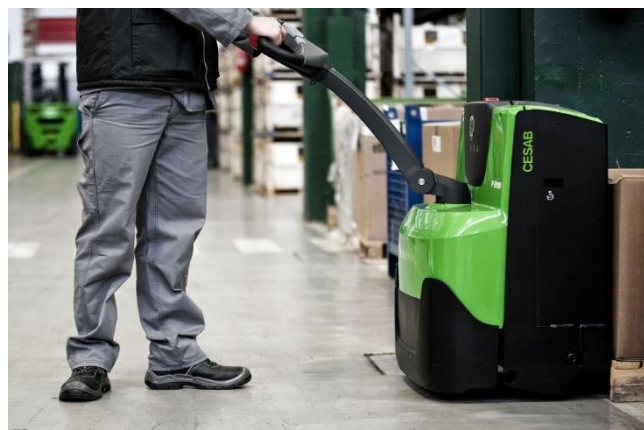


Figura 39 - Porta-Paletes elétrico [48].

➤ **AVG (Automatic Guided Vehicles)**

O AVG (Figura 40) é um transportador de carga controlado por um computador, que não necessita de um operador a bordo. O seu movimento é garantido por uma combinação de *software*, sensores e marcadores no chão de fábrica. Permitindo ao AVG seguir o percurso delineado pelos marcadores a uma velocidade controlada pelo computador integrado. Sendo, deste modo, um sistema de transporte bastante seguro. Este sistema pode ser utilizado em praticamente todas as fases da produção. Desde o transporte de matéria prima ao transporte do produto final para o armazenamento [49].

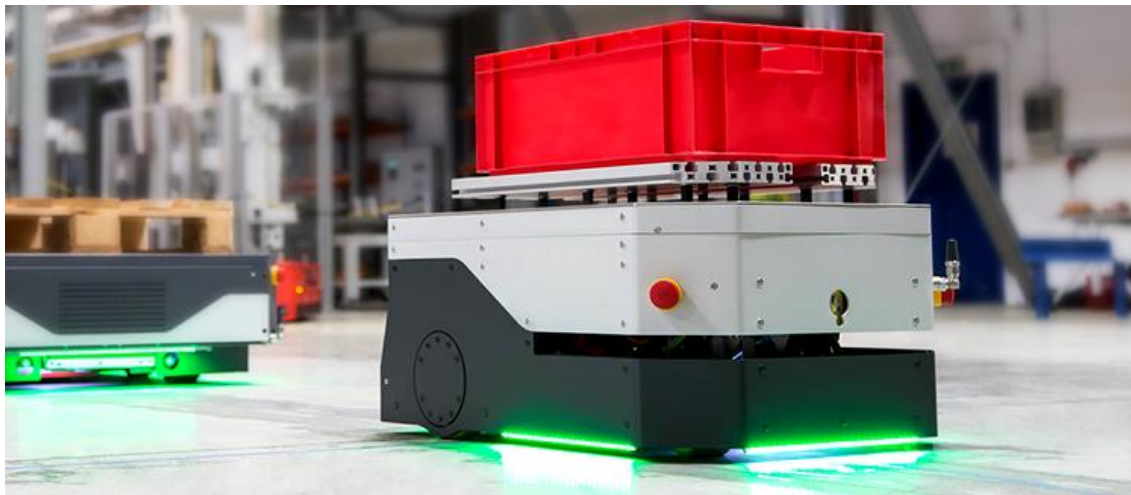


Figura 40 - Exemplo de um sistema AVG [50].

➤ **Plataformas elevatórias**

As plataformas elevatórias, Figura 41, geralmente, elevadores de tesoura, têm o objetivo de deslocar carga na vertical. Tanto podem ser estáticas como móveis e são bastante utilizadas na indústria. Principalmente no carregamento e no descarregamento de veículos. Pois é a solução mais prática e económica quando não há uma doca de carregamento ou uma rampa [51].



Figura 41 - Exemplos de uma plataforma elevatória e das suas finalidades [52].

2.5 Sistemas de acionamento

Na indústria, a força mecânica é indispensável em todo o processo de produção. Desde a matéria-prima até ao produto final. Nos inícios da história humana, essa força era fornecida pelo homem e pelos animais. Atualmente, são utilizados sistemas elétricos, pneumáticos e óleo-hidráulicos.

Estes sistemas são aplicados em diversos lugares da indústria. Quando pretendemos mover produtos, como por exemplo num sistema de rolos, Figura 42, numa linha de montagem, são utilizados sistemas elétricos. Quando pretendemos aplicar uma força para posicionar peças na posição certa, Figura 43, são utilizados sistemas pneumáticos.



Figura 42 - Motores elétricos num sistema de rolos [53].



Figura 43 - Linha produção totalmente pneumática [54].

E por fim quando é necessário a aplicação de uma grande força, como por exemplo os levantamentos de cargas pesadas, Figura 44, são utilizados sistemas óleo-hidráulicos.



Figura 44 - sistema óleo-hidráulico em maquinaria pesada [55].

Todos os sistemas possuem as suas vantagens e desvantagens. Os sistemas elétricos são os mais utilizados na indústria. No entanto não quer dizer que seja superior aos outros dois sistemas. Existe várias funções que o sistema elétrico não consegue desempenhar, sendo substituído ou pelo sistema pneumático ou pelo óleo-hidráulico.

2.5.1 Sistemas eletromecânicos

Tal como referido anteriormente, os sistemas eletromecânicos são os mais predominantes na indústria no geral. Estes sistemas têm como base a conversão de energia elétrica em energia mecânica. Para tal, existe três solução. Os solenoides, o motor de corrente contínua (DC) e os motores de corrente alternada (AC). Estes dois últimos são os mais utilizados [56]. Destes três, os Solenoides são os únicos que devolvem um impulso linear. Têm um curso muito pequeno o que restringe bastante o seu uso [56]. Por essa razão são utilizados em electroválvulas, Figura 45, para controlar o fluxo. Por isso podemos encontra estes sistemas em redes hidráulicas e de ar comprimido.



Figura 45 - Electroválvula [57].

A robustez e a fiabilidade concedem ao motor AC, Figura 46, o lugar de primeira escolha, quando é necessário acionamento. Possuem uma construção bastante simples comparado com os outros sistemas. Têm consumos baixos no arranque e em termos de manutenção são bastante económicos. A única grande desvantagem destes motores, é a velocidade constante de funcionamento [58]. No entanto esse problema pode ser contornado. A velocidade deste aparelho é definida através da potência fornecida principalmente. Portanto se for utilizado um variador de potência, podemos corrigir a desvantagem dos motores AC.



Figura 46 - Motor de corrente alternada [58].

Os motores de corrente contínua (DC), Figura 47, ao contrário dos motores de corrente alternada (AC), permitem regular a sua velocidade de funcionamento. Sem necessidade de segundos equipamentos. No entanto este sistema é bastante dispendioso, tanto em termos de construção como de manutenção. Os motores DC, possuem escovas e comutadores que são componentes de desgaste rápido [56].



Figura 47 - Motor de corrente contínua [59].

Quando postos lado a lado, os dois aparelhos apresentam os seus sins e não. Contudo há um que se destaca. O motor AC, atualmente, é o melhor a ser utilizado na grande maioria dos casos. Mesmo não tendo controlo de velocidade, só com a instalação de um variador de potência, a sua simplicidade e baixo custo colocam-no no topo das preferências.

2.5.2 Sistemas óleo-hidráulicos

Este sistema tem por base um ramo da ciência, a hidráulica. Que consiste na aplicação prática dos fluidos líquidos. Desde os tempos antigos, que temos usufruído das propriedades dos fluidos para auxiliar nas variadas tarefas. Atualmente, os sistemas hidráulicos são um dos principais meios de transmissão de energia, que atuam na indústria e no dia-a-dia. São encontrados na aviação, no trem de aterragem, permitindo aos aviões voar e aterrar em segurança. Nas grandes fabricas, permitindo a movimentação de grandes cargas.

O sistema hidráulico, Figura 48, baseia-se na lei de Pascal e nas propriedades únicas dos líquidos, principalmente a sua incompressibilidade. A Lei de Pascal cita que, num fluido em repouso e num recipiente fechado, a pressão aplicada num dos ponto é transmitida para todas as porções do fluido sem perdas e para todas as paredes do recipiente [60]. As vantagens deste sistema são, a capacidade de atuadores de pequenas dimensões trabalharem com grandes cargas e a precisão com que podem ser manuseados [60]. No entanto, este sistema é bastante dispendioso e necessita de bastante manutenção de forma a poder trabalhar na sua capacidade máxima.



Figura 48 - Sistema hidráulico [61].

2.5.3 Sistemas pneumáticos

Por fim, o último sistema de acionamento são os movidos por gases. Designados por sistemas pneumáticos, Figura 49. Estes assemelham-se em muitas partes aos sistemas hidráulicos.

Na pneumática são utilizados gases para a transmissão de energia. E daí uma das vantagens frente à hidráulica. O ar comparado ao fluido hidráulico é muito mais barato. As pressões em que os sistemas pneumáticos são inferiores ao do sistema hidráulico. Por essa razão, são necessários atuadores muito maiores para atingir as cargas de um sistema hidráulico.

No entanto, este sistema é dos mais utilizados na indústria. Graças ao seu baixo custo, facilidade de operação a grande versatilidade e ao facto de ser um processo bastante mais limpo.



Figura 49 - Sistema pneumático [62].

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Caracterização da empresa
- 3.2 Solução atual
- 3.3 Caracterização do problema
- 3.4 Requisitos do projeto
- 3.5 Anteprojeto
- 3.6 Projeto

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização da empresa

Com mais de 60 anos de história, a ARFIT especializou-se na área da climatização. Tem como objetivo a excelência na prestação de serviços e fornecimento de equipamentos.

A história desta empresa remonta ao ano de 1944. Com o passar dos anos, os seus administradores foram acumulando experiência no mercado e conhecimento na área da climatização, até que em 2008, focaram os seus esforços para criar uma marca portuguesa no mercado da climatização e da eficiência energética, que até então faltava no mercado nacional.

O objetivo principal da empresa é proporcionar soluções adaptáveis a qualquer caso com a maior qualidade. A ARFIT oferece ainda serviços manutenção eficientes e de rápida ação. Esta dedicação e trabalho árduo resultou na atribuição do estatuto de PME Líder.

Em 2012, a empresa colocou no mercado a solução ARFIT. Uma solução completa, integrada e personalizada de equipamentos, controlo e gestão de sistemas AVAC. Um passo no futuro, pioneira no mercado.

Com sede e fábrica na Maia. Em 2018 adquiriu um novo espaço dedicada a produção. No mesmo ano adquiriu uma punctionadora com o objetivo de se tornar mais independente, não necessitando de subcontratar o corte das peças. Em 2020, deu-se a expansão da área de armazenamento e de produção com a ocupação do espaço adjacente ao atual. Desta forma foi possível melhorar os tempos de produção e a qualidade dos produtos. Com isso foi possível atingir o patamar que a ARFIT ocupa representando marcas mundialmente conhecidas na área do AVAC e exportando para os vários cantos do mundo.



Figura 50 - Logo da empresa ARFIT [63].

3.2 Solução atual

Em 2018, a ARFIT adquiriu uma puncionadora com sistema de carga e descarga automática, igual à representada na Figura 51. Desta forma, a empresa tornou-se mais independente na fabricação das máquinas de tratamento de ar.



Figura 51 - Puncionadora com sistema automático de carga e descarga [64].

Este novo equipamento permitiu à empresa realizar o corte das chapas internamente. O que melhorou os tempos e reduziu os custos de produção. No entanto esta solução tem contratempos. Uma unidade de tratamento de ar é composta por chapas de diferentes materiais e diferentes espessuras. Isto leva a ter de criar uma ordem de trabalho e carregar a puncionadora com as chapas específicas segundo essa ordem.

A sequência de trabalho habitual para se realizar o corte é a seguinte. Os operários colocam o lote de chapa que se pretende cortar na puncionadora. A máquina de corte de seguida faz o manuseamento da chapa e o seu respetivo corte. Quando se pretende alterar o tipo e a espessura da chapa o processo tem que parar e retirar o lote de chapa presente na puncionadora e colocar um o lote de chapa com espessura diferente.

Esta troca, em média, demora 5 minutos. Quando o empilhador está a ser utilizado para outro fim este processo pode demorar muito mais, obrigando a paragem da puncionadora e conseqüentemente ao atraso da produção. O processo de carregar e descarregar a puncionadora com um tipo de chapa demora no mínimo 10 minutos.

3.3 Caracterização do problema

A solução atual não apresenta nenhum problema quando os componentes cortados são da mesma espessura e do mesmo material. O próprio equipamento possui uma área de armazenamento que faz a carga e descarga da puncionadora. No entanto, quando o

objetivo é trabalhar chapa com diversas espessuras e tipos os problemas começam a surgir. Neste cenário a puncionadora perde a sua automação e começa a ser mais dependente da mão humana para poder realizar o seu trabalho de forma continua.

Quando a ordem de trabalho engloba chapas diferentes entre si, é necessária mão humano para realizar a troca da chapa na área de carga da puncionadora. Isso acarreta parar a máquina para proceder à troca para depois poder proceder com o respetivo corte. Para trocar o tipo de chapa é necessário dois operários e o empilhador. Todo este processo demora no mínimo 10 minutos. Normalmente é necessário trocar de chapa, no mínimo, 3 vezes por dia. Ao final de um mês, o tempo em que o corte da chapa é interrompido para trocar de chapa é de 11 horas. Em termos de mão de obra, a troca de chapa resulta em 22 horas de mão de obra que podiam ser utilizadas para atividades mais proveitosas.

3.4 Requisitos do projeto

Os principais objetivos deste projeto são armazenar e manusear chapas de diversos materiais e diversas espessuras. Posto isto, é necessário satisfazer inúmeros requisitos.

O primeiro requisito é a capacidade de armazenamento. Deve ser dividido em vários setores com a finalidade de dividir a chapa por material e por espessura. E terá que ser capaz de armazenar, no máximo, chapa com 1500 milímetros de largura por 3000 milímetros de comprimento. O sistema de manuseamento tem que ter a capacidade de mover chapas até 2,5 mm de espessura.

O sistema, no geral, tem que ser totalmente automatizado, de forma a utilizar os recursos da fábrica noutras atividades. Um outro aspeto a ter em conta é o tamanho do equipamento. A atual fábrica da ARFIT possui algumas limitações de espaço e, portanto, este equipamento tem que ser compacto.

3.5 Anteprojeto

3.5.1 Tempestade de ideias

Depois de reunidos os requisitos do projeto foram elaboradas e analisadas várias soluções. Cada solução foca um aspeto importante da conceção do produto e respetivas limitações. Desta forma, foi possível chegar a uma solução que respeita todos os requisitos, conseguindo assim uma solução eficiente e compacta.

3.5.1.1 Armazenamento vertical

A primeira solução, esquematizada na Figura 52, baseia-se num armazém de chapa vertical (1) seguido de um elevador pneumático (2), posicionado à frente do local de carga e descarga da puncionadora (3), e esta seria alimentada uma chapa de cada vez.

As chapas seriam dispostas no *rack* por espessura e por material. As chapas seriam deslocadas do armazém até à puncionadora por vácuo utilizando um conjunto de ventosas. No sistema de distribuição estariam instalados atenuadores pneumáticos que proporcionariam o movimento necessário ao sistema de ventosas.

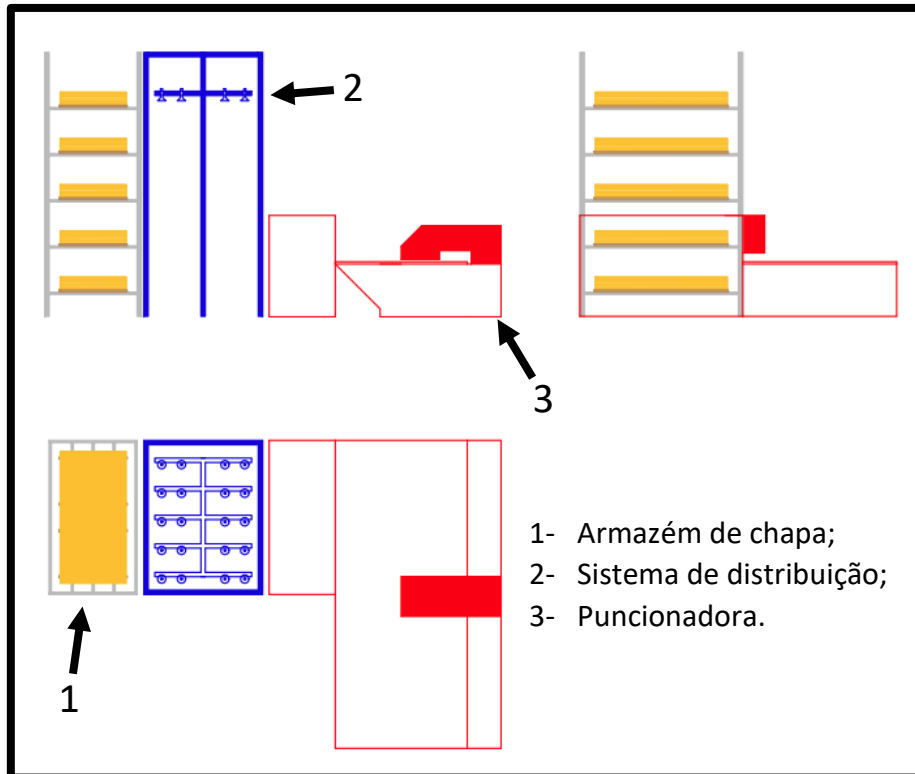


Figura 52 - Esquema do armazém vertical.

3.5.1.2 Armazenamento horizontal com carro

A segunda hipótese consiste em colocar o armazém de chapa (3) lado a lado com a puncionadora (2) e criar uma secção de *pick and place* onde um sistema cartesiano de manuseamento de chapa (1), equipado com ventosas, pega na chapa do seu compartimento e coloca num carro (4). Um sistema computacional analisa a ordem de trabalho da puncionadora e faz a seleção das chapas de forma automática. O sistema de manuseamento coloca as chapas no carrinho respeitando a ordem de corte.

A Figura 53 representa esquematicamente a solução descrita.

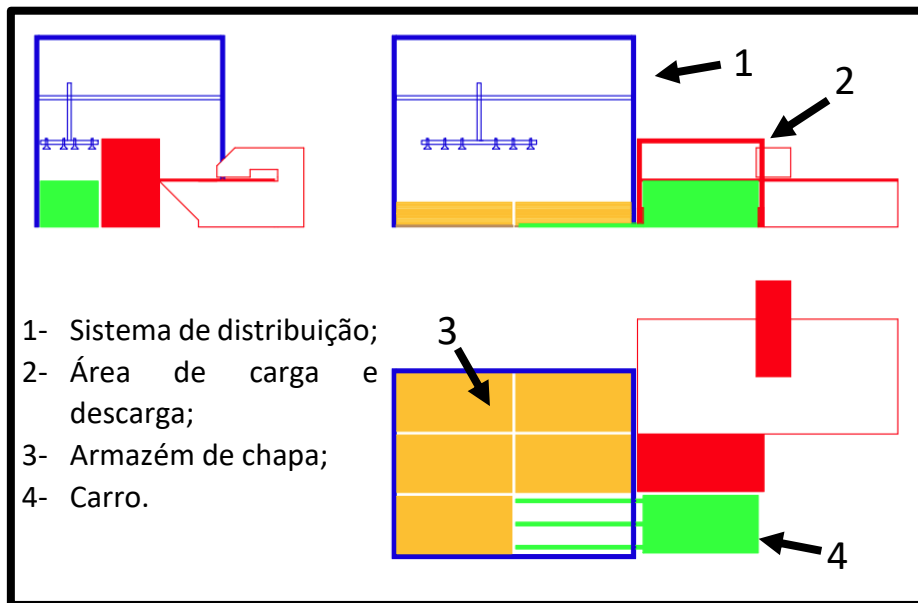


Figura 53 - Esquema da solução com armazém horizontal com carro.

Este carro, com o auxílio de um sistema pneumático, deve deslocar-se entre a secção de carregamento de chapa e o local de carregamento da puncionadora, procedendo à descarga. As chapas serão empilhadas por material e espessura no chão de fábrica, à volta do local de carregamento do carro. Este sistema pressupõe a utilização de um sistema de manuseamento aéreo de forma a alcançar todos os lotes de chapa e, desta forma, poder transportar a chapa do lote até ao carro. Um sistema de ar comprimido garantirá o movimento da grua e a sucção necessária para levantar as chapas.

3.5.1.3 Armazenamento vertical com carro

Por último, a terceira solução idealizada consiste numa junção das duas anteriores, tal como é apresentado na Figura 54. As chapas são guardadas em altura (3), tal como na primeira solução. As chapas são recolhidas por um sistema de ventosas para um carro (4) que posteriormente se deslocará até a puncionadora, tal como na segunda solução.

Uma estrutura metálica (1) suportará todo o sistema de elevação e o sistema de ventosas, servindo assim como local de carga para o carro. Dois conjuntos de atuadores pneumáticos, instalados na estrutura metálica (1), encarregam-se de toda a movimentação necessária do sistema de ventosas para poder mover as chapas.

O carro (4) incorporará um elevador de tesoura com o objetivo de diminuir o tempo de carga do mesmo. Desta forma, o carro (4) acompanha a elevação do sistema de ventosas, o que permite diminuir os movimentos necessários das ventosas para realizar a tarefa.

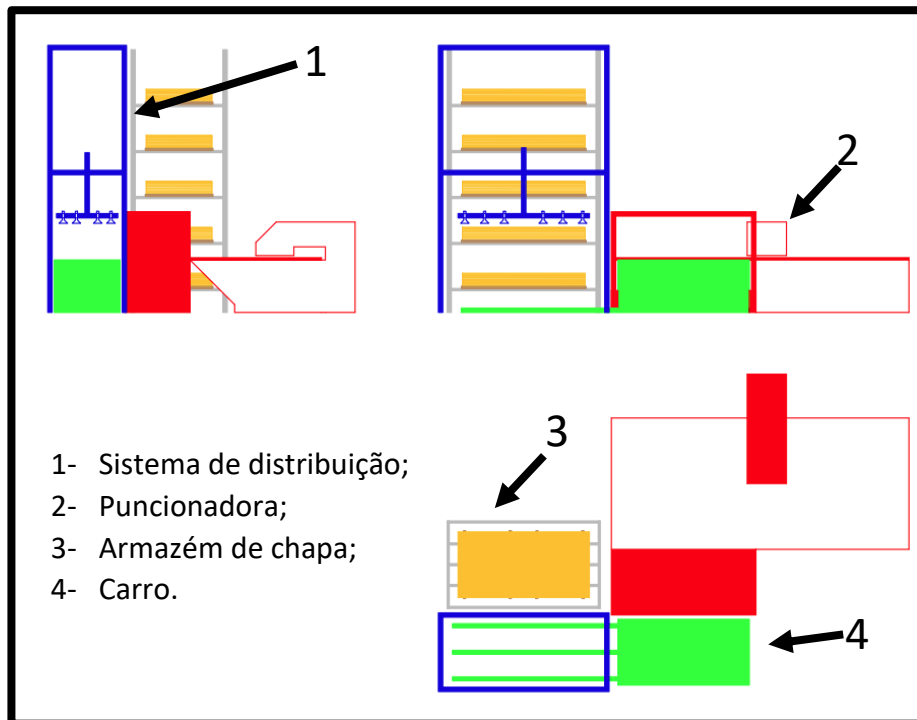


Figura 54 - Esquema da terceira solução.

3.5.2 Escolha da solução a implementar

Para escolher a melhor solução foi realizada uma análise SWOT (*strengths, weaknesses, opportunities and threats*). Para cada solução foi construída uma tabela onde foram apontados os pontos positivos e negativos e também foram descritos os possíveis problemas existentes.

A primeira solução resulta em mais aspetos negativos do que positivos, tal como comprova a Tabela 1. O objetivo principal do projeto era diminuir o tempo de preparação do corte da chapa, aumentando consequentemente a produtividade. Na tabela anterior é explicado como esse objetivo não é cumprido. De facto, o carregamento unitário aumenta o tempo necessário de corte. O armazém de chapa vertical também é um problema a ter em conta. Para ter uma grande variedade de chapa é necessário crescer à altura do armazém, o que obriga a aumentar em altura o sistema de distribuição para poder chegar aos níveis superiores. Quanto maior for o sistema, mais propício é este a problemas a nível de construção mecânica e a nível de atuação pneumática.

Tabela 1 - Análise SWOT do armazenamento vertical.

<p style="text-align: center;">Forças</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema compacto. • Baixo número de componentes, o que reduz o custo de produção e de manutenção.
<p style="text-align: center;">Fraquezas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A utilização de um armazém vertical limita o <i>stock</i> e a variedade de chapa; • O processo de corte pode parar caso seja necessário descarregar um grande número de chapas da puncionadora; • O processo de carga e descarga seria bastante demorado.
<p style="text-align: center;">Oportunidades</p>	<ul style="list-style-type: none"> • O espaço economizado com este sistema permite melhorar o aproveitamento do espaço.
<p style="text-align: center;">Ameaças</p>	<ul style="list-style-type: none"> • O limitado <i>stock</i> de chapa obriga à criação de um novo sistema, caso a produção expanda; • No caso de uma avaria no sistema de carga próprio da puncionadora, o armazém de chapa e o sistema de distribuição terão de ser desmontados.

Na Tabela 2 está descrita a análise SWOT da segunda solução. Esta apresenta melhores resultados do que a primeira em relação a tempos de carregamento e no seu funcionamento em geral. No entanto, no caso da empresa em questão, esta solução não é a mais adequada pois seria necessário bastante espaço livre para o sistema completo, espaço esse que a empresa não dispõe.

Tabela 2 - Análise SWOT do armazenamento horizontal com carro.

Forças	<ul style="list-style-type: none">• Permitir carregar a puncionadora com um conjunto de chapas de uma vez;• Um armazém ao nível do chão permitir uma grande variedade de chapa;• O carregamento por lote permitir descarregar a puncionadora sem interromper o corte da chapa.
Fraquezas	<ul style="list-style-type: none">• O armazém de chapa ocupar muito espaço;• O carregamento do carro envolve muitos movimentos do sistema cartesiano, atrasando o processo;• Este sistema apresenta grandes dimensões o que se reflete no preço de construção e de manutenção;• O abastecimento do stock de chapa é muito complicado devido ao difícil acesso aos lotes.
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none">• O sistema de carro pode ser modificado para alimentar mais do que uma máquina;• Capacidade de expandir o sistema de distribuição de forma a abastecer vários carros.
Ameaças	<ul style="list-style-type: none">• No caso de avaria do sistema de distribuição o fornecimento de chapa pode ficar comprometido devido ao difícil acesso aos lotes de chapa.

Os pontos fortes e fracos da última solução são apresentados na Tabela 3. Dentro de todas as soluções, esta foi a que apresentou mais pontos fortes e menos fraquezas. No que toca às oportunidades, esta apresentou um conjunto de melhorias capazes de aumentar a produtividade, com a criação de várias linhas de alimentação.

Tabela 3 - Análise SWOT do armazenamento vertical com carro.

<p style="text-align: center;">Forças</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema compacto; • Permite carregar a puncionadora com um conjunto de chapas de uma vez; • O carregamento por lote permite descarregar a puncionadora sem interromper o corte da chapa; • O sistema de distribuição realiza movimentos apenas em duas direções, o que acelera o processo; • O abastecimento de chapa tem lugar nas traseiras do <i>rack</i>.
<p style="text-align: center;">Fraquezas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A utilização de um armazém vertical limita o <i>stock</i> e a variedade de chapa.
<p style="text-align: center;">Oportunidades</p>	<ul style="list-style-type: none"> • O sistema de carro poderia ser modificado para alimentar mais do que uma máquina; • Capacidade de expandir o sistema de distribuição de forma a abastecer vários carros; • Permitiria a criação de mais <i>racks</i> para o armazenamento de chapa sempre que necessário.
<p style="text-align: center;">Ameaças</p>	<ul style="list-style-type: none"> • O custo de manutenção elevado devido aos vários elementos pneumáticos e mecânicos.

Resumindo, depois de uma análise cuidadosa dos pontos fracos e dos pontos fortes de cada solução apresentada, ficou decidido que a melhor solução a adotar para o projeto é a solução com o armazenamento vertical e com carro.

3.6 Projeto

3.6.1 Representação geral do equipamento

O equipamento é composto por quatro partes fundamentais. A Figura 55 mostra o equipamento completo com as diferentes partes identificadas. O sistema é composto pela base (1) que promove o movimento horizontal do carro. Pelo carro (2) que vai buscar as chapas ao sistema de carga (3) e coloca-as na puncionadora. A terceira parte é o sistema de carga (3) que promove o movimento vertical do sistema de ventosas (4). Por fim, o sistema possui um sistema de ventosas (4) que pega nas chapas que estão no armazém de chapa.

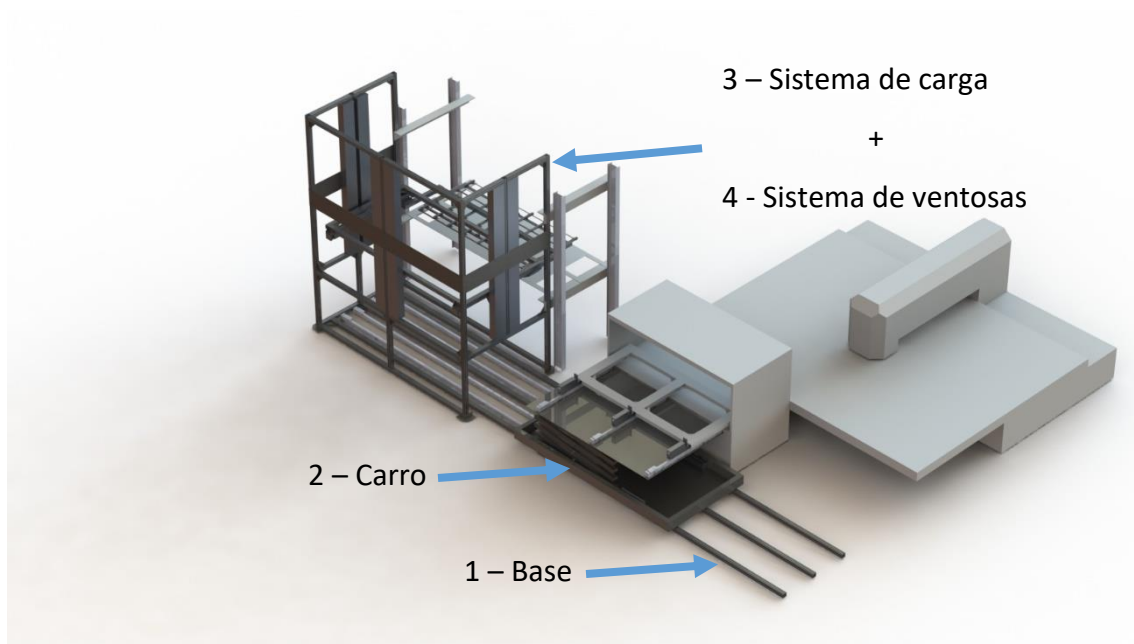


Figura 55 - Representação do equipamento

A base tem como propósito deslocar o carro entre a estrutura metálica que suporta o sistema de ventosas e a puncionadora. Este sistema é constituído por um conjunto de atuadores e guias deslizantes. O resto da estrutura serve de apoio para a estrutura elevatória.

A Figura 56 mostra a base do equipamento projetado.



Figura 56 - Representação da Base.

O carro, representado na Figura 57, transporta o lote de chapa separada do elevador até à puncionadora. Este desloca-se sobre as guias deslizantes da base.

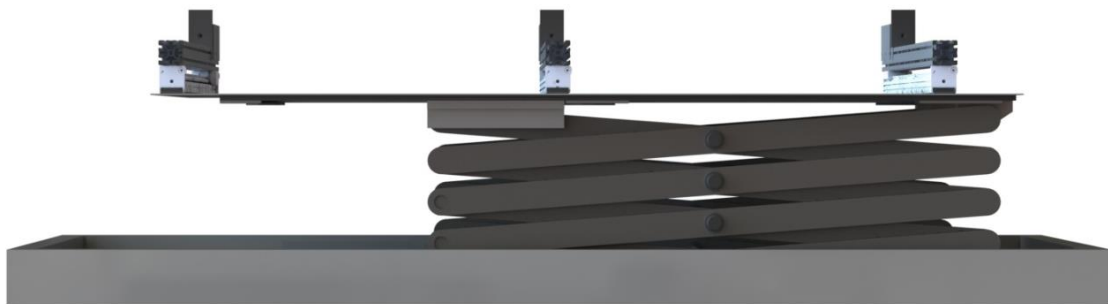


Figura 57 - Carro/elevador tesoura.

O carro foi projetado para funcionar como elevador de tesoura. Desta forma, o carro consegue acompanhar a elevação do sistema de ventosas, como mostra na Figura 58, o que permite aumentar a eficiência do sistema.

O carro possui no andar superior um sistema de descarga para colocar a palete com as chapas separadas no sistema de carga da puncionadora no final do processo.

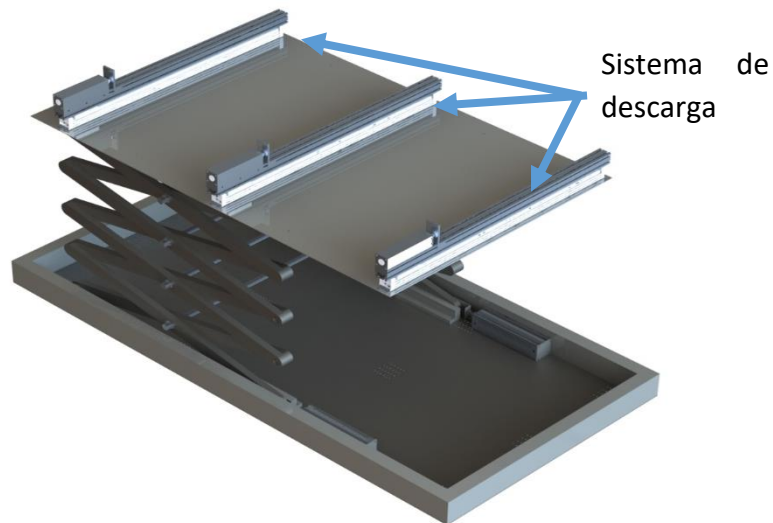


Figura 58 - Elevação do carro.

A estrutura representada na Figura 59 desloca o sistema de ventosas na vertical através de três atenuadores pneumáticos sem haste colocados em três perfis da estrutura. Assim, o sistema de ventosas alcança todos os níveis de chapa do armazém. A estrutura foi desenhada com 4,8 metros de altura, o que permite armazenar chapa em *racks* até 4 metros de altura. Dentro da estrutura, o sistema de ventosas sobe até aos 4,8 metros de altura. No entanto a sua posição mais baixa é 2 metros do chão, esta altura mínima permite a entrada do carro dentro da estrutura e facilita a colocação das chapas desejadas no carro.



Figura 59 - Estrutura que sustenta e eleva o sistema de ventosas.

O sistema de ventosas é constituído por duas estruturas de perfil distintas uma da outra. A Figura 60 mostra as duas estruturas acopladas.

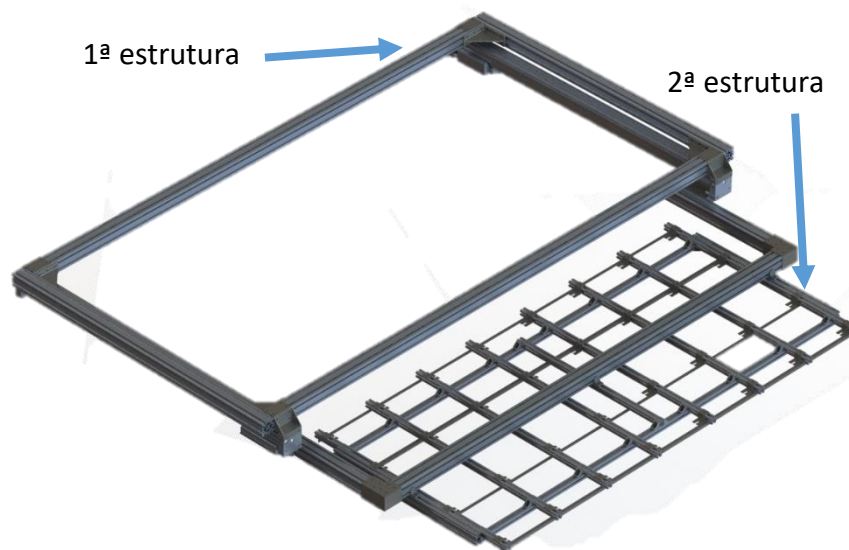


Figura 60 - Sistema de ventosas completo.

A primeira, representada na Figura 61, serve de ligação à estrutura elevatória referida anteriormente, e está acoplada aos atenuadores pneumáticos que promovem a subida e a descida do conjunto. Esta primeira parte do sistema de ventosas ainda possui dois atenuadores lineares que garantem o deslocamento horizontal necessário para as ventosas contactarem a chapa.



Figura 61 - Primeira estrutura do sistema de ventosas.

A segunda estrutura do sistema de ventosas, representada na Figura 62, tem apenas como função o suporte das várias ventosas distribuídas de forma a cobrir toda a área da chapa.

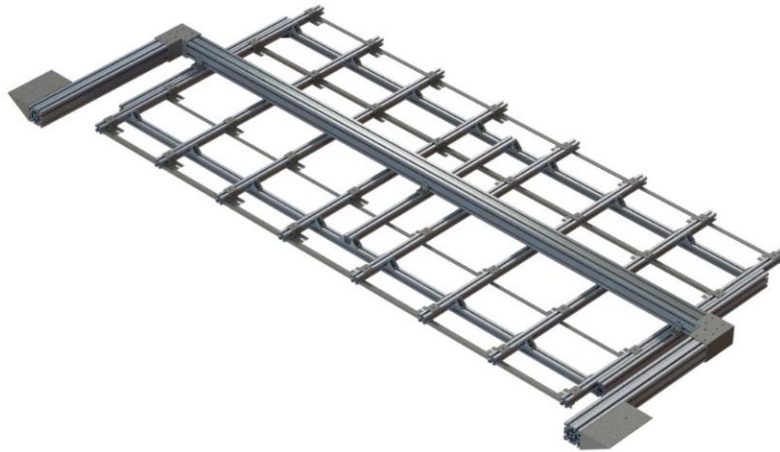


Figura 62 - Segunda estrutura do sistema de ventosas.

3.6.2 Funcionamento do equipamento

A posição inicial do equipamento projeto está representada na Figura 63. Depois do seu funcionamento, o carro deve regressar ao local de carga e o sistema de ventosas deve baixar para o nível mais baixo.

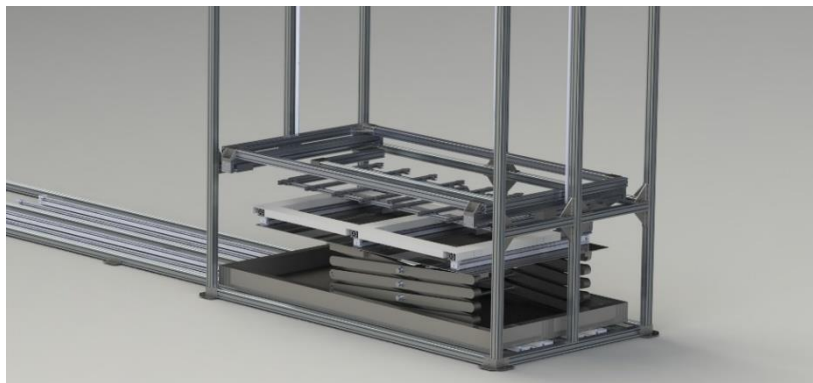


Figura 63 - Posição inicial do processo de carregamento.

Em primeiro lugar uma ordem de trabalho deve entrar no sistema. A ordem de corte será processada e daí surge a sequência de empilhamento das chapas. Posteriormente, e seguindo a sequência de empilhamento, o sistema de ventosas, juntamente com o carro, devem subir até chegar ao patamar da chapa desejada (Figura 64).

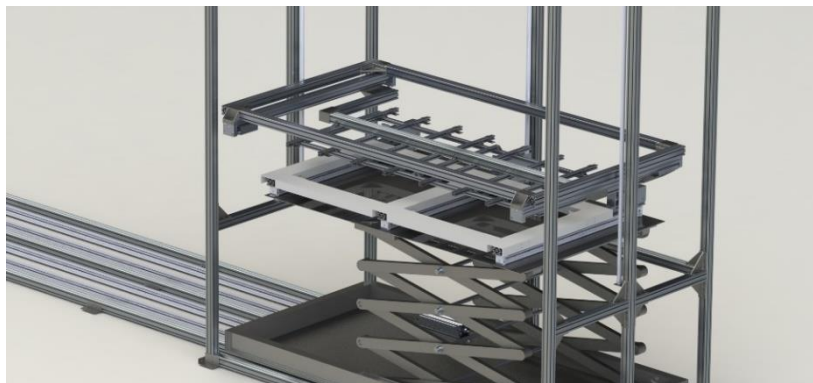


Figura 64 - O sistema de ventosas e o andar superior do carro sobem ao patamar desejado.

Depois de alcançado o nível desejado, tanto o sistema de ventosas como o andar superior do carro fixam as suas posições. O atenuador do sistema de ventosas irá deslocar as ventosas até ficarem sobre a chapa (Figura 65). Por sucção, a chapa será levantada e o movimento do sistema revertido até ficar por cima do carro.



Figura 65 - O sistema de ventosas avança sobre a chapa.

Depois de concluído o empilhamento das chapas pela ordem correta, o andar superior e o sistema de ventosas descem para a sua posição inicial. De seguida, um conjunto de atuadores pneumáticos, localizados na base, fazem mover o carro até à sua posição de descarga, tal como se encontra representado na Figura 66.

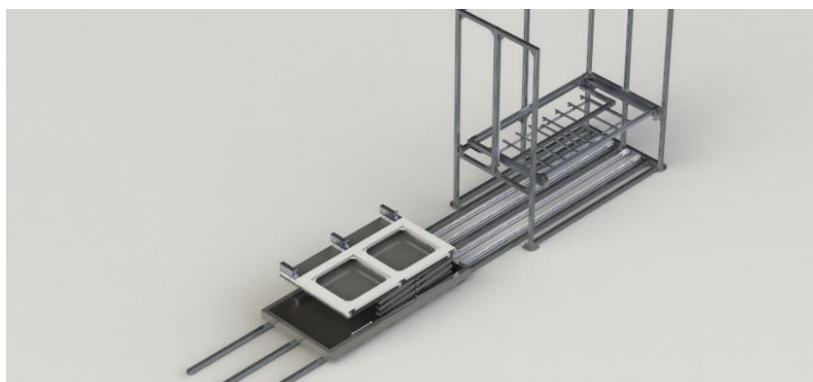


Figura 66 - Posição de descarga do carro.

Para concluir o processo, três guias lineares colocam a paleta com as chapas dentro da puncionadora (Figura 67). Depois de concluída a descarga, o carro volta para a sua posição inicial.

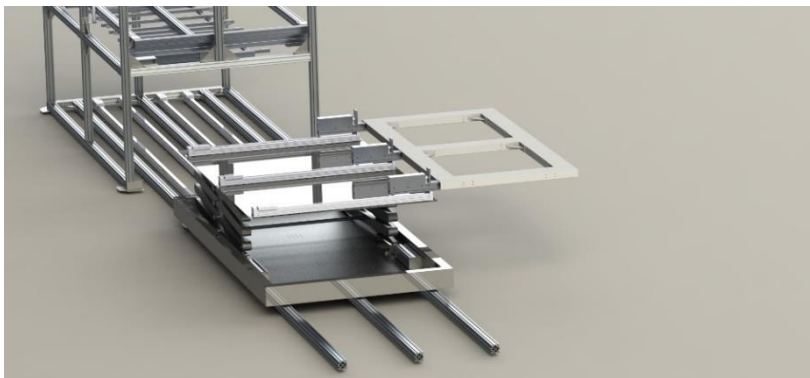


Figura 67 - Colocação das chapas na puncionadora.

3.6.3 Métodos de dimensionamento utilizados

De modo a assegurar o melhor funcionamento do projeto foram selecionados os componentes mais importantes e realizado o seu devido dimensionamento. O dimensionamento recaiu sobre todos os equipamentos pneumáticos, sistema de vácuo e em zonas da estrutura que podiam ceder devido à elevada carga aplicada nelas. O objetivo do dimensionamento dos atuadores é garantir a escolha mais indicada dos modelos, de forma a proporcionarem o movimento necessário das diversas partes do equipamento. O dimensionamento do sistema de ventosas tem como finalidade escolher as ventosas e o gerador de vácuo capazes de pegar na chapa com maior massa e deslocá-la com uma velocidade mínima de $0,5 \text{ m/s}^2$.

Como se trata de uma projeção de um protótipo, todo o processo de dimensionamento tem por base o método analítico, não havendo por detrás nenhuma base prática. Durante este processo de dimensionamento utilizou-se vários princípios básicos de física, como por exemplo, no cálculo das forças e nas suas distribuições. Posto isto, os cálculos aqui presentes são totalmente teóricos necessitando sempre da vertente prática para consolidar o protótipo.

Todos os atuadores foram dimensionados com base os cálculos apresentados nas suas respetivas folhas de seleção. Também foram realizados cálculos para determinar a quantidade de ventosas e a força de sucção necessária para levantar as chapas.

A nível da estrutural foi utilizado o método de elementos finitos em vários elementos da máquina com o objetivo de confirmar se as estruturas se encontram em segurança quando esta é sujeita às respetivas cargas de serviço.

3.6.4 Projeto dos vários conjuntos da máquina

No decorrer deste capítulo serão apresentados todos os processos de dimensionamento de vários componentes. Na Figura 68 estão localizados os componentes dimensionados. Primeiro foi dimensionado o sistema de vácuo (1) que vai manusear as chapas. De seguida os atuadores do sistema de carga (2) que irão movimentar as ventosas na vertical. Para um deslocamento horizontal das ventosas foram dimensionados os atuadores no suporte das ventosas (3). Todos os movimentos do carro são proporcionados por atuadores. Os atuadores da base do carro (4) foram dimensionados para suportar sobre ele um grande número de chapas. Os atuadores 5 e 6 foram dimensionados para o equipamento ser capaz de descarregar as chapas do carro para a puncionadora. Por fim, foi realizado o dimensionamento dos atuadores da base (7) para escolher o modelo mais adequado para o deslocamento do carro na horizontal. Em relação ao MEF, foi realizada uma análise ao sistema de carga e à estrutura das ventosas pois estas estarão sujeitas a uma maior carga.

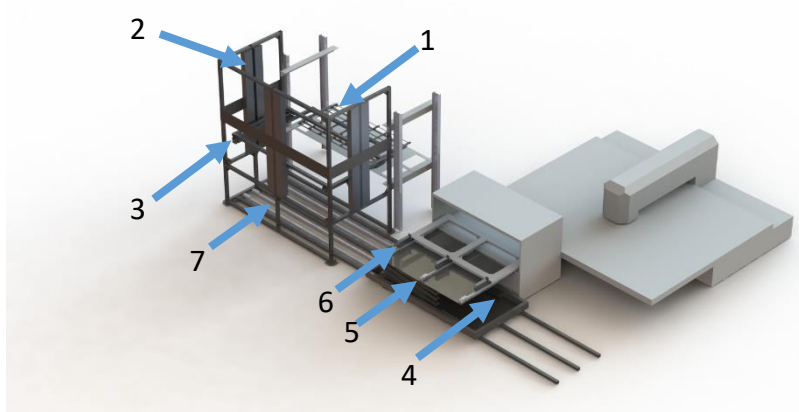


Figura 68 - Localização de todos os componentes dimensionados.

3.6.4.1 Dimensionamento do sistema de sucção

Para levantar a chapa será utilizado um sistema de sucção constituído por uma bomba de vácuo e por ventosas. A bomba criará uma pressão negativa entre as ventosas e a chapa, o que permitirá suportar e manusear a chapa.

O dimensionamento das ventosas depende da disposição das mesmas e da direção do deslocamento. A Figura 69 representa a estrutura de ventosas com a localização das ventosas rodeado a vermelho. As ventosas estão distribuídas uniformemente pela estrutura de forma a abranger uma grande área de chapa. Neste projeto, a chapa é levantada verticalmente e deslocada horizontalmente.

Para efeitos de cálculo é arbitrada uma aceleração de $0,5 \text{ m/s}^2$. Considerou-se também a chapa mais pesada sendo esta a chapa de aço galvanizado com 2,5 mm de espessura e 3 metros de comprimento por 1,5 metros de largura.

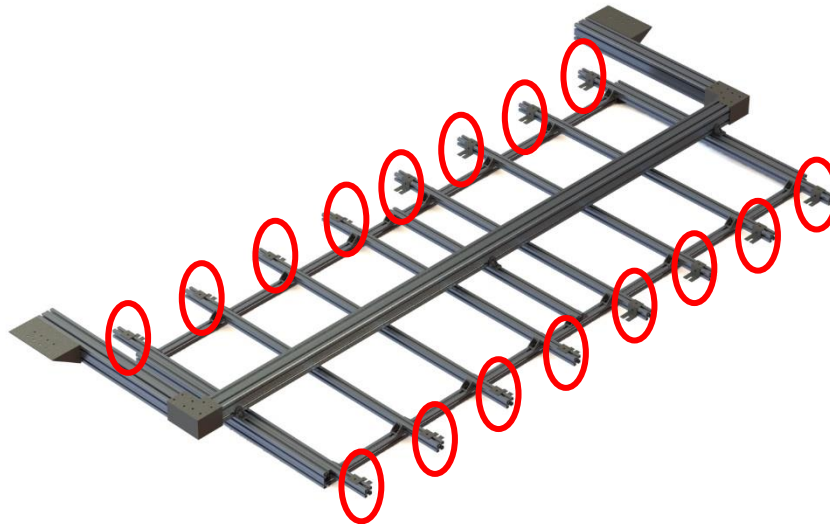


Figura 69 - Estrutura que suporta as ventosas e as suas respetivas localizações.

O primeiro aspeto a ter em conta para dimensionar as ventosas é o peso da chapa a levantar. Para os cálculos considerou-se a chapa com maior massa utilizada na produção dos equipamentos da marca ARFIT. A seguinte expressão (1) foi utilizada para estimar a massa das chapas

$$m = C \times L \times E \times \rho, \quad (1)$$

sendo as seguintes variáveis:

- m = massa (kg);
- C = comprimento da chapa (m);
- L = Largura da chapa (m);
- E = espessura da chapa (m);
- ρ = massa volúmica (kg/m^3).




O valor da massa volúmica do aço é de 7870 kg/m^3 . Posto isto, tem-se que

$$m = 3 \times 1,5 \times 0,0025 \times 7870$$

$$m = 88,54 \text{ kg}$$

Conforme apresentado na Tabela 4, para cada caso há uma expressão específica para calcular a força teórica de retenção, valor este que vai ser utilizado para o cálculo da força de sucção necessária para o equipamento.

Tabela 4 - Tipo de levantamento e respectivas equações (Anexo A).

Posição horizontal com deslocamento na vertical	Posição horizontal com deslocamento na horizontal	Posição vertical com deslocamento na vertical
		
$F_H = m \times (g + a) \times S$	$F_H = m \times \left(g + \frac{a}{\mu}\right) \times S$	$F_H = \left(\frac{m}{\mu}\right) \times (g + a) \times S$

As variáveis presentes na tabela são descritas a seguir:

- F_H = força de retenção teórica de sucção (N);
- m = massa (kg);
- g = aceleração gravítica (9,81 m/s²);
- a = aceleração do sistema (m/s²);
- S = fator de segurança;
- μ = fator de fricção.

Por fim, o valor do fator de segurança varia entre 1,5 e 2 (para materiais rugosos, peças não uniformes e materiais porosos). O fator de atrito entre 0,1 e 0,6 consoante o tipo de superfícies da peça a ser manuseada. Estas informações referentes a estas duas variáveis podem ser consultadas no Anexo A. Para o dimensionamento das ventosas, analisando a superfície da chapa e consultando o Anexo A concluiu-se que para este caso o fator de segurança é de 1,5 e o fator de atrito é de 0,1.

Posto isto, para o primeiro caso, a força de retenção teórica é

$$F_H = 88,54 \times (9,81 + 0,5) \times 1,5 = 1369,3 \text{ N}$$

Para o segundo caso, tem-se

$$F_H = 88,54 \times \left(9,81 + \frac{0,5}{0,1}\right) \times 1,5 = 1967 \text{ N}$$

Dos dois casos possíveis neste projeto, o segundo caso é o mais crítico apresentando uma força de retenção teórico mais elevada. Por essa razão, foi escolhido este mesmo caso para o dimensionamento. De seguida, para calcular a força de sucção foi utilizada a expressão (2)

$$F_S = \frac{F_H}{n}, \text{ onde} \quad (2)$$

- F_S = força de sucção (N);
- n = Número de ventosas.

Para um conjunto de 16 ventosas a força de sucção vai ser:

$$F_S = \frac{1967}{16} \approx 123 \text{ N}$$

Neste projeto serão utilizadas ventosas planas da FESTO, com conexão ESS (Figura 70).



Figura 70 - Ventosa com conexão da FESTO [65].

Com a força de sucção calculada anteriormente foi retirado da Tabela 5, referente ao tipo de ventosa selecionado, o diâmetro das ventosas necessário para o seu correto funcionamento.

Tabela 5 - Informação técnica das ventosas ESS [66].

Technical data						
Suction cup Ø [mm]	Allocation of suction cup holders → ESH	Holding force at nominal operating pressure -0.7 bar [N]	Suction cup volume [cm ³]	Min. workpiece radius [mm]	Weight	
					ESS [g]	ESV [g]
2	Size 1	0.1	0.002	10	0.1	–
4		0.46	0.008	10	0.1	–
6	Size 2	1.1	0.015	15	0.2	–
8		2.3	0.030	20	0.2	–
10	Size 3	3.9	0.050	30	1.5	–
15		8.5	0.208	35	1.9	–
20	Size 4	16.3	0.318	60	6.4	1.6
30		40.8	0.867	110	9	2.7
40		69.6	1.566	230	16.3	7.4
50		105.8	2.387	330	22	11.2
60	Size 5	166.1	3.953	350	49	22
80		309.7	19.312	400	133	33
100	Size 6	503.6	29.779	460	222	59
150		900	173.826	480	719	361
200		1610	245.454	680	1198	840

Na tabela seleciona-se a ventosa com F_H imediatamente superior ao calculado, neste caso 166,1 N. Este valor corresponde a um copo de sucção com 60 mm de diâmetro com um F_H de 166,1 N.

Para concluir o dimensionamento do sistema de sucção resta escolher o gerador de vácuo. Para tal, é necessário calcular a taxa de sucção utilizando a seguinte expressão (3).

$$V = n \times V_s, \quad (3)$$

sendo:

- V = taxa de sucção (m³/h, l/min);
- n = número de ventosas;
- V_s = capacidade de sucção (m³/h, l/min).

A capacidade de sucção está diretamente relacionada com a área de sucção como mostra na Tabela 6

Tabela 6 - Diâmetro das ventosas e respetiva capacidade de sucção.

Diâmetro da ventosa	Capacidade de sucção, V_s	
0 – 60 mm	0,5 m ³ /h	8,3 l/min
60 – 120 mm	1 m ³ /h	16,6 l/min
120 – 215 mm	2 m ³ /h	33,3 l/min
215 – 450 mm	4 m ³ /h	66,6 l/min

Para o diâmetro dimensionado (60 mm) a capacidade de sucção é de 16,6 l/min, o que corresponde ao pior caso. Utilizando a expressão (3) obtém-se

$$V = 16 \times 1 = 16 \text{ m}^3/\text{h} \approx 266 \text{ l/min}$$

Portanto, a capacidade de sucção é de 16 m³/h. Para concluir procurou-se, no mercado, uma bomba de vácuo que com a capacidade necessário. O fornecedor do gerador de vácuo escolhido foi a SCHMALZ. De entre todas as disponíveis escolheu-se a bomba EVE-TR-X 16 AC3 com uma taxa de sucção de 16 m³/h, para uma frequência de trabalho de 50 Hz, podendo chegar a 19m³/h a trabalhar a 60 Hz. A ficha técnica deste equipamento encontra-se no Anexo B.

3.6.4.2 Dimensionamento dos atuadores sem haste de elevação

Para a movimentação vertical do sistema de ventosas aplicou-se um conjunto de atuadores pneumáticos sem haste devido à sua eficiência e precisão de movimentos. Para uma correta seleção do modelo a utilizar é necessário verificar a carga que será imposta aos atuadores. O deslocamento vertical do sistema de ventosas não dependerá

da carga pelo que o objetivo seja que a velocidade seja sempre constante. Posto isto, será tido em conta o pior caso para o dimensionamento e durante o funcionamento do equipamento o fornecimento de ar comprimido será alterado consoante a carga. Na Figura 71 está representado o diagrama de corpo livre para o presente problema.

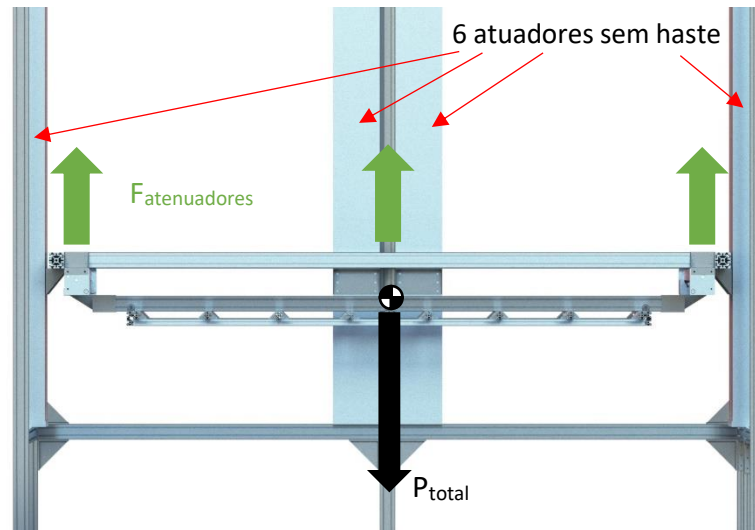


Figura 71 - Representação das forças.

Em primeiro lugar determina-se a massa suportada pelos atuadores. A massa total é composta pela massa do sistema de ventosas (m_{sv}) e a massa de uma chapa com 2,5 mm de espessura que foi definido anteriormente como sendo 88,54 kg, caso mais crítico. O valor da massa do sistema de ventosas foi estimado pelo *Solidworks*. Este *software* tem a funcionalidade de calcular automaticamente a massa de um conjunto através do volume calculado e respetiva densidade do material.

$$m_{total} = m_{sv} + m_{chapa} = 370,27 \text{ kg}$$

Com esta informação já é possível calcular o peso do conjunto usando a expressão (4)

$$P_{total} = m_{total} \times g \quad (4)$$

$$P_{total} = 370,27 \times 9,81 = 3632,3 \text{ N,}$$

em que

- P_{total} = Peso do conjunto (N);
- m_{total} = Massa total do conjunto (kg);
- g = Constante da aceleração gravítica (9,81 m/s²).

Para efeitos de simplificação, considera-se que a carga vai ser distribuída uniformemente pelos 6 atuadores pneumáticos. Posto isto, a força que cada cilindro deve debitar é estimada resolvendo o seguinte somatório (5)

$$\sum F_y = 6 \times F_{atuador} - P_{total} = 0 \quad (5)$$

$$F_{atuador} = \frac{3632,3 \text{ N}}{6} = 605,33 \text{ N}$$

Concluindo, os atuadores terão que suportar uma carga de 605,33 N cada um. Os atuadores escolhidos são MY1HT 50-3415H da SMC. As forças teóricas deste atuador estão presentes na Figura 72.

Bore size [mm]	Piston area [mm ²]	Operating pressure [Mpa]						(N)
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	
50	1962	392	588	784	981	1177	1373	1569
63	3115	623	934	1246	1557	1869	2180	2492

Note) Theoretical output (N) = Pressure [Mpa] x Piston area (mm²)

Figura 72 - Propriedades de funcionamento do atuador MY1HT.

As demais informações técnicas relativas aos atuadores escolhidos podem ser consultadas no Anexo C.

3.6.4.3 Atuadores para o movimento horizontal das ventosas

Para mover o sistema de ventosas horizontalmente, de forma a este realizar o movimento de descarga de chapa do armazém de chapa, instalaram-se dois atuadores pneumáticos sem haste na estrutura. Na Figura 73 está representada a força e o momento presentes no conjunto.

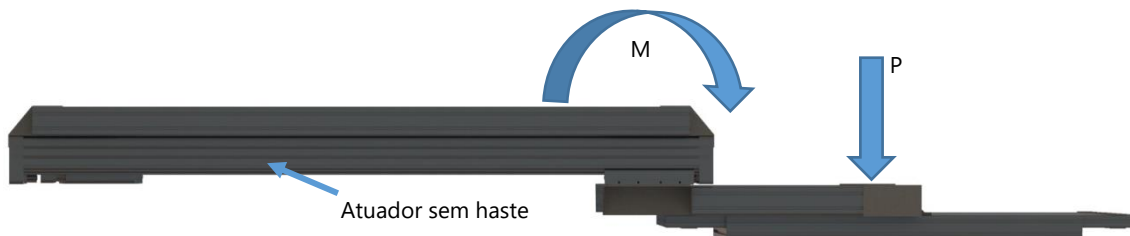


Figura 73 - Diagrama de corpo livre da guia linear.

Para selecionar o atuador, é necessário calcular os momentos e as forças aplicadas no mesmo, como mostra a Figura 74.

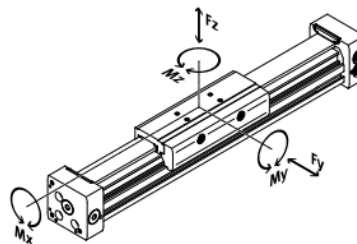


Figura 74 - Esquemática da distribuição de cargas na parte móvel do atuador.

Neste caso em específico só existem forças no plano xOy (F_z). A força Z vai ser constituída apenas pela força peso resultante da estrutura das ventosas, adicionada à chapa de 2,5 mm, que corresponde ao pior caso. A massa do suporte das ventosas foi estimada pelo *Solidworks* e é de 100,7 kg. A massa total que vai estar sujeita no atuador é

$$m_{total} = 100,7 + 88,54 = 189,24 \text{ kg}$$

Para calcular a intensidade da força resultante da massa utiliza-se a expressão (6)(4)

$$F_z = P = m_{total} \times g \quad (6)$$

$$P = 189,24 \times 9,81 = 1856,4 \text{ N}$$

O momento em Z calcula-se por intermédio da expressão (7)

$$M = P \times d \quad (7)$$

sendo:

- M = Momento (Nm);
- P= Peso (N);
- d = Distância entre a ligação ao atuador e o centro de massa (m).

O peso é aplicado no centro de massa do suporte das ventosas. Para calcular os momentos é necessário saber as distâncias entre o centro de massa e o ponto de referência. A Figura 75 mostra o centro de massa do conjunto e respectivas distâncias.

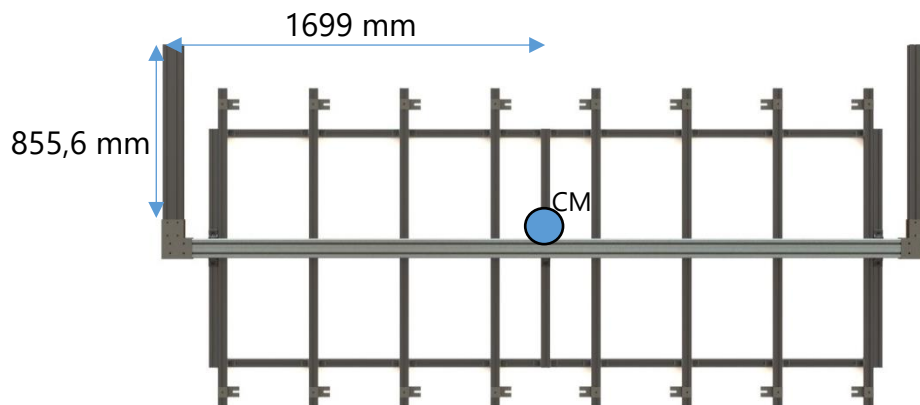


Figura 75 - Posicionamento do centro de massa da estrutura.

Posto isto, os momentos em X e Y são:

$$M_x = 1856,4 \times 1,699 \approx 3154,1 \text{ Nm}$$

$$M_y = 1856,4 \times 0,856 \approx 1589,1 \text{ Nm}$$

Como a estrutura está apoiada nas duas extremidades por dois atuadores a carga vai ser dividida por ambos, pelo que se considera

$$P = 928 \text{ N}$$

$$M_x \approx 1577 \text{ Nm}$$

$$M_y \approx 795 \text{ Nm.}$$

Com os valores dos momentos e da força calculados, o passo seguinte consiste em estabelecer uma correspondência entre os valores calculados e a tabela disponibilizada pelo fornecedor dos atuadores. Os atuadores utilizados foram guias lineares DGC-KF da Festo com diâmetros de 63 mm da Festo. A Figura 76 mostra os valores de funcionamento máximos para este componente. No Anexo D estão presentes mais informações relativas a este equipamento.

Permissible forces and torques									
Piston diameter		8	12	18	25	32	40	50	63
$F_{y\max}$	[N]	300	650	1850	3050	3310	6890	6890	15200
$F_{z\max}$	[N]	300	650	1850	3050	3310	6890	6890	15200
$M_{x\max}$	[Nm]	1.7	3.5	16	36	54	144	144	529
$M_{y\max}$	[Nm]	4.5	10	51	97	150	380	634	1157
$M_{z\max}$	[Nm]	4.5	10	51	97	150	380	634	1157

Figura 76 - Forças e momentos máximos suportados pelos atuadores escolhidos (Anexo D).

Para concluir, para verificar se os requisitos para um bom funcionamento são cumpridos utilizou-se a expressão (8), fornecida pela Festo

$$\frac{F_y}{F_{y\max}} + \frac{F_z}{F_{z\max}} + \frac{M_x}{M_{x\max}} + \frac{M_y}{M_{y\max}} + \frac{M_z}{M_{z\max}} \leq 1 \quad (8)$$

$$\frac{0}{15200} + \frac{928}{15200} + \frac{1577}{529} + \frac{795}{1157} + \frac{0}{1157} \leq 1$$

$$3,38 > 1.$$

Resumindo, os atuadores vão estar sujeitos a ações superiores ao que Festo recomenda. O problema aqui reside no momento em X. A distância entre o centro de massa e o atuador é demasiado elevada para o peso manuseado pela estrutura. Se o número de atuadores aumentar e consequentemente o número de apoios, este problema pode ser ultrapassado. Para obter valores aceitáveis é necessário colocar 6 atuadores conforme representado na Figura 77.

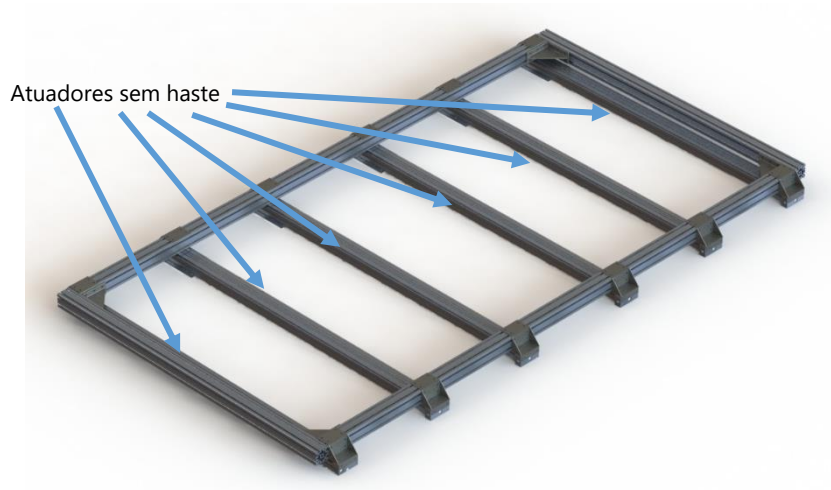


Figura 77 - Estrutura composta por 6 atuadores.

Desta forma o peso da estrutura, de forma simplificada, vai ser distribuída por 6 apoios e conseqüentemente os momentos aplicados nos atuadores vão diminuir, obtendo os seguintes valores

$$P \approx 310 \text{ N}$$

$$M_x \approx 526 \text{ Nm}$$

$$M_y \approx 264,85 \text{ Nm.}$$

Estando assim dentro dos valores permitidos para este atuador.

3.6.4.4 Atuadores do elevador tesoura

Para o elevador desempenhar corretamente a sua função de elevação os atuadores têm que debitar força suficiente para levantar toda a estrutura. Na Figura 78 estão representadas as interações presentes no sistema

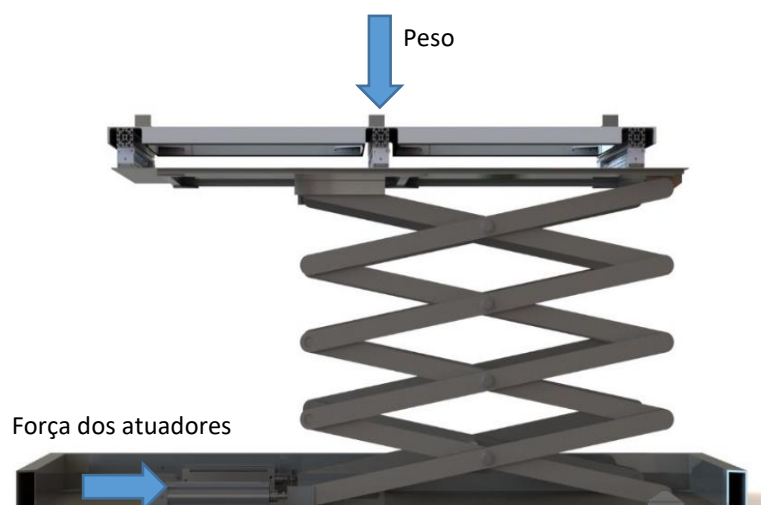


Figura 78 - Simplificação das forças existentes no sistema.

Inicialmente o elevador foi simplificado para um diagrama de corpo livre, tal como mostra a Figura 79.

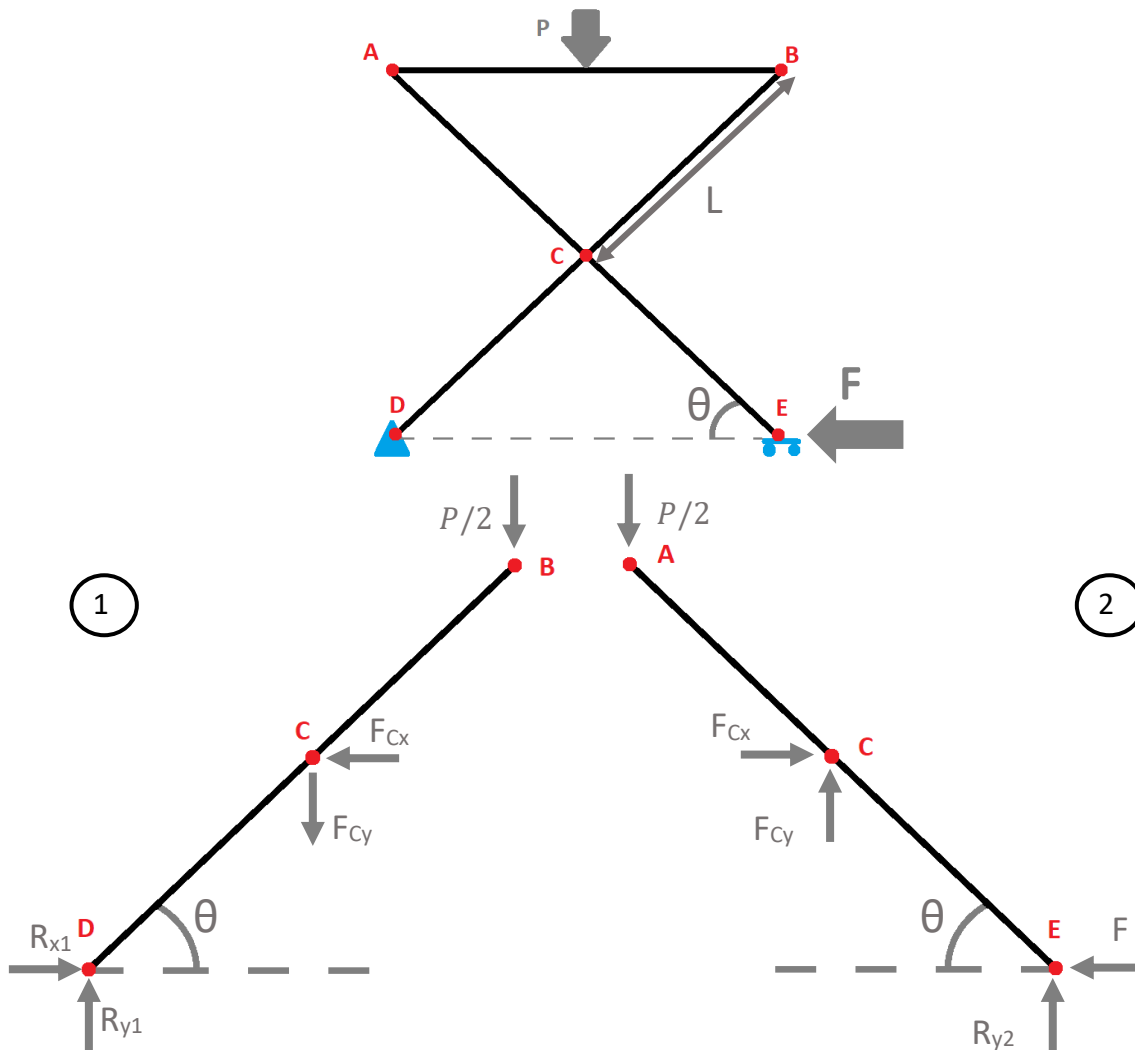


Figura 79 - Diagrama de corpo livre do elevador.

Considerando o sistema estático, o somatório das forças e dos momentos é igual a 0 (expressão (9),(10) e (11))

$$\sum F_x = 0 \quad (9)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (10)$$

$$\sum M_z = 0. \quad (11)$$

As equações referentes à barra (1) são

$$\sum F_x = R_{x1} - F_{Cx} = 0 \quad (12)$$

$$R_{x1} = F_{Cx} \quad (13)$$

$$\sum F_y = R_{y1} - F_{Cy} - \left(\frac{P}{2}\right) = 0 \quad (14)$$

$$R_{y1} = F_{Cy} + \left(\frac{P}{2}\right) \quad (15)$$

$$\sum M_D = -\left(\frac{P}{2}\right) \times 2L \times \cos \theta - F_{Cy} \times L \times \cos \theta + F_{Cx} \times L \times \sin \theta = 0 \quad (16)$$

$$F_{Cx} = \frac{(P/2) \times 2L \times \cos \theta - F_{Cy} \times L \times \cos \theta}{L \times \sin \theta} \quad (17)$$

$$F_{Cx} = \frac{P}{\tan \theta} - \frac{F_{Cy}}{\tan \theta} \quad (18)$$

As reações na barra (2) estão representadas a seguir

$$\sum F_x = -F + F_{Cx} = 0 \quad (19)$$

$$F_{Cx} = F \quad (20)$$

$$\sum F_y = R_{y2} + F_{Cy} - \left(\frac{P}{2}\right) = 0 \quad (21)$$

$$R_{y2} = -F_{Cy} + \left(\frac{P}{2}\right) \quad (22)$$

$$\sum M_D = \left(\frac{P}{2}\right) \times 2L \times \cos \theta - F_{Cy} \times L \times \cos \theta - F_{Cx} \times L \times \sin \theta = 0 \quad (23)$$

$$F_{Cy} = \frac{-(P/2) \times 2L \times \cos \theta + F_{Cx} \times L \times \sin \theta}{L \times \cos \theta} \quad (24)$$

$$F_{Cy} = -P + F_{Cx} \times \tan \theta. \quad (25)$$

Com as expressões de cada barra simplificadas, o próximo passo é resolver em função do ângulo θ . Portanto, substituindo a expressão (18) na expressão (25) obtém-se

$$F_{Cx} = \frac{P}{\tan \theta} - \left(\frac{-P}{\tan \theta} - \frac{F_{Cx} \times \tan \theta}{\tan \theta} \right) \quad (26)$$

$$F_{Cx} = \frac{2 \times P}{\tan \theta} + F_{Cx} \quad (27)$$

$$F_{Cx} = \frac{P}{\tan \theta}. \quad (28)$$

Com esta igualdade é possível resolver as restantes expressões. O valor da componente Y da força aplicada em C é dado por

$$F_{Cx} = \frac{P}{\tan \theta} - \frac{F_{Cy}}{\tan \theta} \quad (29)$$

$$\frac{P}{\tan \theta} = \frac{P}{\tan \theta} - \frac{F_{Cy}}{\tan \theta} \quad (30)$$

$$F_{Cy} = 0. \quad (31)$$

Como $F_{Cy} = 0$, as reações em Y dos apoios de ambas as barras vão ser iguais a:

$$R_{y1} = \left(\frac{P}{2} \right) \quad (32)$$

$$R_{y2} = \left(\frac{P}{2} \right). \quad (33)$$

Por fim, a componente em X da reação do apoio na barra (1) e a força do atuador estão calculadas a seguir

$$R_{x1} = F_{Cx} = \frac{P}{\tan \theta} \quad (34)$$

$$F = F_{Cx} = \frac{P}{\tan \theta}. \quad (35)$$

Para a força peso aplicada no topo do elevador é estimado, com o auxílio do *Solidworks*, que a massa total (estrutura que constitui o topo do elevador mais a chapa de 2,5 mm de espessura) seja 560 kg. Com isto e utilizando a expressão (36) sabemos que a força vai ser igual a:

$$P_{total} = m_{total} \times g \quad (36)$$

$$P_{total} = 560 \times 9,81 \approx 5494 \text{ N.}$$

Como já foi concluído, o sistema varia com o ângulo θ . Este ângulo, tal como está projetado, varia entre 4° e 35° . Na Tabela 7 está demonstrada a variação da força

necessária para estabilizar o elevador. No projeto do sistema de elevação, o esforço vai ser dividido por dois atuadores. A terceira coluna indica a força para cada um desses dois atuadores.

Tabela 7 - Força necessária para os diferentes ângulos.

θ	Força F (1 atuador)	Força F (2 atuador)
4°	78567,8 N	39283,9 N
10°	31158 N	15579 N
20°	15094,6 N	7547,3 N
30°	9515,9 N	4757,9 N
35°	7846,2 N	3923,1 N

Cada cilindro terá de realizar uma força máxima de 39283,9 N para o elevador se conseguir mover verticalmente. Os atuadores escolhidos para esta aplicação são da FESTO, modelo DFPI 320.

Forces [N] and impact energy [J]						
Piston diameter	100	125	160	200	250	320
Theoretical force at 6 bar, advancing	4712	7363	12064	18850	29452	48255
Theoretical force at 6 bar, retracting	4417	6881	11581	18080	28274	46385
Max. impact energy in the end positions	1.3	1.0	1.4	1.0	1.9	2.4

Figura 80 - Propriedades dos cilindros DFPI (Anexo E)

Na Figura 80 são indicadas as forças de avanço e de recuo para o atuador selecionado. Este atuador trabalha com pressões entre os 3 e os 8 bar. No Anexo E é possível encontrar a ficha técnica deste produto, onde estão detalhadas as características relevantes do modelo DFPI 320.

3.6.4.5 Guias lineares para o movimento horizontal da paleta de chapas

O sistema representado na Figura 81 situa-se no topo do elevador e apresenta como função colocar a paleta de chapas dentro da puncionadora. Posto isto, o atuador terá de suportar o peso das chapas, da paleta e o perfil que suporta a paleta. Na Figura 81 estão representadas as forças em jogo e as distâncias a entre o ponto onde são aplicadas e a parte deslizante do atuador.

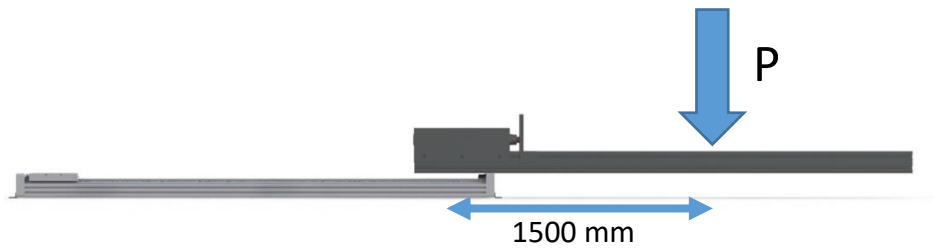


Figura 81 - Forças aplicadas no sistema de distribuição.

Para efeitos de dimensionamento deve-se considerar que a palete está carregada com 5 chapas com 2,5 mm de espessura. Posto isto, o conjunto das chapas mais a palete perfaz um total de 475 kg sendo que a palete tem uma massa aproximadamente de 30 kg. A massa da palete foi estimada pelo Solidworks com base num modelo de uma palete. Para calcular peso o deste conjunto utiliza-se a expressão (37).

$$P_{chapas} = m_{total} \times g \quad (37)$$

$$P_{chapas} = 475 \times 9,81 \approx 4660 \text{ N.}$$

O elevador tem três sistemas idênticos ao mostrado na Figura 81. Posto isto, a força calculada anteriormente será dividida em três

$$P_1 = \frac{4660}{3} = 1553,33 \text{ N}$$

Para o valor real da força aplicada no atuador resta calcular o peso da estrutura nele montado. Na Figura 82 apresentam-se os componentes dessa mesma estrutura e as suas respetivas massas. No total, a estrutura tem uma massa de 23,3 kg.

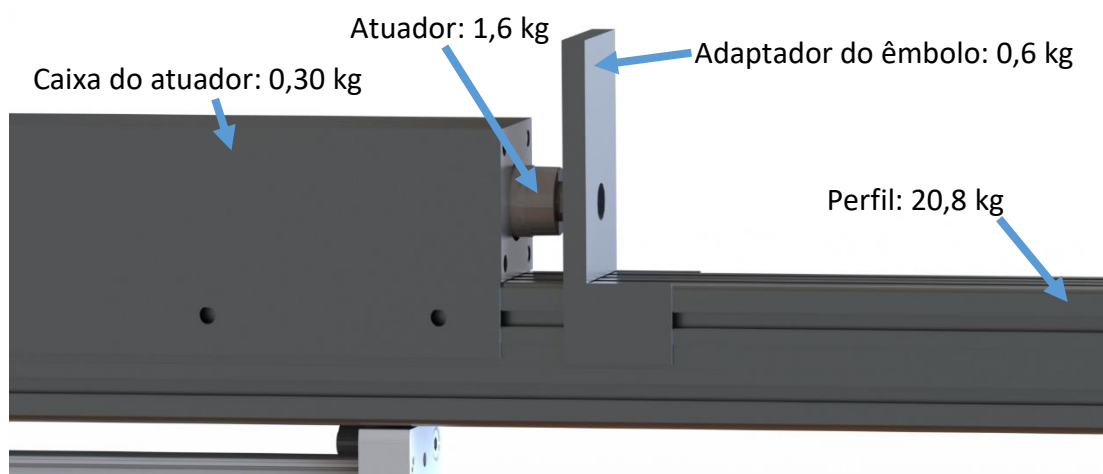


Figura 82 - Estrutura montada no atuador e massas dos respetivos componentes.

O peso da estrutura é calculado através da expressão (38)

$$P_2 = m_{total} \times g \quad (38)$$

$$P_2 = 23,3 \times 9,81 \approx 229 \text{ N.}$$

Neste momento já é possível obter a força peso que atua na guia linear e posteriormente selecionar a guia linear que mais se adequa às condições de trabalho. Com a expressão (39) obtém-se a força total aplicada

$$P = P_1 + P_2 \quad (39)$$

$$P = 1553,33 + 229 = 1782,33 \text{ N.}$$

Para efeitos de simplificação, vamos apenas considerar o peso do conjunto da paleta e das chapas para o cálculo dos momentos. Esta simplificação pode ser feita pois o peso da estrutura situa-se por cima da parte deslizante do atuador pelo que não vai contribuir significativamente no momento. Posto isto, considerando a distância do atuador ao centro de massa de 1,5 m, o momento causado pela paleta e as chapas obtém-se por intermédio da expressão (40)

$$M = P \times d \quad (41)$$

$$M = 1553,33 \times 1,5 \approx 2330 \text{ Nm.}$$

Os atuadores lineares sem haste utilizados para esta situação são os DGC-KF da Festo com um diâmetro de 63 mm. Conforme está representado na Figura 83, a força sobre o atuador está dentro dos limites marcados pelo fornecedor. No entanto, o momento em Y encontra-se acima do valor desejado. Para os atuadores desempenharem corretamente a sua função é necessário aumentar a quantidade de atuadores. Desta forma, a carga aplicada nos atuadores é distribuída por 6 pontos.

Permissible forces and torques									
Piston diameter	8	12	18	25	32	40	50	63	
$F_{Y_{max}}$	[N]	300	650	1850	3050	3310	6890	6890	15200
$F_{Z_{max}}$	[N]	300	650	1850	3050	3310	6890	6890	15200
$M_{X_{max}}$	[Nm]	1.7	3.5	16	36	54	144	144	529
$M_{Y_{max}}$	[Nm]	4.5	10	51	97	150	380	634	1157
$M_{Z_{max}}$	[Nm]	4.5	10	51	97	150	380	634	1157

Figura 83 - Valores máximos suportados pelos atuadores utilizados para este caso (Anexo D).

Se forem considerados 6 atuadores na função de descarga o equipamento toma a forma representada na Figura 84.

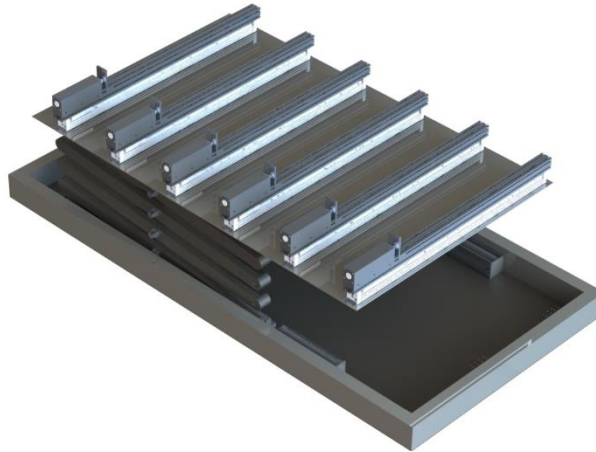


Figura 84 - Sistema de descarga composto por 6 atuadores.

A força aplicada em cada um dos atuadores, de forma simplificada, será de

$$P_1 = \frac{4660}{6} \approx 776 \text{ N.}$$

Consequentemente, o momento em Y vai ser

$$M = 777 \times 1,5 \approx 1164 \text{ Nm.}$$

Este valor encontra-se ligeiramente acima do recomendado. No entanto, este é considerado aceitável sendo que as condições utilizadas para o dimensionamento são raras na linha de produção da ARFIT. No Anexo C encontra-se a ficha técnica deste atuador.

3.6.4.6 Atuador para o posicionamento final da palete

No sistema de distribuição existe um atuador (Figura 85) que funciona no sentido contrário à guia linear dimensionada anteriormente. Isto quer dizer que quando a guia linear estiver a recuar o atuador de haste estará a avançar. O objetivo deste movimento é fazer com que a palete fique na posição correta dentro da puncionadora.



Figura 85 - Atuador montado no sistema de distribuição.

Os atuadores utilizados aqui serão da SMC. Este fornecedor dá indicações de como calcular o diâmetro do cilindro, valor esse que será utilizado para selecionar o atuador mais apropriado

$$dc = 2 \times \sqrt{\frac{F_p}{\pi \times P_t}}, \quad (42)$$

sendo

- dc = Diâmetro do cilindro (cm);
- F_p = Força do projecto (kg);
- P_t = Pressão de trabalho (kgf/cm²).

A força do projeto total vai ser igual à massa já calculada anteriormente da palete, adicionada a massa de 5 chapas de 2,5 mm de espessura (475 kg). No entanto, como foi referido anteriormente, esta massa vai ser distribuída por três atuadores. A força do projeto que cada atuador deve suportar é de

$$F_p = \frac{475}{3} = 158,33 \text{ kg.}$$

Em relação à pressão de trabalho, os atuadores da SMC trabalham com pressões entre os 2 e os 10 kgf/cm². Para o dimensionamento deste cilindro considera-se uma pressão de 6 kgf/cm².

$$dc = 2 \times \sqrt{\frac{158,33}{\pi \times 6}}$$

$$dc = 2 \times \sqrt{8,399}$$

$$dc = 2 \times 2,898 = 5,796 \text{ cm}$$

$$dc = 5,796 \text{ cm} = 57,96 \text{ mm.}$$

Com o valor do diâmetro calculado resta cruzar essa informação com a presente na Figura 86. Para evitar problemas de funcionamento do equipamento foi escolhido o cilindro com o diâmetro imediatamente superior ao que foi calculado.

Cilindros aplicáveis/Série CJ2, CM2, CA1, MB, CS1

Cilindro de duplo efeito

OUT IN Unidade: N

Diâmetro (mm)	Diâ. haste (mm)	Sentido de funcionamento	Seção do êmbolo (mm²)	Pressão de funcionamento (MPa)									
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
6	3	SAIDA	29.3	5.66	8.49	11.3	14.2	17.0	19.8	—	—	—	
		ENTRADA	21.2	4.24	6.36	8.48	10.6	12.7	14.8	—	—	—	
10	4	SAIDA	78.5	15.7	23.6	31.4	39.3	47.1	55.0	—	—	—	
		ENTRADA	66.0	13.2	19.8	26.4	33.0	39.6	46.2	—	—	—	
16	5	SAIDA	201	40.2	60.3	80.4	101	121	141	—	—	—	
		ENTRADA	181	36.2	54.3	72.4	90.5	109	127	—	—	—	
20	8	SAIDA	314	62.8	94.2	126	157	188	220	251	283	314	
		ENTRADA	264	52.8	79.2	106	132	158	185	211	238	264	
25	10	SAIDA	491	98.2	147	196	245	295	344	393	442	491	
		ENTRADA	412	82.4	124	165	206	247	288	329	371	412	
32	12	SAIDA	804	161	241	322	402	482	563	643	724	804	
		ENTRADA	691	138	207	276	346	415	484	553	622	691	
40	14	SAIDA	1260	252	378	504	630	756	882	1010	1130	1260	
		ENTRADA	1100	220	330	440	550	660	770	880	990	1100	
	16	SAIDA	1260	252	378	504	630	756	882	1010	1130	1260	
		ENTRADA	1060	212	318	424	530	636	742	848	954	1060	
50	20	SAIDA	1960	392	588	784	980	1180	1370	1570	1760	1960	
		ENTRADA	1650	330	496	660	825	990	1160	1320	1490	1650	
63	20	SAIDA	3120	624	936	1250	1560	1870	2180	2500	2810	3120	
		ENTRADA	2600	520	780	1040	1300	1560	1820	2080	2340	2600	
80	25	SAIDA	5030	1010	1510	2010	2520	3020	3520	4020	4530	5030	
		ENTRADA	4540	908	1360	1820	2270	2720	3180	3630	4090	4540	
100	30	SAIDA	7850	1570	2360	3140	3930	4710	5500	6280	7070	7850	
		ENTRADA	7150	1430	2150	2860	3580	4290	5010	5720	6440	7150	
125	36	SAIDA	12300	2460	3690	4920	6150	7380	8610	9840	11100	12300	
		ENTRADA	11300	2260	3390	4520	5650	6780	7910	9040	10200	11300	
140	36	SAIDA	15400	3080	4620	6160	7700	9240	10800	12360	13920	15400	
		ENTRADA	14400	2880	4320	5760	7200	8640	10100	11560	13020	14400	
160	40	SAIDA	20100	4020	6030	8040	10100	12100	14100	16100	18100	20100	
		ENTRADA	18600	3760	5640	7520	9400	11300	13200	15000	16900	18800	
180	45	SAIDA	25400	5080	7620	10200	12700	15200	17800	20300	22900	25400	
		ENTRADA	23900	4780	7170	9560	12000	14300	16700	19100	21500	23900	
200	50	SAIDA	31400	6280	9420	12600	15700	18800	22000	25100	28300	31400	
		ENTRADA	29500	5900	8850	11800	14800	17700	20700	23600	26600	29500	
250	60	SAIDA	49100	9820	14700	19600	24500	29500	34400	39300	44200	49100	
		ENTRADA	46300	9260	13900	18500	23200	27800	32400	37000	41700	46300	
300	70	SAIDA	70700	14100	21200	28300	35400	42400	49500	56600	63600	70700	
		ENTRADA	66800	13400	20000	26700	33400	40100	46800	53400	60100	66800	

Figura 86 - Tabela comercial para os cilindros normalizados SMC.

Sendo assim, o atuador escolhido é da série CA1/CA2 SMC com um diâmetro de 63 mm. A ficha técnica deste atuador encontra-se no Anexo F.

3.6.4.7 Guia linear para o movimento horizontal do carro

O carro vai estar apoiado sobre guias deslizantes montadas no perfil, conforme mostra a Figura 87. Um conjunto de atuadores, montados a par dos perfis, vai garantir força atuação suficiente para mover o carro entre a posição final e inicial. Como o carro vai ser suportado pelos perfis e não haverá forças a atuar no atuador, não é necessário conferir a capacidade do atuador.

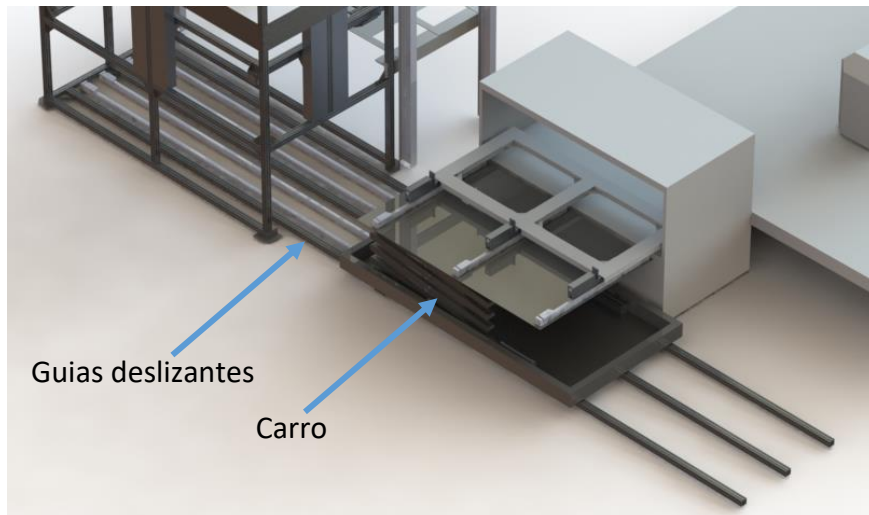


Figura 87 - Identificação do sistema de deslocação do carro.

A guia linear foi escolhida apenas pela força máxima que é capaz de debitar. Posto isto, consultando a Figura 88 o atuador escolhido é da serie MY1B da SMC de 63 mm de diâmetro. A sua pressão de trabalho varia entre 0,2 e 0,8 MPa, sendo que à pressão máxima consegue debitar uma força de 2492 N. Para mais informações, a ficha técnica encontra-se no Anexo G.

Bore size [mm]	Piston area (mm ²)	Operating pressure [MPa]						
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
10	78	15	23	31	39	46	54	62
16	200	40	60	80	100	120	140	160
20	314	62	94	125	157	188	219	251
50	1962	392	588	784	981	1177	1373	1569
63	3115	623	934	1246	1557	1869	2180	2492
80	5024	1004	1507	2009	2512	3014	3516	4019
100	7850	1570	2355	3140	3925	4710	5495	6280

Figura 88 - Forças exercidas pelo atuador e respetivas pressões de funcionamento (Anexo G).

3.6.4.8 Método de elementos finitos aplicado no projeto

Tal como já foi referido no capítulo 2, o MEF permite obter informações úteis ao projeto tais como as tensões de von Mises, deformações, deslocamentos e fatores de segurança. O objetivo deste capítulo é simular as estruturas idealizadas para encontrar pontos críticos na estrutura e propor uma solução otimizada e funcional.

Para isto, foram selecionadas as estruturas onde é mais provável alcançar os pontos críticos. Foram analisadas duas estruturas (Figura 89): o suporte das ventosas e a estrutura de carregamento.

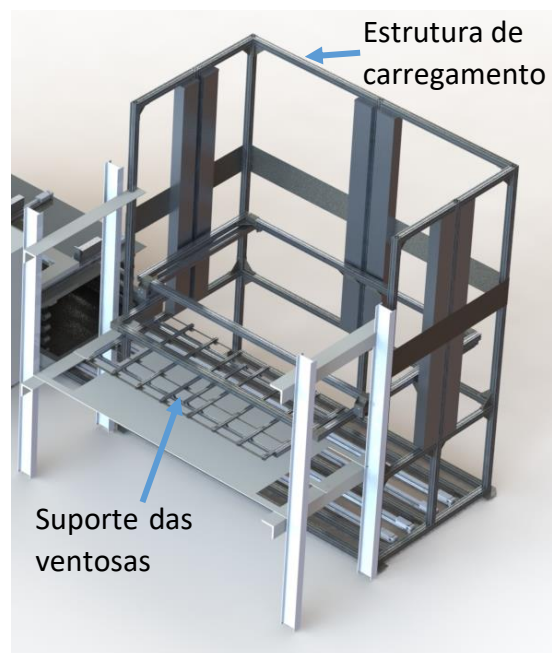


Figura 89 - Identificação das duas estruturas simuladas pelo MEF.

Foram realizados estudos para duas versões diferentes do suporte das ventosas. A versão inicial (Figura 90) tem capacidade apenas para 16 ventosas, tal como foi dimensionado inicialmente, composta basicamente por perfis de alumínio e com apenas dois pontos de ligação ao resto do equipamento.

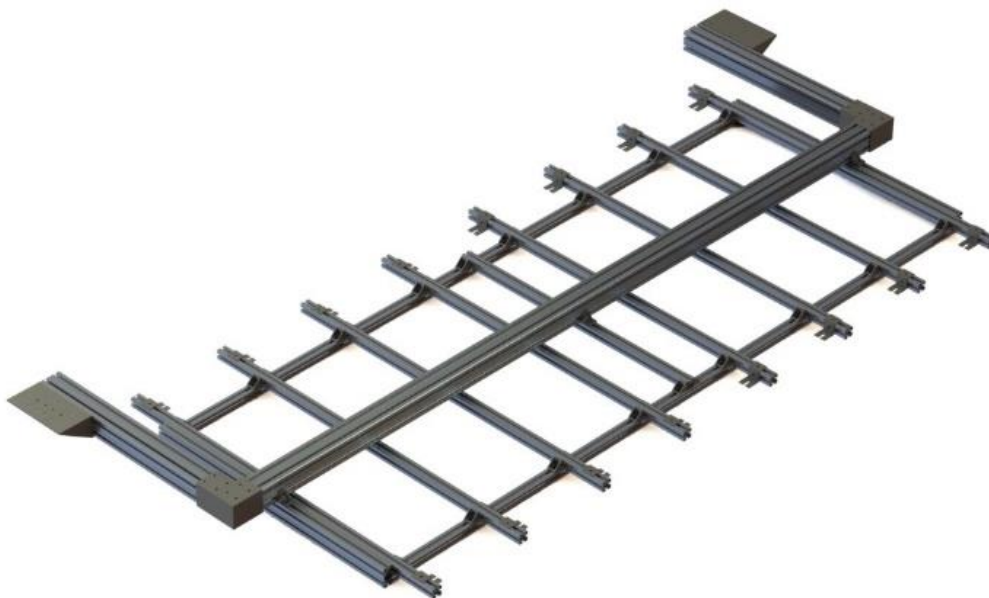


Figura 90 - Versão inicial do suporte das ventosas.

A versão final apresenta capacidade para 32 ventosas, reforçada por uma estrutura de aço e 6 pontos de ligação à estrutura anterior, tal como mostra a Figura 91.

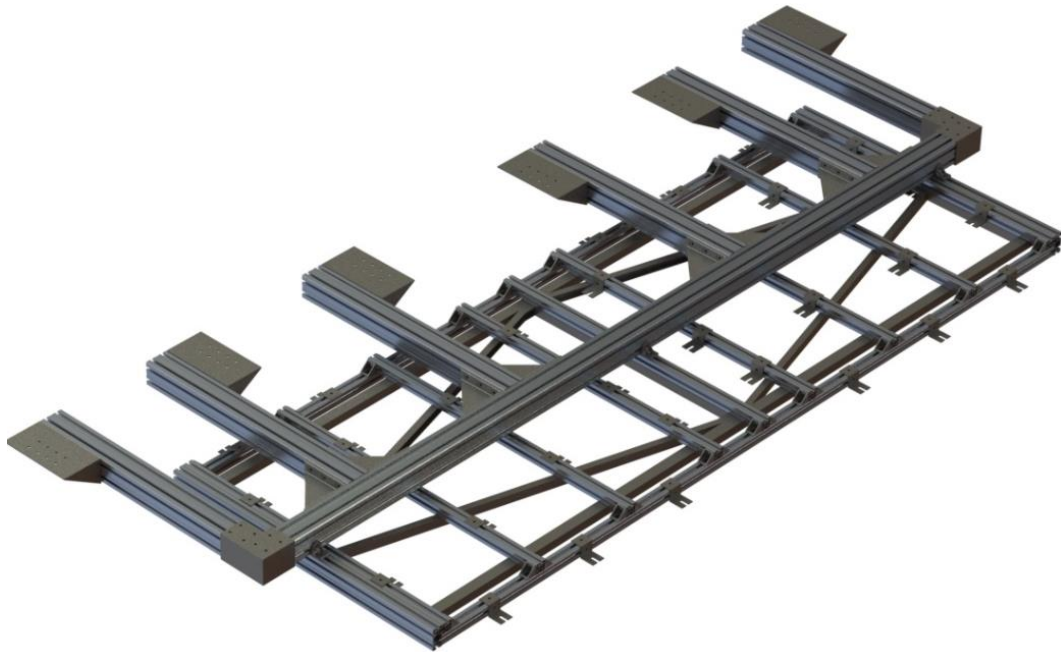


Figura 91 - Versão do suporte de ventosas corrigida.

Estas estruturas foram escolhidas para a análise com o MEF pois estas estão sujeitas a movimentos e cargas constantes e na sua maioria são constituídas por componentes delgados de alumínio. Este material tem propriedades mecânicas inferiores ao aço que constitui o resto do projeto.

Devido ao tipo de ligação entre componentes encontrada ao longo das duas estruturas (aparafusada) considerou-se um contacto *bonded* (*Solidworks*) entre os componentes, funcionando como um só. Este contacto junta os vários componentes numa malha só, de tal forma que eles fiquem rigidamente ligados. Pretende-se com esta abordagem modelar de forma simplificada as ligações aparafusadas da estrutura real.

3.6.4.8.1 Simulação do suporte de ventosas (versão inicial)

Nesta estrutura será feita uma análise estática linear para descobrir o efeito das cargas estáticas na estrutura. Para a simulação considerou-se as fixações e as forças tal como mostra a Figura 92. O suporte de ventosas vai ser fixado nos mesmos locais onde este fica aparafusado aos atuadores. Desta forma, a simulação aproxima-se da realidade. Em relação às forças aplicadas, estas foram colocadas nos locais onde as ventosas vão ser encaixadas. No *software* usou-se uma força de 55 N por cada encaixe. Este é o valor obtido quando o peso da chapa mais pesada é dividido pelo número total de ventosas (16).

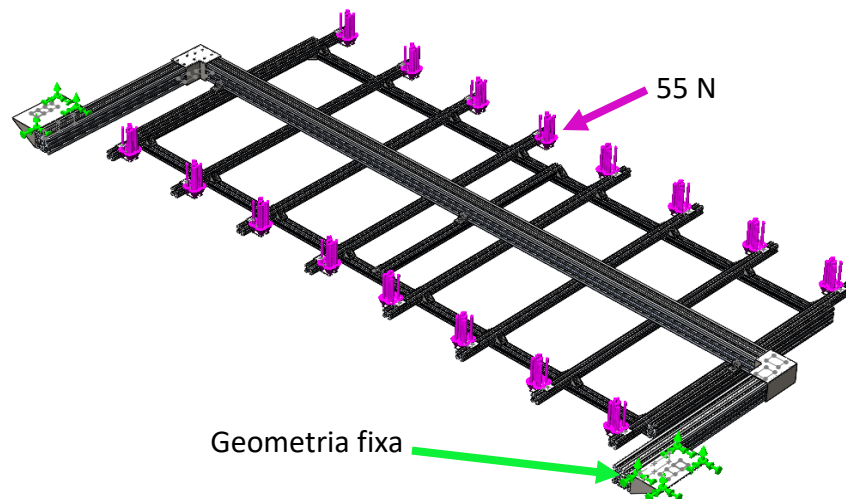
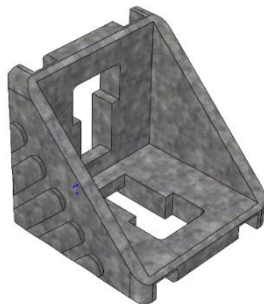


Figura 92 - Representação das fixações e forças aplicadas no suporte de ventosas.

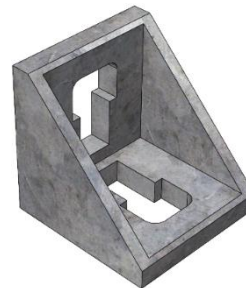
Para facilitar a simulação procedeu-se à simplificação de um componente do conjunto. Essa simplificação está representada na Tabela 8. O modelo disponibilizado pelo fabricante, tal como a peça real, possui geometrias complexas que não contribuem para a rigidez da peça. Posto isto, foi decidido retirar estes detalhes geométricos. Desta forma, foi possível reduzir o número de elementos presentes na malha e consequentemente reduzir o tempo de processamento da simulação.

Tabela 8 - Simplificações da peça.

Peça original



Peça simplificada



Os dados da malha utilizada na simulação estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Informação relativa à malha utilizada.

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malha	Malha baseada na curvatura
Qualidade da malha	Alta
Pontos jacobianos	16
Tamanho máximo dos elementos	177,532 mm
Tamanho mínimo dos elementos	35,5065 mm
Total de nós	739755
Total de elementos	390188

No suporte de ventosas estão presentes dois materiais. O perfil extrudido é feito na liga de alumínio EN-AW 6060. A ficha técnica deste material encontra-se no Anexo H. Os restantes dos componentes foram modelados com o aço AISI 1035. Este material possui um módulo de elasticidade no valor de 196 GPa, uma tensão de cedência de 415 MPa e um coeficiente de Poisson de 0,29.

Os resultados da tensão de von Mises, mostrados na Figura 93, mostram que a ligação entre o perfil e a peça que une a estrutura ao atuador é onde ocorre o pico mais elevado de tensão, registando $1,445 \times 10^7 \text{ N/m}^2 = 14,45 \text{ MPa}$. Este resultado mostra uma resposta adequada perante as solicitações do projeto, sendo que o valor mais elevado não ultrapassa a tensão de cedência, nem do aço escolhido nem do alumínio do perfil.

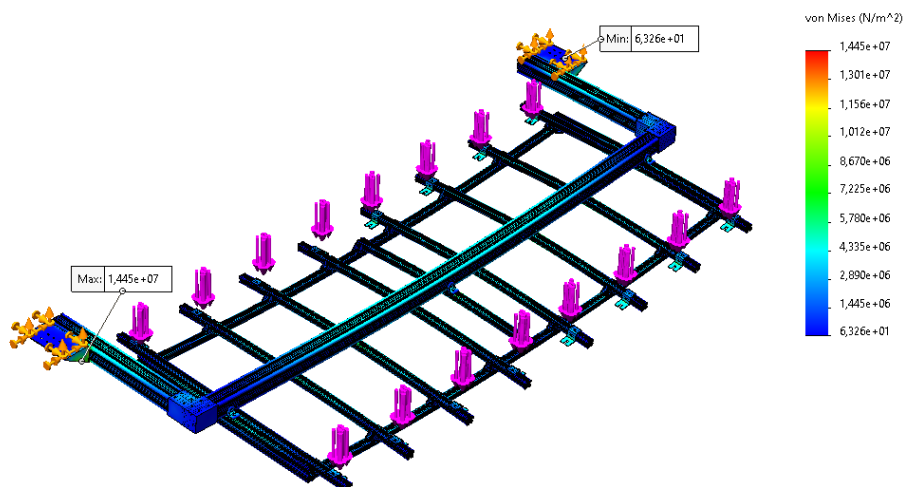


Figura 93 - Resultados da tensão de von Mises.

Relativamente ao deslocamento resultante na estrutura, os resultados demonstrados na Figura 94 mostram um deslocamento considerável, de 2,9 mm, em algumas extremidades do perfil onde vão ser instaladas as ventosas o que pode levar a perda de vácuo nas ventosas. Um outro ponto onde se regista um deslocamento de quase 2 mm é no perfil transversal que se encontra a verde.

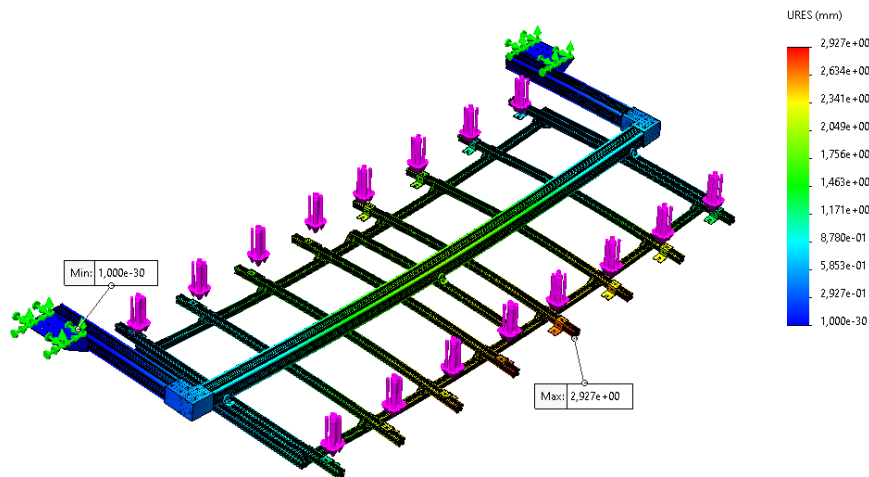


Figura 94 - Resultados do deslocamento resultante.

O fator de segurança é um parâmetro que traduz a qualidade do dimensionamento da estrutura. Na Figura 95 estão identificadas as zonas com um coeficiente de segurança mais elevado e mais baixo. Nesta simulação registou-se um valor mínimo de 2,648 na zona próxima à peça de união desta estrutura com o atuador que a move na horizontal. Estes resultados mostram que para as condições de trabalho a estrutura está longe da rutura.

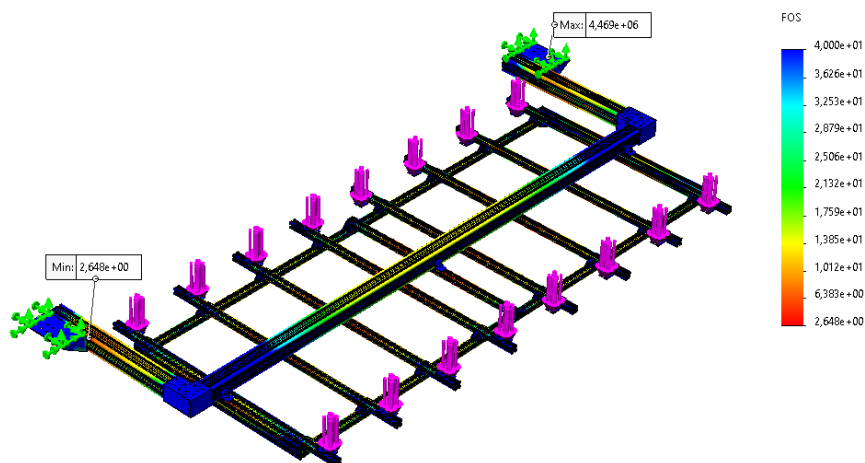


Figura 95 - Resultados do fator de segurança.

3.6.4.8.2 Simulação do suporte de ventosas (versão corrigida)

Com a análise dos resultados obtidos anteriormente conclui-se que a estrutura que suporta as ventosas possui algumas falhas. Essas falhas consistiam num deslocamento resultante inaceitável.

Em comparação com a versão inicial, a solução final tem as seguintes diferenças:

- A adição de uma estrutura de suporte (Figura 96) colocada sob os perfis. Esta estrutura tem como objetivo conferir mais rigidez aos perfis.

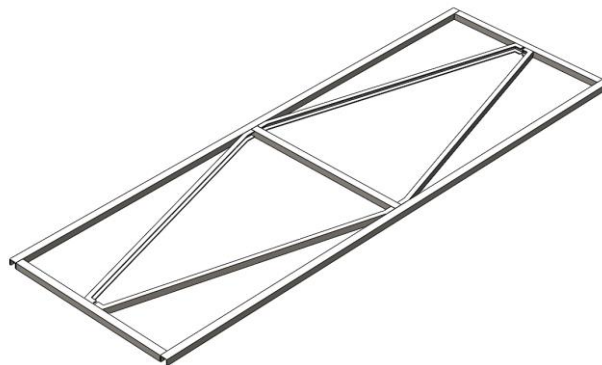


Figura 96 - Estrutura de reforço instalada no suporte das ventosas.

- A adição de mais 16 ventosas distribuídas ao longo da estrutura com o intuito de distribuir o peso da chapa ao longo dos perfis. Desta forma, o peso da chapa não se aplica só nas extremidades do perfil.
- A adição de mais 4 pontos de fixação (Figura 97) aos atuadores presentes na estrutura que liga o suporte de ventosas ao sistema de carga. Esta alteração deve-se ao problema no dimensionamento dos atuadores que movem o suporte das ventosas na horizontal referido na página 67.

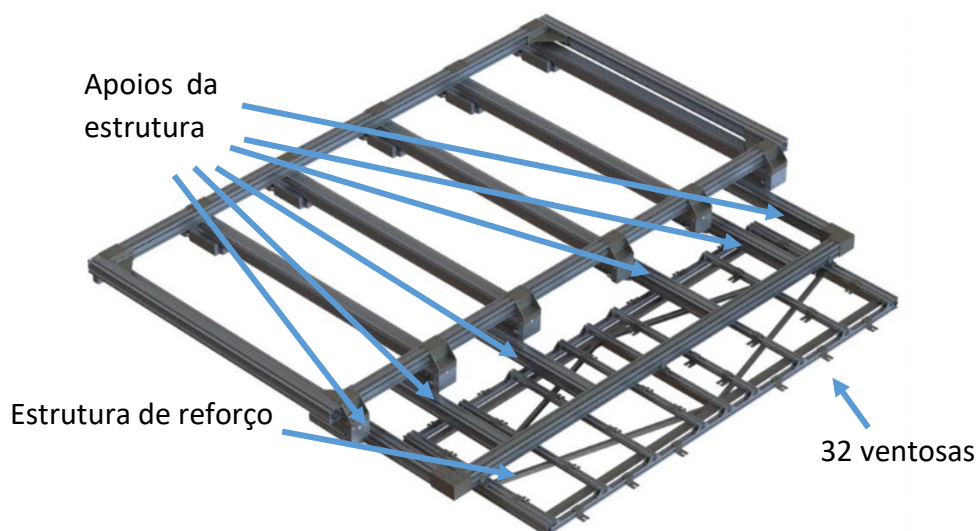


Figura 97 - Sistema de ventosas equipado com 6 atuadores.

A Figura 98 mostra as fixações e as forças consideradas para esta simulação. Tal como na simulação anterior, os pontos de fixação ocorrem nas peças que ligam o suporte aos atuadores, e foram considerados do tipo geometria fixa para simular a ligação aparafusada. Por outro lado, a força aplicada em cada um dos suportes de ventosas é inferior à simulação anterior, sendo agora de 27,5 N em cada suporte. Esta diferença deve-se ao aumento do número de ventosas pelo que, na estrutura melhorada, o peso da chapa é distribuído por 32 ventosas.

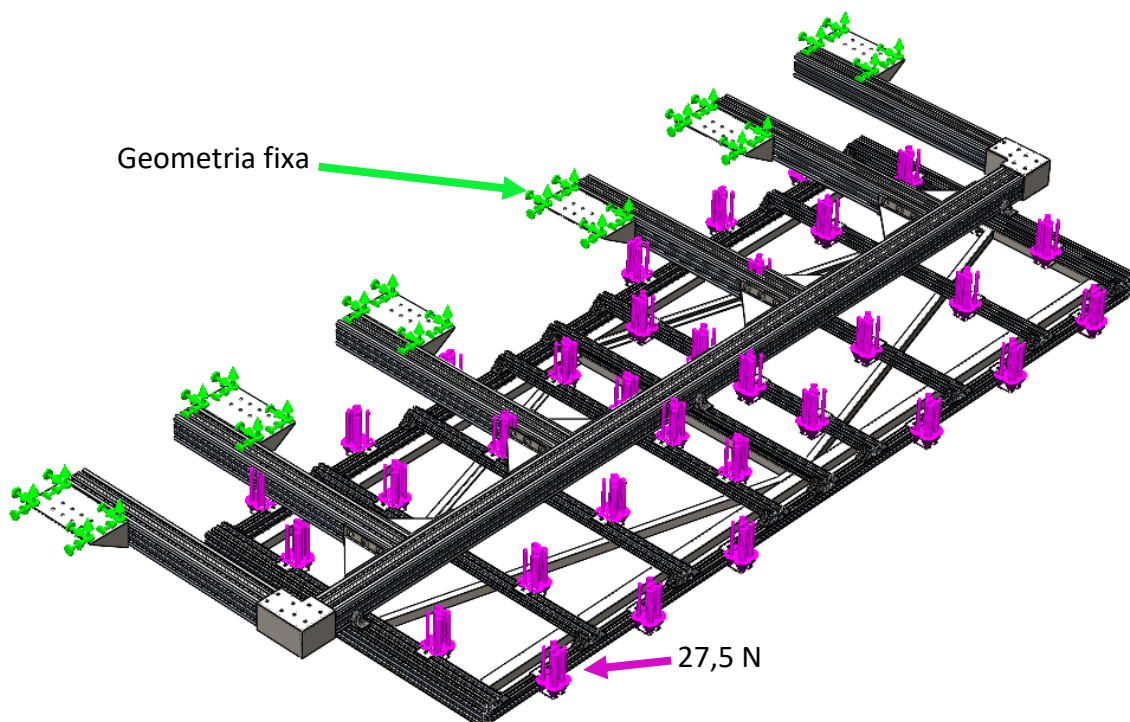


Figura 98 - Representação das fixações e forças aplicadas na versão final do suporte de ventosas.

Os dados referentes à malha gerada nesta simulação estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Informação relativa à malha utilizada na estrutura melhorada.

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malha	Malha baseada na curvatura
Qualidade da malha	Alta
Pontos jacobianos	16
Tamanho máximo dos elementos	180,671 mm
Tamanho mínimo dos elementos	36,1343 mm
Total de nós	1174694
Total de elementos	618220

Relativamente aos materiais utilizados, não foram feitas nenhuma alterações. A estrutura de reforço adicionada foi modelada com o aço AISI 1035. Como foi referido anteriormente, este material apresenta um módulo de elasticidade longitudinal de 196 GPa, uma tensão de cedência de 415 MPa e um coeficiente de Poisson de 0,29.

Os resultados da tensão de von Mises estão presentes na Figura 99. Analisando os resultados conclui-se que as tensões registadas ao longo da estrutura são inferiores comparativamente à análise anterior. O valor de tensão mais elevada, registada na união do perfil com a peça que une ao atuador, é de $1,245 \times 10^7 \text{ N/m}^2 = 12,45 \text{ MPa}$. Este valor é muito inferior à tensão de cedência tanto do perfil de alumínio e do aço utilizado. Posto isto, a estrutura melhorada apresenta uma resposta adequada às solicitações do projeto.

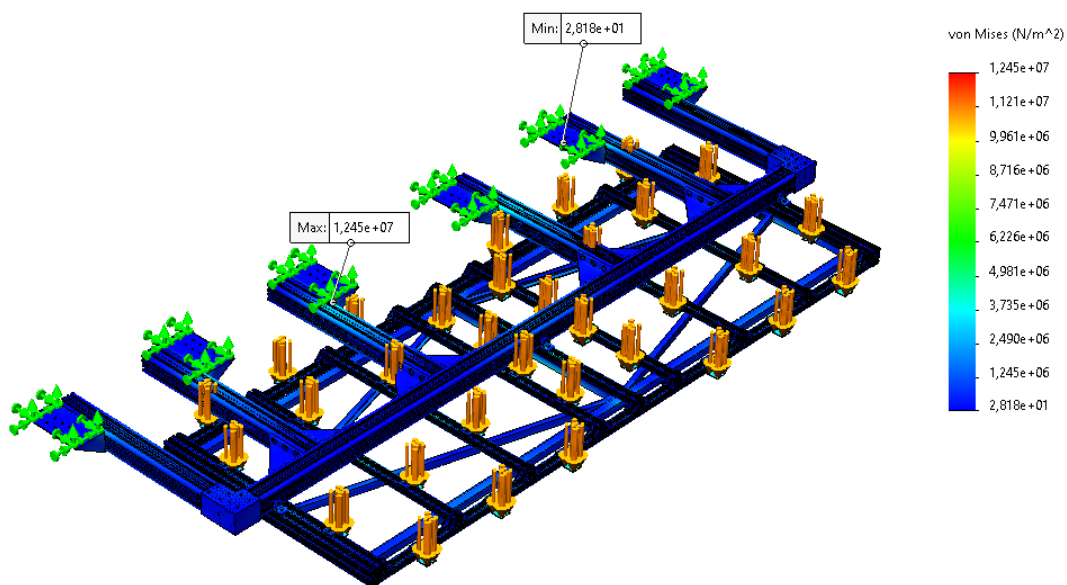


Figura 99 - Resultado da tensão de von Mises da estrutura melhorada.

Um dos motivos que levou à criação desta nova versão foi o deslocamento resultante da simulação anterior. A estrutura inicial apresentava valores de deslocamento resultante próximos dos 3 mm. Este deslocamento podia pôr em causa o bom funcionamento do equipamento, já que a deflexão excessiva da chapa podia levar a perda de vácuo nas ventosas e, conseqüentemente, à queda da chapa durante o seu manuseamento.

Os resultados referentes ao deslocamento resultante da nova estrutura estão representados na Figura 100. Analisando os resultados obtidos, é possível averiguar que as modificações aplicadas tiveram o resultado pretendido, obtendo-se agora valores adequados para o correto funcionamento do sistema. O valor de deslocamento resultante mais elevado é de 0,4639 mm e localiza-se em apenas 2 dos 32 encaixes de ventosas. A melhoria na estrutura resultou numa redução do deslocamento resultante de 84% (valor arredondado).

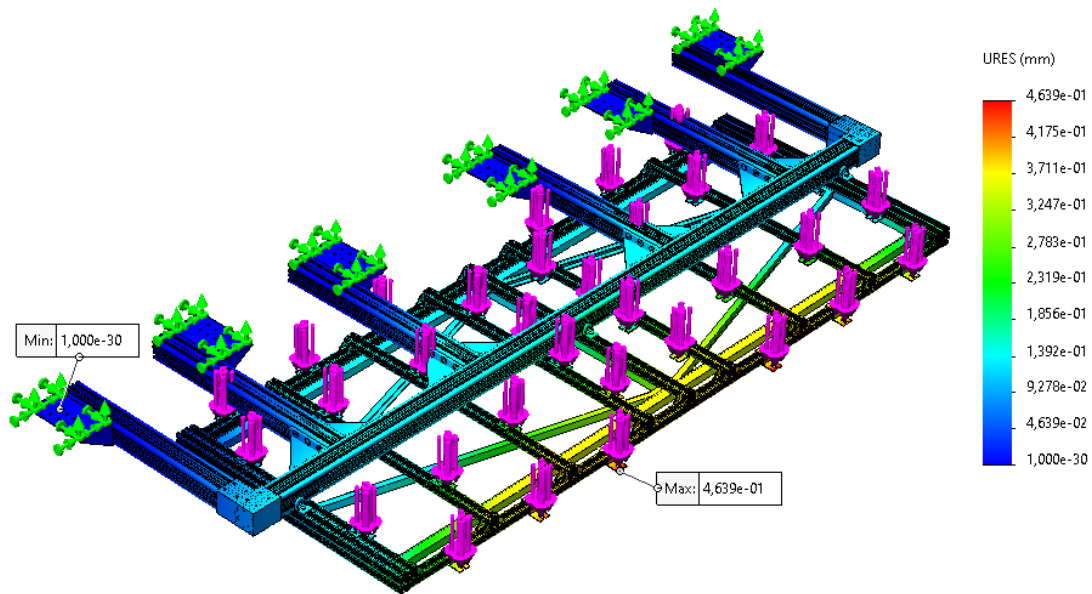


Figura 100 - Resultados do deslocamento resultante da estrutura melhorada.

A Figura 101 representa os valores referentes ao fator de segurança da nova estrutura. Estes resultados mostram uma ligeira melhoria relativamente à versão inicial no que diz respeito ao fator de segurança. Este resultado mostra que a estrutura melhorada é capaz de desempenhar as suas funções de forma segura sem entrar em colapso a nível estrutural.

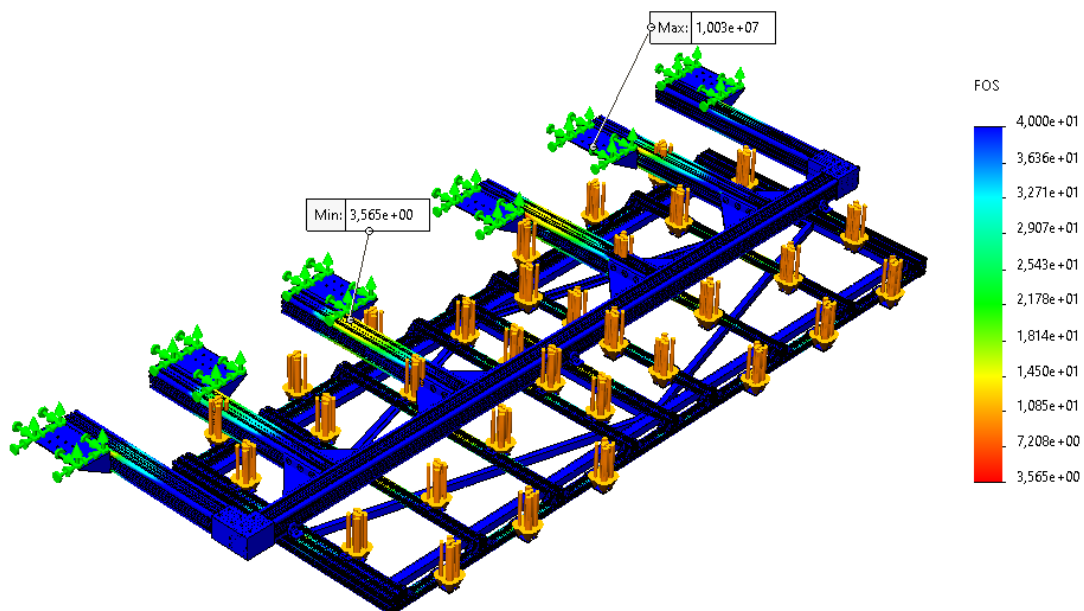


Figura 101 - Resultados do fator de segurança da nova estrutura.

3.6.4.8.3 Sistema de carregamento

O sistema de carregamento é o núcleo do projeto, uma vez que corresponde à estrutura que vai movimentar as ventosas na vertical. Para comprovar o correto funcionamento durante todas as etapas do projeto foram realizados dois ensaios. Os dois ensaios foram feitos com as mesmas fixações e a mesma carga. A única diferença foi no posicionamento dos apoios do suporte das ventosas. O primeiro caso o sistema de ventosas encontra-se na sua posição mais baixa e no segundo caso o sistema de ventosas encontra-se subido, o objetivo é analisar o comportamento da estrutura quando as solicitações são aplicadas a 1,7 m e a 4,6 m, respetivamente. De forma a obter resultados mais próximos à realidade efetuou-se uma análise estática linear.

Na Figura 102 e na Figura 103 estão representadas as localizações das fixações e das forças aplicadas na estrutura nas duas posições estudadas. Para a simulação foram consideradas fixações de geometria fixa nas zonas onde a estrutura assenta na base. As forças localizam-se nas peças de ligação entre o sistema de carregamento e o suporte das ventosas. Cada peça de ligação vai suportar 1308 N.

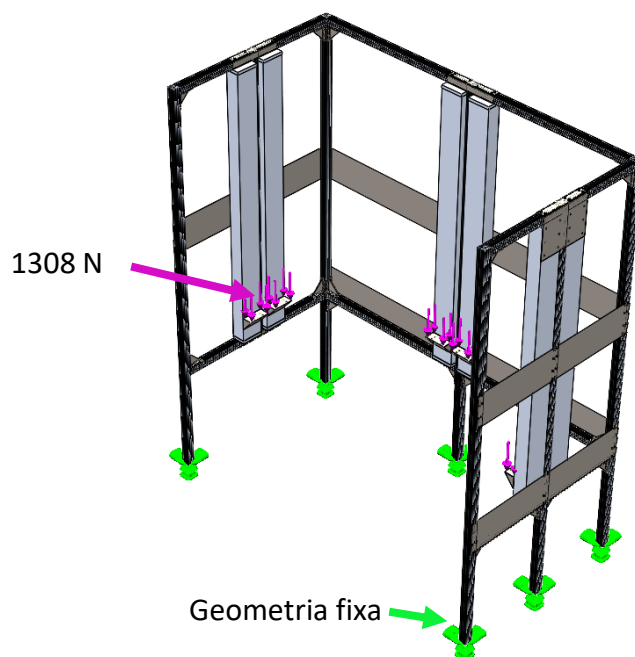


Figura 102 - Representação das fixações e forças aplicadas no sistema de carregamento (posição 1).

Os atuadores que movimentam o suporte das ventosas na vertical foram simplificados para facilitar a análise sendo que o objetivo principal deste estudo é verificar o comportamento da estrutura no geral. Para a simplificação respeitou-se as dimensões gerais do componente original bem como o material utilizado para a produção da maioria das peças.

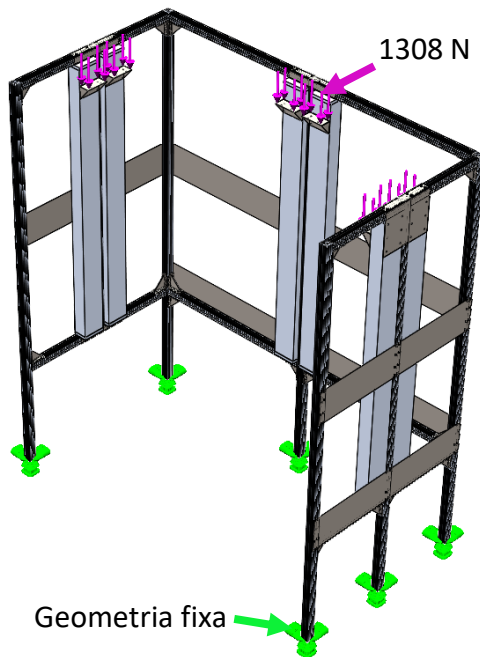


Figura 103 - Representação das fixações e forças aplicadas no sistema de carregamento (posição 2).

Os detalhes da malha usada para esta simulação estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 - Detalhes da malha utilizada.

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malha	Malha baseada na curvatura
Qualidade da malha	Alta
Pontos jacobianos	16
Tamanho máximo dos elementos	381,625 mm
Tamanho mínimo dos elementos	76,325 mm
Total de nós	1017289
Total de elementos	527855

A nível de materiais utilizados, esta estrutura é igual à estrutura analisada anteriormente. O perfil utilizado é de alumínio EN-AW 6060 e as restantes peças estruturais são de aço AISI 1035. Para o modelo dos atuadores usou-se o mesmo alumínio dos perfis já que os materiais deles, na realidade, têm propriedades idênticas.

A distribuição das tensões de von Mises está representada na Figura 104 e na Figura 105, na posição inferior e superior, respetivamente. Ambas apresentam valores

relativamente idênticos de tensão máxima e mínima. O local onde ocorre a tensão máxima é idêntica para os dois estágios do projeto. A posição 1 é onde se regista um maior valor de tensão (62,99 MPa) e localiza-se na peça que une o suporte das ventosas ao atuados. Estes resultados mostram um comportamento adequado da estrutura.

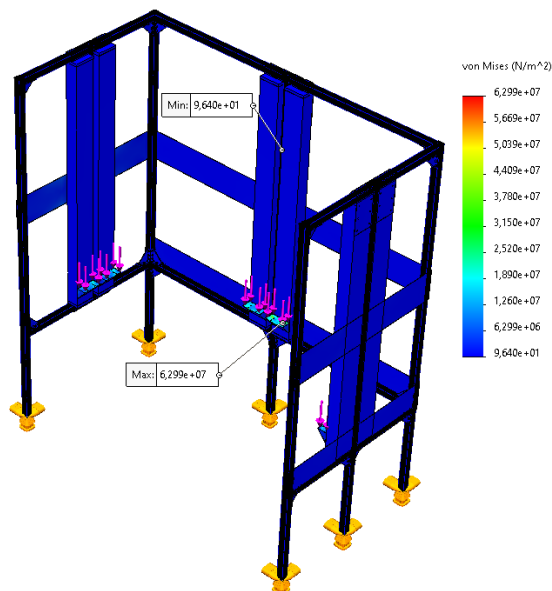


Figura 104 - Representação dos resultados relativos à tensão de von Mises na posição 1.

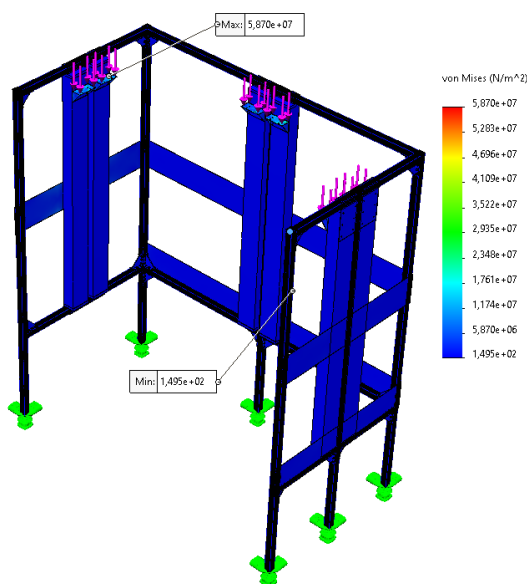


Figura 105 - Representação dos resultados relativos à tensão de von Mises na posição 2.

A análise do deslocamento resultante mostra que, os resultados indicam que os valores são muito próximos se comparadas as duas situações. Os resultados presentes na Figura 106 e na Figura 107 demonstram que o maior deslocamento ocorre quando o suporte de ventosas encontra-se na posição 1, registando 0,2984 mm na peça que une o suporte ao atuador. Este valor é aceitável para as funções que a estrutura desempenha.

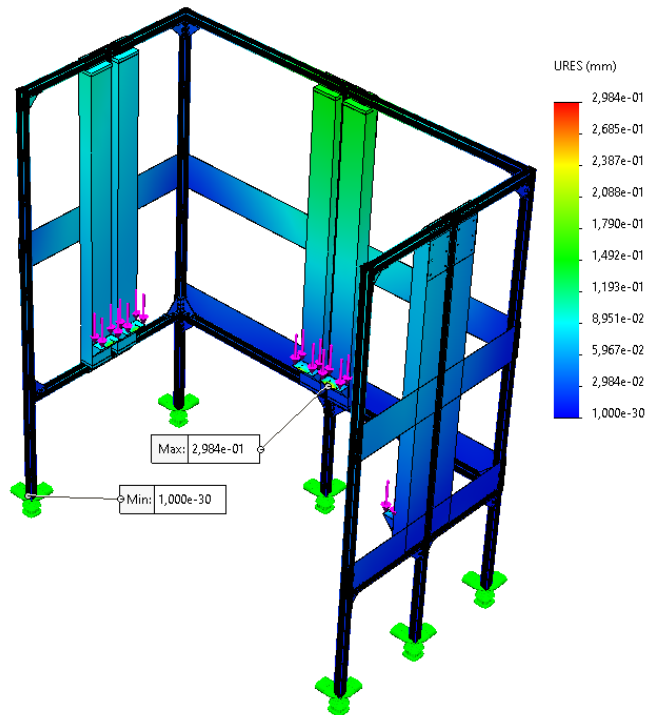


Figura 106 - Representação dos resultados relativos ao deslocamento resultante na posição 1.

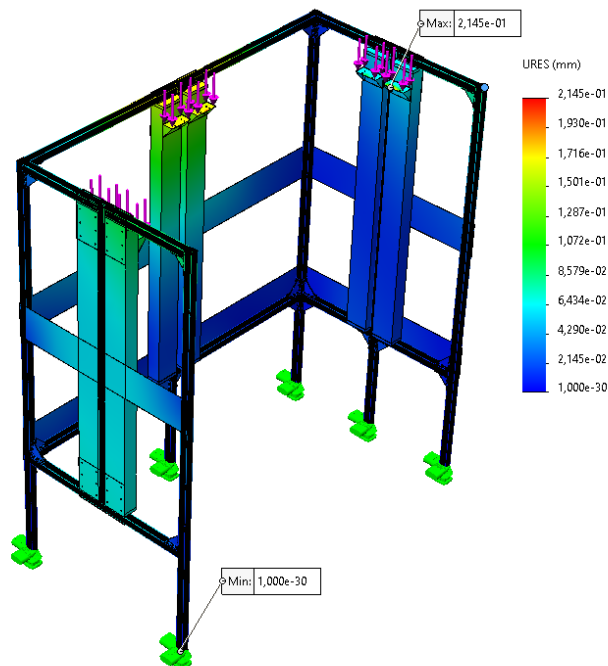


Figura 107 - Representação dos resultados relativos ao deslocamento resultante na posição 2.

Por fim, os resultados relativos aos fatores de segurança para os dois casos estão presentes na Figura 108 e na Figura 109. Com a análise dos resultados conclui-se assim que durante o processo de carregamento das chapas a estrutura não atinge um valor de coeficiente de segurança inferior a 9. Estes valores são adequados, mostrando que a estrutura está bem desenhada e proporciona um funcionamento seguro.

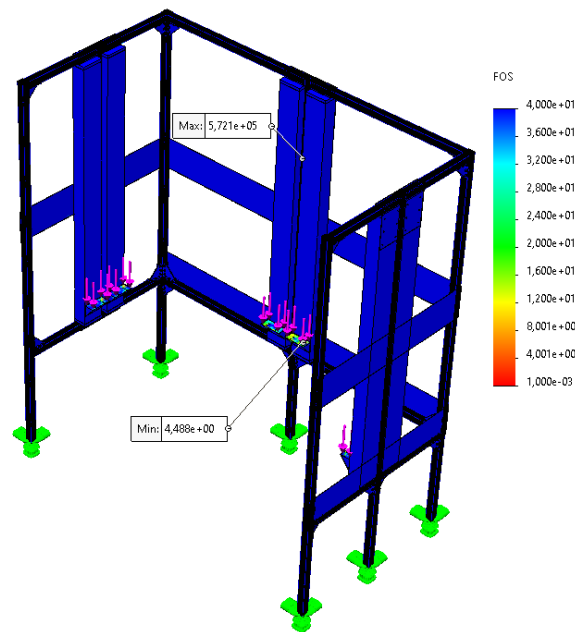


Figura 108 - Resultados do fator de segurança para a posição 1.

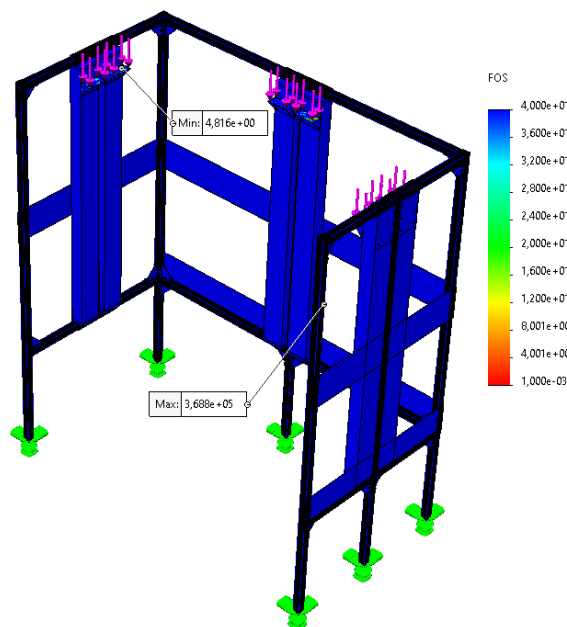


Figura 109 - Resultados do fator de segurança para a posição 2.

3.6.5 Sistema de controlo

Um sistema de controlo garante o correto funcionamento do equipamento projetado. Com a utilização de vários sensores e os atuadores dimensionados anteriormente, o autómato é capaz de controlar o *stock* de chapa e manuseá-la pela ordem que o operador definir. O sistema de controlo foi desenvolvido com base no método de GRAFCET.

O nome deste método tem origem na abreviatura francesa *GRAPhe de Commande Etape-Transition* (GRAF CET), que em português se traduz para gráfico para controlo de estado-transição. Tal como o nome indica, este método representa graficamente a evolução de um sistema com base nas etapas, transições e recetividades. Esta ferramenta é muito importante para o desenvolvimento de qualquer projeto pois permite a comunicação entre todos os intervenientes presentes desde a conceção, implementação, utilização e manutenção do equipamento. Para projetos automatizados, o método GRAFCET serve de base para todo o processo de automatização, permitindo descrever o funcionamento de sistemas complexos de forma simplificada e, desta forma, estruturar a conceção dos sistemas automatizados. Posteriormente é possível gerar automaticamente o programa utilizado pelo autómato. Para o equipamento desenvolvido foi escolhido o autómato Simatic S7 200-CPU 226 da Siemens, que irá processar o programa que controlará todo o funcionamento do equipamento. Este programa é desenvolvido tendo por base um conjunto de GRAFCET apresentados e explicados de seguida.

Na Tabela 12 estão representados os códigos e os respetivos significados das entradas utilizadas nos diagramas GRAFCET.

Tabela 12 - Codificação das entradas utilizadas nos diagramas GRAFCET.

Código	Função
IA	Interruptor de acionamento
t0	Temporização de 1 segundo
fcv	Fim de curso do sistema de ventosas
fcab	Fim de curso dos atuadores da base
scv0	Sensor de posição vertical do carro (posição inicial)
scv1	Sensor de posição vertical do carro (posição das chapas 0,6 lacada)
scv2	Sensor de posição vertical do carro (posição das chapas 0,6 galvanizada)
scv3	Sensor de posição vertical do carro (posição das chapas 1,5 galvanizada)
scv4	Sensor de posição vertical do carro (posição das chapas 2,5 galvanizada)
scvd	Sensor de posição vertical do carro (posição de descarga)
fcsd1	Fim de curso do da guia linear do sistema de descarga

fcsd2	Fim de curso do atuador do sistema de descarga
ssc0	Sensor de posição do sistema de carga (posição inicial)
ssc1	Sensor de posição do sistema de carga (posição das chapas 0,6 lacada)
ssc2	Sensor de posição do sistema de carga (posição das chapas 0,6 galvanizada)
ssc3	Sensor de posição do sistema de carga (posição das chapas 1,5 galvanizada)
ssc4	Sensor de posição do sistema de carga (posição das chapas 2,5 galvanizada)
BE	Botão de emergência
b1	Botão de seleção da chapa 0,6 lacada
b2	Botão de seleção da chapa 0,6 galvanizada
b3	Botão de seleção da chapa 1,5 galvanizada
b4	Botão de seleção da chapa 2,5 galvanizada
bd	Botão de descarga
sv	Sensor de vácuo
spsv	Sensor de pressão do sistema de ventosas
spsd	Sensor de pressão do sistema de descarga
ss1	Sensor de controlo de <i>stock</i> da chapa 0,6 lacada
ss2	Sensor de controlo de <i>stock</i> da chapa 0,6 galvanizada
ss3	Sensor de controlo de <i>stock</i> da chapa 1,5 galvanizada
ss4	Sensor de controlo de <i>stock</i> da chapa 2,5 galvanizada

Na Tabela 13 estão representados os códigos e os respetivos significados das saídas utilizadas nos diagramas GRAFCET.

Tabela 13 - Codificação das saídas utilizadas nos diagramas GRAFCET.

Código	Função
ASC1	Atuador do sistema de carga (posição das chapas 0,6 lacada)
ASC2	Atuador do sistema de carga (posição das chapas 0,6 galvanizada)
ASC3	Atuador do sistema de carga (posição das chapas 1,5 galvanizada)
ASC4	Atuador do sistema de carga (posição das chapas 2,5 galvanizada)
ACE1	Atuador para a elevação do carro (posição das chapas 0,6 lacada)
ACE2	Atuador para a elevação do carro (posição das chapas 0,6 galvanizada)
ACE3	Atuador para a elevação do carro (posição das chapas 1,5 galvanizada)
ACE4	Atuador para a elevação do carro (posição das chapas 2,5 galvanizada)
ACED	Atuador para a elevação do carro (posição de descarga)
AB	Atuadores da base
ASD1	Guia linear do sistema de descarga
ASD2	Atuador do sistema de descarga
ASV	Atuadores do sistema de ventosas
BV	Bomba de vácuo
LVD	Luz verde
LVM	Luz vermelha

Na Figura 110 é representado o GRAFCET correspondente ao processo de manuseamento das chapas entre o armazém de chapa e o carro, e posterior descarga das mesmas na puncionadora. Numa sequência normal de trabalho, o equipamento começa na posição inicial. Nesta etapa, os atuadores da base (AB), do carro (ACE, ASD1 e ASD2), do sistema de ventosas (ASV) e do sistema de carga (ASC) encontram-se recolhidos. Antes de tudo, o operador deve ligar o interruptor de acionamento (IA) para dar início ao processo. De seguida, o operador pressiona na consola de comando o botão correspondente à chapa que deseja colocar no carro (b1, b2, b3, b4).

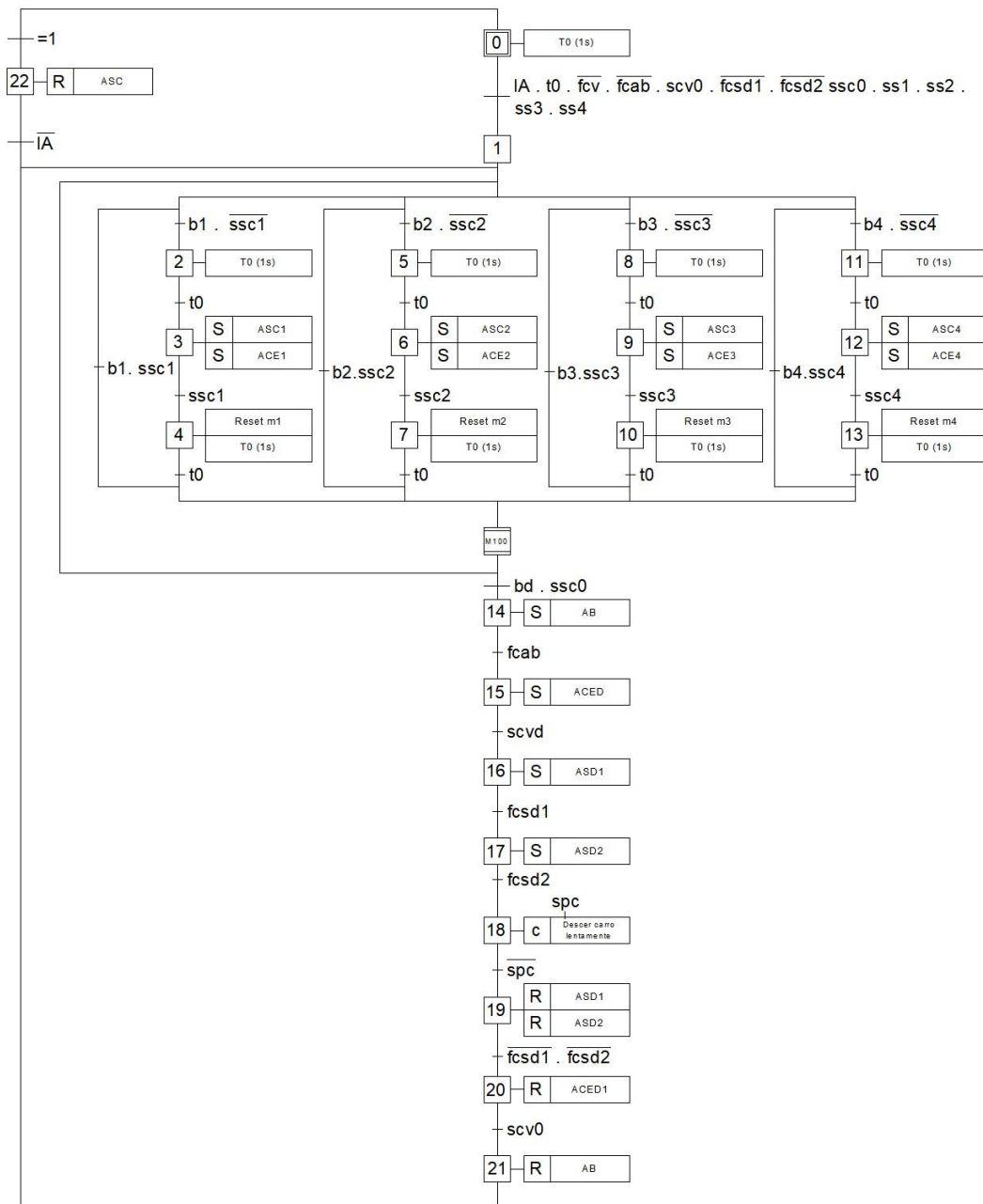


Figura 110 - GRAFCET referente ao processo de carregamento do carro e descarga das chapas na puncionadora.

Quando um dos botões referidos anteriormente for pressionado, o autómato confirma a posição do sistema de carga com o auxílio de sensores, e para durante 1 segundo antes de proceder à sua movimentação. Aquando da sua chegada ao nível desejado, o sistema de carga para novamente por 1 segundo. Depois inicia o processo de manuseamento da chapa entre o armazém de chapa e o carro. De seguida, o operador pode pressionar novamente um dos botões b1, b2, b3 e b4, fazendo o autómato repetir o processo anterior, ou pode pressionar o botão de descarga (bd), dando início ao processo de descarga. No caso de atuação do botão bd, o autómato dá a ordem para acionar os

atuadores da base (AB) e, quando o sensor de fim de curso dos atuadores da base for acionado, os atuadores responsáveis pela elevação do carro são acionados para a posição de descarga (ACED). De seguida, os atuadores do sistema de descarga são acionados na devida ordem. Posteriormente o carro desce lentamente até o sensor de pressão presente no sistema de descarga deixar de atuar. Nesta altura, os atuadores do sistema de descarga são recolhidos seguidos dos atuadores da base. Desta forma, o sistema de descarga e o carro voltam à posição inicial. Para desligar o sistema, o operador deve desligar o interruptor de acionamento, o que conseqüentemente recolhe os atuadores do sistema de carga para a posição inicial.

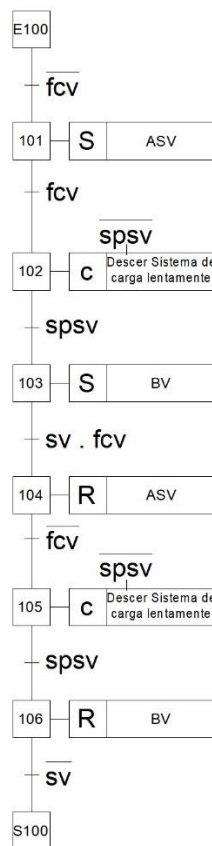


Figura 111 - GRAFCET de expansão da macro etapa M100.

O processo de funcionamento do sistema de ventosas e colocação da chapa no carro está contida na macro etapa M100. Na Figura 111 está representado o GRAFCET de expansão desta macro etapa. Este processo inicia-se com o acionamento dos atuadores do sistema de ventosas e quando for atingido o fim de curso destes atuadores. Quando estas duas condições forem satisfeitas, o autómato dá ordem para os atuadores do sistema de carga iniciarem a descida lenta até o sensor de pressão, presente no sistema de ventosas, ser atuado. Posteriormente, a bomba de vácuo é acionada e os atuadores do sistema de ventosas são recolhidos. Para finalizar, os atuadores do sistema de carga descem novamente até o sensor de pressão ser acionado, o que significa que a chapa

entrou em contacto com o carro. Quando o sensor de pressão é acionado novamente a bomba de vácuo desliga, o que solta a chapa no carro.

O projeto desenvolvido possui um sistema de controlo de *stock* composto por um conjunto de luzes e sensores. A Figura 112 mostra o GRAFCET do sistema de controlo de *stock*. O conjunto de luzes é acionado quando o interruptor de acionamento (IA) é ligado. Os sensores de controlo de *stock* estão instalados em cada nível do armazém de chapa. O sensor emite um feixe de infravermelhos que é refletido de volta para o sensor. Quando o *stock* está cheio, o sensor não é acionado pois este não recebe o feixe refletido. Quando o nível de *stock* entra num nível de quase rutura o feixe de infravermelhos é emitido e recebido pelo sensor dando sinal ao autónomo para acender a luz vermelha. Caso contrário, a luz verde é acionada e permanece ligada enquanto o nível de *stock* se encontrar acima do que foi imposto. Quando o interruptor de acionamento for desligado, as luzes são desligadas.

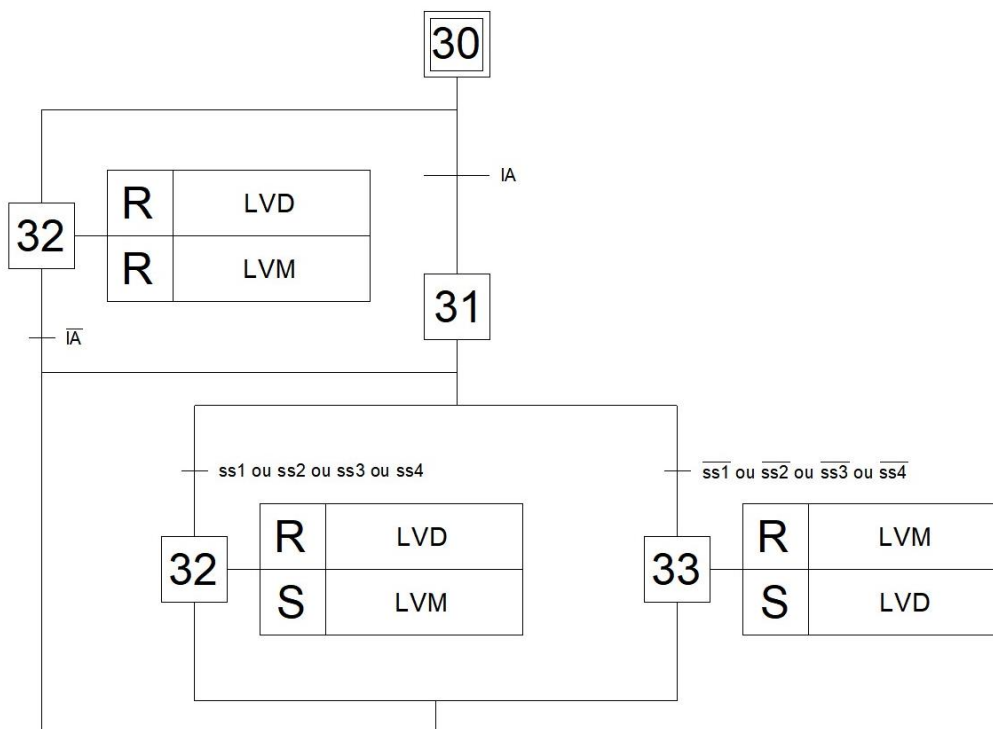


Figura 112 - GRAFCET do sistema de controlo de *stock*.

Por fim, o sistema projetado ainda possui um sistema de emergência, cujo GRAFCET está representado na Figura 113. Neste sistema, quando o operador pressiona o botão de emergência, o autómato interrompe o processo e para todos os atuadores à exceção da bomba de vácuo, impedindo assim a queda da chapa manuseada.

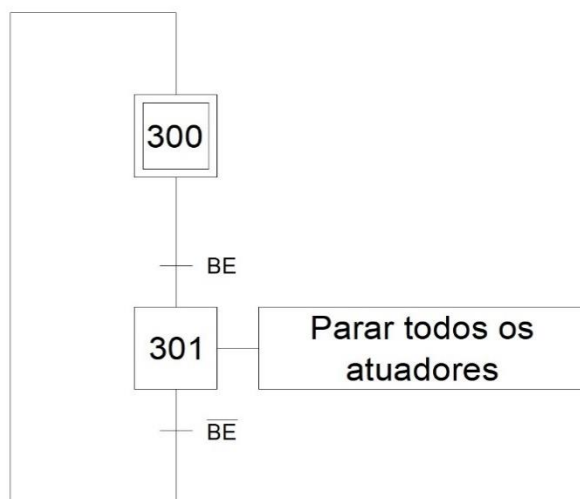


Figura 113 - GRAFCET do sistema de emergência.

3.6.6 Materiais e processos de fabrico

A realização do equipamento projetado envolve diversos processos de fabrico e materiais. Na Tabela 14, apresentada de seguida, estão referidos todos os processos, materiais e respetivas quantidades dos componentes que compõem a base do equipamento.

Tabela 14 - Processos de fabrico, materiais e quantidades dos componentes da base.






Componente	Ilustração	Material	Processo fabrico	Quantidade
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	1 × 2,270 m
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	2 × 4,180 m
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	6 × 6,0 m

Fixação ao chão nº1		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Quinagem; Soldadura Mig/Mag; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	4 unidades.
Fixação ao chão nº2		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Quinagem; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	6 unidades

Os componentes presentes na Tabela 15 referem-se aos utilizados no sistema de carga.

Tabela 15 - Listas dos materiais e dos processos do sistema de carga.


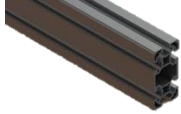
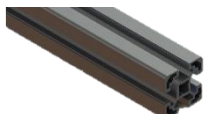

Componente	Ilustração	Material	Processo fabrico	Quantidade
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	6 × 4,8 m
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	4 × 2,0 m
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	6 × 1,0 m
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	1 × 2,090 m

Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	1 × 3,505 m
Suporte do sistema de ventosas		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Quinagem; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	6 unidades
Chapa estabilizadora		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	3 unidades
Chapa estabilizadora		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Chapa de fixação dos atuadores		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Quinagem; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	3 unidades

Os componentes e os seus respetivos materiais e processos de fabrico, para a construção do suporte de ventosas estão descritos na Tabela 16.


Tabela 16 - Lista de materiais e processos do suporte de ventosas.

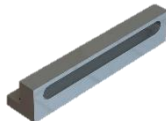
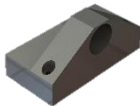




Componente	Ilustração	Material	Processo fabrico	Quantidade
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	2 × 3,69 m
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	2 × 2,05 m
Suporte guia linear (Suporte das ventosas)		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Maquinagem CNC Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	12 unidades
Peça de ligação		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Maquinagem CNC Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	2 × 0,905 m
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	1 × 3,99 m



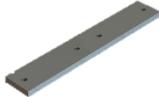


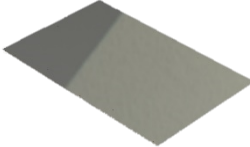
Cotovelo de união		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Quinagem; Soldadura MIG/MAG; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Perfil extrudido 40x80		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	2 × 1,12 m
Perfil extrudido 40x40		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	1 × 1,0 m
Perfil extrudido 40x40		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	8 × 1,5 m
Perfil extrudido 40x40		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Anodização.	2 × 2,92 m
Fixação das ventosas		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Quinagem; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	32 unidades








Na Tabela 17 estão contemplados os materiais e os processos de fabrico utilizados na produção dos componentes do carro que transporta as chapas entre o armazém e a puncionadora.

Tabela 17 - Lista de materiais e processos do carro.

Componente	Ilustração	Material	Processo fabrico	Quantidade
Base do carro		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	1 unidade
Perfil de aço da base		Aço S275	Corte de serra; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Perfil de aço da base		Aço S275	Corte de serra; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Triângulo de ligação da base		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	4 unidades
Suporte do atuador da base		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Quinagem; Maquinagem CNC; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
União entre o atuador e a barra do elevador		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Maquinagem CNC; Quinagem; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades

Guia das barras do elevador		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Maquinagem CNC; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	4 unidades
Fixação das barras do elevador		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Maquinagem CNC; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	4 unidades
Barra do elevador		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Maquinagem CNC; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	16 unidades
Barra estabilizadora do elevador		Aço S275	Corte de serra; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	4 unidades
Fixação da barra estabilizadora		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Maquinagem CNC; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	16 unidades
Barra de suporte do topo		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	1 unidade




Barra de suporte do topo		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Barra de suporte do topo		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Ligação dos suportes do topo		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Ligação dos suportes do topo		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Ligação dos suportes do topo		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	2 unidades
Topo elevador		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	1 unidade

Suporte de atuador do topo do elevador		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Quinagem; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	12 unidades
Chapa lateral para a caixa do atuador do sistema de distribuição		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Maquinagem CNC; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	12 unidades
Chapa posterior para a caixa do atuador do sistema de distribuição		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	6 unidades
Chapa superior para a caixa do atuador do sistema de distribuição		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	6 unidades
Chapa dianteira para a caixa do atuador do sistema de distribuição		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Furos: Fresadora; Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	6 unidades
Adaptador para o embolo do atuador		Aço S275	Corte laser ou jato de água; Maquinagem CNC Tratamento: Decapagem, Metalização e zincagem; Pintura: 0, 153, 153 (sistema RGB).	6 unidades
Perfil extrudido 90x90		Liga de alumínio 6060	Corte de serra; Processo de anodização.	3 x 2 m

3.6.7 Lista de componentes

Na Tabela 18 estão listadas todas as peças normalizadas que constituem o projeto. A lista contempla várias informações tal como a designação da peça, a referência do fornecedor e a quantidade.

Tabela 18 - Lista de componentes normalizados.

Imagem do componente	Designação	Fornecedor e referência	Quantidade
Automação			
	Cilindro sem haste	Fornecedor: SMC Referência: MY1B63-5000-M9BW	3 unidades na base
	Cilindro sem haste	Fornecedor: SMC Referência MY1HT50-3415H-Y7BW	6 unidades no sistema de carga
	Cilindro sem haste	Fornecedor: Festo Referência: DGC-63-1800-KF-P-A	2 unidades no suporte das ventosas
	Cilindro pneumático	Fornecedor: Festo Referência: DFPI-320-400-ND2P-C1V-NB3P-A	2 unidades no carro

	Cilindro sem haste	Fornecedor: Festo Referência: DGC-63-1620-KF-P-A	3 unidades no carro
	Cilindro pneumático	Fornecedor: SMC Referência CA2BNil100-250Nil-Y7BW	3 unidades no carro
	Ventosas	Fornecedor: Festo Referência: ESS-60-G-T-A-M10	16 unidades no suporte de ventosas
	Bomba de vácuo	Fornecedor: SCHMALZ Referência: EVE-TR-X 16 AC3	1 unidade
	Medidor de vácuo	Fornecedor: Festo Referência: VAM-63-V1/0-R1/4	1 unidade



Suporte
para
ventosas

Fornecedor:

Festo

Referência:

ESH-HB-5-M5

16 unidades no suporte
de ventosas



Tubo
flexível

Fornecedor:

Festo

Referência:

PUN-6x1-BL

Quantidade não
determinada



Autômato

Fornecedor:

Siemens

Referência:

Simatic S7-200

1 unidade



Estação de
controle

Fornecedor:

Schneider

Referência:

Harmony XAC

1 unidade



Sensor de
pressão





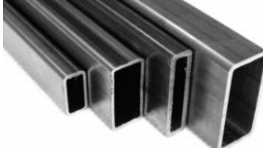
Fornecedor:

Festo

Referência:

SDE5-D10-O-Q4E-P-
M8

34 unidades

	Fim de curso	Fornecedor: Festo Referência: S-3-BE-SW	4 unidades
	Sensor ótico	Fornecedor: Festo Referência: SOOD-BS-L-PN-30	4 unidades
	Codificador de movimento	Fornecedor: Festo Referência: MME-MTS-1250-TLF-AIF	2 unidades
	Torre luminosa	Fornecedor: Schmersal Referência: TLM 70	1 unidade
Material estrutural			
	Tubos de aço	Fornecedor: J. Soares Correia Referência: ---	12 metros

	Chapa de aço	Fornecedor: Chagas Referência: ---	---
	Tubos de aço	Fornecedor: J. Soares Correia Referência: ---	7 metros
	Perfil Extrudido	Fornecedor: Rexroth Referência: 90×90 D10	140 metros
	Perfil Extrudido	Fornecedor: Rexroth Referência: 40×40 D10	19 metros
	Perfil Extrudido	Fornecedor: Rexroth Referência: 40×80 D10	3 metros
	Porca com flange e parafuso com cabeça de martelo	Fornecedor: Rexroth Referência: ---	---

	Ligação para cargas pesadas	Fornecedor: Rexroth Referência: ---	43 unidades
	União	Fornecedor: Rexroth Referência: ---	36 unidades
	União R	Fornecedor: Rexroth Referência: ---	6 unidades
	Parafuso DIN 912	Fornecedor: Fabory Referência: ---	---
	Porca sextavada DIN 934	Fornecedor: Fabory Referência: ---	---



Anilha plana
DIN 125-1A

Fornecedor:

Fabory

Referência:



Rolamento de
esferas

Fornecedor:

SKF

Referência:

W61708

16

unidades

3.6.8 Montagem do equipamento

O projeto foi pensado e desenhado por módulos sendo que a sua montagem é realizada separadamente. De seguida são descritos todos os passos necessários para a montagem do equipamento. O primeiro passo é posicionar corretamente armazém de chapa ao lado da puncionadora. O armazém deve estar a uma distância de aproximadamente 1,350 metros da puncionadora. Depois disso, a base, onde assenta o sistema de distribuição, deve ser fixo ao chão precisamente a frente do armazém de chapa, alinhado com este. Para finalizar a montagem da base resta colocar as guias onde irá correr o carro e os atuadores que o farão mover (Figura 114).

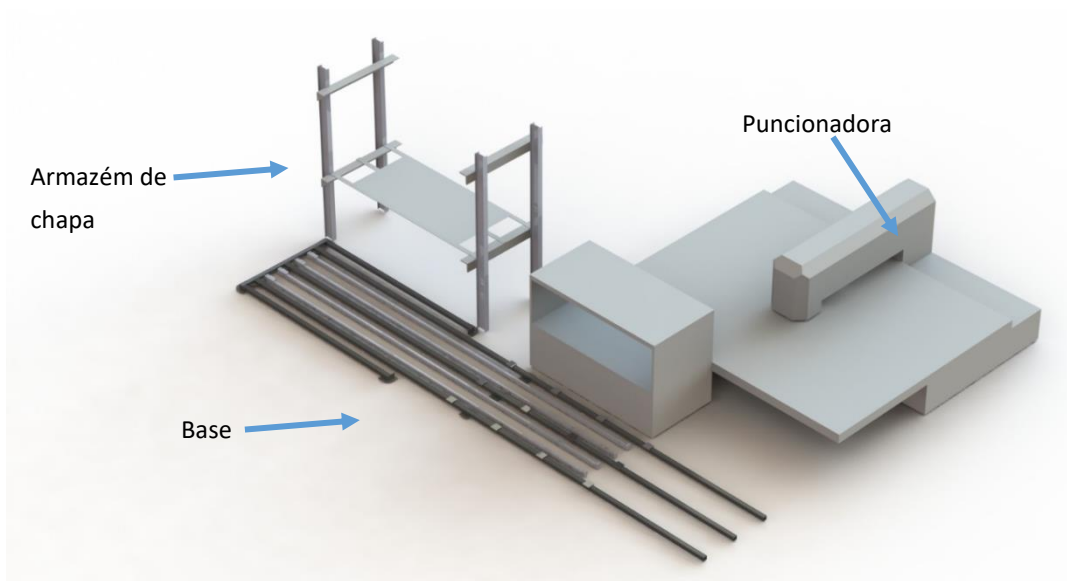


Figura 114 - Primeiro passo para a montagem do equipamento.

Com a base montada segue-se o sistema de carga (Figura 115). Primeiro procede-se à montagem da estrutura com os perfis de alumínio e, por fim, são colocados os dos atuadores.

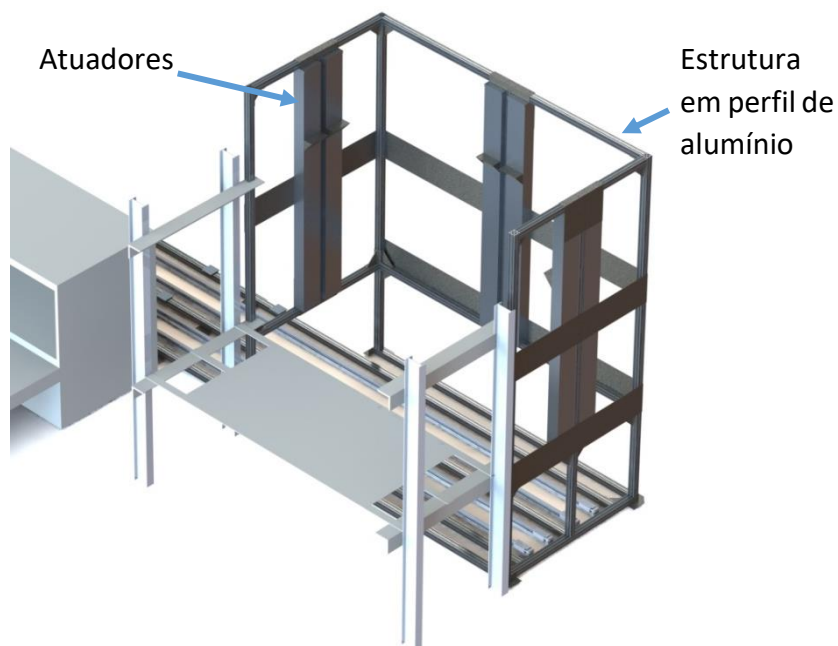


Figura 115 - Montagem do sistema de carga do carro.

Para finalizar o sistema de carga só resta a montagem do suporte das ventosas. Este pode ser montado à parte e depois instalado nos atuadores da estrutura de carga (Figura 116).

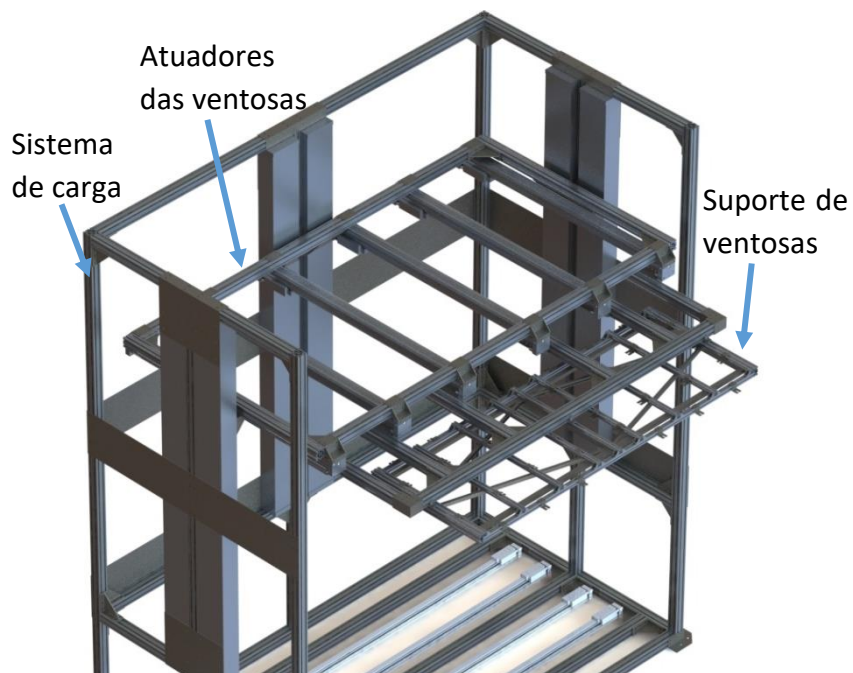


Figura 116 - Montagem do suporte de ventosas.

O penúltimo passo de montagem é montar o carro. Primeiro unem-se os tubos de aço cortados à meia esquadria e os cantos de união através de soldadura. A Figura 117 mostra o resultado final deste passo.

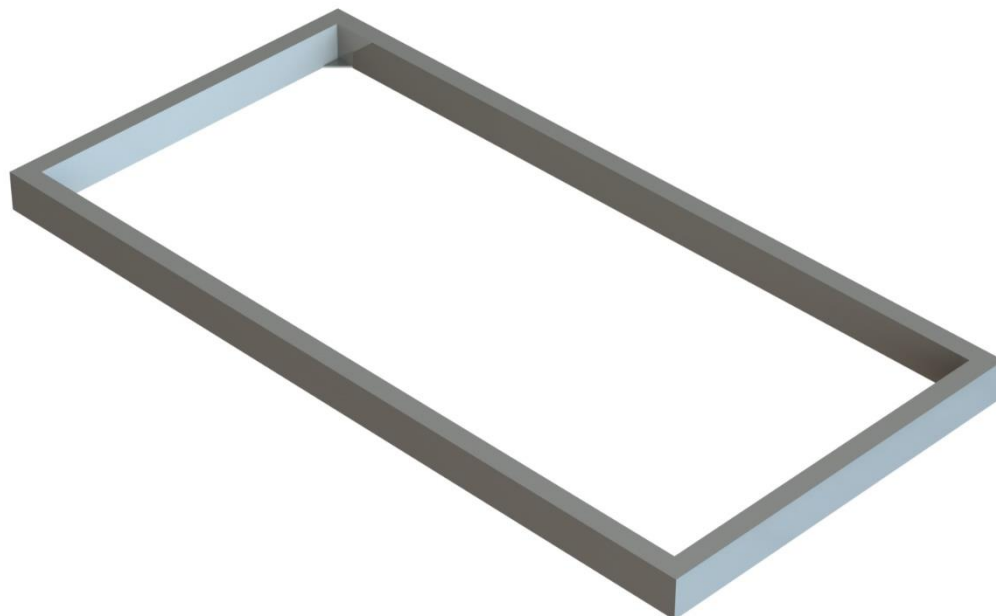


Figura 117 - Tubos de aço e cantos de união soldados.

Depois deve-se unir a chapa de fundo com parafusos pelos cantos de união e proceder também à soldadura entre a chapa e os tubos de aço. Com a base totalmente pronta é possível colocar as fixações dos atuadores, a guia, os porta casquilhos e os atuadores na base (Figura 118).

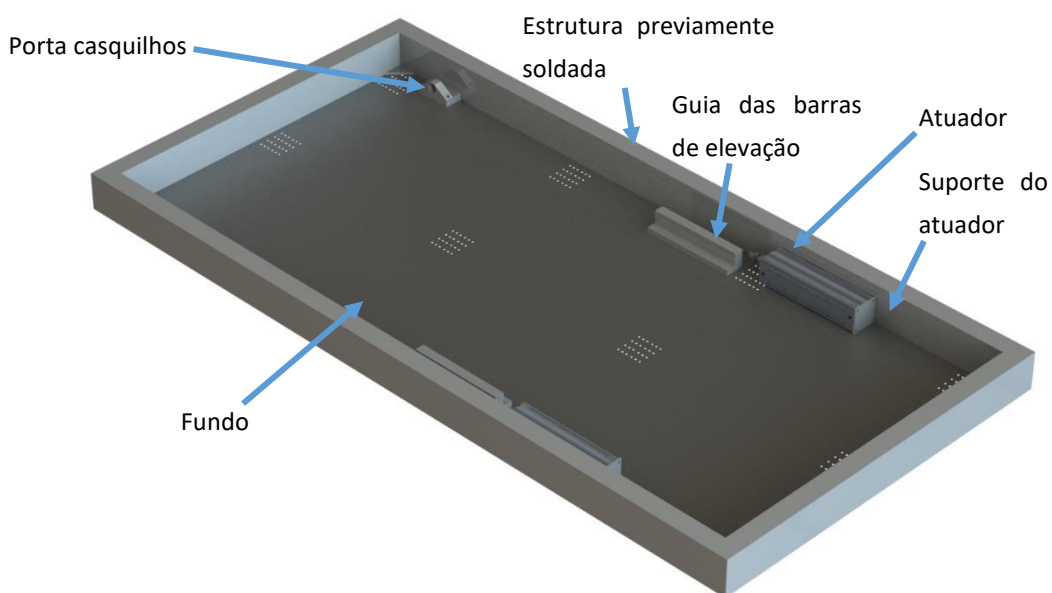


Figura 118 - Base do carro com os componentes montados.

Na Figura 119 mostra o passo intermédio da montagem do carro. Neste passo procede-se à montagem das barras que farão o levantamento da carga, bem como a sua fixação aos atuadores, e à montagem dos elementos cilíndricos de ligação que darão rigidez ao elevador.

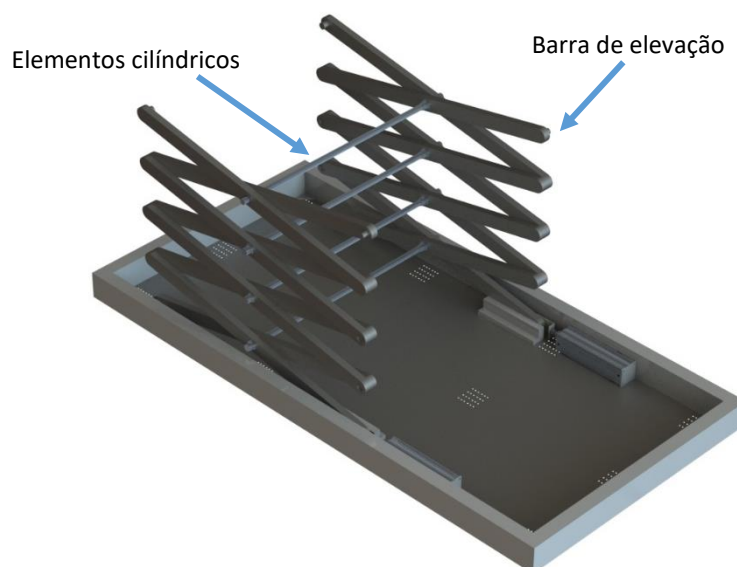


Figura 119 - Montagem das barras de elevação.

A seguir monta-se a estrutura que suportará o topo do elevador (Figura 120) bem como os porta casquilhos e as guias superiores que fixam nas barras de elevação.

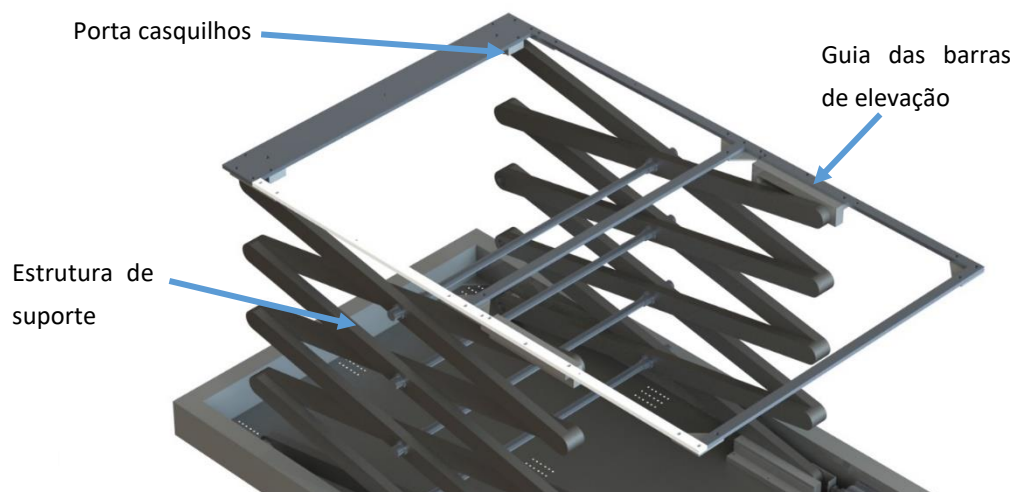


Figura 120 - Estrutura para a parte superior do elevador.

Para finalizar o carro, tal como é representado na Figura 121, resta fixar o topo do elevador na estrutura de suporte e montar os conjuntos compostos pela guia linear, o perfil e um atuador pneumático, que fará o movimento horizontal da palete com as chapas para entrar na puncionadora.

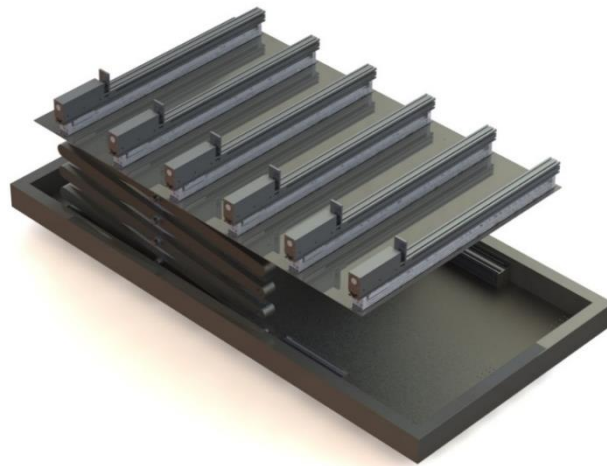


Figura 121 - Montagem completa do carro.

Para concluir, o carro é posicionado sobre as guias da base do equipamento conforme apresentado na Figura 122.

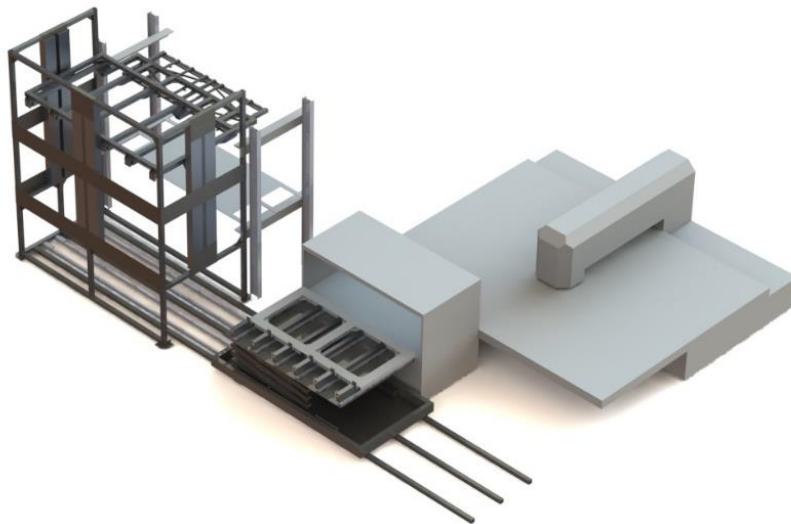


Figura 122 - Equipamento totalmente montado.

3.6.9 Custos associados ao equipamento

O custo para a produção deste equipamento foi estimado com base numa média de preços dos vários componentes da máquina. Como alguns processos de fabrico não podem ser executados na ARFIT adicionou-se o custo da soldadura, maquinaria e mão de obra ao custo total. Na Tabela 19 estão descritos os custos associados à produção deste equipamento.

Tabela 19 - Custo final do equipamento.

Artigos	Valor (€)
Material estrutural: <ul style="list-style-type: none"> • Perfil (Bosch Rexroth); • Fixações (Bosch Rexroth); • Matéria-prima (chapa/tubos de aço); • Fixações diversas. 	25000 €
Material Pneumático: <ul style="list-style-type: none"> • Atuadores (Festo/SMC); • Acessórios. 	15000 €
Acessórios de vácuo: <ul style="list-style-type: none"> • Ventosas; • Gerador de vácuo; • Acessórios. 	3000 €
Maquinagem CNC	5000 €
Soldadura	1000 €
Decapagem, metalização, zincagem e pintura	3000 €
Total	52000 €

De lembrar que este valor final é uma estimativa, portanto o preço real pode variar consoante o mercado.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

A ARFIT é, comparando com as grandes multinacionais da área de climatização, uma empresa pequena. Portanto, a automação ainda não está muito presente no íntimo da sua produção.

A automação, nos tempos de hoje, tem um grande peso no setor industrial. A utilização de meios automatizados permite ter uma eficiência de produção bastante maior e um custo de produção inferior aos métodos mais rudimentares.

Posto isto, um dos requisitos para a ARFIT crescer no mercado é fazer uso da automação e tirar partido das suas vantagens. Esta mentalidade de querer fazer crescer e melhorar a empresa deu origem ao objetivo principal de criar um equipamento que permitisse automatizar parte do processo de produção das máquinas de tratamento de ar. A etapa do processo que se escolheu para melhorar foi o transporte da chapa até à punçionadora, pois esta requer muitos recursos e tempo.

Para a elaboração deste projeto foram estabelecidos os requisitos mínimos (referidos no capítulo 3) para o seu funcionamento. Com bases nesses objetivos escolheu-se a melhor solução a adotar e projetou-se um equipamento automatizado capaz de cumprir os objetivos.

Para este projeto foram tidas em conta 3 opções de construção para o equipamento, e foram analisados os pontos fortes e fracos de cada opção. A solução que prevaleceu é composta por um carro que transporta as chapas do armazém de chapa até à punçionadora e um sistema de carga que carrega o carro com as chapas. O sistema de carga é composto por um sistema de ventosas para o manuseamento das chapas. Os pontos fortes desta solução são a elevada cadênciade de alimentação e a sua construção compacta. Para o acionamento deste equipamento foram escolhidas soluções pneumáticas devido à grande precisão característica deste sistema. O carro possui um elevador de tesoura com o objetivo de acompanhar o sistema de ventosas durante o seu carregamento, de forma a otimizar o processo. Na parte superior do carro estão instalados 6 atuadores que procedem a descarga das chapas diretamente na punçionadora. O sistema de carga é uma estrutura composta principalmente de perfis de alumínio que apresenta um coeficiente de segurança mínimo de 4,5, aproximadamente. Este sistema movimentará o sistema de ventosas verticalmente. O

sistema de ventosas possui 32 ventosas e apresenta um coeficiente de segurança de aproximadamente 3,6.

A análise do resultado final do projeto mostrou que é possível garantir que o equipamento é capaz de carregar com sucesso várias chapas de diferentes espessuras e transportá-las até à puncionadora de forma autónoma. A forma compacta como o equipamento está construído permite uma grande otimização do espaço em chão de fábrica.

No entanto, também é possível averiguar que existem algumas limitações a nível estrutural e de funcionamento do equipamento. Este está projetado para um caso muito específico, sendo que qualquer modificação da matéria-prima pode levar à sua inutilização. Por outro lado, o equipamento pode apresentar alguns problemas no manuseamento das paletes vazias. Este problema poderia ser resolvido com a criação de um espaço dedicado a paletes no armazém de chapa, embora só possa ser verdadeiramente identificado e corrigido quando o equipamento for montado e testado.

Esta solução poderia ser utilizada na ARFIT de forma a tornar autónoma a alimentação da puncionadora, que poderia desta forma trabalhar sem realizar paragens para abastecer chapa. Para além disso, não seria necessário o uso do empilhador nem de operários, reduzindo o tempo de produção e o custo de mão de obra significativamente.

4.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Considera-se existir algumas propostas de trabalho que completariam e melhorariam bastante a solução desenvolvida nesta dissertação. As propostas serão apresentadas a seguir, ordenadas da mais importante para a menos importante. Posto isto, as propostas são as seguintes:

- Solução para retirar as paletes (utilizadas para o transporte das chapas) do interior da puncionadora sem interferir com a cadêcia do equipamento;
- Redesenhar o sistema para poder manusear chapas mais pesadas e com formas mais variadas;
- Redesenhar a solução para ser capaz de alimentar mais do que 1 posto de trabalho separadamente.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] A. Mital, A. Desai, A. Subramanian, A. Mital, *Product Development*. Oxford, Inglaterra: Butterworth-Heinemann, 2008.
- [2] J. Yates, C. N. Murphy, *The International Organization for Standardization (ISO)*. Abingdon, Inglaterra: Routledge, 2008. doi: 10.1080/13563460802302693.
- [3] E. Ghafoori, “Editorial for special issue on Sustainable Metallic Structures.” Elsevier, Oxford, Inglaterra, 2019.
- [4] W. Pfeil, M. Pfeil, *Estruturas de Aço*. Rio de Janeiro, Brasil: LTC, 2009.
- [5] E. Daldegan, “Tipo de Estruturas Metálicas,” 2016. <https://engenhariaconcreta.com/tipos-de-estrutura-metalica-aprenda-de-forma-simples-e-rapida/> (accessed Nov. 29, 2019).
- [6] H. Russel, “Steel-framed space-saver,” 2019. <https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/steel-framed-space-saver> (accessed Nov. 30, 2019).
- [7] J.B.J Products, “Naves industriais,” 2016. <http://jbjproducts.com/pt/naves-industriais/> (accessed Nov. 30, 2019).
- [8] L. Weiwei, T. Yoda, *Bridge Engineering*. Oxford, Inglaterra: Butterworth-Heinemann, 2017.
- [9] Porto Patrimonio Mundial, “Ponte Luis I,” 2013. <https://www.portopatrimoniomundial.com/ponte-luis-i.html> (accessed Nov. 30, 2019).
- [10] Wikipédia, “Trasmissão de energia elétrica,” 2021. [https://pt.wikipedia.org/wiki/Transmissão_de_energia_elétrica#/media/Ficheiro:Electric_wiring_near_Helsinki.JPG](https://pt.wikipedia.org/wiki/Transmiss%C3%A3o_de_energia_el%C3%A9trica#/media/Ficheiro:Electric_wiring_near_Helsinki.JPG) (accessed Dec. 04, 2019).
- [11] Faccin, “Reservatórios e Silos,” 2019. <https://www.faccin.com/pt/aplicações/tanques-e-silos/> (accessed Dec. 06, 2019).
- [12] F. Silva, *Tecnologia da Soldadura - Uma Abordagem Técnico-Didática*. Porto, Portugal: Publindústria, 2016.
- [13] T. D. Vorhies, “THE TENSION BETWEEN US!,” 2018. <https://www.sme-usa.com/blog/the-tension-between-us> (accessed Dec. 20, 2019).
- [14] S. Keeler, M. Kimchi, *Advanced High-Strength Steels Application Guidelines*

- Version 5.0*. Middletown, EUA: WorldAutoSteel, 2014.
- [15] L. W. McKeen, *Fatigue and tribological properties of plastics and elastomers*. Amesterdão, Países Baixos: Elsevier, 2010.
- [16] K. Jin, Z. Qiao, S. Zhu, J. Cheng, B. Yin, J. Yang, "Friction and wear properties and mechanism of bronze–Cr–Ag composites under dry-sliding conditions," *Tribol. Int.*, 2016.
- [17] J. P. Pathak, S. Mohan, "Tribological behaviour of conventional Al-Sn and equivalent Al-Pb alloys under lubrication," *Bull. Mater. Sci.*, vol. 26, no. 3, pp. 315–320, 2003.
- [18] R. L. Norton, *Projeto de Máquinas: Uma Abordagem*. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2004.
- [19] R. D. S. G. Campilho, *Método de Elementos Finitos: Ferramentas para Análise Estrutural*. Porto, Portugal: Publindustria, 2012.
- [20] R. D. Cook, R. J. Witt, M. E. Plesha, D. S. Malkus, *Concepts and applications of finite element analysis*. New Jersey, EUA: Wiley, 1974.
- [21] Á. F. M. Azevedo, "O Metodo Dos Elementos Finitos.," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2003.
- [22] I. C. Borgmann, "Análise por elementos finitos de um carro transportador de plataforma de corte," Faculdade Horizontina, Horizontina, Brasil, 2012.
- [23] MECALUX, "Conventional pallet racking," 2021. <https://www.mecalux.com/pallet-racks/conventional-pallet-racking> (accessed Jan. 10, 2020).
- [24] MECALUX, "Catálogo-Paletizacao dinamica." Mecalux, Barcelona, Espanha, 2021.
- [25] MECALUX, "Estantes paletização dinâmica," 2021. <https://www.mecalux.pt/estantes-paletizacao/estantes-paletizacao-dinamica> (accessed Jan. 11, 2020).
- [26] MECALUX, "Estantes paletização Push-Back," 2021. <https://www.mecalux.pt/estantes-paletizacao/estantes-paletizacao-push-back> (accessed Jan. 11, 2020).
- [27] MHI, "Automated Storage and Retrieval Systems," 2021. <https://www.mhi.org/fundamentals/automated-storage> (accessed Jan. 14, 2020).
- [28] K. Mann, "Using Automated Storage to Optimize Costs and Improve Quality Using Automated Storage to Optimize Costs and Improve Quality," MHI, Charlotte, EUA, 2013.
- [29] MECALUX, "Caso práctico : JCH El elevado rendimiento del nuevo almacén automático de cajas miniload de JCH," Barcelona, Espanha, 2021.

- [30] X. Guo, Y. Yu, R. B. M. De Koster, "Impact of required storage space on storage policy performance in a unit-load warehouse," *Int. J. Prod. Res.*, 2016.
- [31] G. Krieg, *Kanban-Controlled Manufacturing Systems*. Berlim, Alemanha: Springer Science & Business Media, 2006.
- [32] J. M. Rosário, *Robótica Industrial I Modelagem, Utilização e Programação*. Rio de Janeiro, Brasil: Baraúna, 2012.
- [33] RobotWorx, "Three types of robotic systems," 2013. <https://www.robots.com/articles/three-types-of-robotic-systems> (accessed Dec. 26, 2019).
- [34] C. Chong, "Stationary Robots," 2017. <https://cnc-machine-tools.com/stationary-robots/> (accessed Dec. 27, 2019).
- [35] N. Medi, "Robotic arm and their application," 2019. <https://www.meee-services.com/robotic-arm-and-their-application/> (accessed Dec. 27, 2019).
- [36] A. K. Gupta, S. K. Arora, *Industrial Automation and Robotics*. Duxbury, EUA: Mercury Learning & Information, 2009.
- [37] Festo, "Bionic Handling Assistant," 2012. <https://www.festo.com/group/en/cms/10241.htm> (accessed Dec. 30, 2019).
- [38] Marcovil, "Pontes Rolantes." <https://marcovil.com/pt-pt/elevacao/pontes-rolantes/> (accessed Jan. 03, 2019).
- [39] O. K. Sakurikar, D. V. Kushare, "Review of Overhead Crane and Analysis of Components Depending on Span," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 03, pp. 1004–1008, 2016.
- [40] G. Cranes, "Últimas pontes rolantes instaladas por GH em Portugal em 2016," 2017. <https://www.ghcranes.com/blog/tag/ponte-rolante-monoviga/#.Xg9WM0f7SUI> (accessed Jan. 03, 2019).
- [41] MPH, "Monorail Cranes." <https://www.mph-cranes.com/our-product/monorail-cranes/> (accessed Jan. 03, 2020).
- [42] M. Close, "What is a Gantry Crane? A Closer Look at the Different Types and Design," 2018. <https://www.mazzellacompanies.com/Resources/Blog/gantry-cranes-different-types-design> (accessed Jan. 06, 2020).
- [43] Conveyor Handling Company, "Conveyors," 2014. <https://conveyorhandling.com/products/conveyors/> (accessed Apr. 29, 2020).
- [44] Dominissini, "Transportador de roletes." <https://www.dominissiniroletes.com.br/transportador-roletes.php> (accessed May 09, 2020).
- [45] Liftech, "Elevadores Monta-cargas," 2017. <https://www.liftech.pt/pt/elevadores-monta-cargas> (accessed May 12, 2020).

- [46] STILL, “Empilhador elétrico,” 2014. <https://www.still.pt/empilhadores/empilhadores-novos/empilhador-eletrico.html> (accessed May 13, 2020).
- [47] Rerom, “Porta-paletes manual.” <https://www.rerom.pt/artigo/231971-b-handling-porta-paletes-manual> (accessed May 13, 2020).
- [48] CESAB, “P200.” <https://www.cesab-forklifts.eu/pt-pt/produtos/porta-paletes-eletricos/p200> (accessed May 15, 2020).
- [49] MHI, “Automatic Guided Vehicles.” <https://www.mhi.org/fundamentals/automatic-guided-vehicles> (accessed Jan. 31, 2021).
- [50] GEBHARDT, “AGV-850.01.” <https://www.gebhardt-foerdertechnik.de/en/products/automated-guided-vehicle/agv-85001/> (accessed Jan. 20, 2021).
- [51] J. Drury, P. Falconer, *Buildings for Industrial Storage and Distribution*. Oxford, Inglaterra: Architectural Press, 2003.
- [52] Southworth, “Loading Dock Lifts.” <https://www.southworthproducts.com/en/products/loading-dock-lifts-air-cargo-lifts> (accessed Jun. 03, 2020).
- [53] C-Trak, “Powered Roller Conveyor Systems.” http://www.conveyor-systems.co.uk/html_files/Powered_Roller_Conveyor.html (accessed Feb. 14, 2021).
- [54] Master Tecnologia Industrial Ltda., “Tudo sobre Pneumática na automação industrial.” <https://www.mtibrasil.com.br/pneumatica.php> (accessed Jun. 10, 2020).
- [55] Liqui-Moly, “Os óleos hidráulicos da LIQUI MOLY são os primeiros óleos a cumprir os padrões de qualidade máximos.” <https://www.liqui-moly.com/pt/pt/negocio/noticia/detail/news/os-oleos-hidraulicos-da-liqui-moly-sao-os-primeiros-oleos-a-cumprir-os-padroes-de-qualidade-maximos.html> (accessed Jun. 15, 2020).
- [56] A. Parr, *Hydraulics and Pneumatics, A Technician’s and Engineer’s Guide*. Amsterdão, Países Baixos: Elsevier, 2013.
- [57] Tameson, “Solenoid Valve - How They Work.” <https://tameson.com/solenoid-valve-types.html> (accessed Jun. 22, 2020).
- [58] Direct Industry, “Que motor elétrico escolher?” <http://guide.directindustry.com/pt/que-motor-eletrico-escolher/> (accessed Jun. 30, 2020).
- [59] Eletronics Tutorials, “DC Motors,” 2018. https://www.electronicstutorials.ws/io/io_7.html (accessed Feb. 28, 2021).

- [60] M. Shoham, "Hydraulic Drive Systems," in *A Textbook of Robotics 2: Structure, Control and Operation*, Boston, EUA: Springer US, 1984.
- [61] KAIDI, "What is Hydraulic Systems – A Comprehensive Introduction of Hydraulic Systems," 2017. <http://www.solenoidsupplier.com/what-is-hydraulic-system/> (accessed Mar. 03, 2021).
- [62] Growskills, "Curso Automação Pneumática Nível I." <https://www.growskills.pt/formacao-automacao-pneumatica-nivel1.html> (accessed Mar. 04, 2021).
- [63] ARFIT, "ARFIT - Estamos aqui para ficar," 2017. <http://www.arfit.pt/pt/noticias/arfit---estamos-aqui-para-ficar> (accessed Mar. 12, 2021).
- [64] Euromac, "Automatic loading/ unloading system," 2018. <https://www.euromac.com/en/prodotto/automatic-loading-unloading-system/> (accessed Jun. 01, 2020).
- [65] Festo, "Ventosa com conexão." <https://www.festo.com/pt/pt/a/189307/?q=~:sortByFacetValues-asc> (accessed May 15, 2021).
- [66] Festo, "Suction cups with connection attachments ESS / suction cups ESV Suction cups with connection attachments ESS / suction cups ESV." Festo, Esslingen, Alemanha, 2021.

ANEXOS

- 6.1 Fichas técnicas
- 6.2 Desenhos técnicos

6 ANEXOS

6.1 Fichas técnicas

6.1.1 Anexo A

Basic principles of vacuum technology

Introduction

Step 3: Calculating the holding force and breakaway force

Determining the holding force

To determine the holding force you need to know the mass of the workpiece, on the one hand, and the acceleration, on the other.

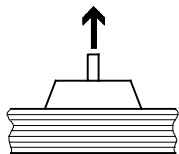


Note

The forces of acceleration that operate in a fully automatic system must be taken into consideration when designing a suction gripper system.

Case 1

Horizontal suction gripper position, vertical direction of movement (best case)



$$F_H = m \times (g + a) \times S$$

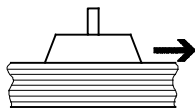
Example:

$$F_H = 0.314 \text{ kg} \times (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \times 1.5$$

$$F_H \approx 7 \text{ N}$$

Case 2

Horizontal suction gripper position, horizontal direction of movement



$$F_H = m \times (g + \frac{a}{\mu}) \times S$$

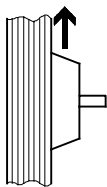
Example:

$$F_H = 0.314 \text{ kg} \times (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0.1}) \times 1.5$$

$$F_H \approx 28 \text{ N}$$

Case 3

Vertical suction gripper position, vertical direction of movement (worst case)



$$F_H = (\frac{m}{\mu}) \times (g + a) \times S$$

Example:

$$F_H = (\frac{0.314 \text{ kg}}{0.1}) \times (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \times 2$$

$$F_H \approx 93 \text{ N}$$

Result:

In accordance with the problem definition, the result of 93 N from Case 3 must be taken into account, as the system also transports the workpiece in a vertical suction gripper position with vertical force.

This value must be used for designing the system.

F_H = Theoretical holding force of the suction gripper [N]

m = Mass [kg]

g = Acceleration due to gravity [9.81 m/s²]

a = Acceleration of the system [m/s²]

Note the emergency off acceleration.

S = Safety factor (minimum value is a safety factor of 1.5, for critical, non-uniform or porous materials or rough surfaces the factor should be 2.0 or higher)

μ = Friction factor¹⁾
 0.1 for oily surfaces
 0.2 ...0.3 for wet surfaces
 0.5 for wood, metal, glass, stone ...
 0.6 for rough surfaces

1) The specified friction factors are average values and should be verified for the workpiece in question.

Basic principles of vacuum technology

Introduction



Step 3: Calculating the holding force and breakaway force

Determining the breakaway force

F_A = Theoretical breakaway force [N]

F_H = Theoretical holding force of the suction gripper [N]
(Result → 45)

n = Number of suction grippers
(2 suction grippers are planned in the problem example)





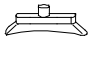
$$F_A = \frac{F_H}{n}$$

Example:

$$F_A = \frac{93 \text{ N}}{2}$$

$$F_A \approx 47 \text{ N}$$

Breakaway force F_A dependent on suction cup diameter and suction cup shape

Round suction cup		F_A at -0.7 bar				Oval suction cup		F_A at -0.7 bar
Ordering data	Suction cup \varnothing [mm]	Standard 	Extra deep 	Bellows, 1.5 convolutions 	Bellows, 3.5 convolutions 	Ordering data	Suction cup size [mm]	Oval 
→ ess	2	0.1 N				→ ess	4x10	2 N
	4	0.4 N					4x20	3.4 N
	6	1.1 N					6x10	2.9 N
	8	2.3 N					6x20	5.9 N
	10	3.9 N			4.7 N		8x20	8 N
	15	8.5 N	9.8 N				8x30	10.9 N
	20	16.3 N	17 N	12.9 N	8.2 N		10x30	15.2 N
	30	40.8 N	37.2 N	26.2 N	20.8 N		15x45	32 N
	40	69.6 N	67.6 N	52.3 N	42.4 N		20x60	62.8 N
	50	105.8 N	103.6 N	72.6 N	63.4 N		25x75	92.5 N
	60	166.1 N	162.5 N				30x90	134.4 N
	80	309.7 N	275 N	213.9 N				
	100	503.6 N	440.8 N					
	150	900 N						
200	1,610 N							

Breakaway force F_A too low



Reliable range for the problem example



Suction cup diameter too big for workpiece

In this example we opt for 2 suction grippers:

- Round design
- Suction cup diameter 40 mm
- Breakaway force of 69.6 N



Note

The load capacity of the vacuum suction gripper must be greater than the calculated value.

6.1.2 Anexo B

Vacuum pump

EVE-TR-X 16 AC3

Part no.:10.03.01.00212

<https://www.schmalz.com/10.03.01.00212>

Home > Vacuum Technology for Automation > Vacuum Components > Vacuum Generators > Vacuum Pumps > Dry-Running Vacuum Pumps EVE-TR X > EVE-TR-X 16 AC3

Oil-free pump with const. suct. rate robust, requ. little maintenance long service life, cont. operation



Current type: three-phase current

Voltage at 50Hz: 175-260/300-450V AC3

Voltage at 60Hz: 202-300/350-520V AC3

Suction rate (50 Hz): 16 m³/h

Suction rate (60 Hz): 19 m³/h

Sound level at 50 Hz: 61 dB(A)

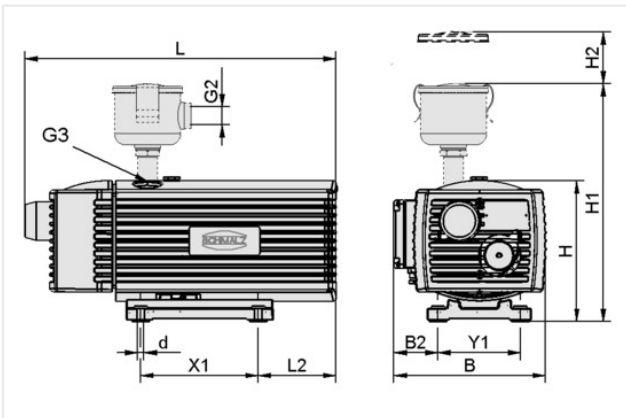
Vacuum (50 Hz): -850 mbar

Rated power 50 Hz: 0.55 kW

Rated power 60 Hz: 0.7 kW

Weight: 22.5 kg

Design Data



Attribute	Value
B	231 mm
B2	66 mm
d	7 mm
G3	G1/2"-F
H	205 mm
L	452 mm
L2	73 mm
X1	202 mm
Y1	125 mm

Technical Data

Attribute	Value
Suction rate (50 Hz)	16 m ³ /h
Suction rate (60 Hz)	19 m ³ /h
Voltage at 50Hz	175-260/300-450V AC3
Voltage at 60Hz	202-300/350-520V AC3
Rated power 50 Hz	0.55 kW
Rated power 60 Hz	0.70 kW
Sound level at 50 Hz	61 dB(A)
Weight	22.50 kg

Contact Schmalz

Schmalz Inc. | 5850 Oak Forest Drive, Raleigh, NC 27616, USA | +1 (919) 713-0880 | schmalz.us@schmalz.com

Vacuum pump

EVE-TR-X 16 AC3

Part no...:10.03.01.00212

<https://www.schmalz.com/10.03.01.00212>

Protection type IP	IP 54
Current type	AC3
Product family	EVE-TR-X

Accessories



VBV -950...0 G1-AG EVE 10-40

Part no...:10.03.01.00136

External diameter D: 46 mm

Max. vacuum: -950 mbar

Thread G1: G1"-M

Length L: 53.5 mm

Construction use: Pump EVE

Size: 10-40



VOL 15

Part no...:10.03.03.00113

Reservoirs volume: 15 l

Height H: 180 mm

Add. function: Manometer, valve, filter

Spare parts

Contact Schmalz

Schmalz Inc. | 5850 Oak Forest Drive, Raleigh, NC 27616, USA | +1 (919) 713-0880 | schmalz.us@schmalz.com

6.1.3 Anexo C

Mechanically Jointed Rodless Cylinder High Rigidity/Linear Guide Type

Series MY1HT

Ø 50, Ø 63

How to Order

High Rigidity/Linear Guide Type **MY1HT** **50** **□** **□** **-400** **L** **-Y7BW** **□** **-□**

High rigidity/Linear guide type (2 linear guides)

Bore size

50	50 mm
63	63 mm

Port thread type

Symbol	Type	Bore size
—	Rc	
TN	NPT	Ø 50, Ø 63
TF	G	

Piping

—	Standard type
G	Centralised piping type

Stroke

Refer to "Standard Stroke" on page 101.

Auto switch

—	Without auto switch (Built-in magnet)
---	---------------------------------------

* For the applicable auto switch model, refer to the table below.

Number of auto switches

—	2 pcs.
S	1 pc.
n	"n" pcs.

Made to Order
Refer to page 101 for details.

Option

Stroke Adjustment Unit Part No.

Bore size [mm]	50	63
Unit type	MYT-A50L	MYT-A63L

Side Support Part No.

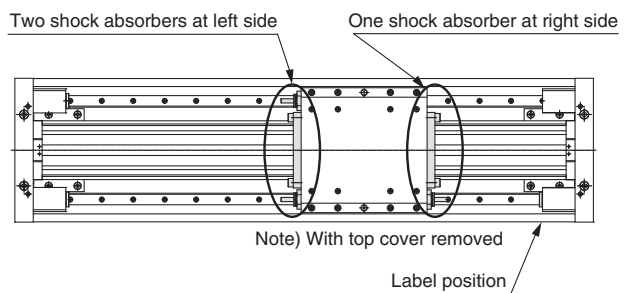
Type	Bore size [mm]	50	63
Side support A		MY-S63A	
Side support B		MY-S63B	

For details about dimensions, etc., refer to page 106.
A set of side supports consists of a left support and a right support.

Stroke adjustment unit

L	One shock absorber at each stroke end
H	Two shock absorbers at each stroke end
LH	One shock absorber at left side, two shock absorbers at right side
HL	Two shock absorbers at left side, one shock absorber at right side

* The positions right and left are for when the label is on the front side. Refer to the figure below for details.



Applicable Auto Switches/Refer to pages 107 to 117 for further information on auto switches.

Type	Special function	Electrical entry	Indicator light	Wiring (Output)	Load voltage		Auto switch model		Lead wire length (m)			Pre-wired connector	Applicable load	
					DC	AC	Perpendicular	In-line	0.5 (-)	3 (L)	5 (Z)			
Solid state auto switch	—	Grommet	Yes	3-wire (NPN)	24 V	5 V, 12 V	—	Y69A	Y59A	●	●	○	○	IC circuit
				3-wire (PNP)				Y7PV	Y7P	●	●	○	○	
				2-wire				Y69B	Y59B	●	●	○	○	
	Diagnostic indication (2-colour indication)			3-wire (NPN)	5 V, 12 V	Y7NWV	Y7NW	●	●	○	○	IC circuit		
				3-wire (PNP)		Y7PWV	Y7PW	●	●	○	○			
				2-wire		Y7BWV	Y7BW	●	●	○	○			
Reed auto switch	—	Grommet	No	3-wire (NPN equivalent)	24 V	12 V	100 V or less	—	Z76	●	●	—	—	IC circuit
				2-wire				—	Z73	●	●	●	—	—
										●	●	—	—	IC circuit

** Water resistant type auto switches can be mounted on the above models, but in such case SMC cannot guarantee water resistance. Consult with SMC regarding water resistant types with the above model numbers.

* Lead wire length symbols: 0.5 m — (Example) Y7BW
3 m L (Example) Y7BWL
5 m Z (Example) Y7BWZ

* Solid state auto switches marked with "○" are produced upon receipt of order.

* Separate switch spacers (BMP1-032) are required for retrofitting of auto switches.

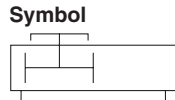
* There are other applicable auto switches than listed above. For details, refer to page 117.

* Auto switches are shipped together (not assembled). (For details about auto switch mounting, etc., refer to pages 115 to 117.)



Mechanically Jointed Rodless Cylinder High Rigidity/Linear Guide Type *Series MY1HT*

Specifications



Bore size [mm]	50	63
Fluid	Air	
Action	Double acting	
Operating pressure range	0.1 to 0.8 MPa	
Proof pressure	1.2 MPa	
Ambient and fluid temperature	5 to 60 °C	
Piston speed	100 to 1000 mm/s	
Cushion	Shock absorbers on both ends (Standard)	
Lubrication	Non-lube	
Stroke length tolerance	2700 or less ^{+1.8} , 2701 to 5000 ^{+2.8}	
Port size	Side port	Rc 3/8

Note) Use at a speed within the absorption capacity range. Refer to page 102.

Stroke Adjustment Unit Specifications

Applicable bore size [mm]	50		63	
Unit symbol, contents	L	H	L	H
	RB2015 and adjustment bolt: 1 set each	RB2015 and adjustment bolt: 2 sets each	RB2725 and adjustment bolt: 1 set each	RB2725 and adjustment bolt: 2 sets each
Fine stroke adjustment range [mm]	0 to -20		0 to -25	
Stroke adjustment range	For adjustment method, refer to page 103.			

* Stroke adjustment range is applicable for one side when mounted on a cylinder.

Shock absorber model	RB2015 x 1 pc.	RB2015 x 2 pcs.	RB2725 x 1 pc.	RB2725 x 2 pcs.
Maximum energy absorption [J]	58.8	88.2 ^{Note)}	147	220.5 ^{Note)}
Stroke absorption [mm]	15	15	25	25
Maximum collision speed [mm/s]	1000		1000	
Maximum operating frequency [cycle/min]	25	25	10	10
Spring force [N]	Extended	16.68	8.83	17.66
	Retracted	20.50	41.00	20.01
Operating temperature range [°C]	5 to 60			

Note) Maximum energy absorption for 2 pcs. is calculated by multiplying the value for 1 pc. by 1.5.

* The shock absorber service life is different from that of the MY1HT cylinder depending on operating conditions. Refer to the RB Series Specific Product Precautions for the replacement period.

Theoretical Output

Bore size [mm]	Piston area [mm ²]	Operating pressure [Mpa]						
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
50	1962	392	588	784	981	1177	1373	1569
63	3115	623	934	1246	1557	1869	2180	2492

Note) Theoretical output (N) = Pressure [Mpa] x Piston area (mm²)

Standard Stroke

Bore size [mm]	Standard stroke [mm]	Intermediate stroke (-XB10)	Long stroke (-XB11)	Maximum manufacturable stroke
50・63	200, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000	Intermediate strokes of 201 to 1999 mm (1mm increments) other than standard strokes	—	5000

Note) Cylinders other than the standard stroke type are manufactured upon request for special order. Ordering example

* Add "-XB10" to the end of the part number for intermediate strokes.

Made to Order: Specifications (Refer to page 118 to 120 for details.)

Symbol	Specifications
-XB10	Intermediate stroke type
-XC67	NBR rubber lining in dust seal band
20-	Cooper-free

Weight

Bore size [mm]	Basic weight	Additional weight per each 25 mm of stroke	Weight of moving parts	Side support weight (per set)	Stroke adjustment unit weight		
				Type A and B	L unit weight	LH unit weight	H unit weight
50	30.62	0.87	5.80	0.17	0.62	0.93	1.24
63	41.69	1.13	8.10	0.17	1.08	1.62	2.16

Calculation: (Example) **MY1HT50-400L**

- Basic weight30.62 kg
 - Additional weight0.87/25 st
 - L unit weight0.62 kg
 - Cylinder stroke..... 400 st
- 30.62 + 0.87 x 400 ÷ 25 + 0.62 x 2 ≒ 45.8

Series MY1HT

Cushion Capacity

Cushion Selection

<Stroke adjusting unit with built-in shock absorber>

L unit

Use this unit when cushioning is necessary outside the air cushion stroke range even if the load and speed are within the air cushion limit line, or when the cylinder is operated in a load and speed range above the air cushion limit line and below the L unit limit line.

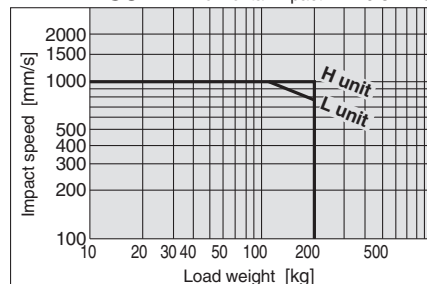
H unit

Use this unit when the cylinder is operated in a load and speed range above the L unit limit line and below the H unit limit line.

Stroke Adjusting Unit Absorption Capacity

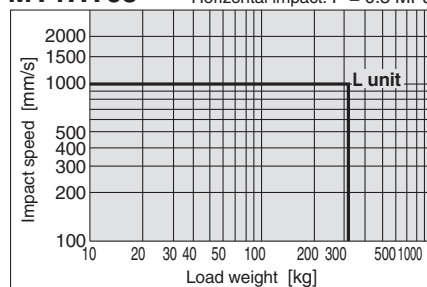
MY1HT50

Horizontal impact: P = 0.5 MPa



MY1HT63

Horizontal impact: P = 0.5 MPa



Stopper Bolt Holding Screw Tightening Torque

Stopper bolt holding screw tightening torque

Unit: [N·m]

Bore size [mm]	Tightening torque
50	0.6
63	1.5

Calculation of absorbed energy for stroke adjusting unit with built-in shock absorber

Unit: [N·m]

Type of impact	Horizontal	Vertical (downward)	Vertical (upward)
Kinetic energy E ₁		$\frac{1}{2} m \cdot v^2$	
Thrust energy E ₂	F·s	F·s + m·g·s	F·s - m·g·s
Absorbed energy E		E ₁ + E ₂	

Symbols

v: Speed of impacting object (m/s)

m: Weight of impacting object (kg)

F: Cylinder thrust (N)

g: Gravitational acceleration (9.8m/s²)

s: Shock absorber stroke (m)

(Note) The speed of the impacting object is measured at the time of impact with the shock absorber.

⚠ Specific Product Precautions

Mounting

⚠ Caution

1. Do not apply strong impact or excessive moment to the slide table (slider).

Since the slide table (slider) is supported by precision bearings, do not subject it to strong impact or excessive moment when mounting work pieces.

2. Perform careful alignment when connecting to a load which has an external guide mechanism.

Mechanically jointed rodless cylinders can be used with a direct load within the allowable range for each type of guide, but careful alignment is necessary for connection to a load which has an external guide mechanism. Since fluctuation of the centre axis increases as the stroke becomes longer, use a method of connection which can absorb the variations (floating mechanism).

3. Do not put hands or fingers inside when the body is suspended.

Since the body is heavy, use eye bolts when suspending it. (The eye bolts are not included with the body.)

Handling

⚠ Caution

1. Do not inadvertently move the setting of the guide adjustment unit.

The guide is already adjusted at the factory, and readjustment is not necessary under normal operating conditions. Therefore, do not inadvertently move the setting of the guide adjustment unit.

Handling

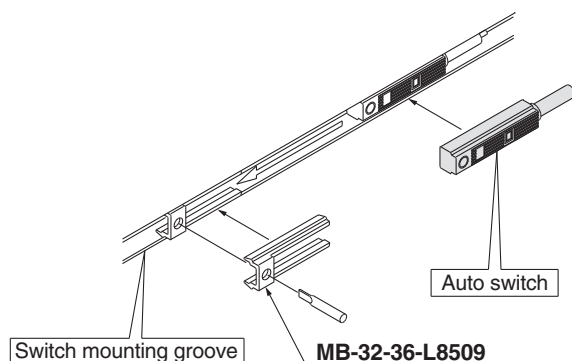
⚠ Caution

2. Air leakage will result from negative pressure.

Under operating conditions which create negative pressure inside the cylinder due to external forces or inertial forces, note that air leakage may occur due to separation of the seal belt.

Auto Switch Mounting

⚠ Caution



Stroke Adjustment Method

Caution

- As shown in Figure (1), to adjust the stopper bolt within the adjustment range A, insert a hexagon wrench from the top to loosen the hexagon socket head set screw by approximately one turn, and then adjust the stopper bolt with a flat head screwdriver.
- When the adjustment described in 1 above is insufficient, the shock absorber can be adjusted. Remove the covers as shown in Figure (2) and make further adjustment by loosening the hexagon nut.
- Various dimensions are indicated in Table (1). Never make an adjustment that exceeds the dimensions in the table, as it may cause an accident and/or damage.

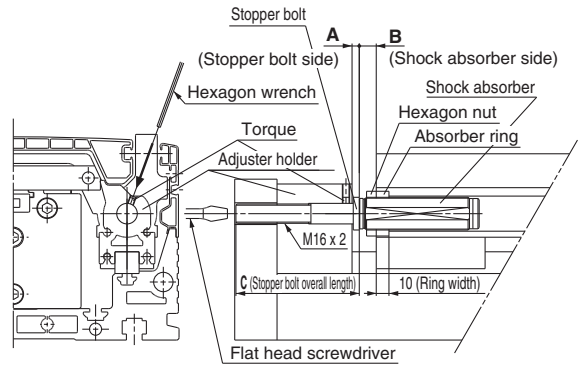


Figure (1) Stroke adjusting section detail

Table (1) [mm]

Bore size [mm]	50	63
A to A Max.	6 to 26	6 to 31
B to B Max.	14 to 54	14 to 74
C	87	102
Max. adjustment range	60	85

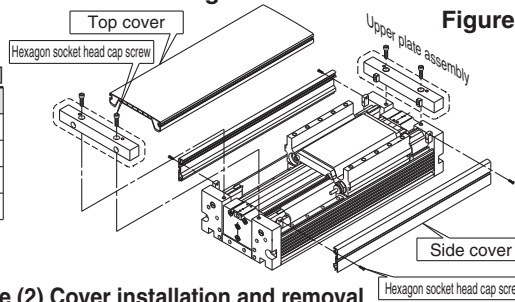


Figure (2) Cover installation and removal

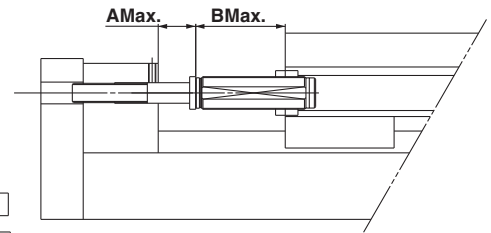


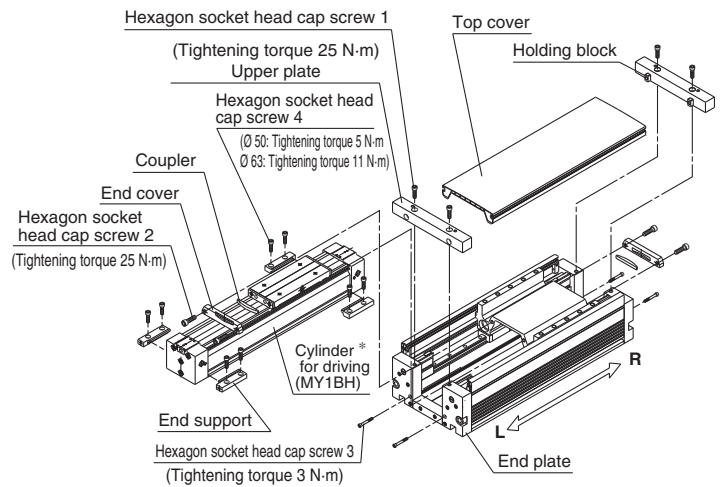
Figure (3) Maximum stroke adjustment detail

Disassembly and Assembly Procedure

Caution

Disassembly step

- Remove the hexagon socket head cap screws 1, and remove the upper plates.
- Remove the top cover.
- Remove the hexagon socket head cap screws 2, and remove the end covers and couplers.
- Remove the hexagon socket head cap screws 3.
- Remove the hexagon socket head cap screws 4, and remove the end supports.
- Remove the cylinder.



Assembly step

- Insert the MY1BH cylinder.
- Temporarily fasten the end supports with the hexagon socket head cap screws 4.
- With two hexagon socket head cap screws 3 on the L or R side, pull the end support and the cylinder.
- Tighten the hexagon socket head cap screws 3 on the other side to eliminate the looseness in the axial direction. (At this point, a space is created between the end support and the end plate on one side, but this is not a problem.)
- Re-tighten the hexagon socket head cap screws 4.
- Fasten the end cover with the hexagon head cap screws 2, while making sure that the coupler is in the right direction.
- Place the top cover on the body.
- Insert the holding blocks into the top cover and fasten the upper plates with the hexagon socket head cap screws 1.

*** Cylinder For Driving (Series MY1BH)**

Since Series MY1BH is a cylinder for driving for Series MY1HT, its construction is different from Series MY1B. Do not use Series MY1B as a cylinder for driving, since it will lead to damage.

How to Order

High rigidity/Linear guide type **MY1HT** **50** **300** **L** **Z73**

Cylinder for driving **MY1BH** **50** **300**

Bore size

50	50 mm
63	63 mm

Port thread type

Symbol	Type	Bore size
—	Rc	
TN	NPT	Ø 50, Ø 63
TF	G	

Stroke [mm]

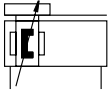
Piping

—	Standard type
G	Centralised piping type

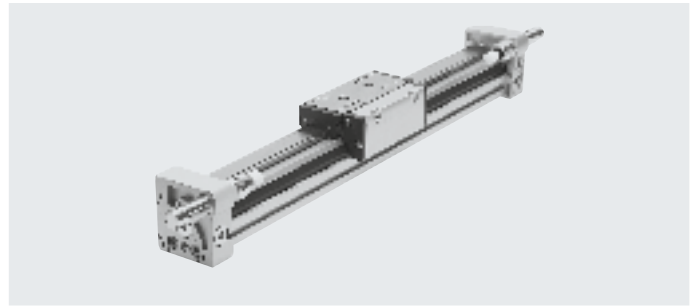
6.1.4 Anexo D



Data sheet

Function



www.festo.com



-  Diameter
8 ... 63 mm
-  Stroke length
1 ... 8500 mm

General technical data		8	12	18	25	32	40	50	63
Piston diameter		8	12	18	25	32	40	50	63
Design		Rodless drive							
Moment compensator principle		Slotted cylinder, mechanically coupled							
Guide		External recirculating ball bearing guide							
Mode of operation		Double-acting							
Stroke	[mm]	1 ... 1300	1 ... 1900	1 ... 3000	1 ... 8500			1 ... 5000	
Pneumatic connection		M5			G1/8		G1/4		G3/8
Cushioning → page 46									
DGC...-P		Non-adjustable at both ends			-				
DGC...-PPV		-			Adjustable at both ends				
DGC...-YSR...		Self-adjusting at both ends							
Cushioning length with cushioning PPV	[mm]	-		16.5	15.5	17.5	29.5	29.8	31.1
Max. speed	[m/s]	1	1.2	3					
Repetition accuracy	[mm]	0.02 (with shock absorber YSR/YSRW)							
Position sensing		Via proximity sensor							
Type of mounting		Profile mounting Foot mounting Direct mounting							
Mounting position		Any							

Note

This product conforms to ISO 1179-1 and ISO 228-1.

Operating and environmental conditions		8	12	18	25	32	40	50	63
Piston diameter		8	12	18	25	32	40	50	63
Operating pressure	[bar]	2.5 ... 8			2 ... 8		1.5 ... 8		
Operating medium		Compressed air to ISO 8573-1:2010 [7:-:-]							
Note on operating/pilot medium		Lubricated operation possible (in which case lubricated operation will always be required)							
Ambient temperature ¹⁾	[°C]	-10 ... +60							
Food-safe ²⁾		-			→ supplementary information on materials				
Corrosion resistance class CRC ³⁾		1							

1) Note operating range of proximity sensors

2) Additional information is available at www.festo.com/sp → Certificates.

3) Corrosion resistance class CRC 1 to Festo standard FN 940070

Low corrosion stress. Dry indoor application or transport and storage protection. Also applies to parts behind coverings, in the non-visible interior area, and parts which are covered in the application (e.g. drive trunnions).

Data sheet

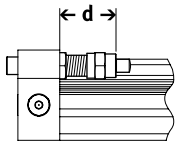
Forces [N]								
Piston diameter	8	12	18	25	32	40	50	63
Theoretical force at 6 bar	30	68	153	295	483	754	1178	1870
Impact energy at the end positions	→ page 46							

ATEX ¹⁾	
Explosion-proof ambient temperature [°C]	-10°C ≤ Ta ≤ +60°C
CE marking (see declaration of conformity)	To EU Explosion Protection Directive (ATEX)
EX2 certification	
ATEX category for gas	II 3G
Type of ignition protection for gas	Ex h IIC T4 Gc X
ATEX category for dust	II 3D
Type of ignition protection for dust	Ex h IIIC T120°C Dc X
EX3 certification	
ATEX category for gas	II 2G
Type of ignition protection for gas	Ex h IIC T4 Gb X

1) Note the ATEX certification of the accessories.

Weight [g]								
Piston diameter	8	12	18	25	32	40	50	63
DGC...								
Basic weight with 0 mm stroke	225	391	975	2113	2837	6996	13342	22220
Additional weight per 10 mm stroke	11	16	31	49	74	117	153	236
Moving mass	77	149	331	732	1146	2330	4511	8225
DGC...-1H-PN – With clamping unit								
Basic weight with 0 mm stroke	–	–	–	3134	4272	12009	19394	–
Additional weight per 10 mm stroke	–	–	–	49	74	117	153	–
Moving mass	–	–	–	1405	2059	5494	8411	–

Adjustable end-position range d [mm]


Note

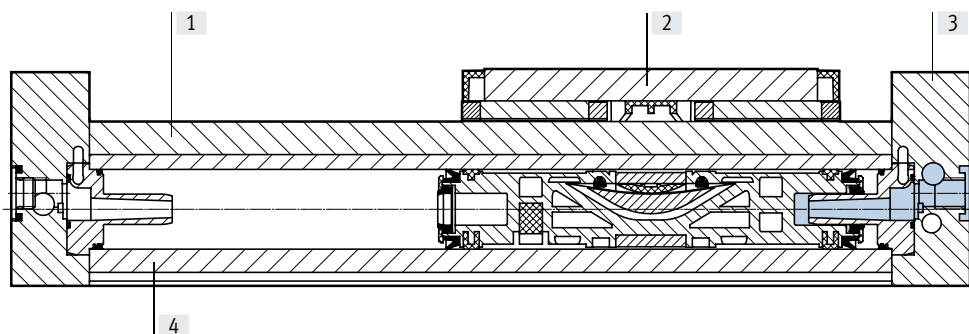
The permissible kinetic energy decreases if the stroke is reduced with PPV adjustable cushioning at both ends.

Piston diameter	8	12	18	25	32	40	50	63
Cushioning								
DGC...-P/PPV	11.3 ... 16.3	12.7 ... 17.7	13.8 ... 15.8	21.1 ... 25.1	25.2 ... 30.2	28.7 ... 33.7	28.7 ... 33.7	38.8 ... 43.8
DGC...-P/PPV-GP	–	–	16.9 ... 18.9	23.6 ... 27.6	25.2 ... 30.2	34.7 ... 39.7	–	–
DGC...-YSR/YSRW	12.8 ... 22.8	14 ... 24	14.5 ... 34.5	22.5 ... 47.5	27.3 ... 52.3	31 ... 56	31 ... 56	41 ... 76

Data sheet

Materials

Sectional view



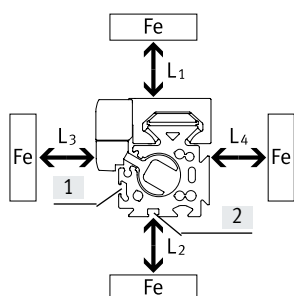
Linear drives

[1]	Guide rail	High-alloy steel
[2]	Slide	High-alloy steel
[3]	End cap	Anodised aluminium
[4]	Cylinder barrel	Anodised aluminium
-	Piston seal	Polyurethane
-	Sealing band/cover strip	Polyurethane
Note on materials		RoHS-compliant, free of copper and PTFE

Influence of ferritic materials on proximity sensors

Ferritic materials (steel parts or sheet metal) in the immediate vicinity of the proximity sensors can cause sensing malfunctions. The following safety distances must be observed.

The distance depends on the position of the proximity sensor (see [1] and [2]).



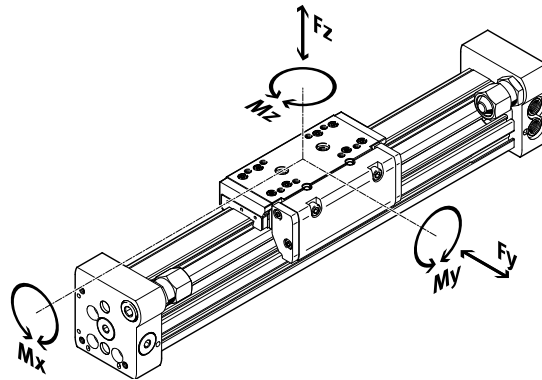
Piston diameter		8	12	18	25	32	40	50	63
Distance L1	[1] [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	[2] [mm]	-	-	0	0	0	0	0	0
Distance L2	[1] [mm]	20	10	10	10	0	0	0	0
	[2] [mm]	-	-	25	25	25	25	25	25
Distance L3	[1] [mm]	30	25	25	25	25	25	25	25
	[2] [mm]	-	-	10	10	0	0	0	0
Distance L4	[1] [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	[2] [mm]	-	-	0	0	0	0	0	0

Data sheet

Characteristic load values

The indicated forces and torques refer to the centre of the slide surface.

These values must not be exceeded during dynamic operation. Special attention must be paid to the deceleration phase.



If the drive is subjected to two or more of the indicated forces and torques simultaneously, the following equation must be satisfied in addition to the indicated maximum loads:

$$\frac{F_y}{F_{y_{max.}}} + \frac{F_z}{F_{z_{max.}}} + \frac{M_x}{M_{x_{max.}}} + \frac{M_y}{M_{y_{max.}}} + \frac{M_z}{M_{z_{max.}}} \leq 1$$

Permissible forces and torques		8	12	18	25	32	40	50	63
Piston diameter									
$F_{y_{max.}}$	[N]	300	650	1850	3050	3310	6890	6890	15200
$F_{z_{max.}}$	[N]	300	650	1850	3050	3310	6890	6890	15200
$M_{x_{max.}}$	[Nm]	1.7	3.5	16	36	54	144	144	529
$M_{y_{max.}}$	[Nm]	4.5	10	51	97	150	380	634	1157
$M_{z_{max.}}$	[Nm]	4.5	10	51	97	150	380	634	1157

Technical data – Clamping unit		Dimensions → page 58			
Size		25	32	40	50
Pneumatic connection		M5	M5	M5	M5
Clamping type		Clamping via spring force, compressed air to release			
Static holding force	[N]	320	500	1200	1200
Max. number of emergency braking operations ¹⁾ at reference energy	[J]	–	–	750 35	750 35
Number of clamping operations under rated load	[millions of switching cycles]	0.45	0.55	0.05	0.05

1) Emergency braking refers to braking the payload if the drive axis loses power.

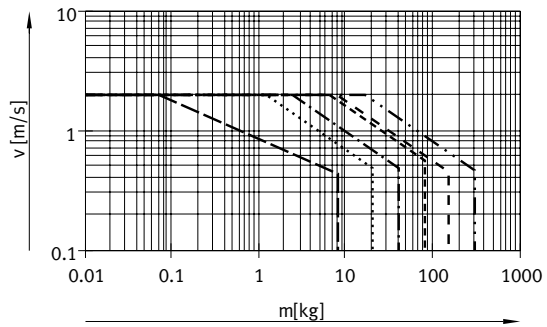
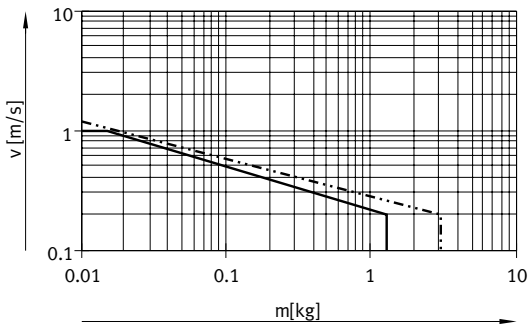
Operating and environmental conditions – Clamping unit		
Operating medium		Compressed air to ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Operating pressure		
Clamping unit open	[bar]	4.5 ... 8
Clamping unit closed	[bar]	Unpressurised
Ambient temperature	[°C]	–10 ... +60

Data sheet

Maximum permissible piston speed v as a function of payload m and distance r_{max} from the centre of mass

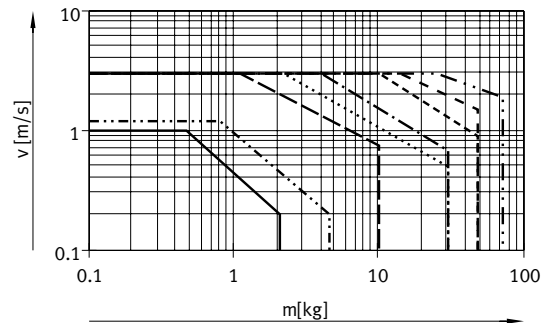
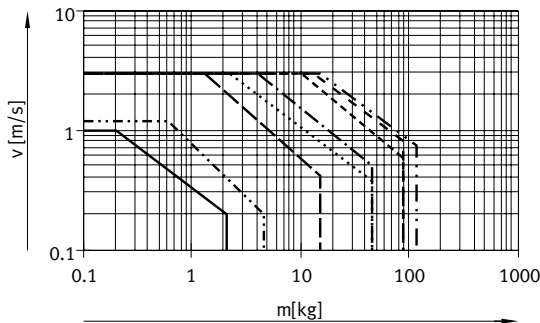
Piston diameter 8/12 with cushioning P

Piston diameter 18 ... 63 with cushioning PPV



Piston diameter 8 ... 63 with cushioning YSR

Piston diameter 8 ... 63 with cushioning YSRW



- \varnothing 8
- · - · \varnothing 12
- - - \varnothing 18
- · · · · \varnothing 25
- · - · - · \varnothing 32
- - - - - \varnothing 40
- - - - - \varnothing 50
- · - · - · \varnothing 63

Note

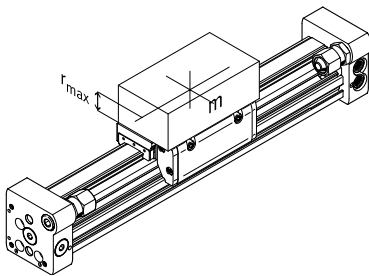
These specifications represent the maximum values that can be achieved. In practice, these values can fluctuate dependent on the position of the payload and mounting position.

Operating range of the cushioning

The end-position cushioning must be adjusted to ensure jerk-free operation. If the operating conditions are outside the permissible range, the moving mass must be cushioned using suitable equipment (shock absorbers, stops, etc.), preferably at the centre of mass.

Note

To avoid distortion in the slide, the bearing surfaces of the attachments must maintain a flatness of at least 0.01 mm.



Data for horizontal mounting position:

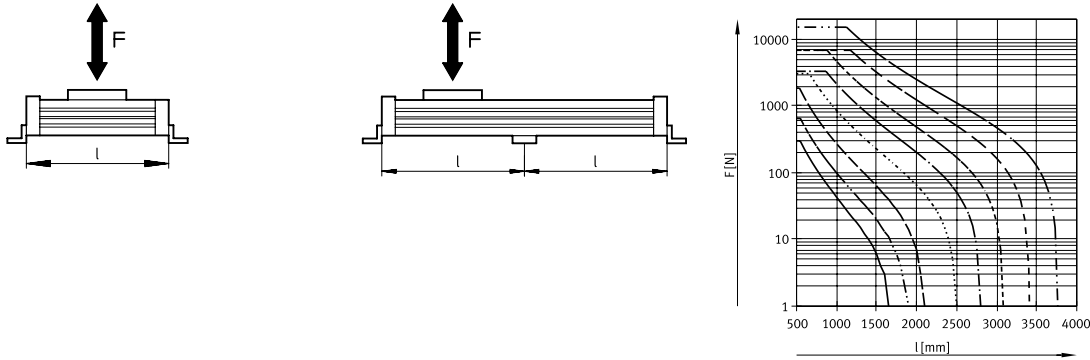
Piston diameter	8	12	18	25	32	40	50	63
Distance r_{max} [mm]	25	35	35	50	50	50	50	50

Data sheet

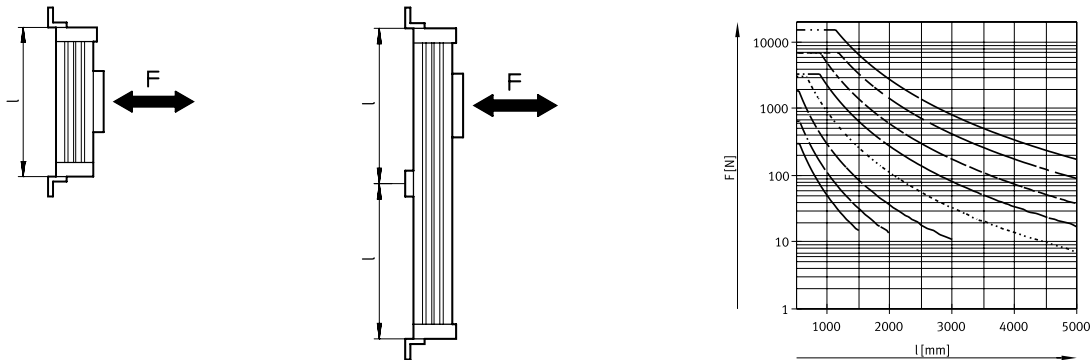
Number of profile mountings MUC as a function of weight force F and distance l between supports

In order to limit deflection in the case of large strokes, the drive may need to be supported. The following graphs are provided to determine the maximum permissible distance between supports as a function of the mounting position and the applied weight and normal forces.

Horizontal mounting position



Vertical mounting position



Example:

The drive DGC-25-1500 is subjected to a force of 300 N in a horizontal mounting position.

The drive has an overall length of:
 $l = \text{stroke length} + L1$
 (see dimensions)
 $= 1500 \text{ mm} + 200 \text{ mm}$
 $= 1700 \text{ mm}$

According to the graph, the max. distance between supports for the drive DGC-25 with a force of 300 N is 1300 mm.

In this example, profile mountings are required as the max. distance between supports (1300 mm) is smaller than the overall length of the drive (1700 mm).

Data sheet

Central lubrication

The lubrication adapters enable the guide of the linear drive DGC-KF to be permanently lubricated in applications in humid or wet ambient conditions using semi or fully automatic relubrication devices.

- For piston diameters 25, 32, 40, 63
- The modules are suitable for oils and greases.
- The dimensions of the linear drive DGC-KF are the same with and without central lubrication modules.
- Both lubrication adapters must be connected
- There are three connection options on each side
- Can be used in combination with:
 - Standard slide GK
 - Additional slide KL, KR
- Cannot be used in combination with:
 - Protected recirculating ball bearing guide GP

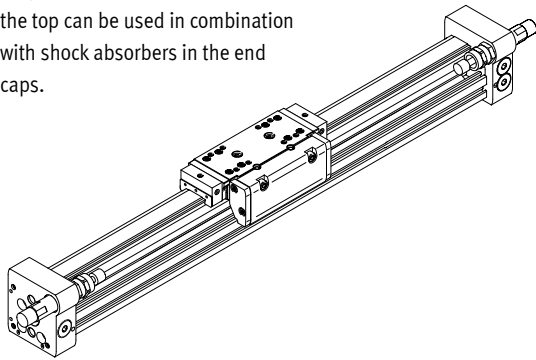
Slide dimensions

→ page 56

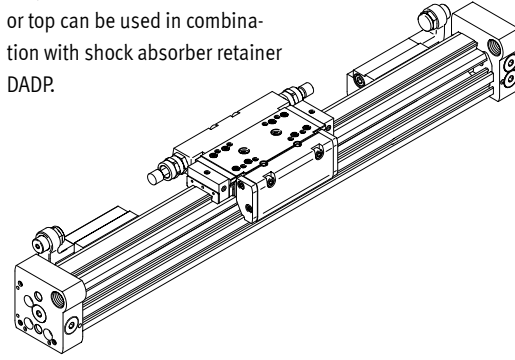
Order code C in the modular product system → page 63

Connection options

Only the connection at the rear or on the top can be used in combination with shock absorbers in the end caps.

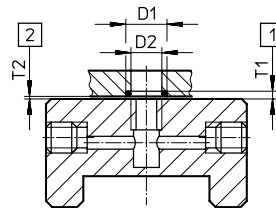


Only the connection on the front or top can be used in combination with shock absorber retainer DADP.



Connection option for customer design

The drawing on the right shows the connection option on the top lubrication interface using a customer design.



- D1 8^{+0.2} mm
- D2 6 mm
- T1 0.6_{-0.05} mm
- T2 0.1^{+0.2} mm
- O-ring diameter 6x1 mm (DIN 3771)

[1] Slot depth for O-ring

[2] Required air gap

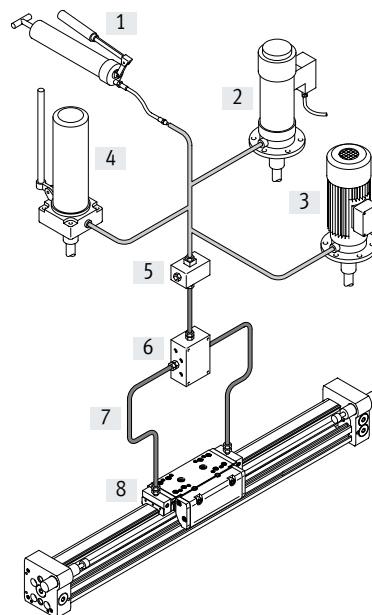
Additional dimensions → page 56

Structure of a central lubrication system

A central lubrication system requires various additional components. The illustration shows different options (using a hand pump, pneumatic container pump or electric container pump) required as a minimum for designing a central lubrication system. Festo does not sell these additional components; however, they can be obtained from the following companies:

- Lincoln
- Bielomatik
- SKF (Vogel)

Festo recommends these companies because they can supply all the necessary components.



[1] Hand pump

[2] Pneumatic container pump

[3] Electric container pump

[4] Manually operated container pump

[5] Nipple block

[6] Distributor block

[7] Tubing or piping

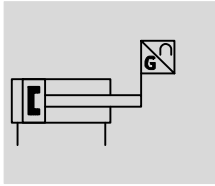
[8] Fittings




6.1.5 Anexo E

Linear actuators DFPI-...-E-NB3...

Technical data

Function



-  - Piston diameter
100 ... 320 mm
-  - Stroke
40 ... 990 mm
-  - Force
4417 ... 46385 N



General technical data		
Stroke	[mm]	40 ... 990
Mode of operation		Double-acting
Based on standard		ISO 15552
Cushioning		No cushioning
Mounting position		Any
Design		Piston
		Piston rod
		Tie rod
		Cylinder barrel
Position sensing		With integrated displacement encoder
Measuring principle of displacement encoder		Potentiometer
Pneumatic connection		
DFPI-...-E-NB3P...		With specific accessories, for tubing O.D. of 8 mm
DFPI-...-E-NB3M12...		G3/8
DFPI-...-E-NB3P9...		G3/8
Electrical connection		
DFPI-...-E-NB3P...		With specific accessories, 3-pin, straight plug, screw terminal
DFPI-...-E-NB3M12...		M12x1, 5-pin, straight plug, A-coded
DFPI-...-E-NB3P9...		Cable connector M16x1.5, 3-pin, straight plug, screw terminal

General electrical data		
Operating voltage range	[V DC]	0 ... 15
Resistance value of displacement encoder (on the TET) dependent on the stroke length ¹⁾		
≤ 290 mm	[kΩ]	5
> 290 ... 590 mm	[kΩ]	10
> 590 ... 990 mm	[kΩ]	20
Displacement encoder		
Recommended loop current	[μA]	< 0.1
Max. short-time loop current	[mA]	10
Independent linearity	[%]	±0.04
Repetition accuracy	[mm]	±0.12
Hysteresis	[mm]	0.33

1) TET = theoretical electrical travel

Linear actuators DFPI-...-E-NB3...

Technical data

Operating and environmental conditions		
Operating pressure [bar]		3 ... 8
Nominal operating pressure [bar]		6
Operating medium		Compressed air to ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Note on operating/pilot medium		Lubricated operation possible (in which case lubricated operation will always be required)
Storage temperature [°C]		-20 ... +80
Ambient temperature [°C]		-20 ... +80
Relative humidity [%]		5 ... 100, condensing
Degree of protection		IP65, IP67, IP69K, NEMA 4
Vibration resistance in accordance with DIN/IEC 68, Part 2-6		Tested to severity level 2
Continuous shock resistance in accordance with DIN/IEC 68, Part 2-82		Tested to severity level 2
CE marking (see declaration of conformity) ¹⁾		To EU Explosion Protection Directive (ATEX)

1) Additional information www.festo.com/sp → Certificates.

ATEX	
ATEX category for gas	II 2G
Type of ignition protection for gas	c T4
ATEX category for dust	II 2D
Type of ignition protection for dust	c 120°C
Explosion-proof ambient temperature rating	-20 °C ≤ Ta ≤ +60 °C

Forces [N] and impact energy [J]						
Piston diameter	100	125	160	200	250	320
Theoretical force at 6 bar, advancing	4712	7363	12064	18850	29452	48255
Theoretical force at 6 bar, retracting	4417	6881	11581	18080	28274	46385
Max. impact energy in the end positions	1.3	1.0	1.4	1.0	1.9	2.4

Permissible impact velocity:
$$v_{perm.} = \sqrt{\frac{2 \times E_{perm.}}{m_{intrinsic} + m_{Load}}}$$

Maximum permissible load:
$$m_{Load} = \frac{2 \times E_{perm.}}{v^2} - m_{intrinsic}$$

$v_{perm.}$ Permissible impact velocity
 $E_{perm.}$ Maximum impact energy
 $m_{intrinsic}$ Moving mass (actuator)
 m_{Load} Moving payload

Air consumption [l]						
Piston diameter	100	125	160	200	250	320
Air consumption, advancing, per 10 mm stroke	0.549	0.859	1.407	2.119	3.436	5.63
Air consumption, retracting, per 10 mm stroke	0.515	0.803	1.351	2.111	3.299	5.412

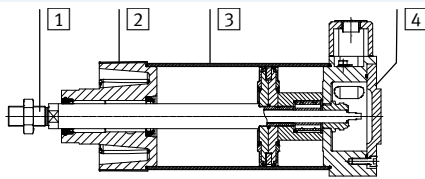
Linear actuators DFPI-...-E-NB3...

Technical data

Weights [g]						
Piston diameter	100	125	160	200	250	320
Basic weight with 0 mm stroke	4900	7500	12800	18100	31100	57700
Additional weight per 10 mm stroke	90	134	200	238	358	582
Moving mass at 0 mm stroke	1060	1900	3700	4800	9300	16500
Additional moving mass per 10 mm stroke	28	53	89	89	134	227

Materials

Sectional view



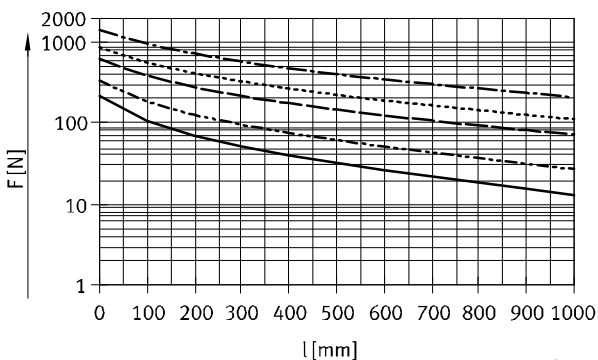
	Piston diameter	
1 Piston rod	100 ... 320	High-alloy stainless steel
2 Bottom cover	100 ... 320	Coated die-cast aluminium
3 Cylinder barrel	100 ... 320	Smooth anodised wrought aluminium alloy
4 End cap	100 ... 320	Coated wrought aluminium alloy
- Tie rod	100 ... 320	High-alloy stainless steel
- Screws	100 ... 320	Coated steel High-alloy stainless steel
- Piston rod wiper seal	100 125 ... 320	TPE-U (PU) NBR
- M12 plug	M12B2 M12V2	100 ... 320 Brass, nickel-plated Stainless steel
- Cable connector	P9B2 P9V2	100 ... 320 Brass, nickel-plated Stainless steel
- Air duct for characteristic value M	100 ... 320	Stainless steel pipe or plastic tubing
- Static seals	100 ... 320	NBR
- Note on materials	100 ... 320	RoHS-compliant Contains PWIS (paint-wetting impairment substances)

Max. lateral force as a function of stroke length l

The maximum lateral force (horizontal/vertical) applies to the static application. In closed-loop operation, the maximum lateral force needs to be adjusted to the

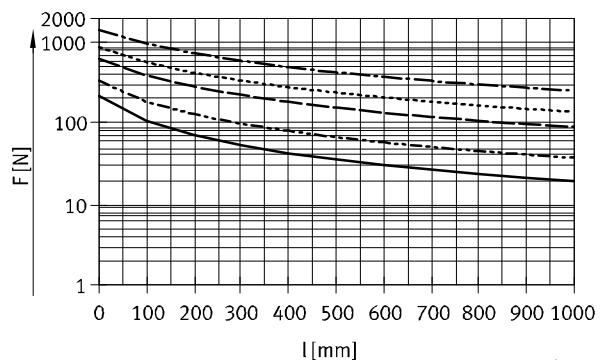
type of control. If necessary, the piston rod must be guided to avoid system vibration.

Horizontal lateral force



- Ø 100
- - - Ø 125
- · - · Ø 160, 200
- · · · Ø 250
- - - - Ø 320

Vertical lateral force



- Ø 100
- - - Ø 125
- · - · Ø 160, 200
- · · · Ø 250
- - - - Ø 320

6.1.6 Anexo F

Air Cylinder/Standard: Double Acting Single Rod

Series CA2

∅40, ∅50, ∅63, ∅80, ∅100

How to Order

Without auto switch CA2 L [] 50 [] 100 JN

With auto switch CDA2 L [] 50 [] 100 JN Y7BW []

Mounting

B	Basic
L	Axial foot
F	Front flange
G	Rear flange
C	Single clevis
D	Double clevis
T	Centre trunnion

Tube material

Nil	Aluminum tube
F*	Steel tube

* Not available with auto switch.

Bore size

40	40 mm
50	50 mm
63	63 mm
80	80 mm
100	100 mm

Port thread type

Nil	Rc
TN	NPT
TF	G

Number of auto switches

Nil	2 pcs.
S	1 pc.
3	3 pcs.
n	"n" pcs.

Auto switch

Nil	Without auto switch
-----	---------------------

* Select an applicable auto switch model from the table below.
* D-Z□, Y59□, and Y7□ are not mounted and are supplied loose. (Only the switch mounting brackets for these models are mounted.)

Cylinder suffix

Rod boot	Nil	Without
	J	Nylon tarpaulin
	K	Heat resistant tarpaulin
Cushion	Nil	With cushion on both sides
	N	Without cushion

* When more than one symbol is to be specified, indicate them in alphabetical order.

Cylinder stroke (mm)

Cylinders with built-in magnets

If built-in magnet type is ordered without auto switch, leave the field for the auto switch type blank.
(Example) CDA2L40-100

For more information, please refer to the next page.

Applicable Auto Switch : Refer to Best Pneumatics ② for detailed auto switch specifications.

Type	Special function	Electrical entry	Indicator/light	Wiring (output)	Load voltage		Auto switch model	Lead wire length (m)*			Pre-wired connector	Applicable load		
					DC	AC		0.5 (Nil)	3 (L)	5 (Z)				
Reed switch	—	Grommet	Yes	3-wire (NPN equiv.)	—	5 V	—	Z76	●	●	—	—	IC circuit	—
				2-wire	24 V	12 V	100 V	Z73	●	●	●	—	—	Relay, PLC
							100 V, 200 V	A54	●	●	●	—		
Diagnostic indication (2-colour indication)	Grommet	—	—	—	A59W	●	●	—	—	—	—			
Solid state switch	—	Grommet	Yes	3-wire (NPN)	24 V	5 V, 12 V	—	Y59A	●	●	○	○	IC circuit	Relay, PLC
				3-wire (PNP)				Y7P	●	●	○	○		
				2-wire				J51	●	●	○	—		
	12 V	Y59B	●	●	○	○								
	Diagnostic indication (2-colour indication)	Grommet	Yes	3-wire (NPN)	5 V, 12 V	—	—	Y7NW	●	●	○	○	IC circuit	
				3-wire (PNP)				Y7PW	●	●	○	○		
				2-wire				Y7BW	●	●	○	○		
	Water resistant (2-colour indication)	Grommet	Yes	2-wire	24 V	12 V	—	Y7BA	—	●	○	○	—	
	With diagnostic output (2-colour indication)							F59F	●	●	○	○		
Latch type with diagnostic output (2-colour indication)	Grommet	Yes	4-wire (NPN)	24 V	5 V, 12 V	—	F59F	●	●	○	○	—		
Magnetic field resistant (2-colour indication)							2-wire	—	—	—	P5DW		—	●

* Lead wire length symbol 0.5 m.....Nil (Example) A54
3 m.....L (Example) A54L
5 m.....Z (Example) A54Z

* Solid state switches marked with "○" are produced upon receipt of order.

* In addition to the models in the above table, there are some other auto switches that are applicable. For more information, refer to page 15.

Specifications

Fluid	Air
Action	Double acting
Proof pressure	1.5 MPa
Maximum operating pressure	1.0 MPa
Ambient and fluid temperature	Without auto switch: -10 to 70°C* With auto switch: -10 to 60°C*
Minimum operating pressure	0.05 MPa
Piston speed	50 to 500 mm/s*
Cushion	Air cushion
Thread tolerance	JIS class 2
Stroke length tolerance	To 250 ^{st.} : $^{+1.0}_0$ 251 to 1000 ^{st.} : $^{+1.4}_0$ 1001 to 1500 ^{st.} : $^{+1.8}_0$
Lubrication	Not required (Non-lube)
Mounting	Basic, Foot, Front flange, Rear flange Single clevis, Double clevis, Centre trunnion

* With no freezing. * Operate within the range of absorbing kinetic energy. (Refer to page 3.)

Standard Stroke/ In case of a type with auto switch, please also refer to the table of minimum strokes for auto switch mounting on page 13.

Bore size (mm)	Standard stroke (mm)*	Long stroke (L and F only)
40	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500	800
50, 63	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600	1200
80, 100	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700	ø80 : 1400 ø100: 1500

* Intermediate strokes not listed above are produced upon receipt of order.

Rod Boot Material

Symbol	Rod boot material	Max. ambient temperature
J	Nylon tarpaulin	70°C
K	Heat resistant tarpaulin	110°C*

* Maximum ambient temperature for the rod boot itself.

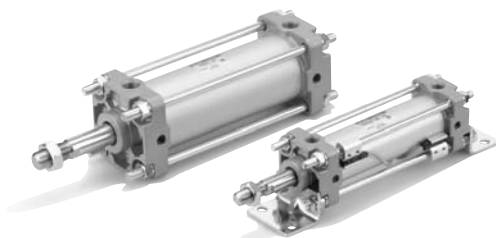
Accessory

Mounting		Basic	Axial foot	Front flange	Rear flange	Single clevis type	Double clevis type	Centre trunnion
Standard equipment	Rod end nut	●	●	●	●	●	●	●
	Clevis pin	—	—	—	—	—	●	—
Options	Single knuckle joint	●	●	●	●	●	●	●
	Double knuckle joint (with pin)	●	●	●	●	●	●	●
	With rod boot	●	●	●	●	●	●	●

Minimum Stroke for Auto Switch Mounting

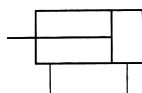
⚠ Caution

① The minimum stroke for mounting varies with the auto switch type and mounting type of the cylinder. In particular, the centre trunnion type needs careful attention. (For more information, please refer to page 13.)



JIS symbol

Double acting type



Made to Order Specifications

For more information, please refer to page 64.

Symbol	Specifications/Contents
—XA□	Change of rod end shape
—XB5	Oversized rod
—XB6	Heat resistant (150°C)
—XC3	Special port positions
—XC4	With heavy duty scraper
—XC5	Heat resistant (110°C)
—XC6	Piston rod and rod end nut made of stainless steel
—XC7	Tie-rod, cushion valve, and tie-rod nut and similar parts made of stainless steel
—XC8	Adjustable stroke/Extension
—XC9	Adjustable stroke/Retraction
—XC10	Dual stroke/Double rod
—XC11	Dual stroke/Single rod
—XC12	Tandem type
—XC14	Change of trunnion bracket mounting position
—XC15	Change of tie-rod length
—XC22	Fluoro rubber seal
—XC27	Double clevis pin and double knuckle pin made of stainless steel
—XC28	Compact flange made of SS400
—XC29	Double knuckle joint with spring pin
—XC30	Front trunnion
—XC35	With coil scraper
—XC58	Water resistant/Built-in hard plastic magnet
—XC59	Fluoro rubber seal/Built-in hard plastic magnet

Series CA2

Weight/Aluminum Tube (Steel tube)

Bore size (mm)		40	50	63	80	100		
Basic weight	Basic	Aluminum tube	0.86	1.29	1.84	3.10	4.18	
		Steel tube	0.92	1.35	1.93	3.30	4.45	
	Axial foot	Aluminum tube	1.05	1.51	2.18	3.77	5.17	
		Steel tube	1.11	1.57	2.27	3.97	5.44	
	Flange	Aluminum tube	1.23	1.74	2.63	4.55	6.10	
		Steel tube	1.29	1.80	2.72	4.75	6.37	
	Single clevis	Aluminum tube	1.09	1.63	2.47	4.21	5.96	
		Steel tube	1.15	1.69	2.56	4.41	6.23	
	Single clevis	Aluminum tube	1.13	1.72	2.63	4.50	6.48	
		Steel tube	1.19	1.78	2.72	4.70	6.75	
	Trunnion	Aluminum tube	1.22	1.77	2.64	4.65	6.46	
		Steel tube	1.28	1.83	2.73	4.85	6.73	
	Additional weight by each 50 mm stroke	All mounting brackets	Aluminum tube	0.20	0.25	0.31	0.46	0.58
			Steel tube	0.28	0.35	0.43	0.70	0.87
Accessories	Single knuckle		0.23	0.26	0.26	0.60	0.83	
	Double knuckle (with pin)		0.37	0.43	0.43	0.87	1.27	

Calculation example: CA2L40-100 (axial foot type, ø40, 100st)

- Basic weight.....1.05 kg
 - Additional weight.....0.20/50st
 - Cylinder stroke.....100st
- $1.05 + 0.20 \times 100 / 50 = 1.45$ kg

Auto Switch Mounting Bracket Part No.

Auto switch model	Bore size (mm)				
	40	50	63	80	100
D-A5□/A6□ D-A59W D-F5□/J5□ D-F5□W/J59W D-F5□F/F5NTL	BT-04	BT-04	BT-06	BT-08	BT-08
*** D-A3□/A44 *** D-G39/K39	BDS-04M	BDS-05M	BMBI-063	BMBI-080	BMBI-100
*** D-B5□/B64 *** D-B59W *** D-G5□/K59 *** D-G5□W/K59W *** D-G59F *** D-G5NTL	BH2-040	BA5-050	BAF-06	BAF-08	BAF-10
* D-A3□C/A44C * D-G39C/K39C	BA3-040	BA3-050	BA3-063	BA3-080	BA3-100
D-Z7□/Z80 D-Y59□/Y69□ D-Y7P/Y7PV D-Y7□W D-Y7□WV D-Y7BAL	BA4-040	BA4-040	BA4-063	BA4-080	BA4-080
D-P5DWL	BAP2-040	BAP2-040	BAP2-063	BAP2-080	BAP2-080

* Mounting brackets are attached to models D-A3□C, A44C, G39C and K39C. When placing an order, indicate one of the following part numbers according to the cylinder size.

(Example) ø40....D-A3□C-4, ø63....D-A3□C-6, ø100....D-A3□C-10
ø50....D-A3□C-5, ø80....D-A3□C-8

When other brackets are ordered separately, order by the above part numbers.

** Stainless steel mounting screw kit

The following stainless steel mounting screw kits (including set screws) are available if the operating environment requires. (The mounting bracket and band are not included and must be ordered separately.)

BBA1: D-A5/A6/F5/J5
BBA3: D-B5/B6/G5/K5

When a switch model D-F5BAL or G5BAL is mounted on the cylinder at the time of shipment, the above stainless steel screws are used. When the switch is shipped alone, BBA1 or BBA3 is attached.

*** Series CDA2 models vary in the thickness of the cylinder tube wall. In cases where the band mount type is used as an applicable auto switch, select the part number of the new band referring to page 79 whenever the cylinder model is changed.

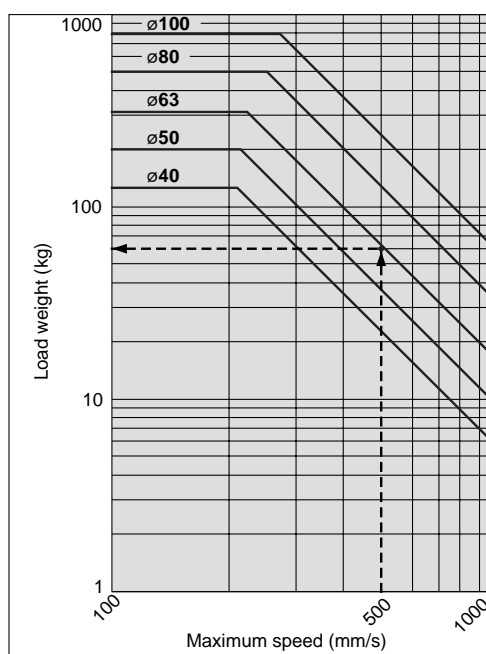
Mounting Bracket

Bore size (mm)	40	50	63	80	100
Axial foot*	CA2-L04	CA2-L05	CA2-L06	CA2-L08	CA2-L10
Flange	CA2-F04	CA2-F05	CA2-F06	CA2-F08	CA2-F10
Single clevis	CA2-C04	CA2-C05	CA2-C06	CA2-C08	CA2-C10
Double clevis**	CA2-D04	CA2-D05	CA2-D06	CA2-D08	CA2-D10

* When axial foot brackets are used, two pieces should be ordered for each cylinder.

** Double clevis type is packed with clevis pin, flat washer and cotter pin.

Allowable Kinetic Energy



(Example) Find the upper limit of rod end load when an air cylinder of ø63 is operated at 500 mm/s.

From a point indicating 500 mm/s on the axis of abscissas, extend a line upward and find a point where it intersects with a line for the 63 mm bore size. Extend a line from the intersection to the left and find a load weight 60 kg.

Air Cylinder/Standard: Double Acting Single Rod **Series CA2**

Clean Series

10 – CA2 Mounting Bore size Stroke Suffix

↓ Clean series with relief port

This cylinder can be operated in a class 100 clean room. The rod portion of the actuator has a double seal construction and a relief port is provided to discharge the exhaust air directly outside of the clean room.

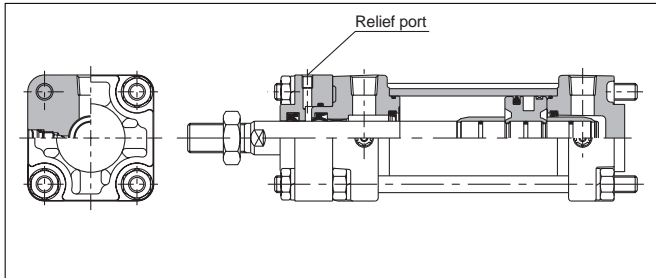
Specifications

Action	Double acting single rod
Bore size	ø40, ø50, ø63
Maximum operating pressure	1MPa
Minimum operating pressure	0.05MPa
Cushion	Air cushion
Piping	Screw-in piping
Relief port size	M5
Piston speed	50 to 500 mm/s*
Mounting	Basic, Axial foot, Front flange, Rear flange

* Auto switch capable

* Operate within the range of absorbable kinetic energy. (Refer to page 3.)

Construction



Copper Free (applicable to CRT production)

20 – CA2 Mounting Bore size Stroke Suffix

↓ Copper free

To eliminate any influences of copper ions or fluororesin on colour CRTs, copper materials have been nickel plated or replaced with non-copper materials, thus preventing the generation of copper ions.

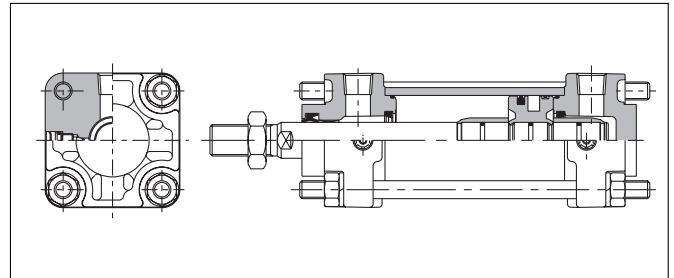
Specifications

Action	Double acting single rod
Bore size	ø40, ø50, ø63, ø80, ø100
Maximum operating pressure	1MPa
Minimum operating pressure	0.05MPa
Cushion	Air cushion
Piping	Screw-in piping
Piston speed	50 to 500 mm/s*
Mounting	Basic, Axial foot, Front flange, Rear flange, Single clevis, Double clevis, Centre trunnion

* Auto switch capable

* Operate within the range of absorbable kinetic energy. (Refer to page 3.)

Construction



Standard type
CA2

Standard type
CA2W

Standard/Non-rotating rod
CA2K

Standard/Non-rotating rod
CA2KW

Low friction
CA2□Q

End lock
CBA2

Air-hydro
CA2□H

Air-hydro
CA2W□H

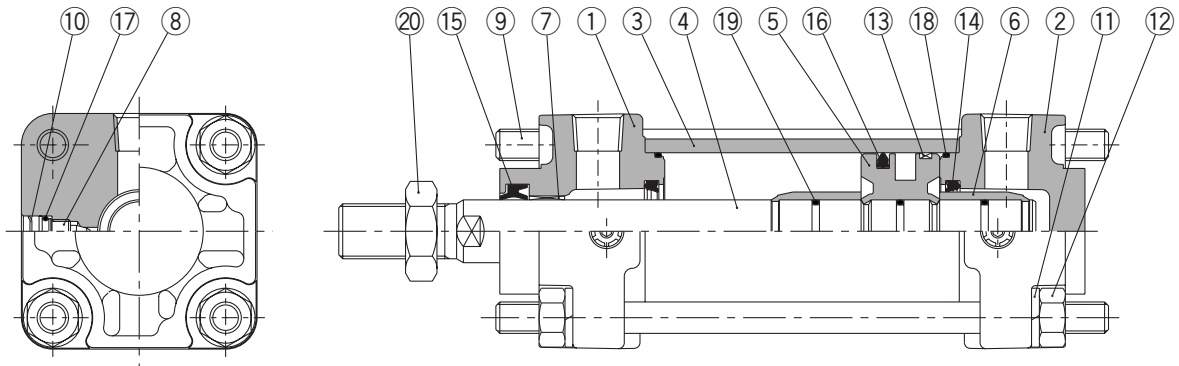
Auto switch

Made to order

Precautions

Series CA2

Construction



Parts List

No.	Description	Material	Note
1	Rod cover	Die-cast aluminum	Metallic painted
2	Head cover	Die-cast aluminum	Metallic painted
3	Cylinder tube	Aluminum alloy	Hard anodized
4	Piston rod	Carbon steel	Hard chromium electroplated
5	Piston	Aluminum alloy	Chromated
6	Cushion ring	Brass	
7	Bushing	Lead-bronze casting	
8	Cushion valve	Steel wire	Nickel plated
9	Tie-rod	Carbon steel	Corrosion resistant chromated
10	Snap ring	Spring steel	
11	Spring washer	Steel wire	Chromated
12	Tie-rod nut	Rolled steel	Nickel plated
13	Wear ring	Resin	
14	Cushion seal	Urethane	
15	Rod seal	NBR	
16	Piston seal	NBR	
17	Cushion valve seal	NBR	
18	Cylinder tube gasket	NBR	
19	Piston gasket	NBR	O-ring
20	Rod end nut	Rolled steel	Nickel plated

Replacement Parts: Seal Kits

Bore size (mm)	Seal kit No.	Content
	Air cylinder	
40	MB40-PS	Consists of numbers 14, 15, 16, and 18 above.
50	MB50-PS	
63	MB63-PS	
80	MB80-PS	
100	MB100-PS	

* The seal kits consist of items 14, 15, 16, and 18. Please order them by using the seal kit number corresponding to each bore size.

6.1.7 Anexo G

Mechanically Jointed Rodless Cylinder Basic Type

Series MY1B

Ø 10, Ø 16, Ø 20, Ø 50, Ø 63, Ø 80, Ø 100

For bore sizes Ø 25, Ø 32 and Ø 40, refer to the catalogue on www.smc.eu.

How to Order

Basic type

MY1B 20

300

M9BW

—

Basic type

Bore size [mm]

10	10 mm
16	16 mm
20	20 mm
50	50 mm
63	63 mm
80	80 mm
100	100 mm

Port thread type

Symbol	Type	Bore size
—	M thread	Ø 10, Ø 16, Ø 20
	Rc	
TN	NPT	Ø 50, Ø 63, Ø 80, Ø 100
TF	G	

Piping

—	Standard type
G	Centralised piping type

Note) For Ø 10, only G is available.

Cylinder stroke [mm]

Bore size [mm]	Standard stroke [µm]*	Maximum manufacturable stroke [mm]
10, 16	100, 200, 300, 400, 500, 600, 700	3000
20, 50, 63, 80, 100	800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000	5000

* The stroke can be manufactured up to the maximum stroke from 1 mm stroke in 1 mm increments. However, when the stroke is 49 mm or less, the air cushion capability lowers and multiple auto switches cannot be mounted. Pay special attention to this point. Also when exceeding a 2000 mm stroke, specify "-XB11" at the end of the model number. For details, refer to the "Made to Order Specifications"

Made to Order
Refer to page 15 for details.

Number of auto switches

—	2 pcs.
S	1 pc.
n	"n" pcs.

Auto switch

— Without auto switch (Built-in magnet)

For Ø 10 cylinders without an auto switch, the cylinder configuration is for the reed auto switch. Contact SMC when the solid state auto switch is retrofitted.

Applicable auto switches vary depending on the bore size. Select an applicable one referring to the table below.

Stroke adjustment unit symbol

Refer to "Stroke adjustment unit" on page 15.

Applicable Auto Switches/Refer to pages 107 to 117 for further information on auto switches.

Type	Special function	Electrical entry	Indicator light	Wiring (Output)	Load voltage		Auto switch model				Lead wire length (m)					Pre-wired connector	Applicable load	
					DC	AC	Perpendicular		In-line		0.5 (—)	1 (M)	3 (L)	5 (Z)				
							Ø 10 to Ø 20	Ø 50 to Ø 100	Ø 10 to Ø 20	Ø 50 to Ø 100								
Solid state auto switch	—	—	—	3-wire (NPN)	5 V, 12 V	—	M9NV**	M9N**	●	●	●	○	○	IC circuit	Relay, PLC			
				3-wire (PNP)			M9PV**	M9P**	●	●	●	○						
				2-wire	M9BV**	M9B**	●	●	●	○								
				3-wire (NPN)	M9NVW**	M9NW**	●	●	●	○								
	Diagnostic indication (2-colour indication)	Grommet	Yes	3-wire (PNP)	5 V, 12 V	—	M9PVW**	M9PW**	●	●	●	○	○	IC circuit				
				2-wire			M9BVW**	M9BW**	●	●	●	○	○					
	Water resistant (2-colour indication)	Grommet	No	3-wire (NPN)	5 V, 12 V	—	M9NAV** ^{*1}	M9NA** ^{*1}	○	○	●	○	○	IC circuit				
				3-wire (PNP)			M9PAV** ^{*1}	M9PA** ^{*1}	○	○	●	○	○					
				2-wire	M9BAV** ^{*1}	M9BA** ^{*1}	○	○	●	○	○	—						
Reed auto switch	—	Grommet	Yes	3-wire (NPN equivalent)	—	5 V	A96V	—	A96	Z76	●	—	●	—	—	IC circuit	—	
				2-wire			24 V	12 V	100 V	A93V** ^{*2}	—	A93	Z73	●	●	●	●	—
			No			100 V or less	A90V	—	A90	Z80	●	—	●	—	—	IC circuit	PLC	

*1 Water resistant type auto switches can be mounted on the above models, but in such case SMC cannot guarantee water resistance.

Consult with SMC regarding water resistant types with the above model numbers.

*2 1 m type lead wire is only applicable to D-A93.

* Lead wire length symbols: 0.5 m — (Example) M9NW
1 m M (Example) M9NWM
3 m L (Example) M9NWL
5 m Z (Example) M9NWZ

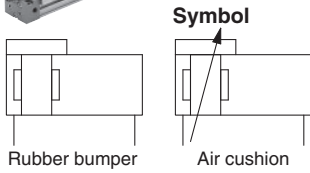
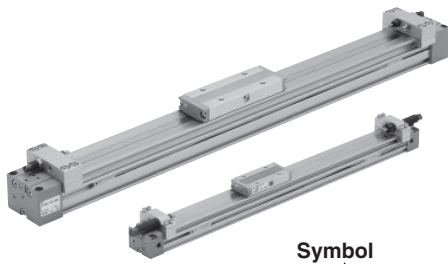
* Solid state auto switches marked with "○" are produced upon receipt of order.
* Separate switch spacers (BMG2-012) are required to retrofit auto switches (M9 type) on cylinders Ø 63 to Ø 100.

** D-M9□□□ type cannot be mounted on Ø 50. Select auto switches in brackets.

* There are other applicable auto switches than listed above. For details, refer to page 115.

* Auto switches are shipped together (not assembled).

Mechanically Jointed Rodless Cylinder **Series MY1B**



Made to Order: Specifications
(Refer to page 118 to 120 for details.)

Symbol	Specifications
-X168	Helical insert thread specifications
-XB11	Long stroke type
-XB22	Shock absorber soft type Series RJ type
-XC67	NBR rubber lining in dust seal band
20-	Cooper-free

Specifications

Bore size [mm]	10	16	20	50	63	80	100
Fluid	Air						
Action	Double acting						
Operating pressure range	0.2 to 0.8 MPa	0.15 to 0.8 MPa		0.1 to 0.8 MPa			
Proof pressure	1.2 MPa						
Ambient and fluid temperature	5 to 60 °C						
Cushion	Rubber bumper	Air cushion					
Lubrication	Non-lube						
Stroke length tolerance	1000 or less $+1.8$ -0		2700 or less $+1.8$, 2701 to 5000 $+2.8$ -0				
Piping	Front/Side port	M5 x 0.8			Rc 3/8	Rc 1/2	
Port size	Bottom port	Ø 4			Ø 10	Ø 18	

Piston Speed

Bore size [mm]		10	16, 20, 50 to 100
Without stroke adjustment unit		100 to 500 mm/s	100 to 1000 mm/s
Stroke adjustment unit	A unit	100 to 200 mm/s	100 to 1000 mm/s ⁽¹⁾
	L unit and H unit	100 to 1000 mm/s	100 to 1500 mm/s ⁽²⁾

Note1) Be aware that when the stroke adjustment range is increased by manipulating the adjustment bolt, the air cushion capacity decreases. Also, when exceeding the air cushion stroke ranges on page 18, the **piston speed should be 100 to 200 mm per second.**

Note2) The piston speed is 100 to 1000 mm/s for centralised piping.

Note3) Use at a speed within the absorption capacity range. Refer to page 17.

Stroke Adjustment Unit Specifications

Bore size [mm]		10		16	20		
Unit symbol		A	H	A	A	L	H
Configuration		With adjustment bolt		With adjustment bolt	With adjustment bolt	With adjustment bolt	With adjustment bolt
Shock absorber model		RB 0805 + with adjustment bolt		RB 1007 + with adjustment bolt	RB 0806 + with adjustment bolt	RB 1007 + with adjustment bolt	RB 1007 + with adjustment bolt
Stroke adjustment range by intermediate fixing spacer [mm]	Without spacer	0 to -5		0 to -5.6	0 to -6		
	With short spacer	—	—	-5.6 to -11.2	-6 to -12		
	With long spacer	—	—	-11.2 to -16.8	-12 to -18		

Note) Intermediate fixing spacer is not available for Ø 10.

* Stroke adjustment range is applicable for one side when mounted on a cylinder.

Stroke Adjustment Unit Symbol

		Right side stroke adjustment unit									
		Without unit	A: With adjustment bolt		L: With low load shock absorber + Adjustment bolt		H: With high load shock absorber + Adjustment bolt				
			With short spacer	With long spacer	With short spacer	With long spacer	With short spacer	With long spacer	With short spacer	With long spacer	
Left side stroke adjustment unit	Without unit	—	SA	SA6	SA7	SL	SL6	SL7	SH	SH6	SH7
	A: With adjustment bolt	AS	A	AA6	AA7	AL	AL6	AL7	AH	AH6	AH7
	With short spacer	A6S	A6A	A6	A6A7	A6L	A6L6	A6L7	A6H	A6H6	A6H7
	With long spacer	A7S	A7A	A7A6	A7	A7L	A7L6	A7L7	A7H	A7H6	A7H7
L: With low load shock absorber + Adjustment bolt		LS	LA	LA6	LA7	L	LL6	LL7	LH	LH6	LH7
	With short spacer	L6S	L6A	L6A6	L6A7	L6L	L6	L6L7	L6H	L6H6	L6H7
	With long spacer	L7S	L7A	L7A6	L7A7	L7L	L7L6	L7	L7H	L7H6	L7H7
H: With high load shock absorber + Adjustment bolt		HS	HA	HA6	HA7	HL	HL6	HL7	H	HH6	HH7
	With short spacer	H6S	H6A	H6A6	H6A7	H6L	H6L6	H6L7	H6H	H6	H6H7
	With long spacer	H7S	H7A	H7A6	H7A7	H7L	H7L6	H7L7	H7H	H7H6	H7

* Spacers are used to fix the stroke adjustment unit at an intermediate stroke position.

Shock Absorbers for L and H Units

Model	Stroke adjustment unit	Bore size [mm]	
		10	20
Standard (Shock absorber/RB series)	L	—	RB0806
	H	RB0805	RB1007
Shock absorber/soft type RJ series mounted (-XB22)	L	—	RJ0806H
	H	RJ0805	RJ1007H

* The shock absorber service life is different from that of the MY1B cylinder depending on operating conditions. Refer to the RB Series Specific Product Precautions for the replacement period.

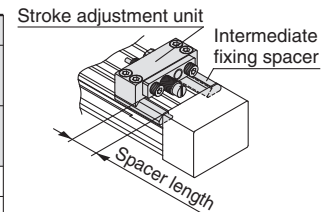
* Mounted shock absorber soft type RJ series (-XB22) is made to order specifications.

Shock Absorber Specifications

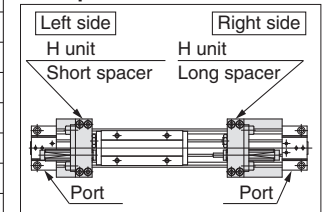
Model	RB 0805	RB 0806	RB 1007	
Max. energy absorption [J]	1.0	2.9	5.9	
Stroke absorption [mm]	5	6	7	
Max. collision speed [mm/s]	1000	1500	1500	
Max. operating frequency [cycle/min]	80	80	70	
Spring force [N]	Extended	1.96	1.96	4.22
	Retracted	3.83	4.22	6.86
Operating temperature range [°C]	5 to 60			

* The shock absorber service life is different from that of the MY1B cylinder depending on operating conditions. Refer to the RB Series Specific Product Precautions for the replacement period.

Stroke adjustment unit mounting diagram



Example of H6H7 attachment



Series MY1B

Theoretical Output

Bore size [mm]	Piston area (mm ²)	Operating pressure [MPa]							
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	
10	78	15	23	31	39	46	54	62	
16	200	40	60	80	100	120	140	160	
20	314	62	94	125	157	188	219	251	
50	1962	392	588	784	981	1177	1373	1569	
63	3115	623	934	1246	1557	1869	2180	2492	
80	5024	1004	1507	2009	2512	3014	3516	4019	
100	7850	1570	2355	3140	3925	4710	5495	6280	

Note) Theoretical output (N) = Pressure (MPa) x Piston area (mm²)

Weight

Bore size [mm]	Basic weight	Additional weight per each 50 mm of stroke	Weight of moving parts	Side support bracket weight (per set)	Stroke adjustment unit weight (per unit)		
					Type A and B	A unit weight	L unit weight
10	0.15	0.04	0.03	0.003	0.01	—	0.02
16	0.61	0.06	0.07	0.01	0.04	—	—
20	1.06	0.10	0.14	0.02	0.05	0.05	0.10
50	7.78	0.44	1.40	0.04	—	—	—
63	13.10	0.70	2.20	0.08	—	—	—
80	20.70	1.18	4.80	0.17	—	—	—
100	35.70	1.97	8.20	0.17	—	—	—

Calculation: (Example) MY1B20-300A

- Basic weight1.06 kg
- Cylinder stroke300 stroke
- Additional weight0.10/50 stroke
1.06 + 0.10 x 300/50 + 0.05 x 2 = 2.17 kg
- Weight of A unit1.76 kg

Option

Stroke Adjustment Unit Part No.

MY - A 20 H2 - 6N

Stroke adjustment unit

Intermediate fixing spacer

Stroke adjustment unit

Intermediate fixing spacer

Spacer length

Symbol	Stroke adjustment unit	Mounting position
A1	A unit	Left
A2	A unit	Right
L1	L unit	Left
L2	L unit	Right
H1	H unit	Left
H2	H unit	Right

Spacer delivery style	Unit installed	Spacer only
6	Short spacer	—
7	Long spacer	—

Note) Stroke adjustment unit is not available for Ø 50, Ø 63, Ø 80 and Ø 100.

Note 1) Refer to page 15 for details about adjustment range.

Note 2) A and H unit only for Ø 10, A unit only for Ø 16

Component Parts

MY-A20H2 (Without spacer)	MY-A20H2-6 (With short spacer)	MY-A20H2-7 (With long spacer)	MY-A20H2-6N (Short spacer only)	MY-A20H2-7N (Long spacer only)

Side Support Part No.

Type	Bore size [mm]	10	16	20	50	63	80	100
Side support A		MY-S10A	MY-S16A	MY-S20A	MY-S32A	MY-S50A	MY-S63A	
Side support B		MY-S10B	MY-S16B	MY-S20B	MY-S32B	MY-S50B	MY-S63B	

For details about dimensions, etc., refer to page 28.
A set of side supports consists of a left support and a right support.

Cushion Capacity

Cushion Selection

<Rubber bumper>

Rubber bumpers are a standard feature on MY1B10.

Since the stroke absorption of rubber bumpers is short, when adjusting the stroke with an A unit, install an external shock absorber.

The load and speed range which can be absorbed by a rubber bumper is inside the rubber bumper limit line of the graph.

<Air cushion>

Air cushions are a standard feature on mechanically jointed rodless cylinders. (Except $\varnothing 10$.)

The air cushion mechanism is incorporated to prevent excessive impact of the piston at the stroke end during high speed operation. The purpose of air cushion, thus, is not to decelerate the piston near the stroke end.

The ranges of load and speed that air cushions can absorb are within the air cushion limit lines shown in the graphs.

<Stroke adjustment unit with shock absorber>

Use this unit when operating with a load or speed exceeding the air cushion limit line, or when cushioning is required outside of the effective air cushion stroke range due to stroke adjustment.

L unit

Use this unit when cushioning is necessary outside of the effective air cushion range even if the load and speed are within the air cushion limit line, or when the cylinder is operated in a load and speed range above the air cushion limit line and below the L unit limit line.

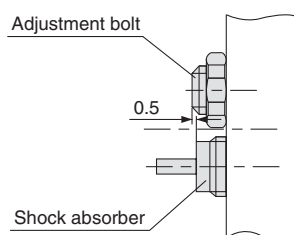
H unit

Use this unit when the cylinder is operated in a load and speed range above the L unit limit line and below the H unit limit line.

⚠ Caution

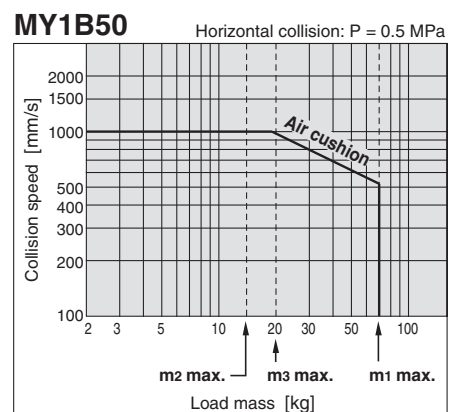
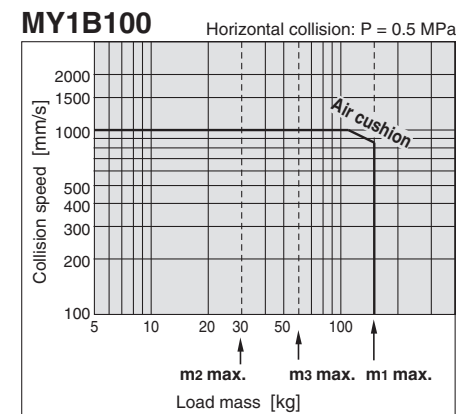
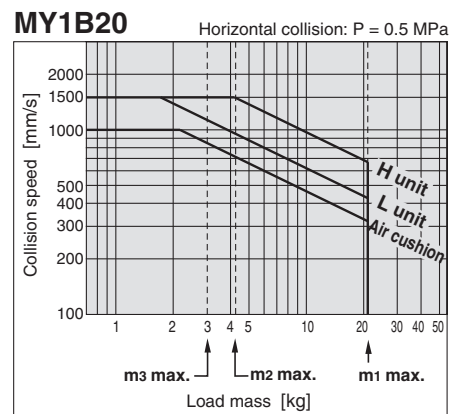
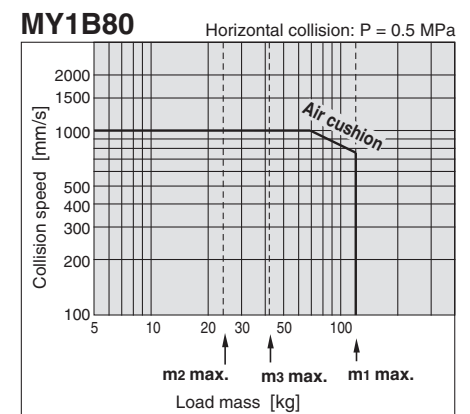
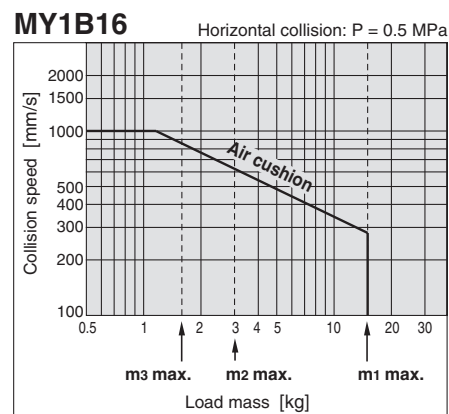
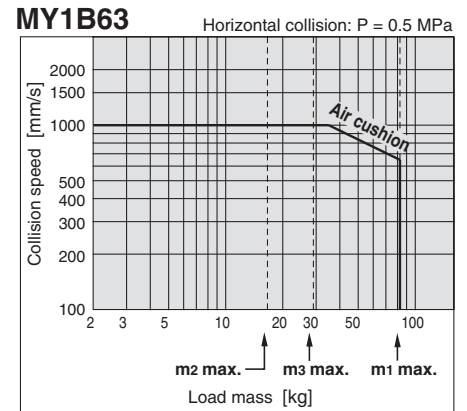
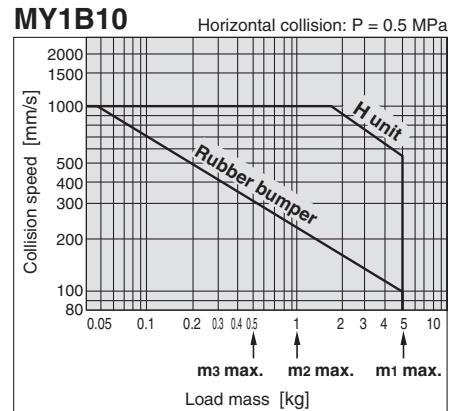
1. Refer to the figure below when using the adjustment bolt to perform stroke adjustment.

When the effective stroke of the shock absorber decreases as a result of stroke adjustment, the absorption capacity decreases dramatically. Secure the adjustment bolt at the position where it protrudes approximately 0.5 mm from the shock absorber.



2. Do not use a shock absorber together with air cushion.

Absorption Capacity of Rubber Bumper, Air Cushion and Stroke Adjustment Units

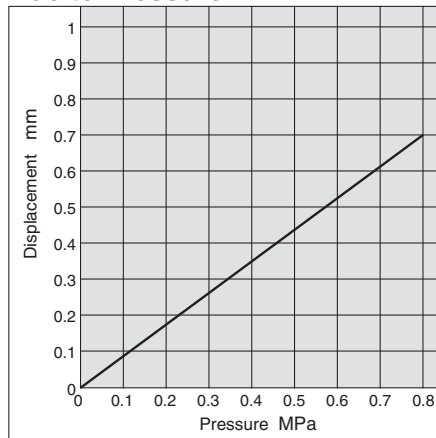


Cushion Capacity

Air Cushion Stroke [mm]

Bore size [mm]	Cushion stroke
16	12
20	15
50	30
63	37
80	40
100	40

Rubber Bumper (Ø 10 only) Positive Stroke from One End Due to Pressure



Tightening Torque for Stroke Adjustment Unit Holding Bolts [N·m]

Bore size [mm]	Unit	Tightening torque
10	A	0.4
	H	
16	A	0.7
	H	
20	A	1.8
	L	
	H	

Tightening Torque for Stroke Adjustment Unit Lock Plate Holding Bolts [N·m]

Bore size [mm]	Unit	Tightening torque
20	H	1.2

Calculation of Absorbed Energy for Stroke Adjustment Unit with Shock Absorber [N·m]

Type of impact	Horizontal collision	Vertical (Downward)	Vertical (Upward)
Kinetic energy E_1		$\frac{1}{2} m \cdot v^2$	
Thrust energy E_2	$F \cdot s$	$F_s + m \cdot g \cdot s$	$F_s - m \cdot g \cdot s$
Absorbed energy E	$E_1 + E_2$		

Symbol

v : Speed of impact object (m/s)

F : Cylinder thrust (N)

s : Shock absorber stroke (m)

m : Mass of impact object (kg)

g : Gravitational acceleration (9.8 m/s²)

Note) The speed of the impact object is measured at the time of impact with the shock absorber.

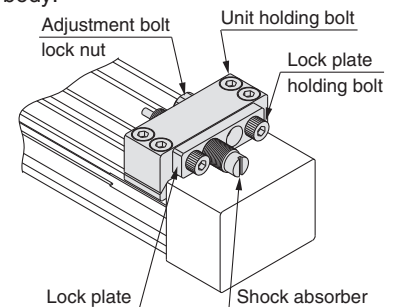
⚠ Precautions

Specific product precautions

⚠ Caution

Use caution not to get your hands caught in the unit.

- When using a product with stroke adjustment unit, the space between the slide table (slider) and the stroke adjustment unit becomes narrow at the stroke end, causing a danger of hands getting caught. Install a protective cover to prevent direct contact with the human body.



<Fastening of unit>

The unit can be secured by evenly tightening the four unit holding bolts.

⚠ Caution

Do not operate with the stroke adjustment unit fixed in an intermediate position.

When the stroke adjustment unit is fixed in an intermediate position, slippage can occur depending on the amount of energy released at the time of an impact. In such cases, as a stroke adjustment unit with the spacer for intermediate securing is available, it is recommended to use it.

(Except Ø 10)

For other lengths, please consult with SMC (Refer to "Tightening Torque for Stroke Adjustment Unit Holding Bolts".)

<Stroke adjustment with adjustment bolt>

Loosen the adjustment bolt lock nut, and adjust the stroke from the lock plate side using a hexagon wrench. Retighten the lock nut.

<Stroke adjustment with shock absorber>

Loosen the two lock plate holding bolts, turn the shock absorber and adjust the stroke. Then, uniformly tighten the lock plate holding bolts to secure the shock absorber.

Take care not to over-tighten the holding bolts. (Except Ø 10 and Ø 20 L unit.) (Refer to "Tightening Torque for Stroke Adjustment Unit Lock Plate Holding Bolts".)

Note)

Although the lock plate may slightly bend due to tightening of the lock plate holding bolt, this does not affect the shock absorber and locking function.

6.1.8 Anexo H

Technical data for strut profiles

EN AW – Al MgSi		Material designation according to DIN EN 573 for Rexroth strut profiles
-----------------	--	---

EN AW – 6060		Material number according to DIN EN 573
--------------	--	---

R_m	= 245 N/mm ²	Minimum tensile strength (in direction of pressure)
-------	-------------------------	---

$R_{p0,2}$	= 195 N/mm ²	0.2% proof stress (in direction of pressure)
------------	-------------------------	--

A_5	= 10%	Ductile yield A_5 or A_{10}
A_{10}	= 8 %	

E	= 70000 N/mm ²	Modulus of elasticity E
---	---------------------------	-------------------------

75 HB		Brinell hardness
-------	--	------------------

$\alpha_{(-50...+20\text{ °C})}$	= 21.8 x 10 ⁻⁶ 1/K	Longitudinal expansion coefficient
$\alpha_{(+20...100\text{ °C})}$	= 23.4 x 10 ⁻⁶ 1/K	

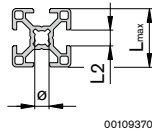
μ = 0.34 Poisson's ratio

E6/EV1 - 12 μm - 300 HV Anodizing process – layer thickness – layer hardness

L_{max}	11-20	22.5-30	40	45-60
t	± 0.15	± 0.2	$+0.6$	± 0.3

Permitted dimensional tolerance t (mm) for profiles from different deliveries

L_{max}	80	90	120	160
t	$+0.8$	± 0.4	$+1.0$	$+1.6$



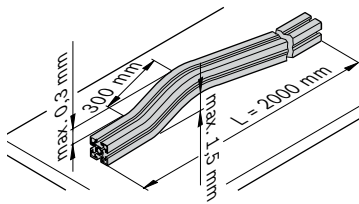
00109370

L_{max}	180	270	360
t	± 0.6	± 1.0	± 1.5

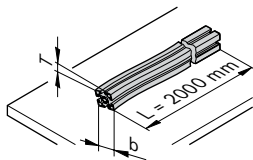
L2	6	8	10
t	$+0.3$	$+0.3$	$+0.4$

\emptyset	5.5	7.3	10	15
t	-0.1 $+0.2$	-0.1 $+0.2$	± 0.15	± 0.15

Deviation limits and form tolerances according to DIN EN 12020-2
Rexroth profiles generally fall well within the generally applicable tolerances specified in the standard. They are specifically defined for the individual products.



Longitudinal straightness tolerance of profile

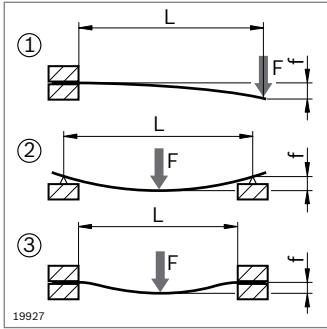


00126465

Longitudinal torsional tolerance of profile

b (mm)	T (mm)
≤ 100	1.2
100 ... 150	1.5
150 ... 200	1.8
200 ... 350	2.5

Profile deflection



$$f_{\textcircled{1}} = \frac{F \times L^3}{3 E \times I \times 10^4}$$

Profile deflection due to force F for static load cases ①②③

$$f_{\textcircled{2}} = \frac{F \times L^3}{48 E \times I \times 10^4}$$

$$f_{\textcircled{3}} = \frac{F \times L^3}{192 E \times I \times 10^4}$$

$$f_{\textcircled{1}} = \frac{m' \times g \times L^4}{8 E \times I \times 10^4}$$

Profile deflection due to the profile's own weight

$$f_{\textcircled{2}} = \frac{5 \times m' \times g \times L^4}{384 E \times I \times 10^4}$$

$$f_{\textcircled{3}} = \frac{m' \times g \times L^4}{384 E \times I \times 10^4}$$

$$\sigma_{\textcircled{1}} = \frac{(m' \times g \times L + F) \times L}{W \times 10^3}$$

Control of max. occurring bending stress $\sigma_{b \max}$

$$\sigma_{\textcircled{2}} = \frac{(m' \times g \times L + F) \times L}{4 W \times 10^3}$$

$$\sigma_{\textcircled{3}} = \frac{(m' \times g \times L + F) \times L}{8 W \times 10^3}$$

$$\sigma_{b \max} < \sigma_{b \text{perm}}!$$

$S_{F \text{req}}$: Safety value required to avoid deformation (flow)

$$\sigma_{b \text{perm}} = \frac{R_{p0,2}}{S_{F \text{erf}}}$$

$\sigma_{b \text{perm}}$: Max. permissible bending stress

f (mm)

W (cm³)

F (N)

E = 70000 N/mm²

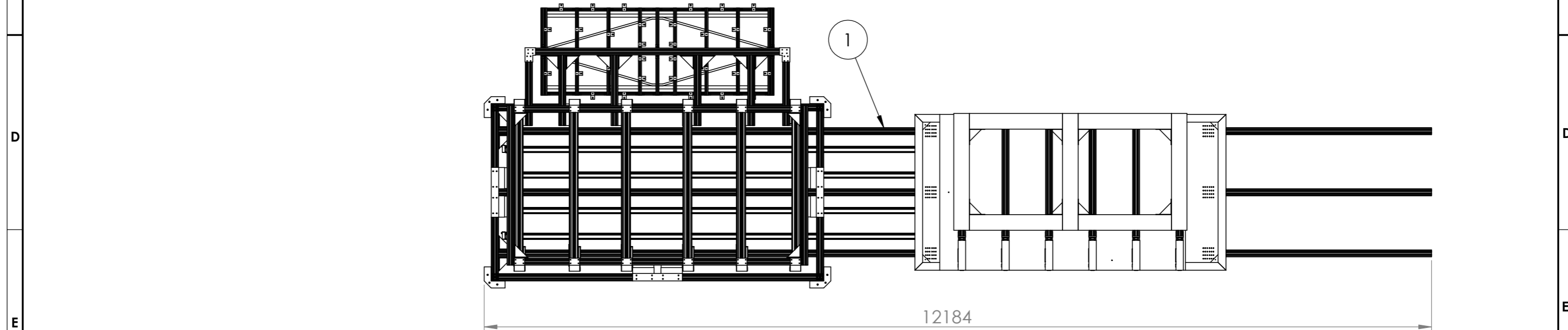
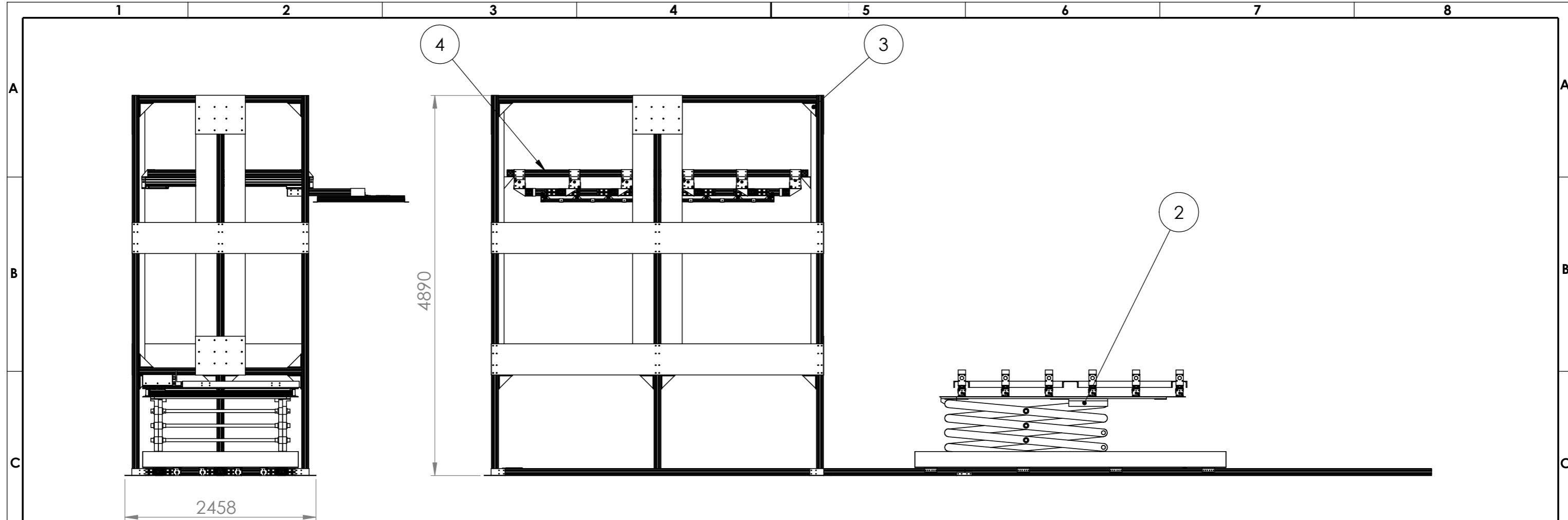
L (mm)

m' (kg/mm); m' = m/1000; m (p. 2-4 ... 2-7)


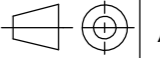
I (cm⁴)

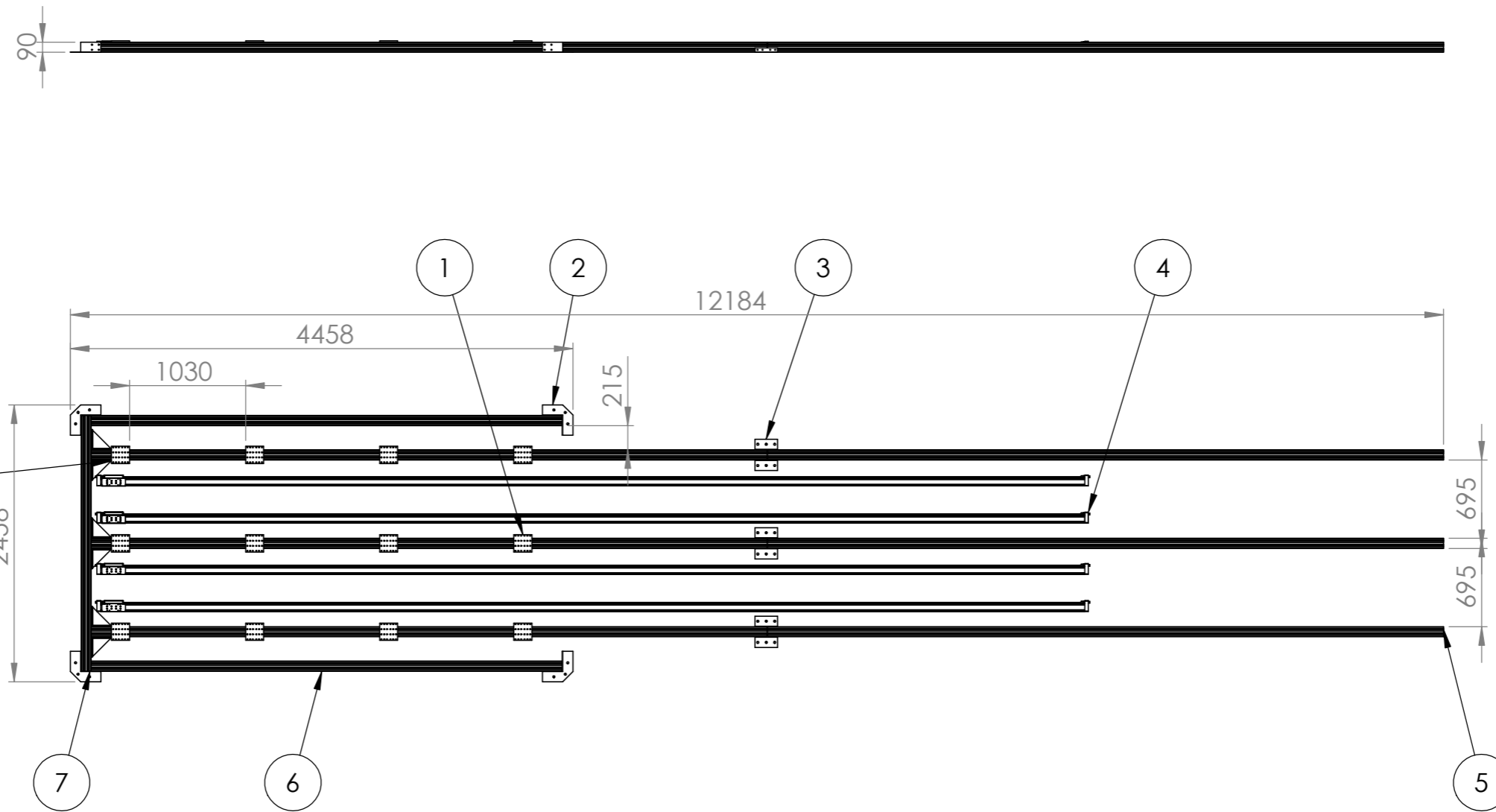
g = 9.81 m/s² ≈ 10 m/s²

6.2 Desenhos técnicos



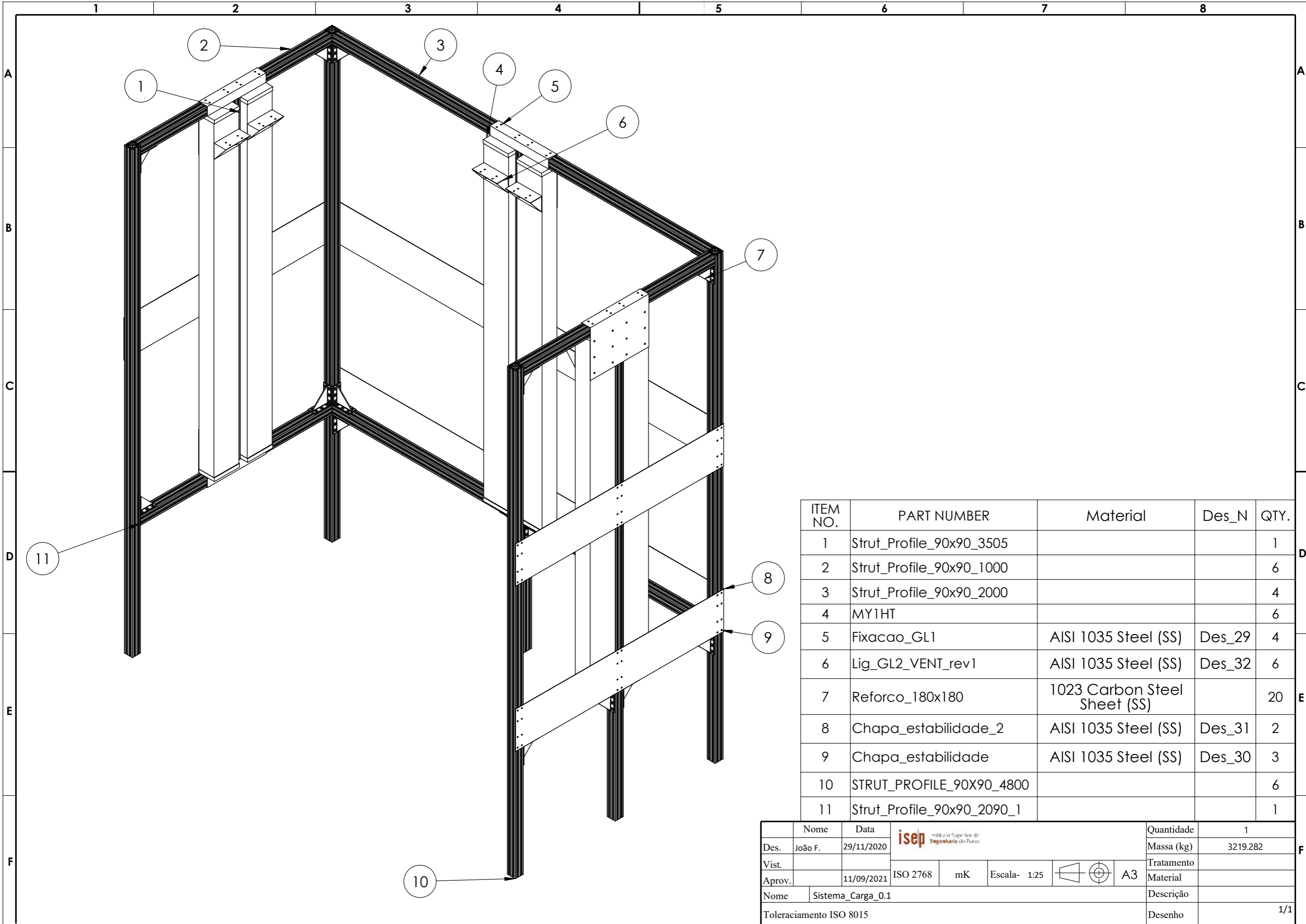
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Base		1
2	Carro		1
3	Sistema de descarga		1
4	Sistema de ventosas		1

Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto	Quantidade	
Des. João F.	13/06/2021		Massa (kg)	6879,276
Vist.		ISO 2768	mK	Escala- 1:50
Aprov.			 A3	Tratamento Superficial
Nome Projecto_Final			Material	
Toleranciamento ISO 8015			Descrição	
			Desenho	1/1



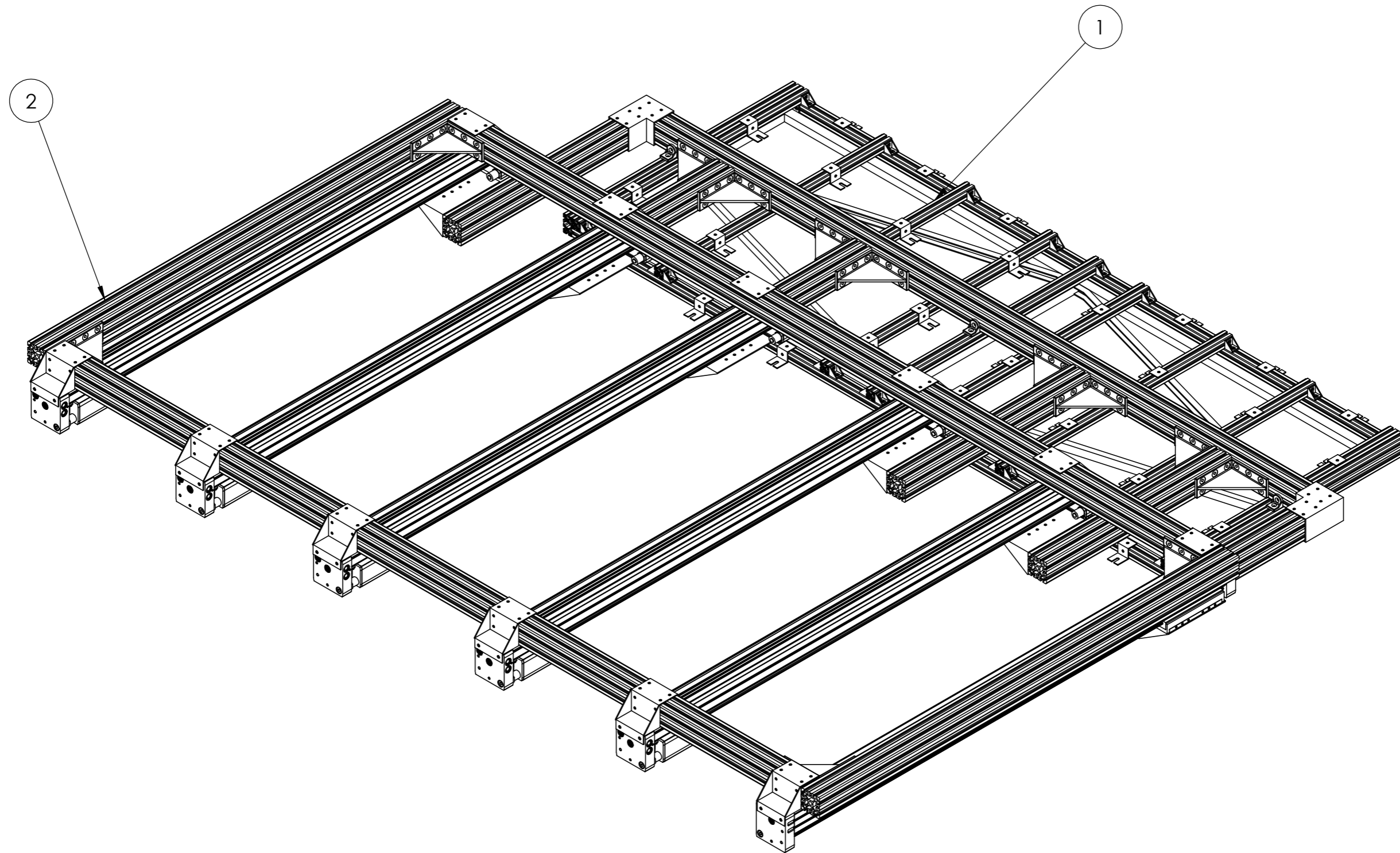
ITEM NO.	PART NUMBER	Material	Des_N	QTY.
1	EcoSlide_45x90x160_Trolley	1060 Alloy		12
2	Fixacao_chao	AISI 1035 Steel (SS)	Des_1	4
3	Fixacao_chao_2	AISI 1035 Steel (SS)	Des_2	6
4	Atuador_base			5
5	Strut_Profile_90x90_6000	6061 Alloy		6
6	Strut_Profile_90x90_4180	6061 Alloy		2
7	Strut_Profile_90x90_2270	6061 Alloy		1
8	Reforco_180x180	1023 Carbon Steel Sheet (SS)		6

Nome	Data	 <small>Instituto Superior de Engenharia do Porto</small>	Quantidade	1
Des. João F.	10/06/2021		Massa (kg)	679,573
Vist.		ISO 2768 mK Escala- 1:50 A3	Tratamento	Superficial
Aprov.			Material	
Nome	Base		Descrição	
Toleranciamento ISO 8015			Desenho	1/1


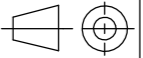


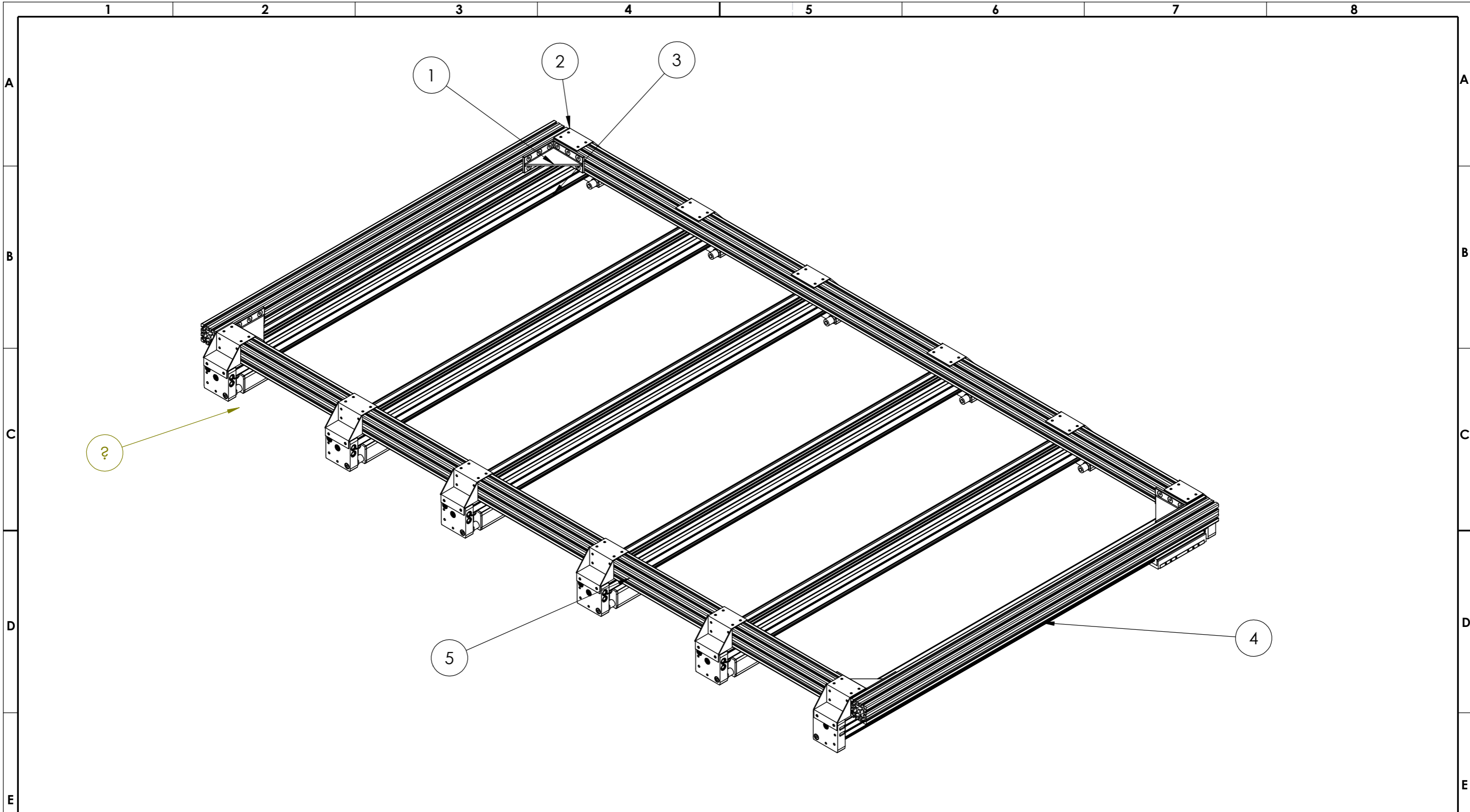
ITEM NO.	PART NUMBER	Material	Des_N	QTY.
1	Strut_Profile_90x90_3505			1
2	Strut_Profile_90x90_1000			6
3	Strut_Profile_90x90_2000			4
4	MY1HT			6
5	Fixacao_GL1	AISI 1035 Steel (SS)	Des_29	4
6	Lig_GL2_VENT_rev1	AISI 1035 Steel (SS)	Des_32	6
7	Reforco_180x180	1023 Carbon Steel Sheet (SS)		20
8	Chapa_estabilidade_2	AISI 1035 Steel (SS)	Des_31	2
9	Chapa_estabilidade	AISI 1035 Steel (SS)	Des_30	3
10	STRUT_PROFILE_90X90_4800			6
11	Strut_Profile_90x90_2090_1			1

Nome	Data	 <small>Instituto Superior de Engenharia do Porto</small>	Quantidade	1	
Des.	João F.		29/11/2020	Massa (kg)	3219.282
Vist.			Tratamento		
Aprov.	11/09/2021	ISO 2768	mK	Escala- 1:25	
				 A3	
Nome	Sistema_Carga_0.1			Descrição	
Toleraciamento ISO 8015				Desenho	1/1


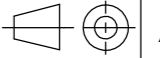


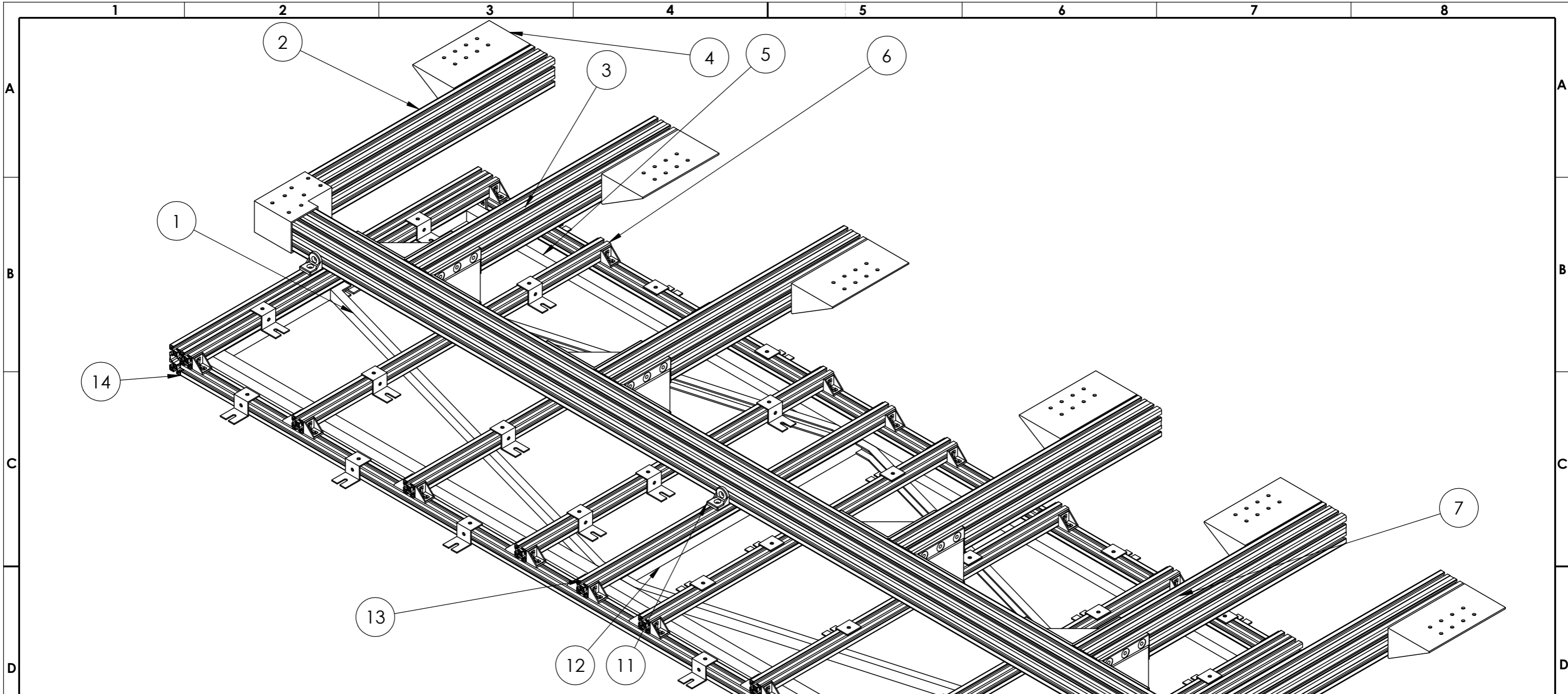
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	suporte_ventosas		1
2	suporte_ventosas_2		1

Nome	Data	 <small>Engenharia do Futuro</small>	Quantidade
Des. João F.	13/06/2021		Massa (kg)
Vist.		ISO 2768	Tratamento
Aprov.		mK	Material
Nome Sistema de ventosas		Escala- 1:15	Descrição
Toleraciamento ISO 8015		 A3	Desenho 1/1


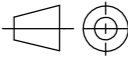


ITEM NO.	PART NUMBER	Material	Des_N	QTY.
1	Reforco_180x180	1023 Carbon Steel Sheet (SS)		4
2	Suporte_guia_linear_1_DCG_KF_63	AISI 1035 Steel (SS)	Des_39	12
3	Guia_linear_1_DCG-KF_63			6
4	STRUT_PROFILE_90X90_2050			2
5	STRUT_PROFILE_90X90_3690			2

	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	
Des.	João F.	20/06/2021					Massa (g)	
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:15		Tratamento	
Aprov.						A3	Material	
Nome	suporte_ventosas_2						Descrição	
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	1/1



ITEM NO.	PART NUMBER	Material	Des_N	QTY.
1	L_reforco_2	AISI 1035 Steel (SS)	Des_37	4
2	STRUT_PROFILE_90X90_905			6
3	STRUT_PROFILE_40X40L_2920			2
4	Uniao_supvent_1-2	AISI 1035 Steel (SS)	Des_33	6
5	L_reforco	AISI 1035 Steel (SS)	Des_36	2
6	STRUT_PROFILE_40X40L			8
7	BRACKET_40X40_MODELO			36
8	Cotovelo	AISI 1035 Steel (SS)	Des_34	2
9	Strut_Profile_90x90_3390			1
10	Ventosas	1023 Carbon Steel Sheet (SS)	Des_35	32
11	BRACKET_R40X43_1			6
12	L_reforco_3	AISI 1035 Steel (SS)	Des_38	3
13	STRUT_PROFILE_40X40L_1000			1
14	PERFIL_SOPORTE_40X80L_1120			2
15	Reforco 180x180	1023 Carbon Steel Sheet (SS)		8

Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto	Quantidade
Des. João F.	19/04/2021		Massa (kg)
Vist.		ISO 2768 mK Escala- 1:10  A3	Tratamento
Aprov.			Material
Nome	suporte_ventosas		Descrição
Toleraciamento ISO 8015			Desenho 1/1

1 2 3 4 5 6 7 8

A

B

C

D

E

F

A

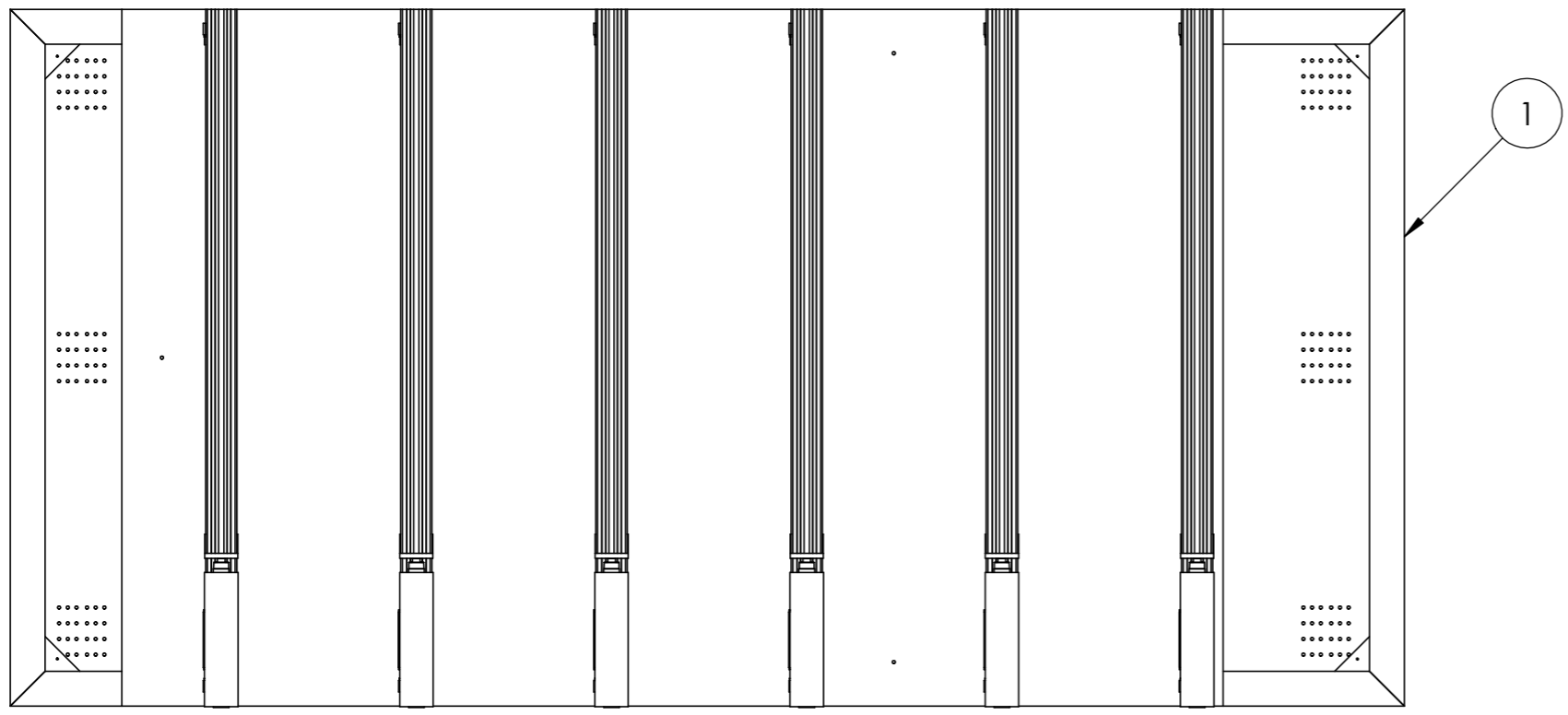
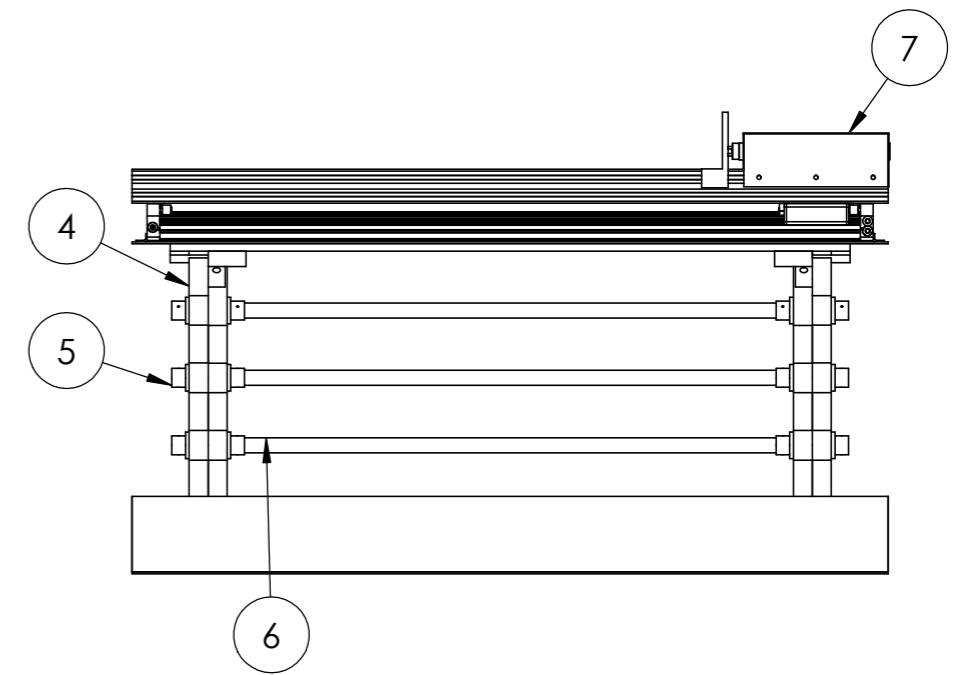
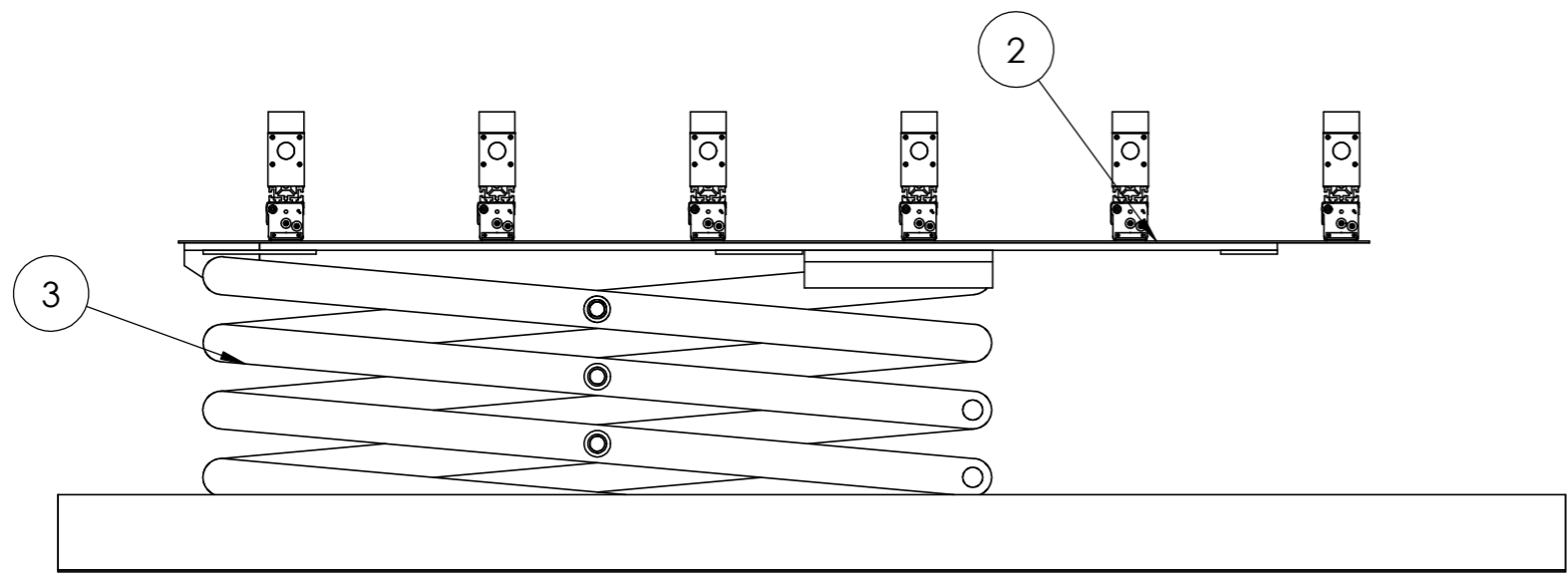
B

C

D

E

F



ITEM NO.	PART NUMBER	Des_N	QTY.
1	Base do carra		2
2	Topo do carro		2
3	Elevador barra	Des_11	12
4	Elevador Barra 2	Des_28	4
5	Elevador Travessa fixador	Des_10	16
6	Elevador travessa	Des_12	4
7	Sistema Descarga	Des_13	6

Nome	Data		Quantidade	1
Des.	João F.		12/12/2020	Massa (kg)
Vist.		ISO 2768 mK Escala- 1:20 A3	Tratamento	Superficial
Aprov.			Material	
Nome	Elevador		Descrição	
Toleraciamento ISO 8015			Desenho	1/1

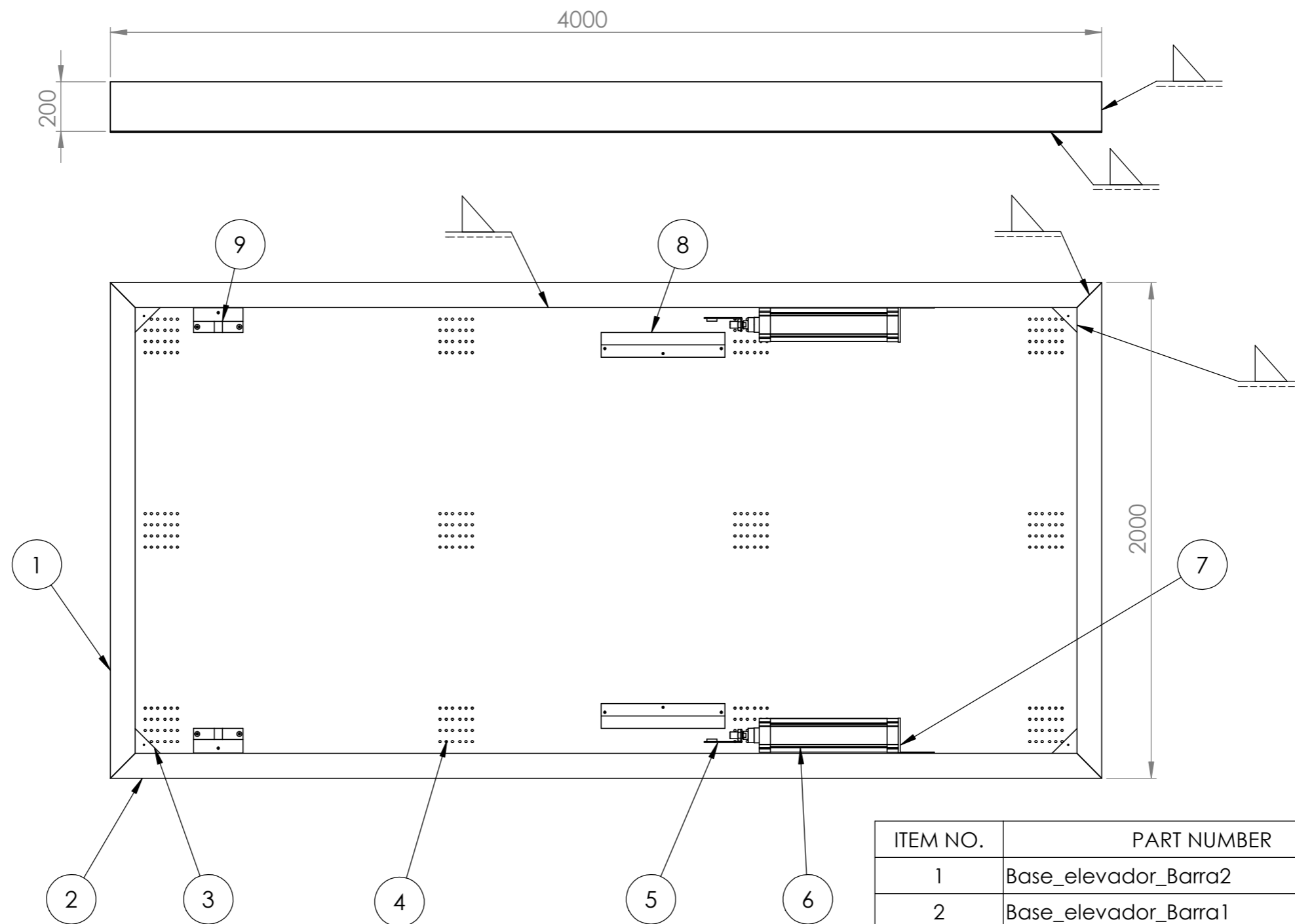
4

5

6

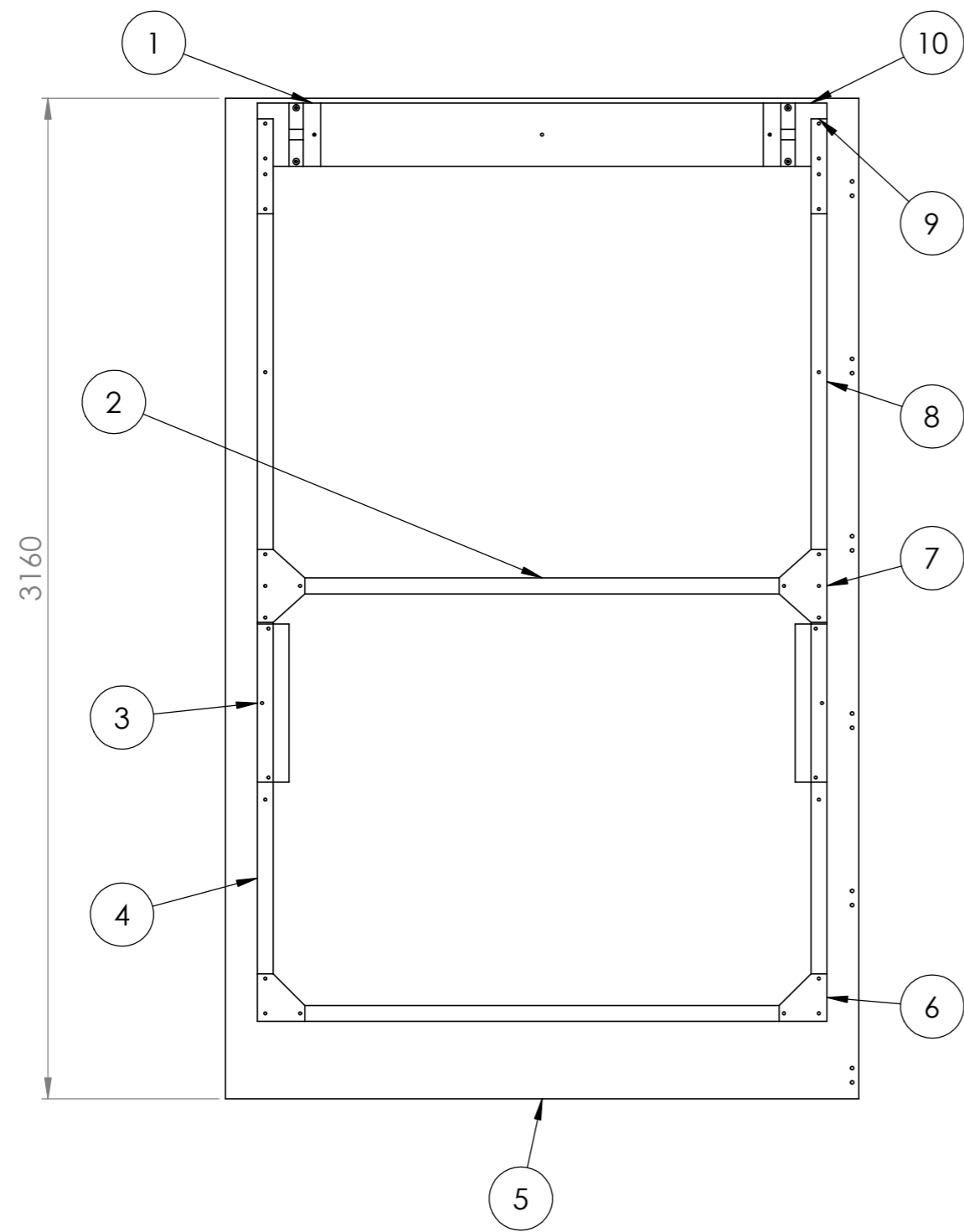
7

8



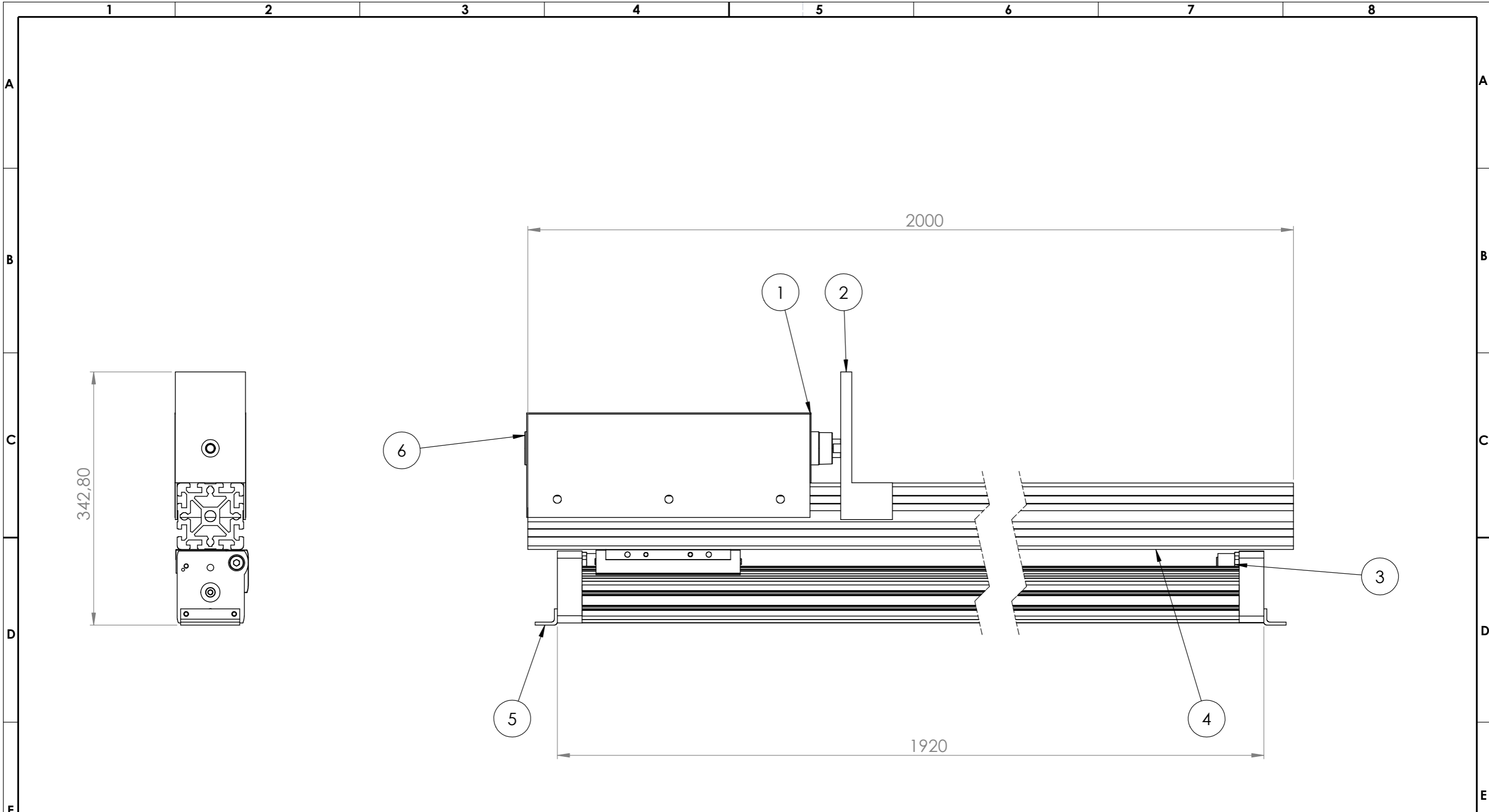
ITEM NO.	PART NUMBER	Des_N	QTY.
1	Base_elevador_Barra2	Des_5	2
2	Base_elevador_Barra1	Des_6	2
3	Base_elevador_Canto	Des_4	4
4	Base_elevador_Fundo	Des_3	1
5	Veio_casquilho_elevador	Des_8	2
6	atuador_elevador_tesoura		2
7	Suporte_atuador_1	Des_7	2
8	Base_Elevador_Guia	Des_9	2
9	Base_elevador_Porta_Casquilho	Des_10	4

Nome	Data		Quantidade	1
Des.	João F.		12/12/2020	Massa (kg)
Vist.			Tratamento	Superficial
Aprov.		ISO 2768	mK	Escala- 1:20
Nome	Elevador			Descrição
Toleranciamento ISO 8015				Desenho
				1/1



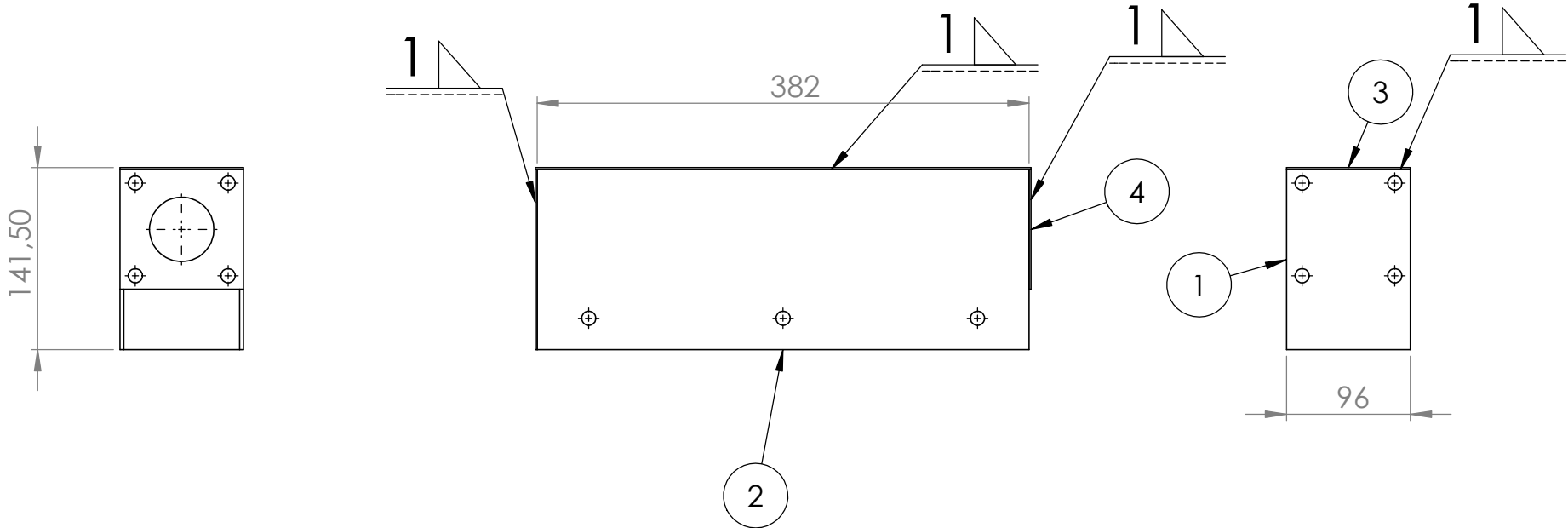
ITEM NO.	PART NUMBER	Des_N	QTY.
1	Base_elevador_Porta_Casquilho	Des_10	2
2	Topo_estrutura_barra_3	Des_17	2
3	Base_elevador_Guia	Des_9	2
4	Topo_estrutura_barra_1_D	Des_15	1
5	Base_elevador_Topo	Des_21	1
6	Topo_estrutura_Ligação_2	Des_20	2
7	Topo_estrutura_Ligação	Des_19	2
8	Topo_estrutura_barra_1	Des_16	1
9	Topo_estrutura_Ligação_3	Des_14	2
10	Topo_estrutura_barra_2	Des_18	1

Nome	Data	 <small>Instituto Superior de Engenharia do Porto</small>	Quantidade
Des. João F.	12/12/2020		Massa (kg)
Vist.		ISO 2768	Tratamento
Aprov.		mK	Material
Nome Elevador		Escala- 1:20	Descrição
Toleranciamento ISO 8015		 A3	Desenho 1/1


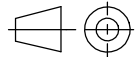


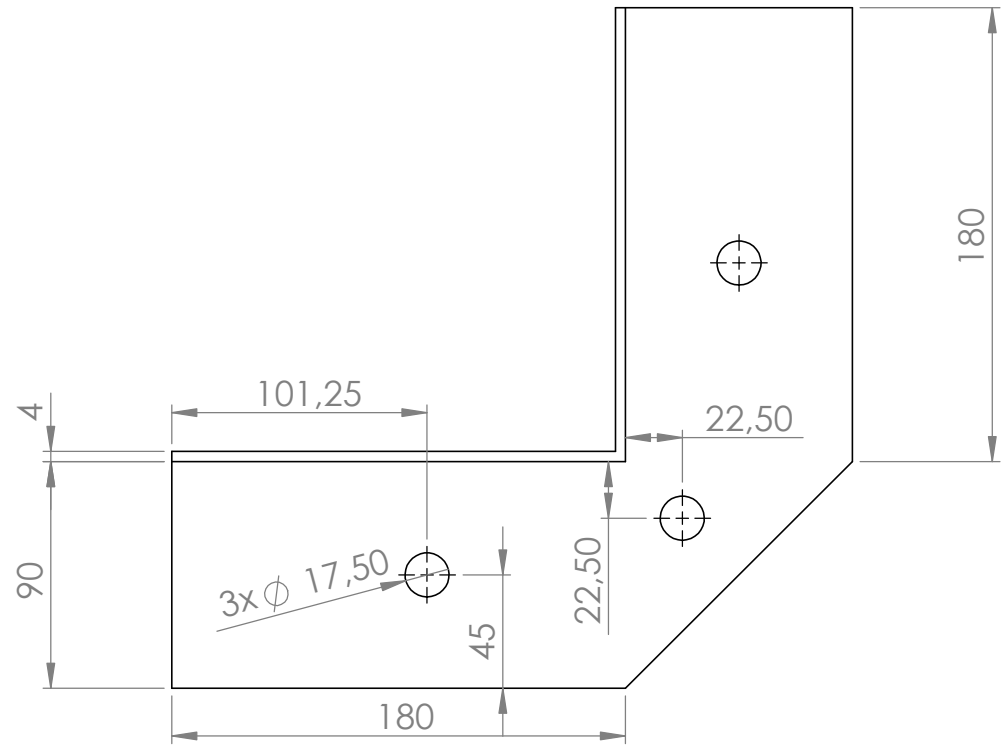
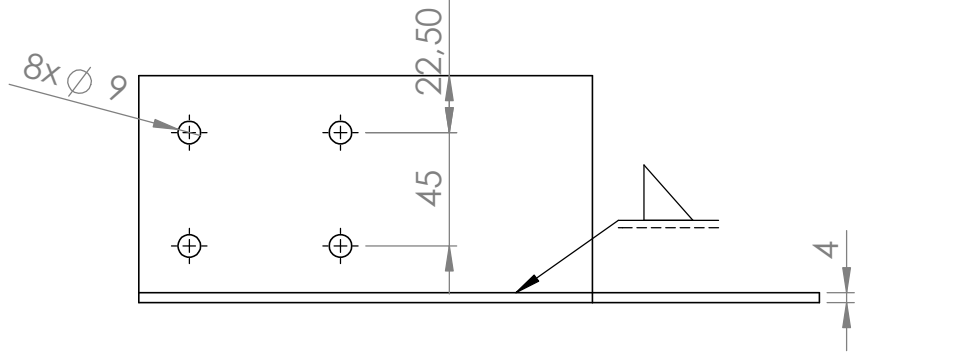
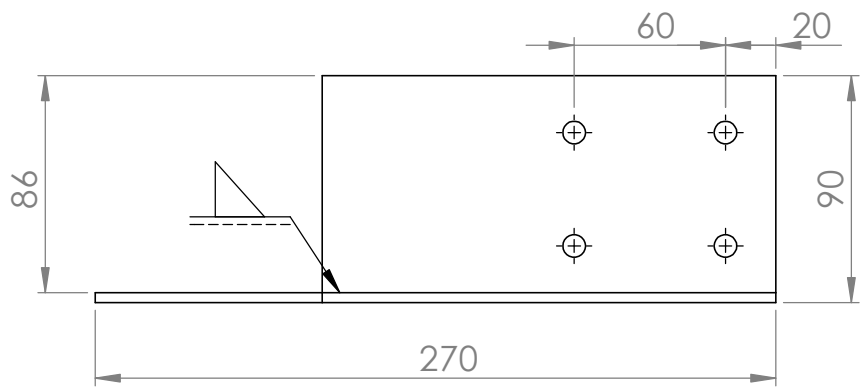
ITEM NO.	PART NUMBER	Material	Des_N	QTY.
1	Caixa_atuador			1
2	Adaptador_atuador	1060 Alloy	Des_27	1
3	Guia_linear_1			1
4	STRUT_PROFILE_90X90_2000.stp			1
5	Suporte_guia_linear_1	1060 Alloy	Des_22	2
6	Atuador_rosca_interna			1


Nome	Data	 <small>Instituto Superior de Engenharia do Porto</small>	Projeto I			Quantidade
Des. João F.	13/05/2021		ISO 2768	mK	Escala- 1:5	Massa (kg)
Vist.					A3	Tratamento
Aprov.						Material
Nome	Sistema_Descarga					Descrição
Toleraciamento ISO 8015						Desenho 1/1

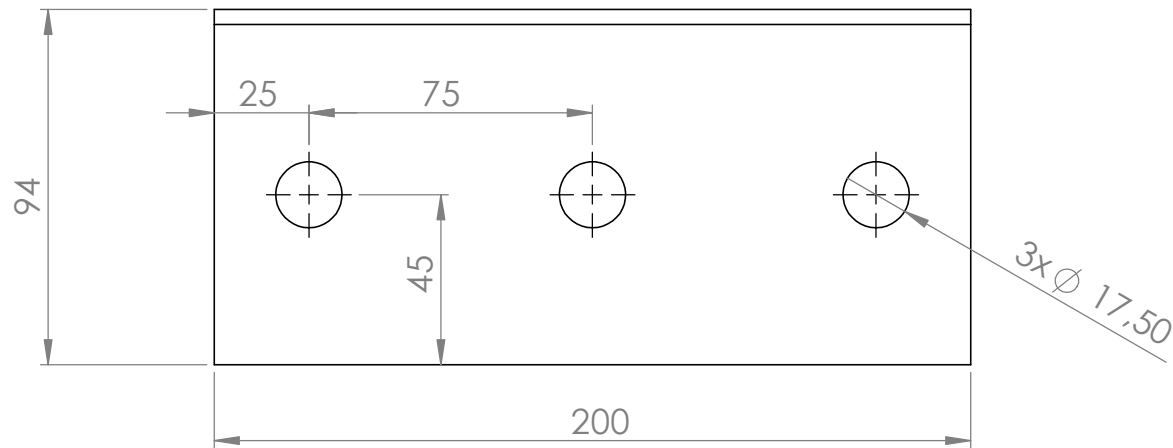
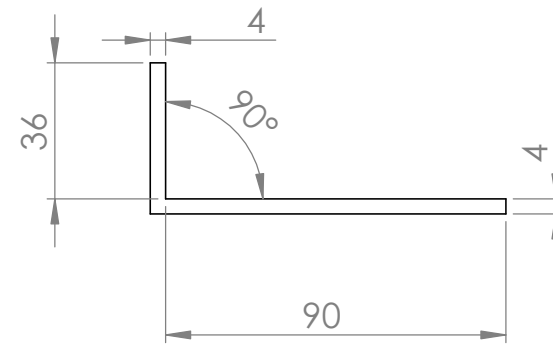
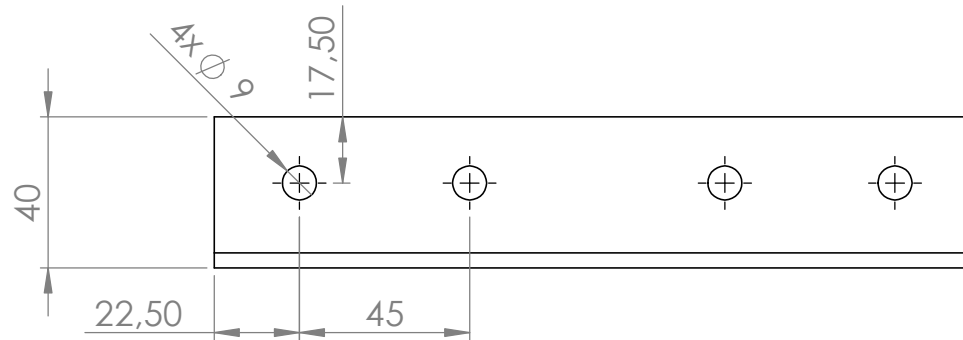



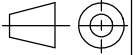
ITEM NO.	PART NUMBER	Material	Des_N	QTY.
1	Caixa_atuador_2	1060 Alloy	Des_23	1
2	Caixa_atuador	1060 Alloy	Des_24	2
3	Caixa_atuador_3	1060 Alloy	Des_25	1
4	Caixa_atuador_4	1060 Alloy	Des_26	1

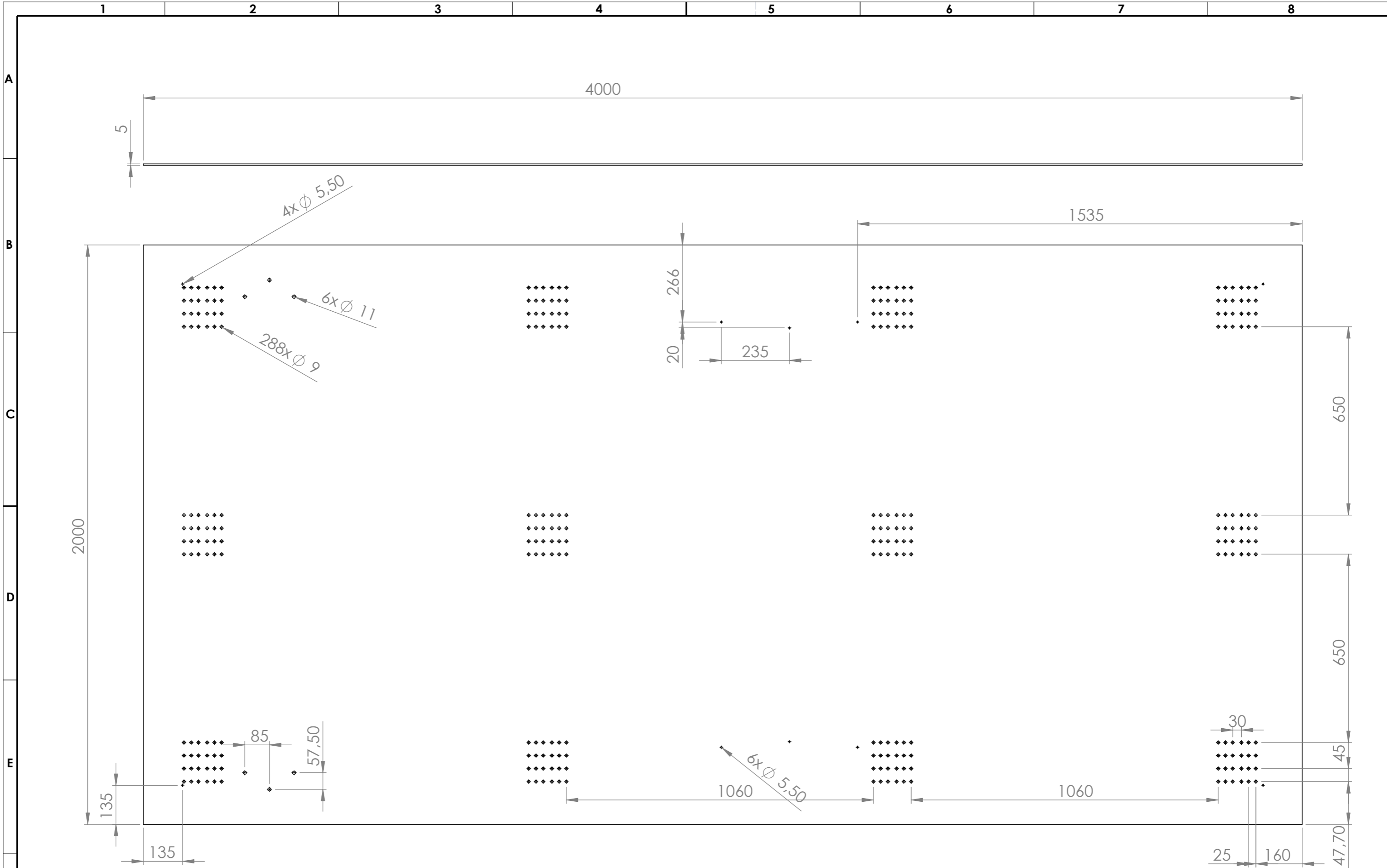
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto			Quantidade		
Des.	João Fernandes	14/05/2021				Quantidade		
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	 A4	Tratamento	
Aprov.							Material	
Nome	Caixa_atuador					Descrição		
Toleraciamento ISO 8015						Desenho	1/1	



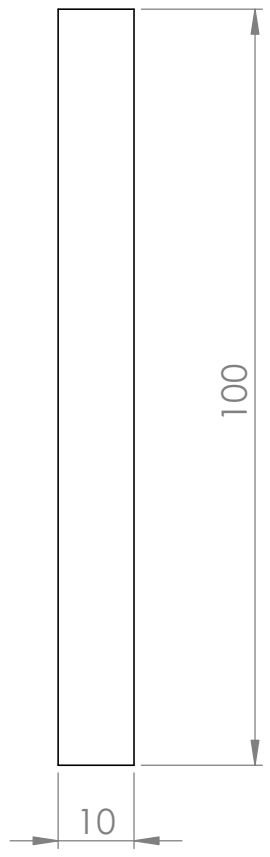
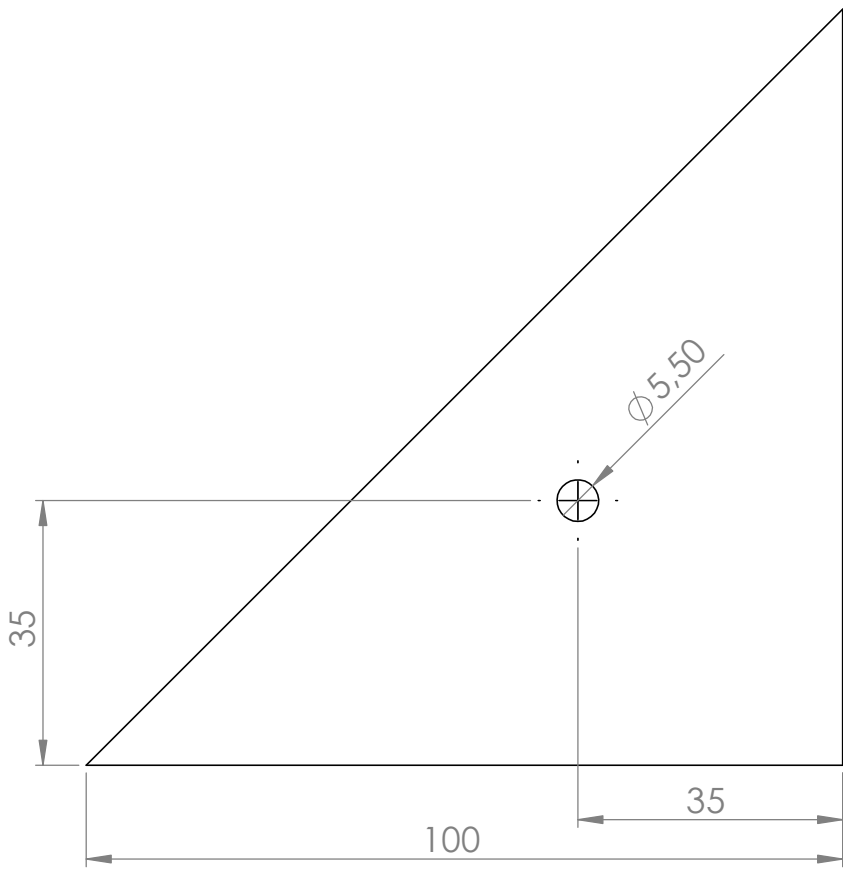
Nome	Fixacao_chao	Data	10/06/2021	 Instituto Superior de Engenharia do Porto			Quantidade	1	
Des.	João F.						Massa (kg)	2111.95	
Vist.							Tratamento	Superficial	
Aprov.				ISO 2768	mK	Escala- 1:3	Material	AISI 1035 Steel (SS)	
Nome		Fixacao_chao					Descrição		-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho		Des_1 1/1




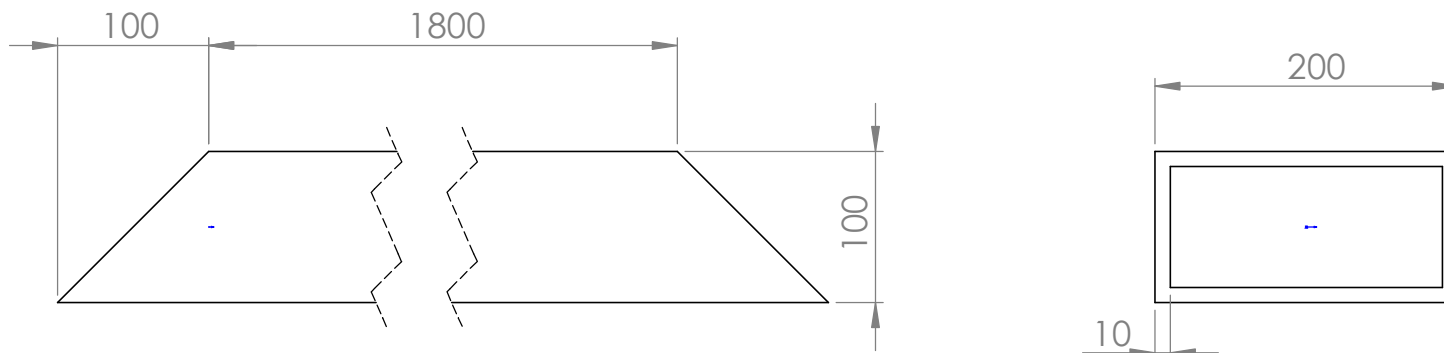
	Nome	Data	 Projeto 1				Quantidade	1
Des.	João F.	12/06/2021					Massa (g)	785.75
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		Material	AISI 1035 Steel (SS)
Nome	Fixacao_chao_2						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_2
								1/1

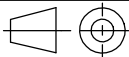


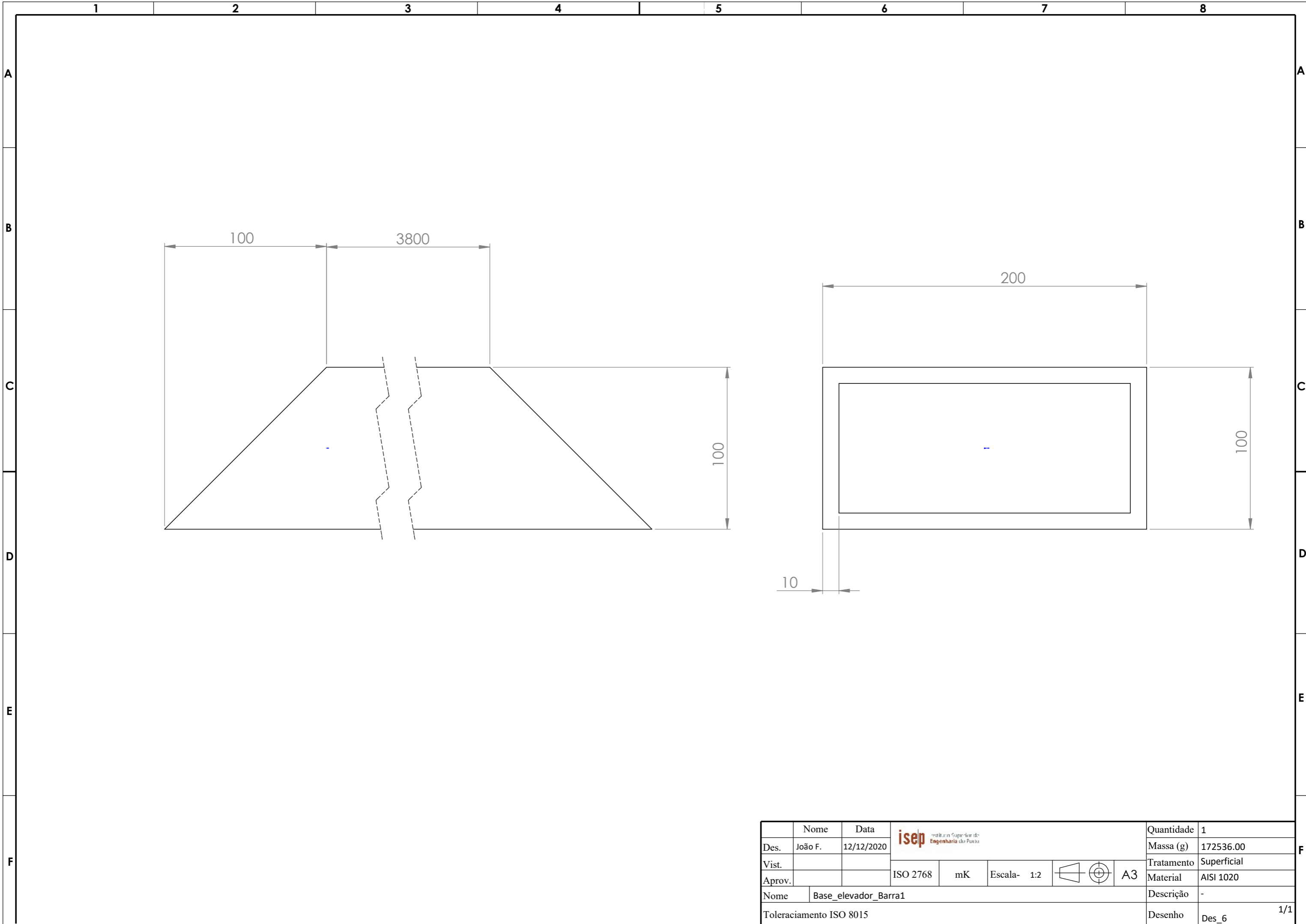
Nome	João F.	Data	12/12/2020				Quantidade	1
Des.				ISO 2768	mK	Escala- 1:12	Tratamento	Superficial
Vist.							Material	AISI 1035 Steel (SS)
Aprov.							Nome	Base_elevador_Fundo
Toleraciamento ISO 8015							Descrição	-
							Desenho	Des_3 1/1


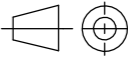


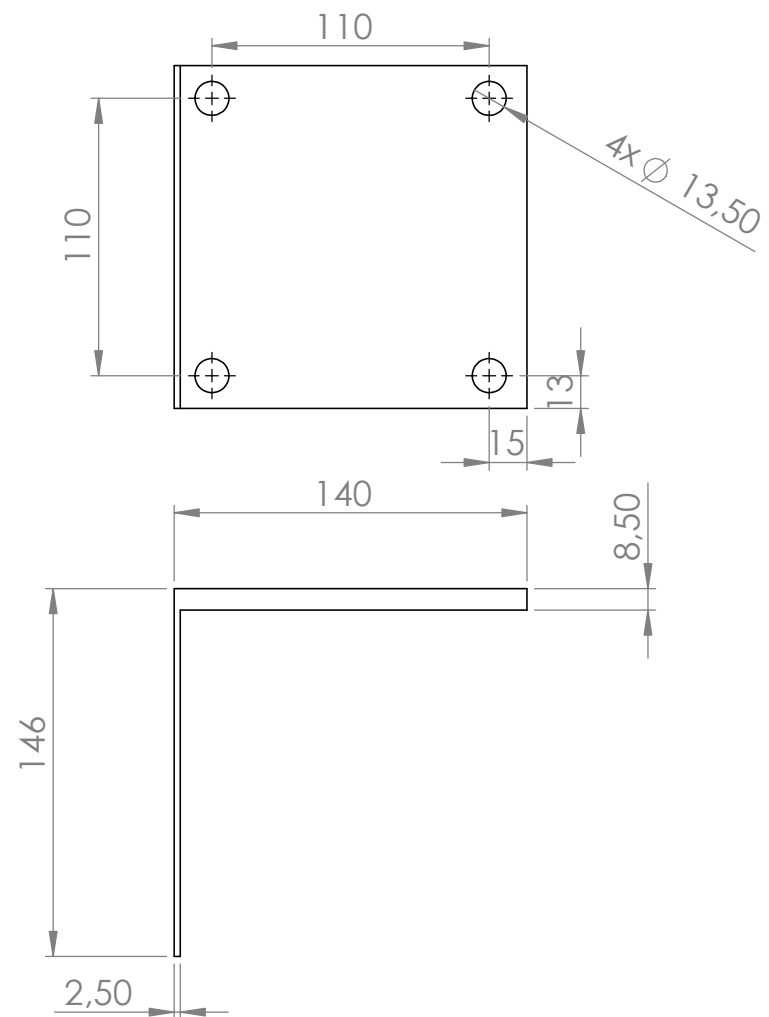
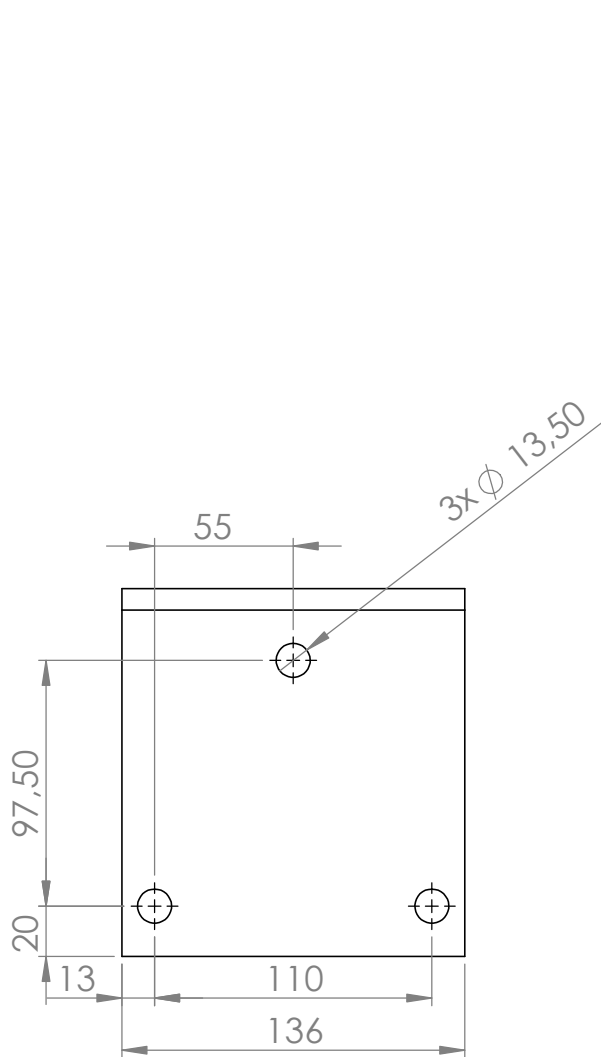
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	12/12/2020					Massa (g)	390.63
Vist.			Tratamento	Superficial				
Aprov.			Material	AISI 1035 Steel (SS)				
Nome		Base_elevador_Canto				Descrição	-	
Toleraciamento ISO 8015						Desenho	Des_4 1/1	






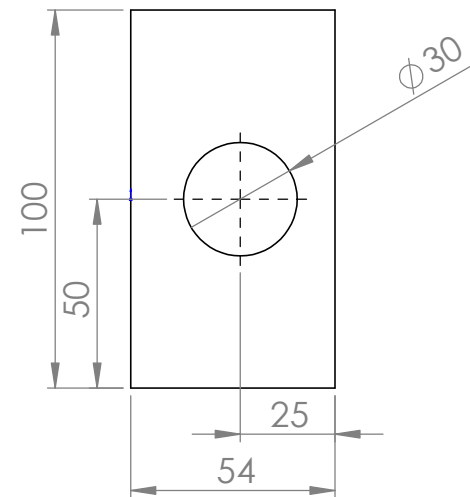
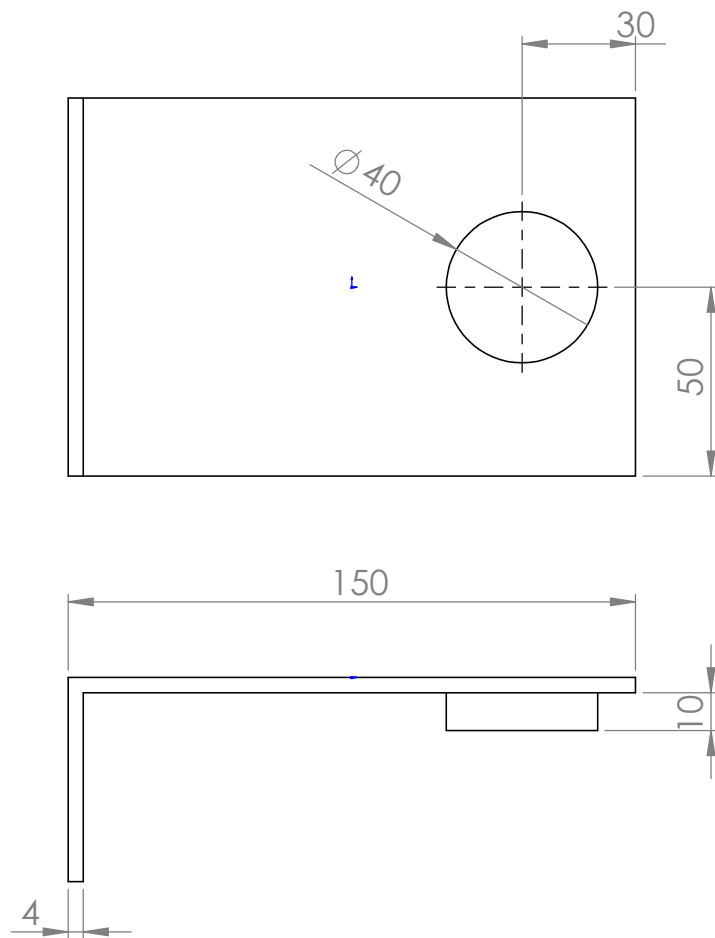
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	12/12/2020					Massa (g)	84056.00
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	 A4	Material	AlSi 1020
Nome	Base_elevador_Barra2						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_5 1/1





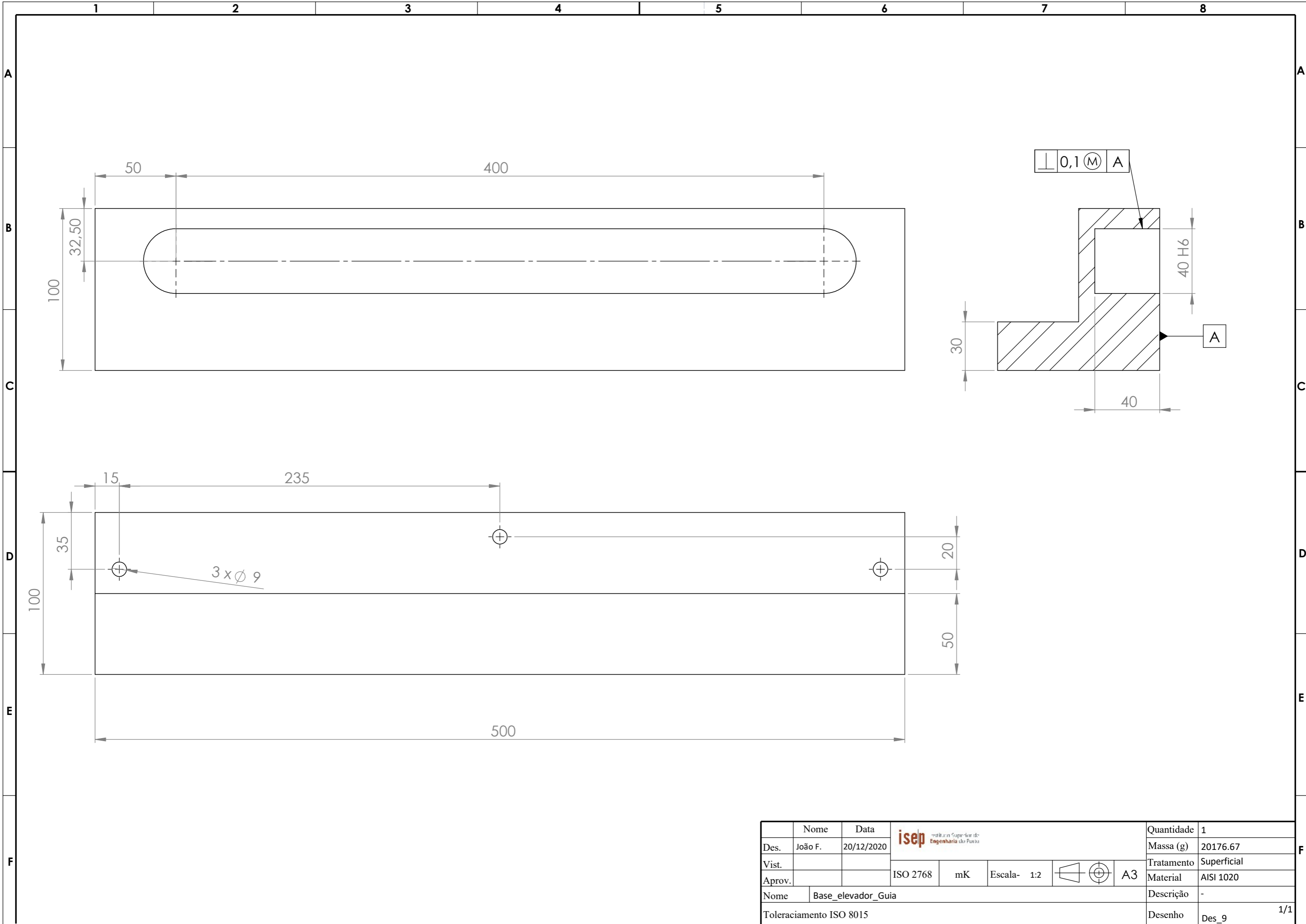
	Nome	Data					Quantidade	1
Des.	João F.	12/12/2020					Massa (g)	172536.00
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		Tratamento	Superficial
Aprov.						A3	Material	AISI 1020
Nome		Base_elevador_Barra1					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_6 1/1



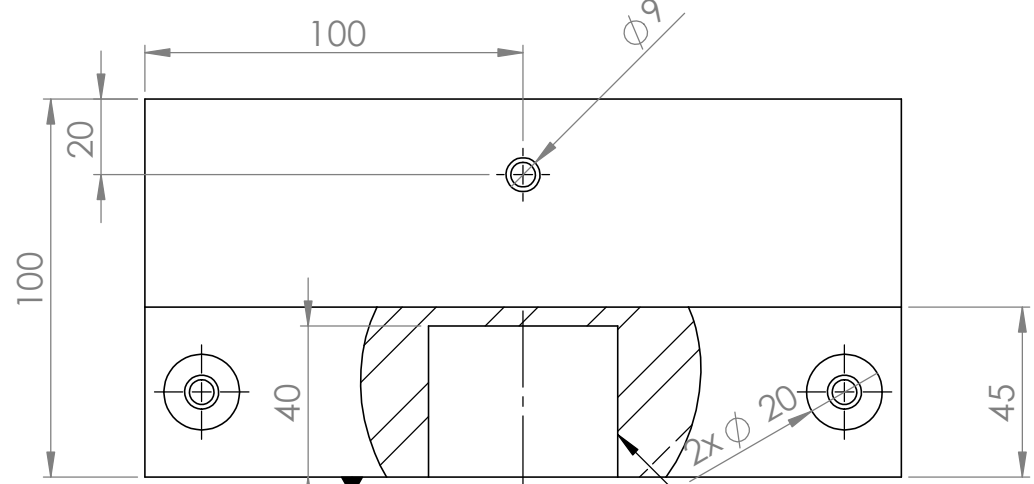
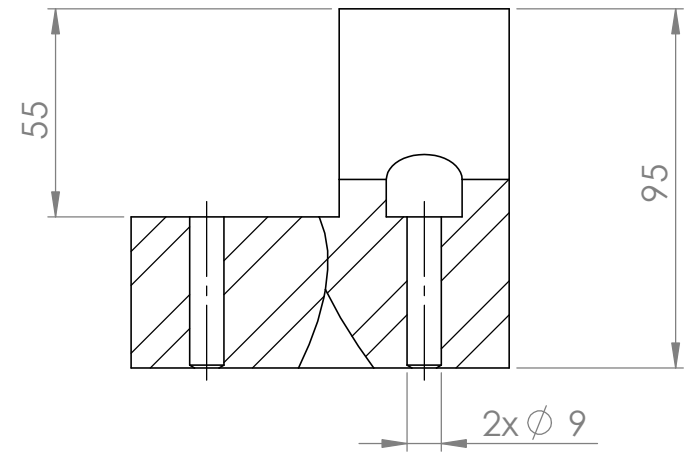
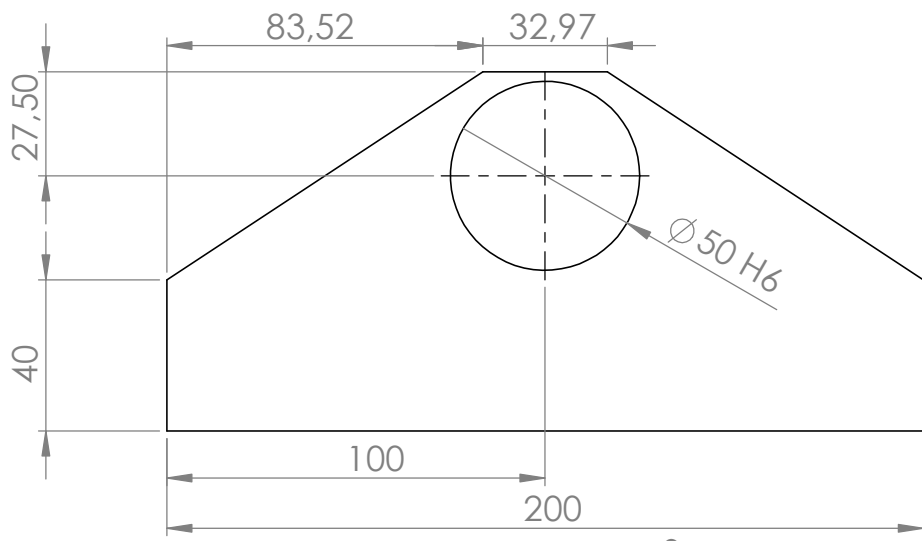
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	07/06/2021					Massa (g)	1145.89
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:3	 	Material	AISI 1020
Nome		Suporte_atuador_1					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_7



	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	04/06/2021					Massa (g)	708.94
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	AISI 1020
Nome	Veio_casquilho_elevador						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_8 1/1



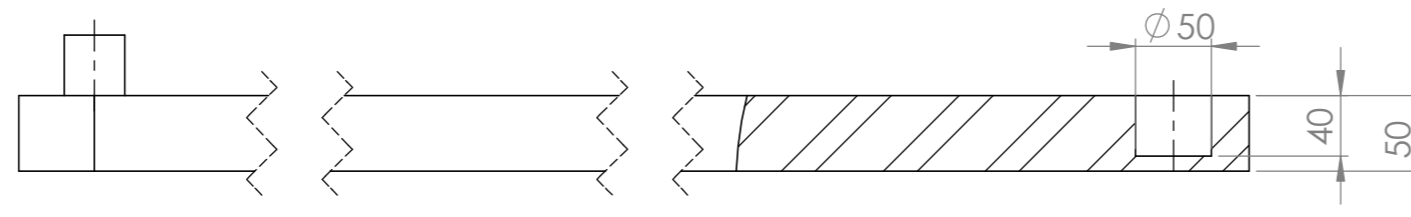
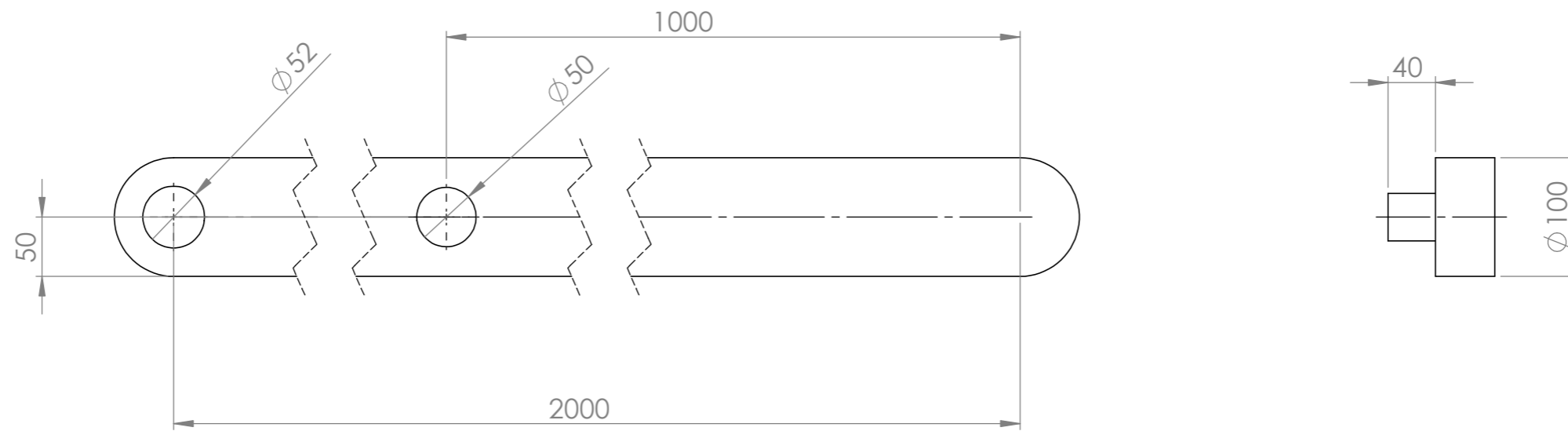
	Nome	Data					Quantidade	1
Des.	João F.	20/12/2020					Massa (g)	20176.67
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		Tratamento	Superficial
Aprov.						A3	Material	AISI 1020
Nome		Base_elevador_Guia					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_9 1/1


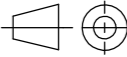


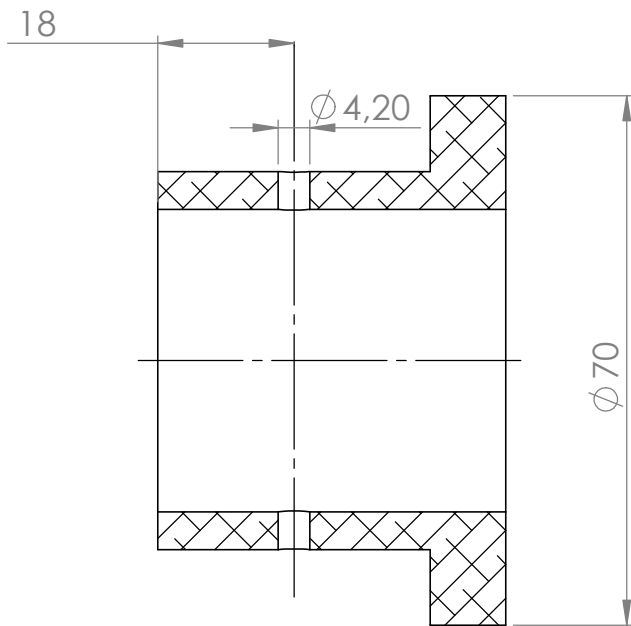
⊥ 0,1 (M) A

A

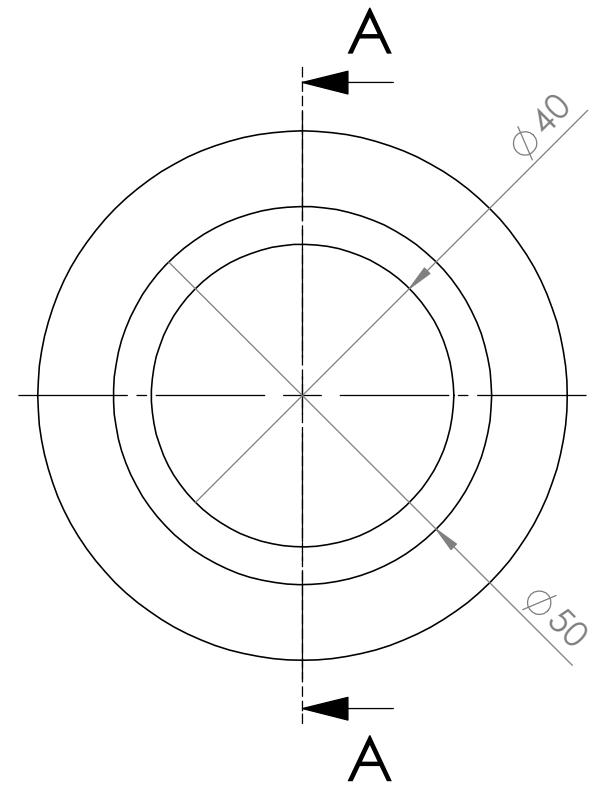
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	15/12/2020					Massa (g)	7868.05
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Material	AISI 1020
Nome	Base_elevador_Porta_Casquilho						Descrição	-
Toleranciamento ISO 8015							Desenho	Des_10 1/1



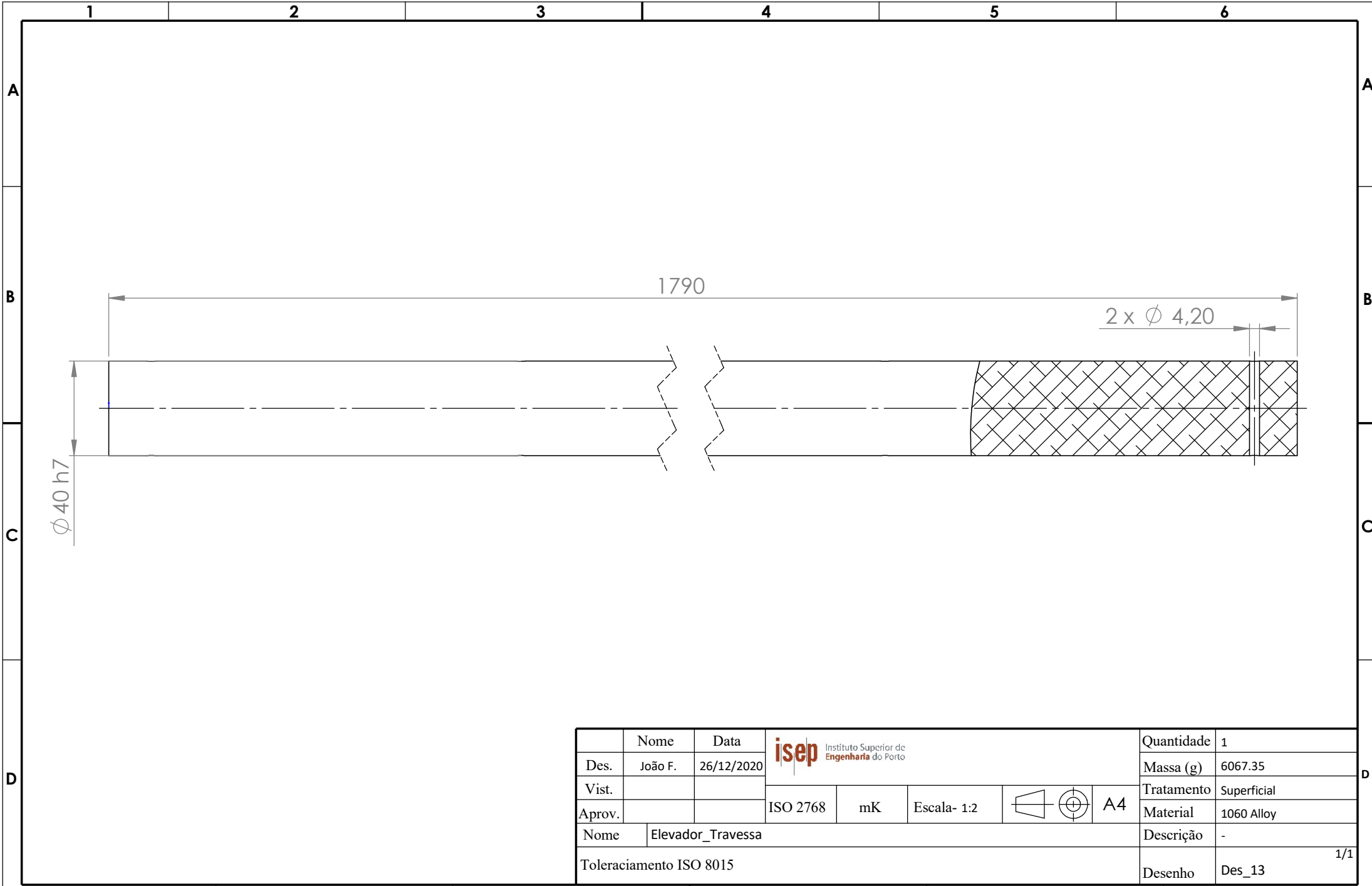
	Nome	Data					Quantidade	1
Des.	João F.	19/12/2020					Massa (g)	78935.66
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5		Tratamento	Superficial
Aprov.							Material	Alloy Steel (SS)
Nome		Elevador_barra					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_11 1/1

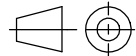


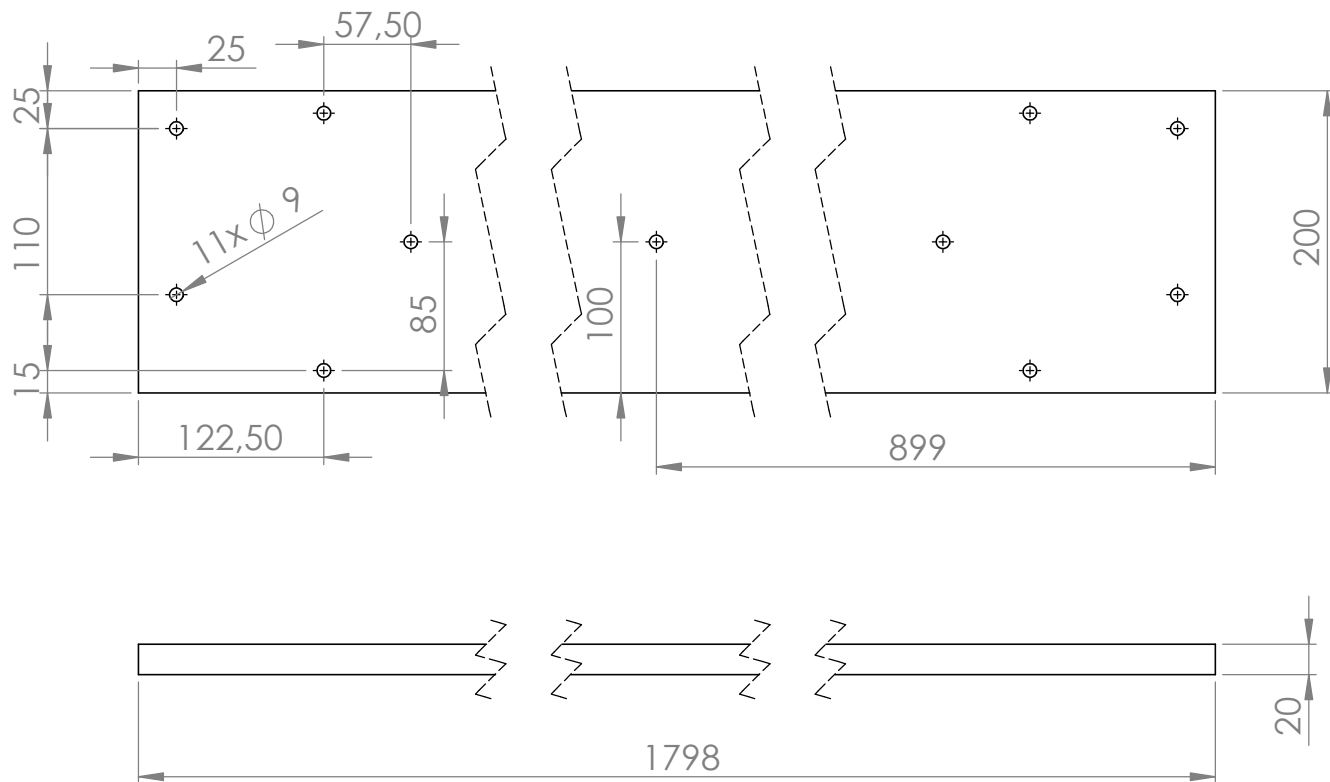
SECTION A-A

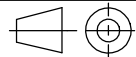


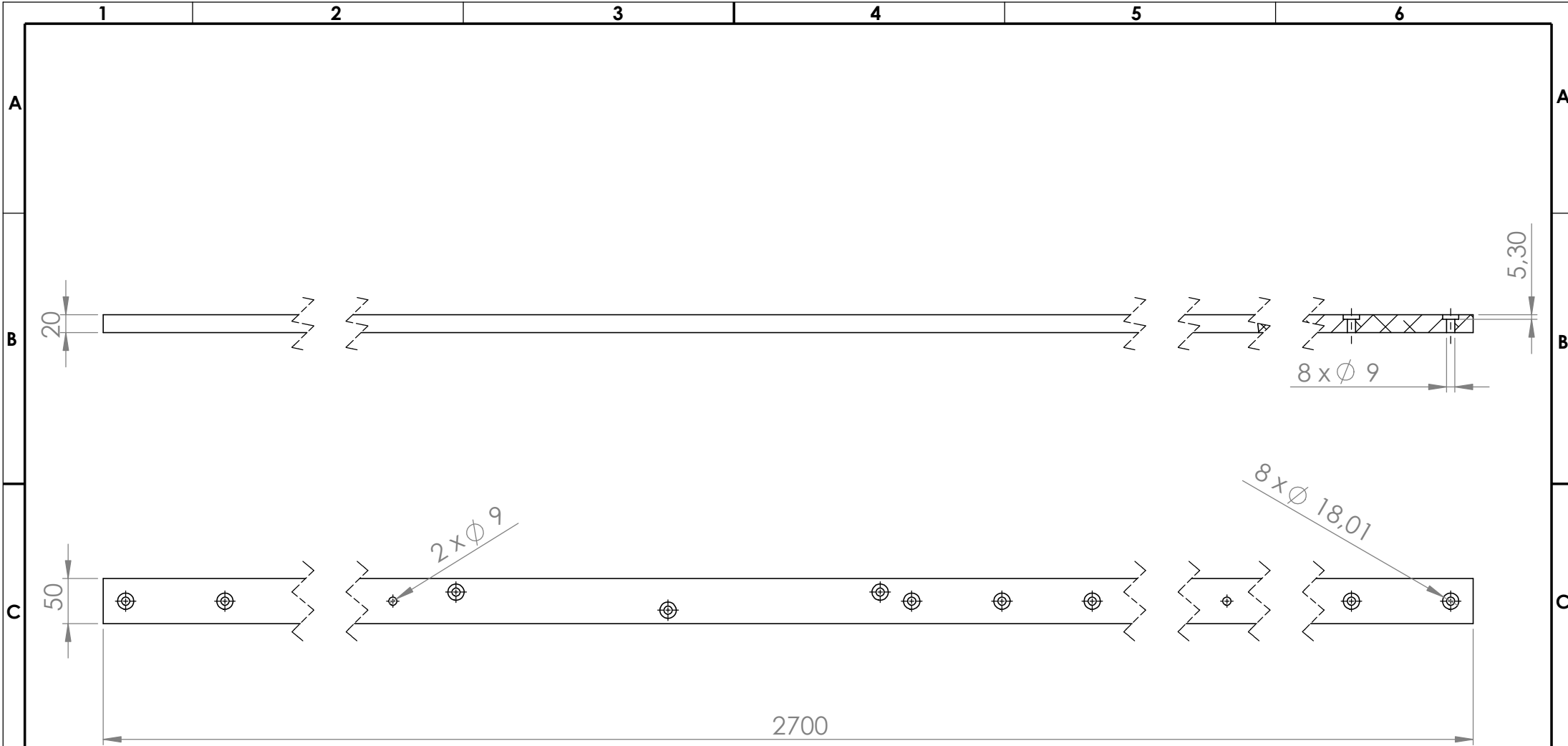
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	26/12/2020					Massa (g)	138.31
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	A4	Material	1060 Alloy
Nome		Elevador_Travessa_fixador					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_12 1/1

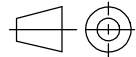


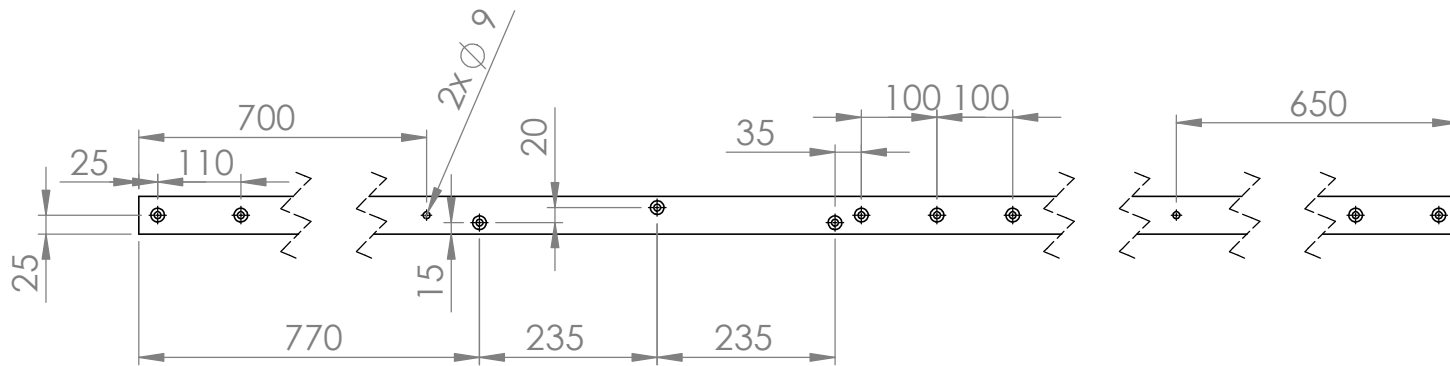
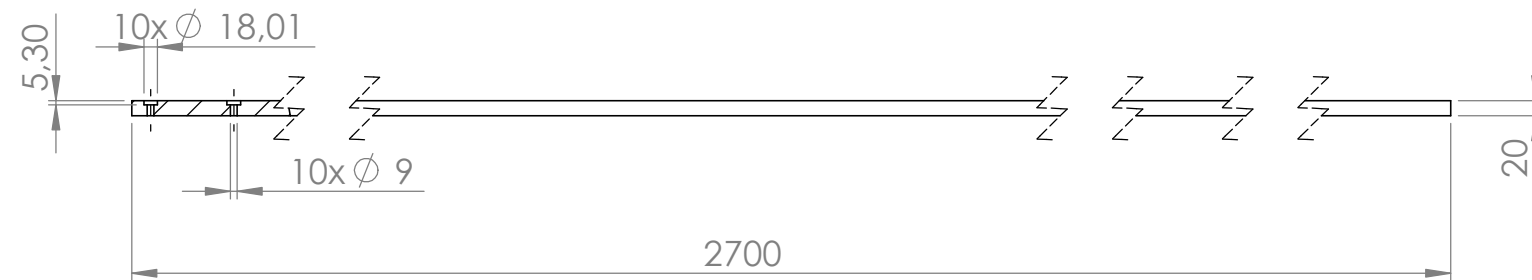
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	26/12/2020					Massa (g)	6067.35
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	1060 Alloy
Nome	Elevador_Travessa						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_13 1/1


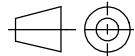


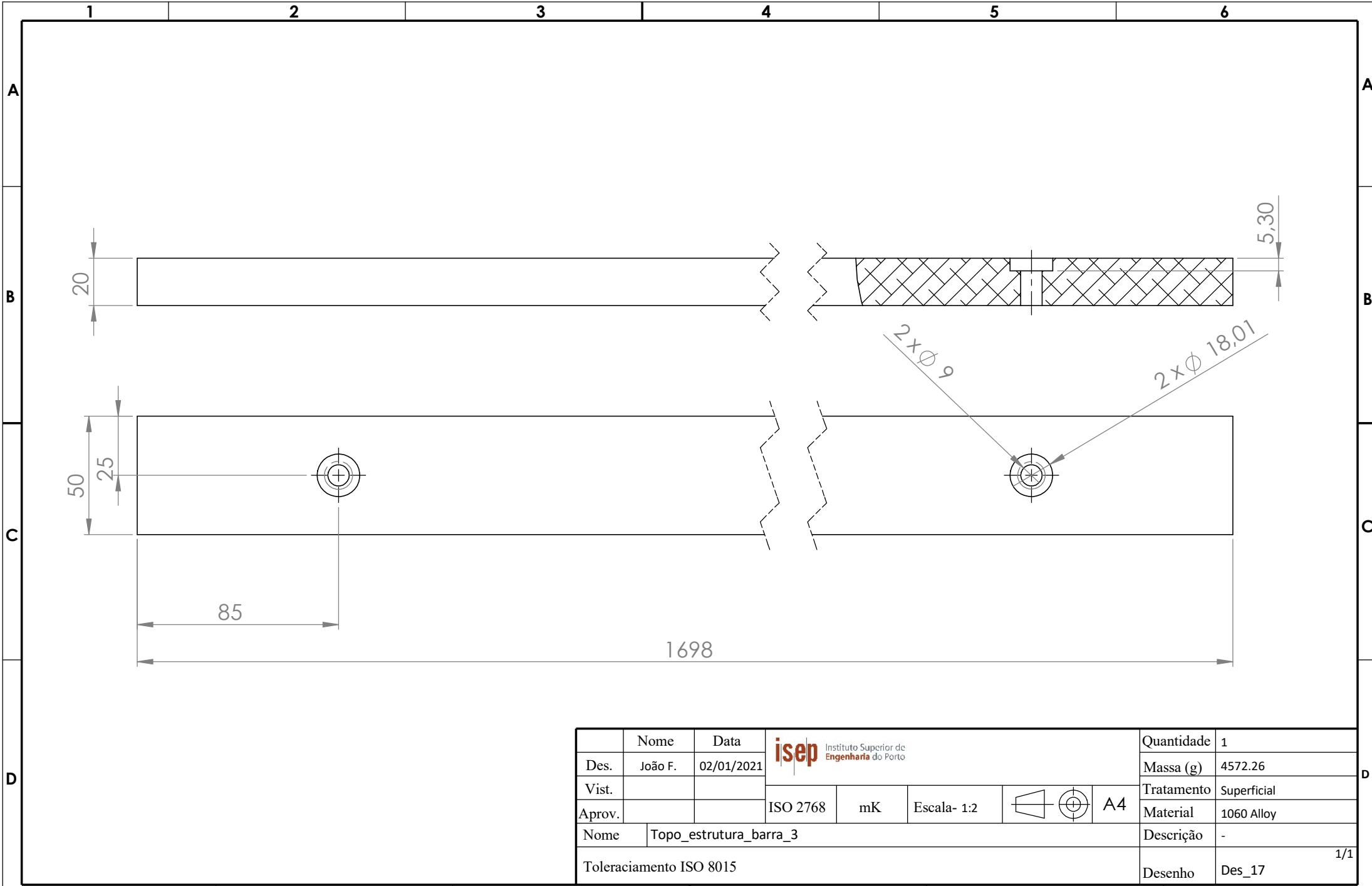
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	02/01/2021					Massa (g)	19353.26
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	 A4	Material	1060 Alloy
Nome	Topo_estrutura_barra_2						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_14 1/1

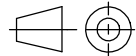


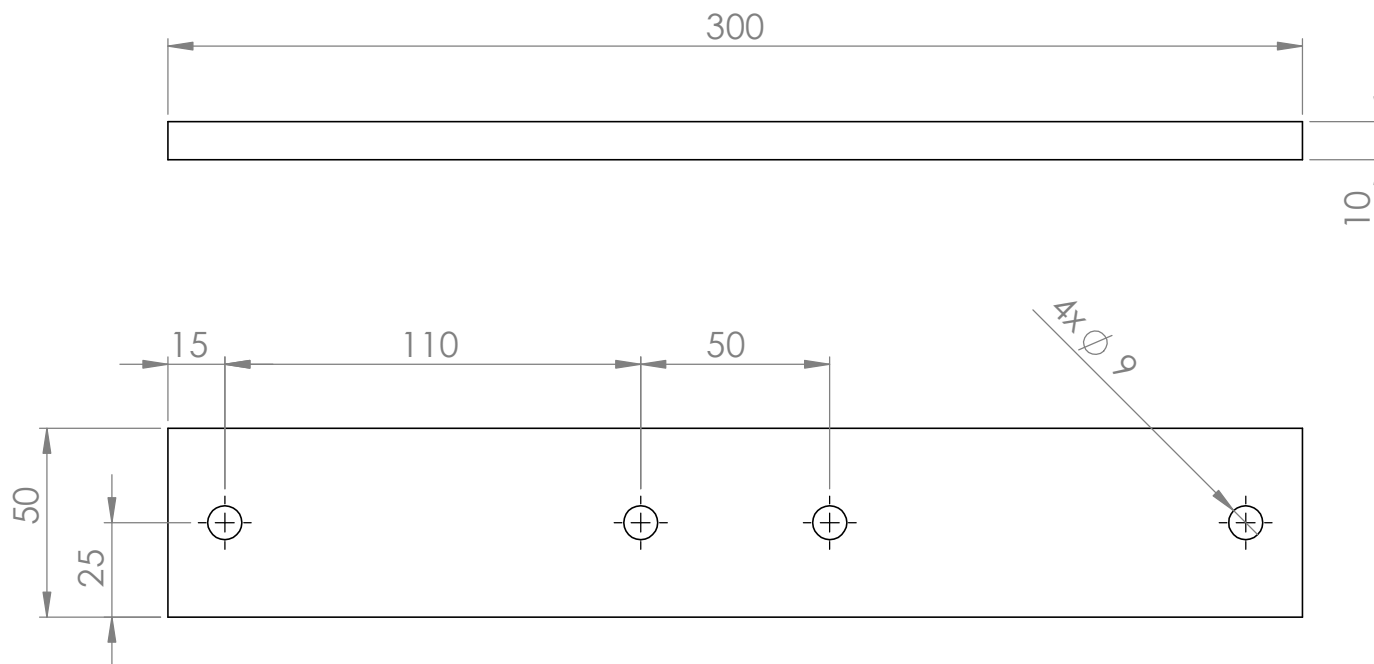
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	02/01/2021					Massa (g)	7221.42
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:6	 A4	Material	1060 Alloy
Nome		Topo_estrutura_barra_1_D					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_15 1/1





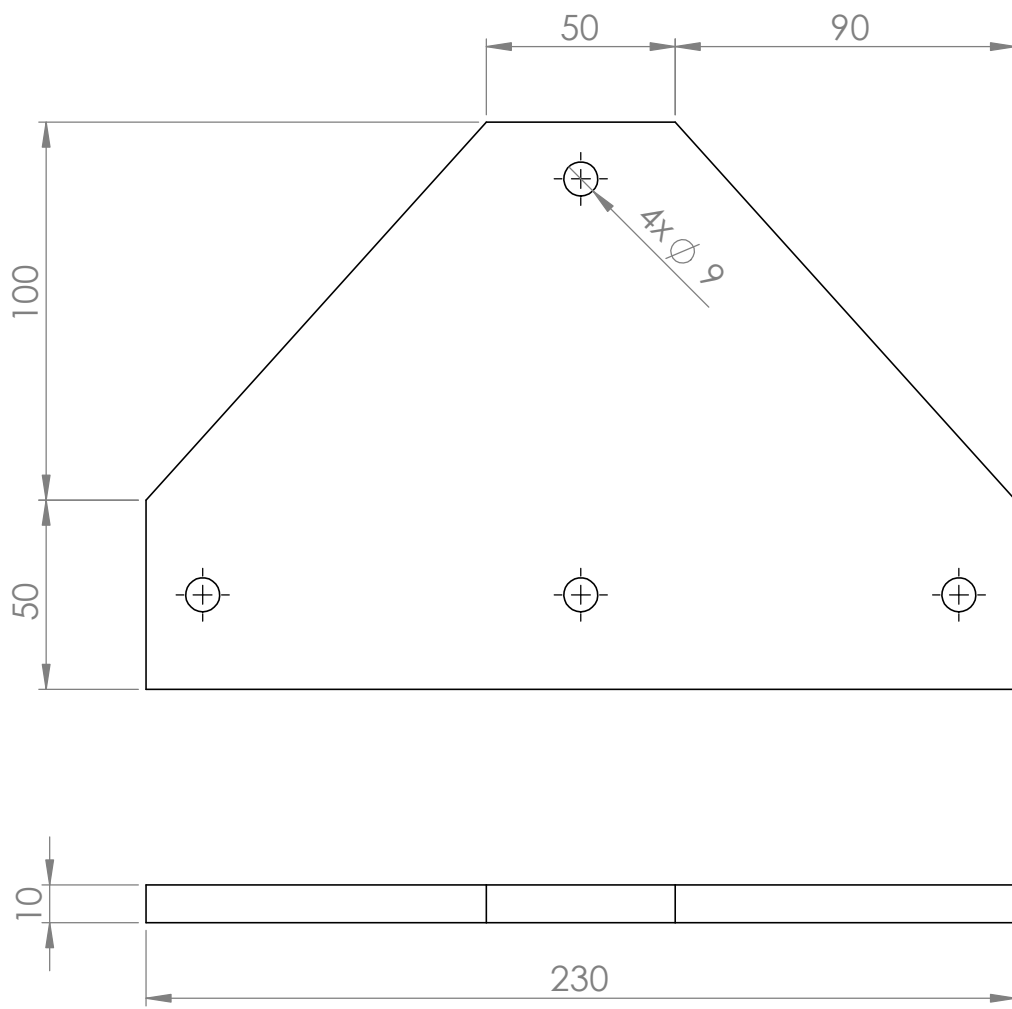
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	02/01/2021					Massa (g)	2674.60
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:10		Material	Material <not specified>
Nome	Topo_estrutura_barra_1						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_16 1/1


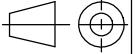


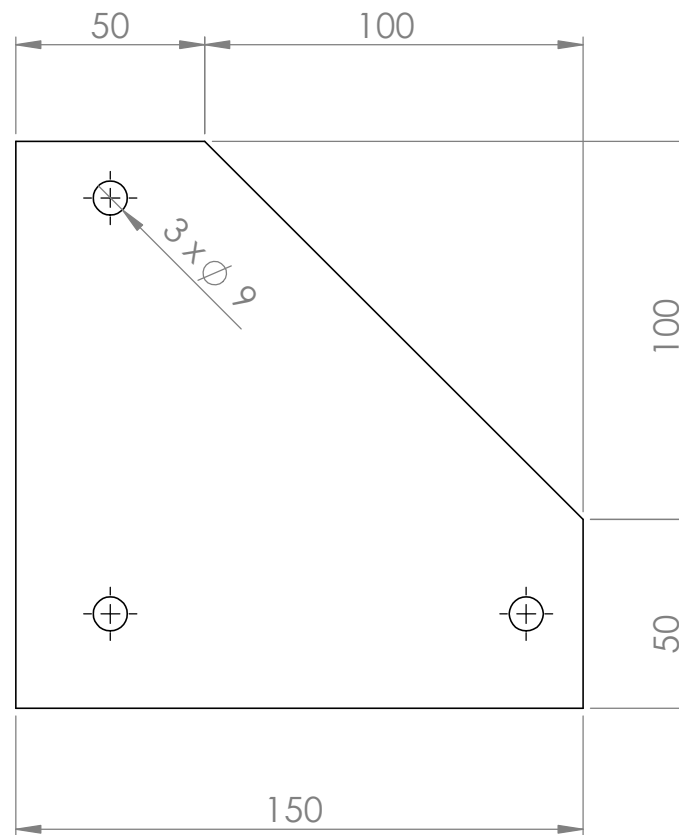
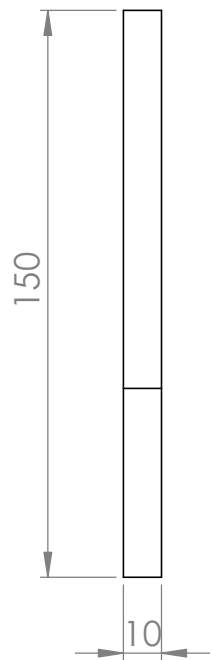
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	02/01/2021					Massa (g)	4572.26
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	1060 Alloy
Nome	Topo_estrutura_barra_3						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_17 1/1



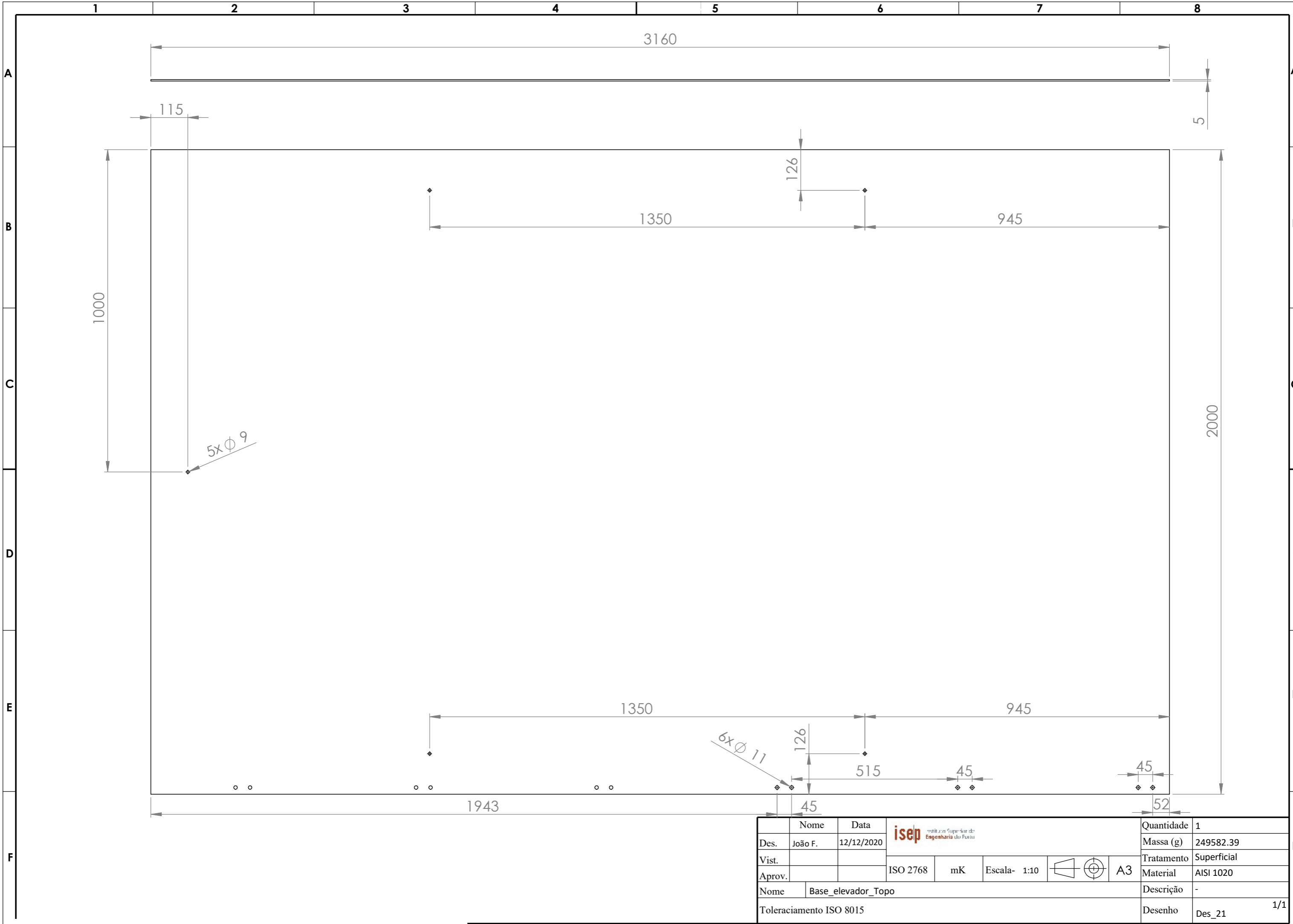
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	09/01/2021					Massa (g)	1164.90
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	AlSi 1020
Nome	Topo_estrutura_Ligação_3						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_18 1/1




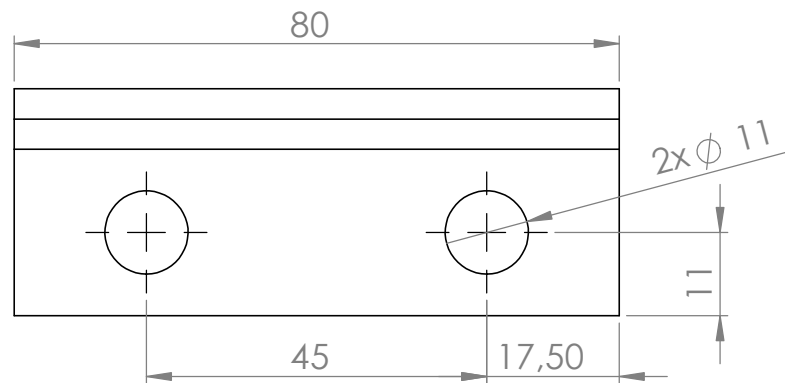
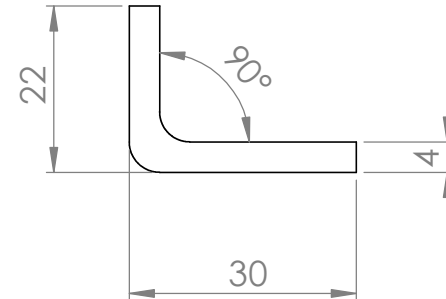
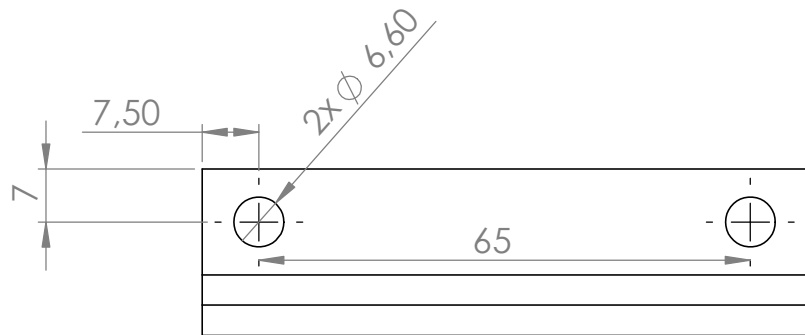
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João Fernandes	02/01/2021					Massa (kg)	1994.40
Vist.			Tratamento	Superficial				
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	AISI 1020
Nome	Topo_estrutura_Ligação					Descrição	-	
Toleraciamento ISO 8015						Desenho	Des_19	




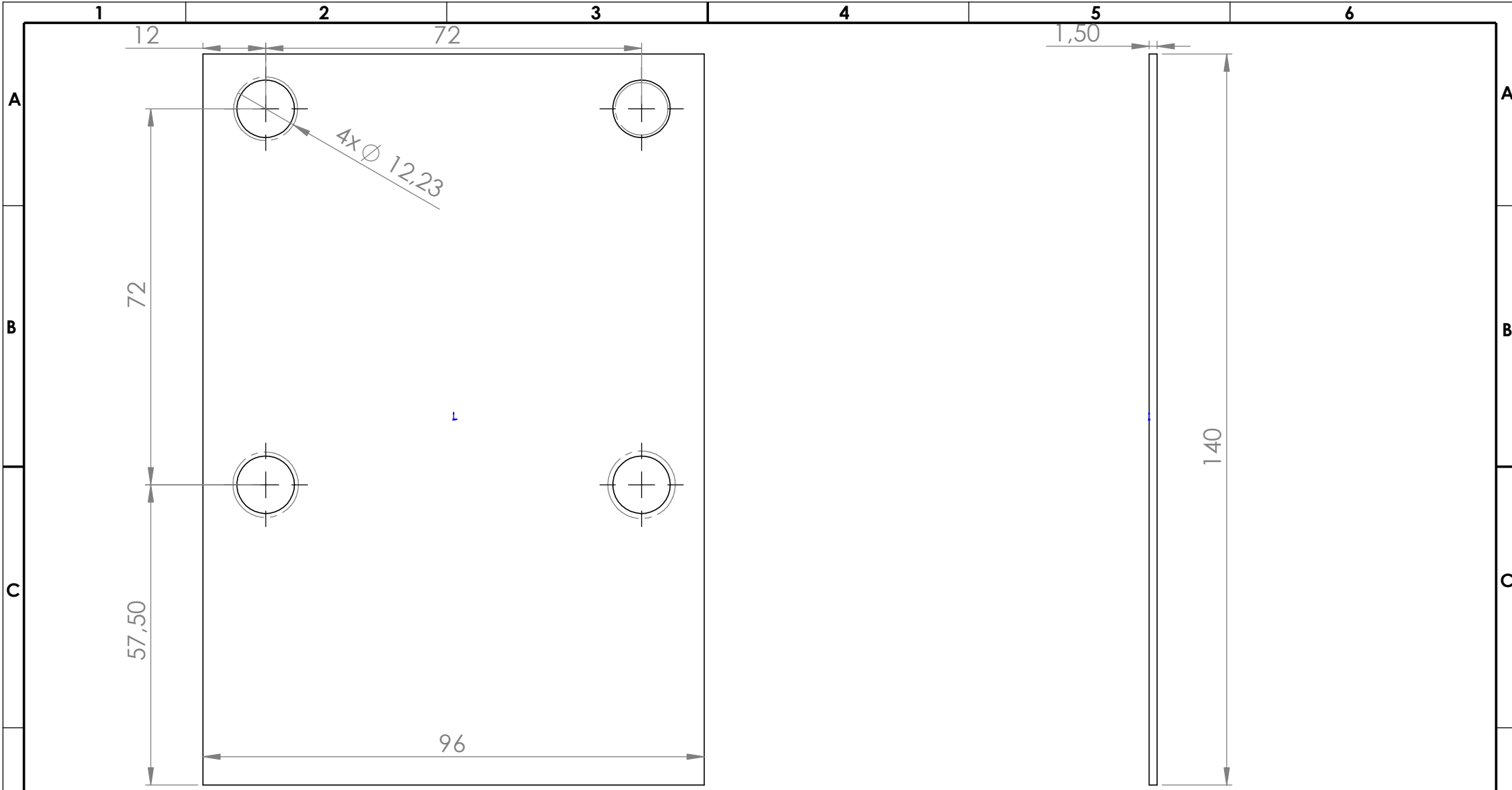
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	09/01/2021					Massa (g)	1367.42
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		Material	AlSi 1020
	Nome	Topo_estrutura_Ligação_2					Descrição	-
	Toleraciamento ISO 8015						Desenho	Des_20 1/1

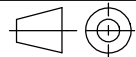


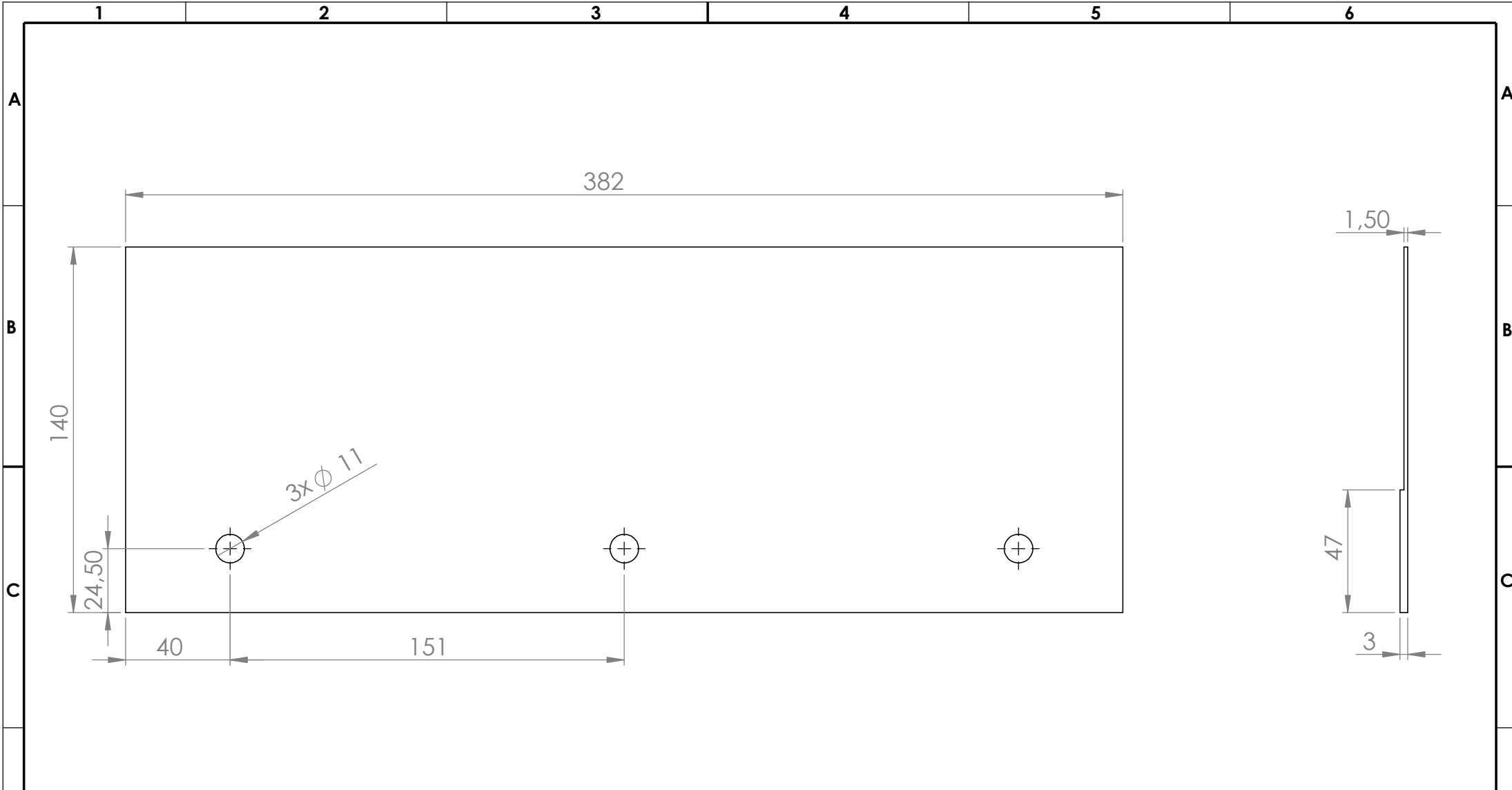
Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto	Quantidade	1
Des.	João F.		12/12/2020	Massa (g)
Vist.			Tratamento	Superficial
Aprov.			Material	AISI 1020
Nome	Base_elevador_Topo		Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015			Desenho	Des_21 1/1




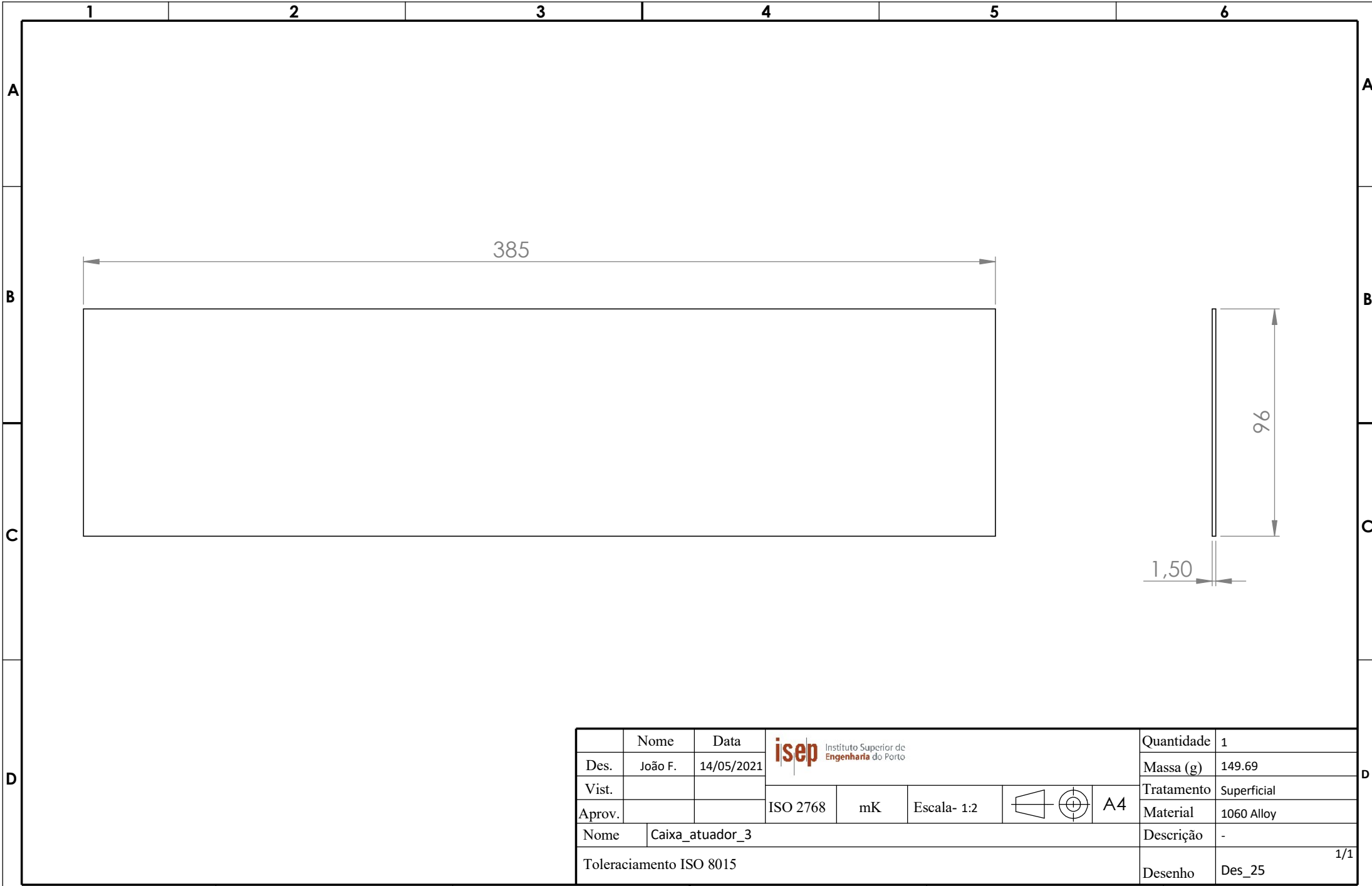
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	26/04/2021					Massa (g)	38.68
Vist.			Tratamento	Superficial				
Aprov.			Material	1060 Alloy				
Nome	Suporte_guia_linear_1				Descrição	-		
Toleraciamento ISO 8015				Desenho	Des_22	1/1		

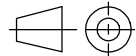


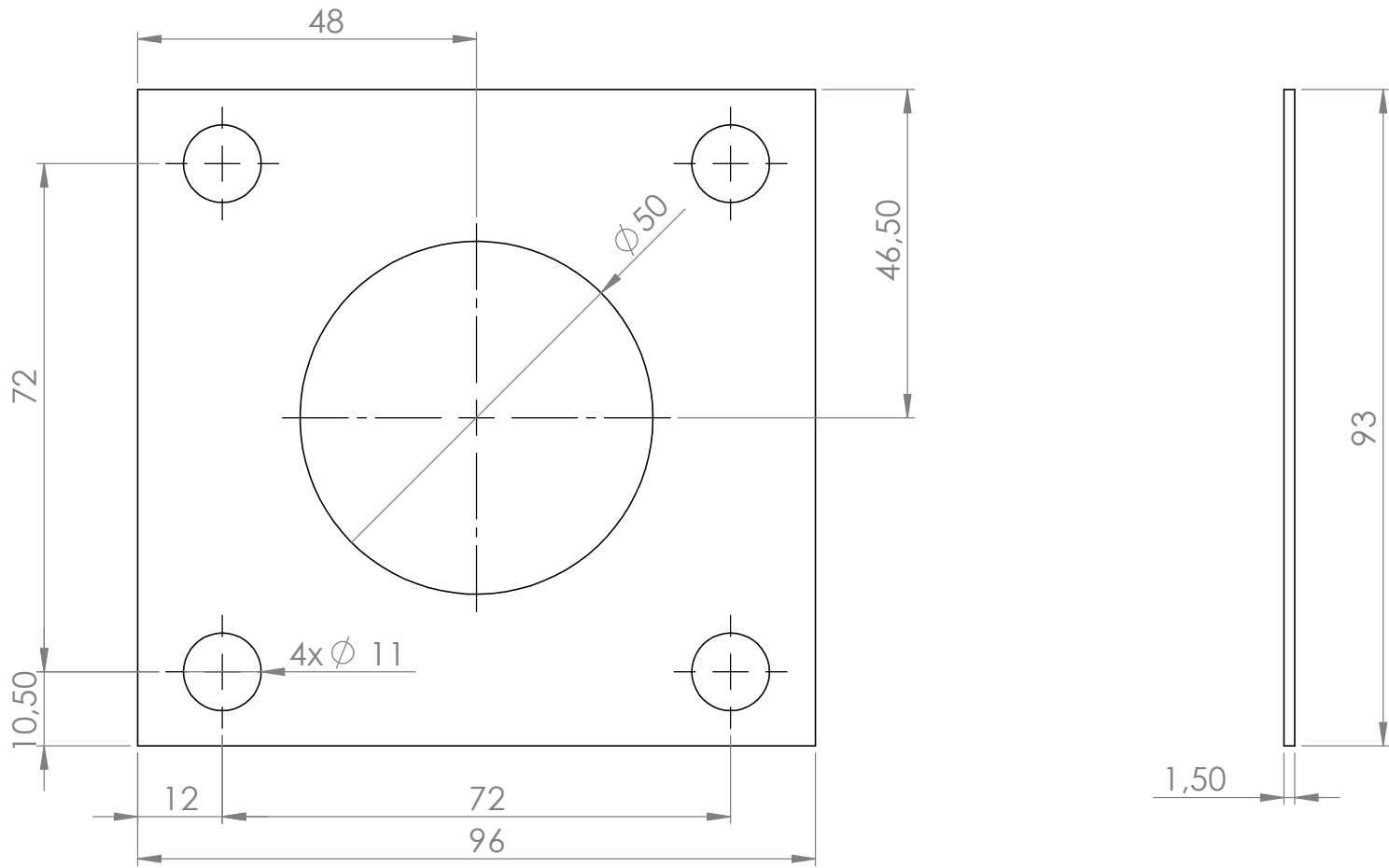
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	14/05/2021					Massa (g)	52.89
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	 A4	Material	1060 Alloy
Nome	Caixa_atuador_2					Descrição	-	
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_23 1/1

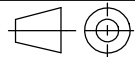


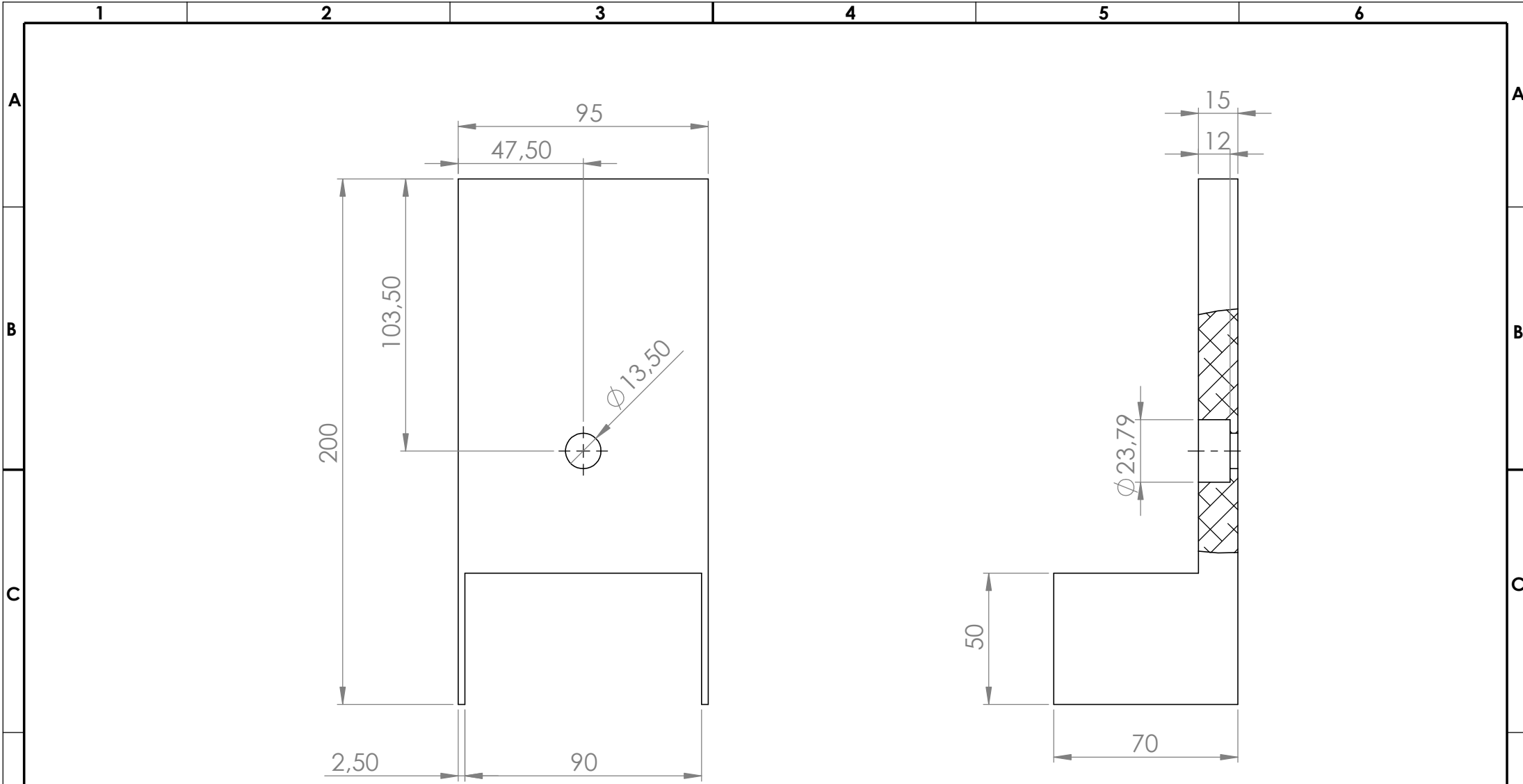
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	14/05/2021					Quantidade	1
Vist.			Massa (g)	287.00				
Aprov.			Tratamento	Superficial				
			Material	1060 Alloy				
	Nome	Caixa_atuador	Descrição	-				
	Toleraciamento ISO 8015			Desenho	Des_24			
				1/1				




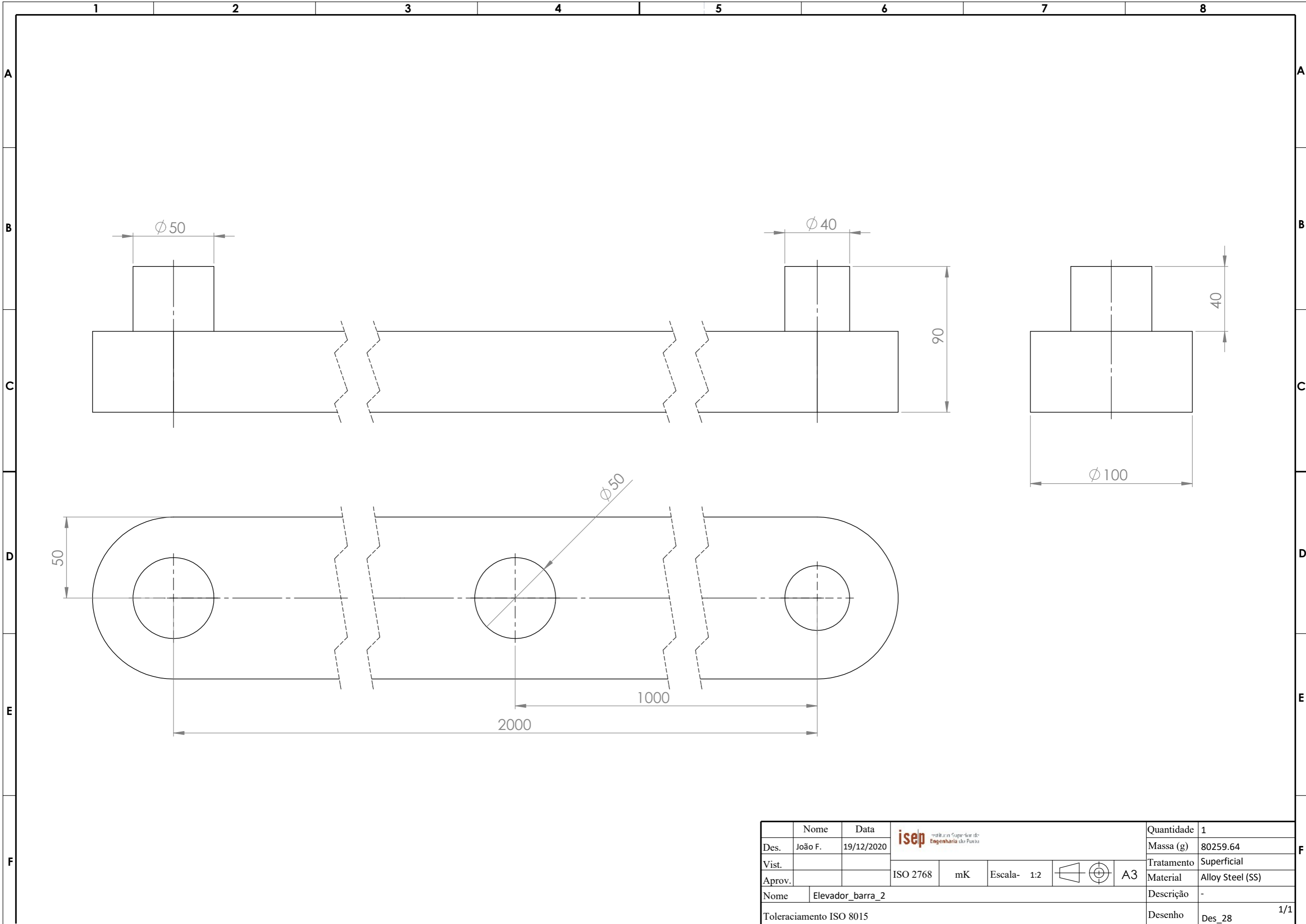
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	14/05/2021					Massa (g)	149.69
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	1060 Alloy
Nome	Caixa_atuador_3						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_25 1/1





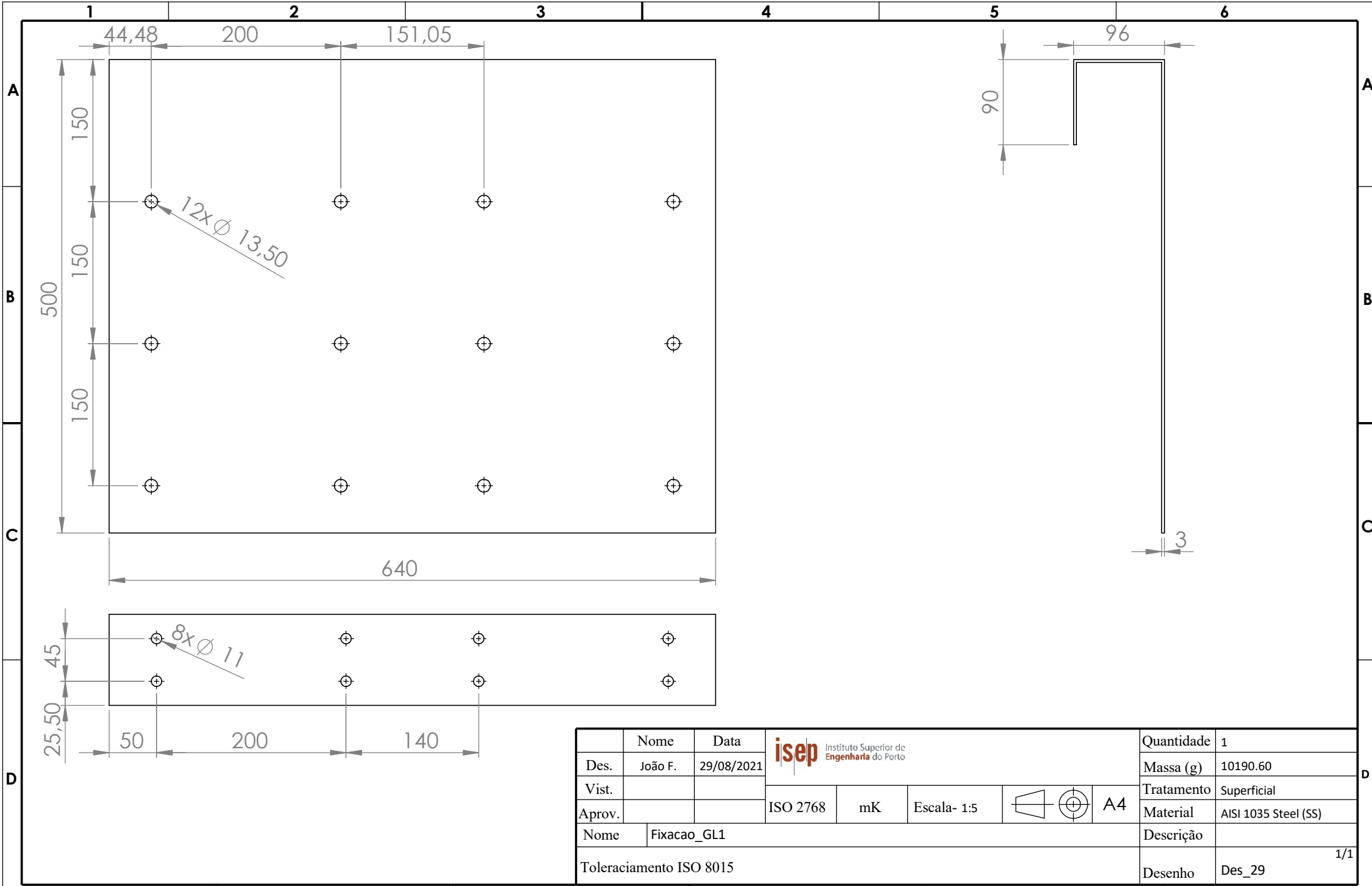
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	14/05/2021					Massa (g)	26.67
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	 A4	Material	1060 Alloy
Nome	Caixa_atuador_4					Descrição	-	
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_26 1/1



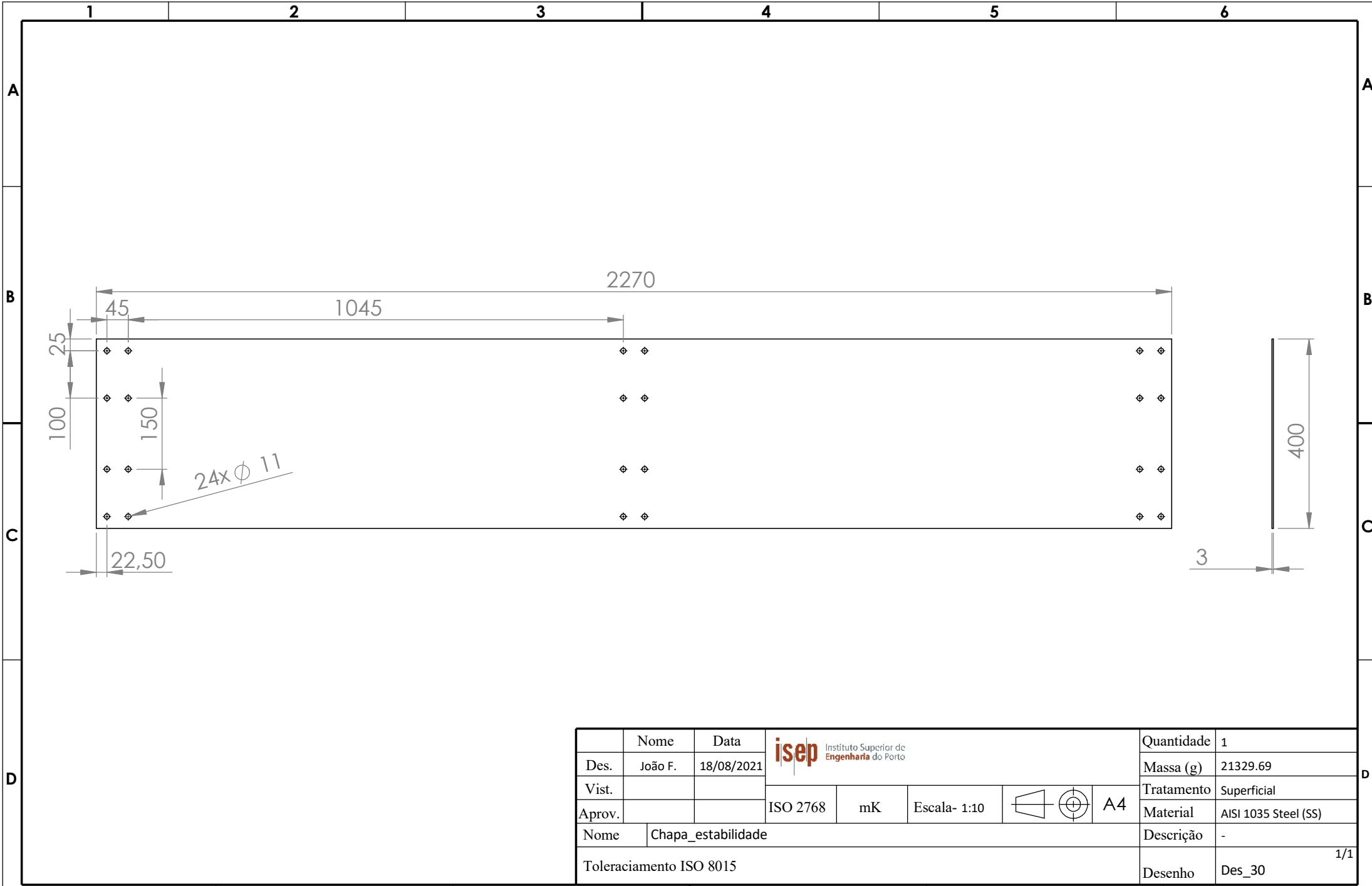
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	17/05/2021					ISO 2768	mK
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.							Material	1060 Alloy
Nome		Adaptador_atuador					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_27



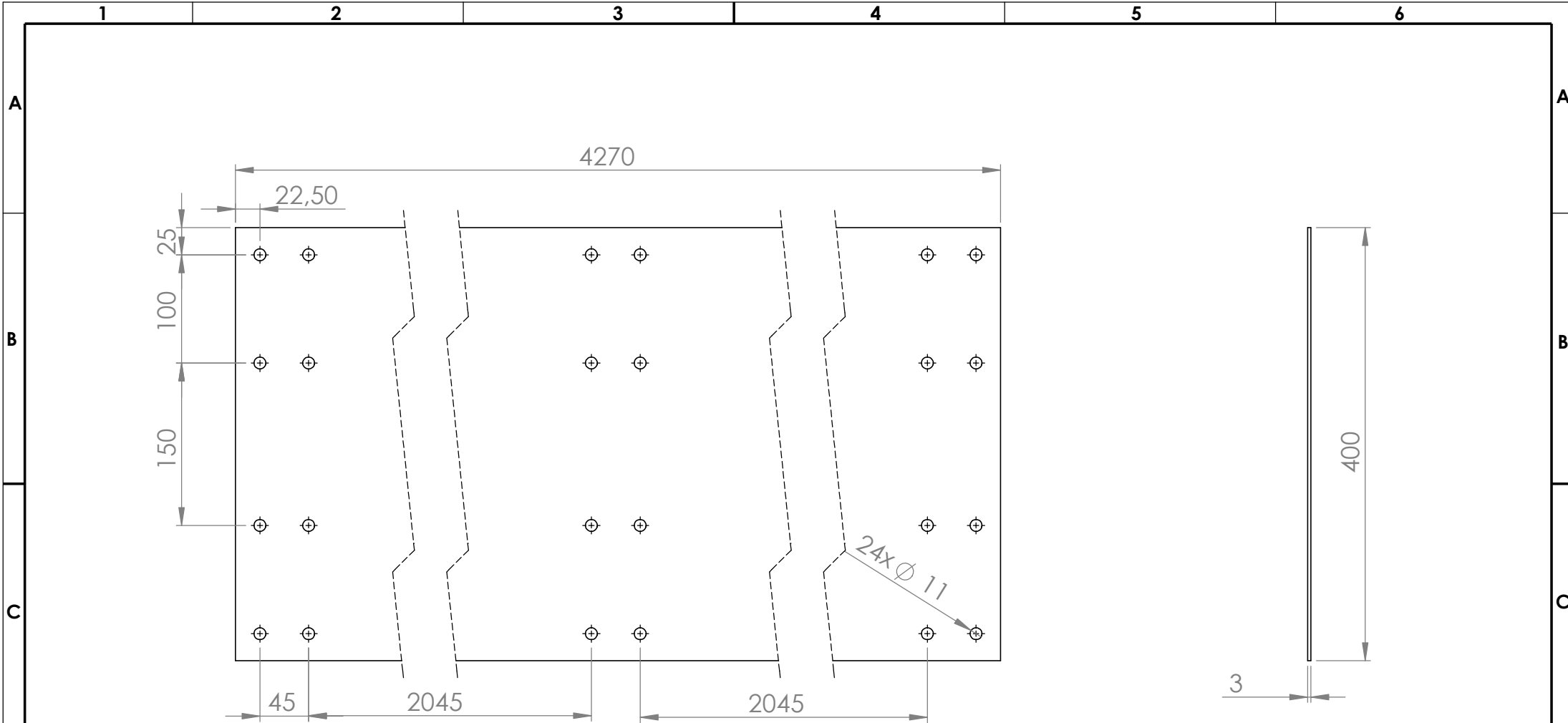
	Nome	Data					Quantidade	1
Des.	João F.	19/12/2020					Massa (g)	80259.64
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		Tratamento	Superficial
Aprov.						A3	Material	Alloy Steel (SS)
Nome		Elevador_barra_2					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_28 1/1


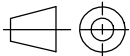


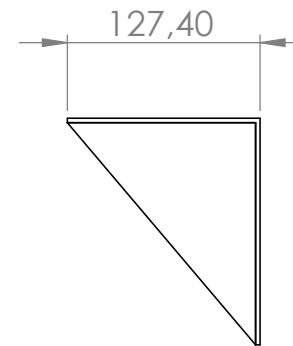
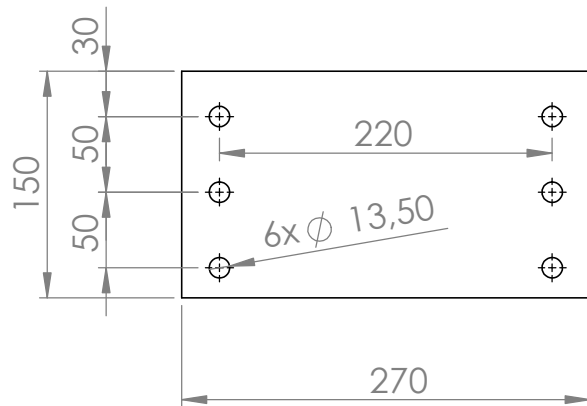
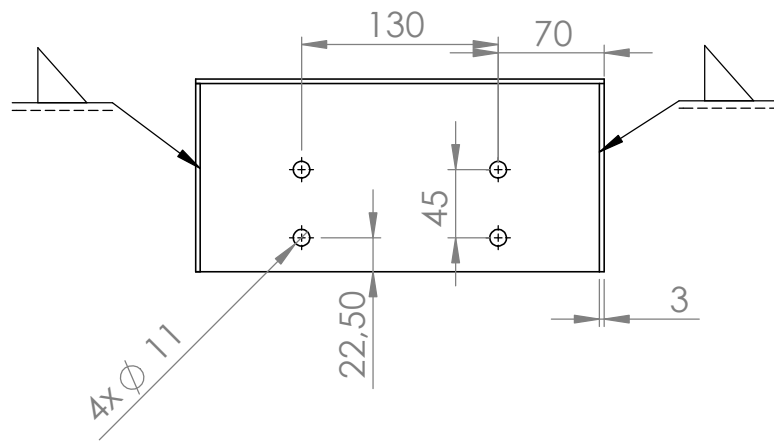
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	29/08/2021					Massa (g)	10190.60
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	A4	Material	AISI 1035 Steel (SS)
Nome	Fixacao_GL1						Descrição	
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_29 1/1





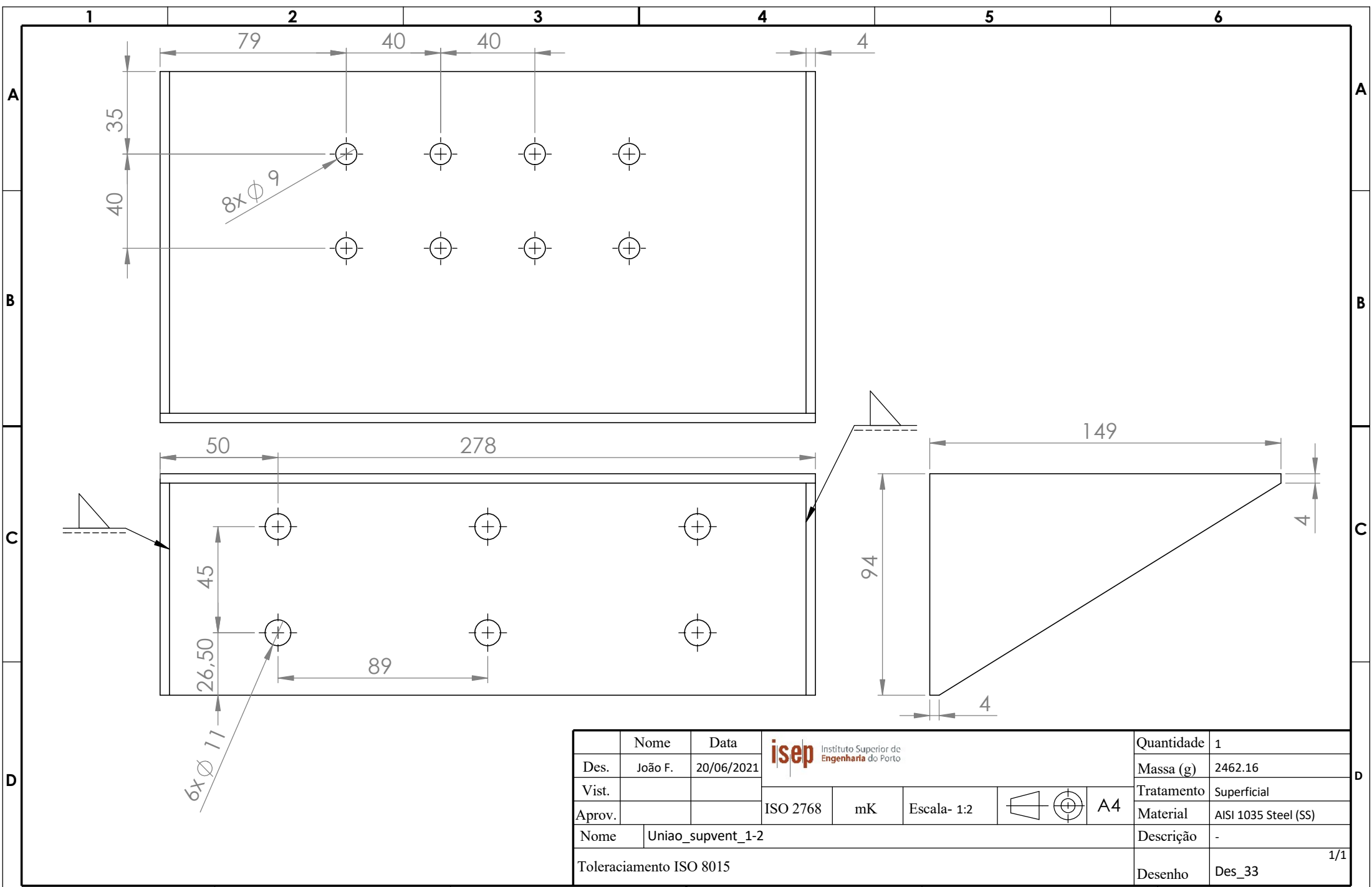
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	18/08/2021					Massa (g)	21329.69
Vist.			Tratamento	Superficial				
Aprov.			Material	AISI 1035 Steel (SS)				
Nome	Chapa_estabilidade				Descrição	-		
Toleraciamento ISO 8015			Desenho	Des_30	1/1			






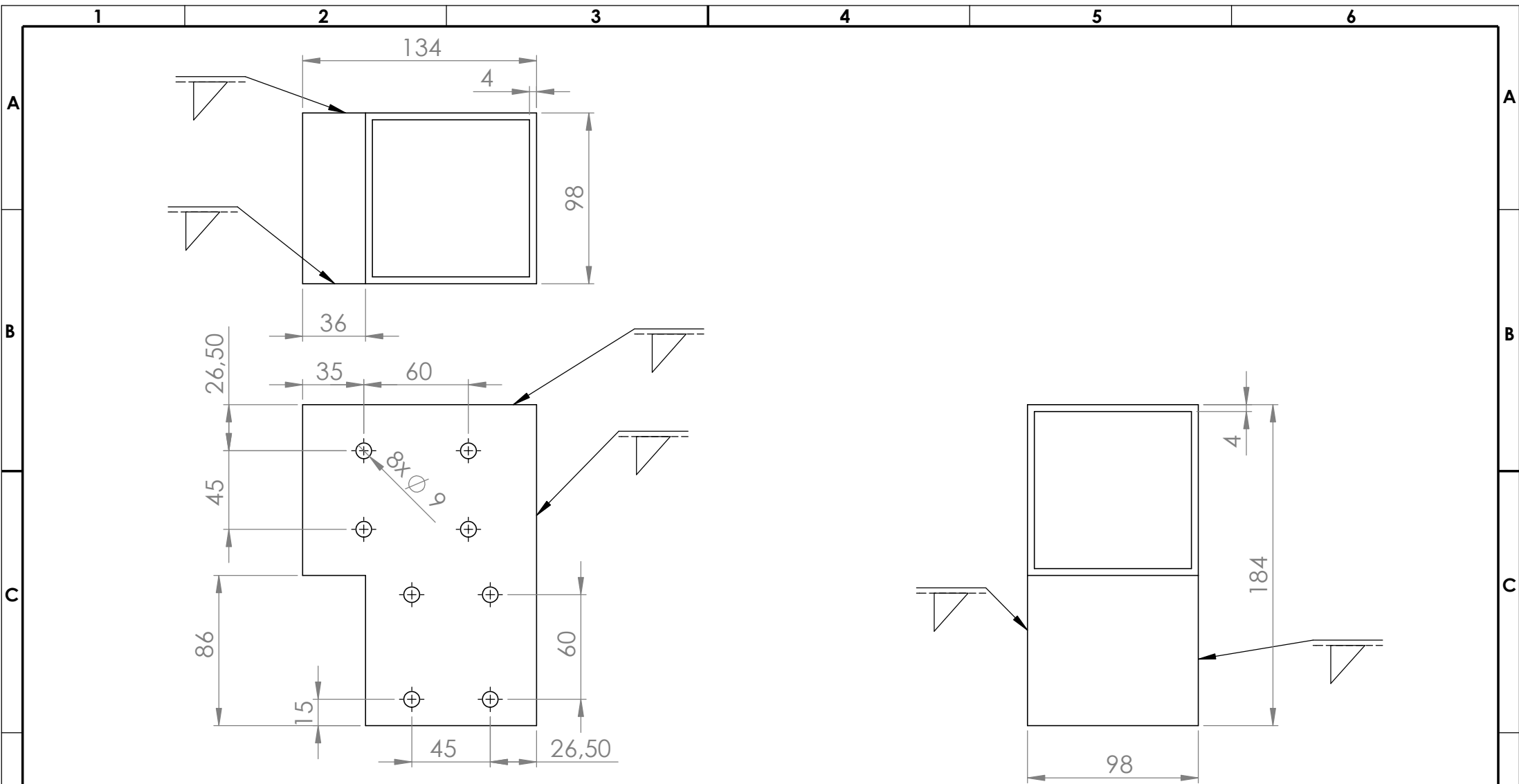
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	18/08/2021					Massa (g)	40169.69
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	 A4	Material	AISI 1035 Steel (SS)
Nome	Chapa_estabilidade_2						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_31 1/1


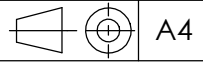


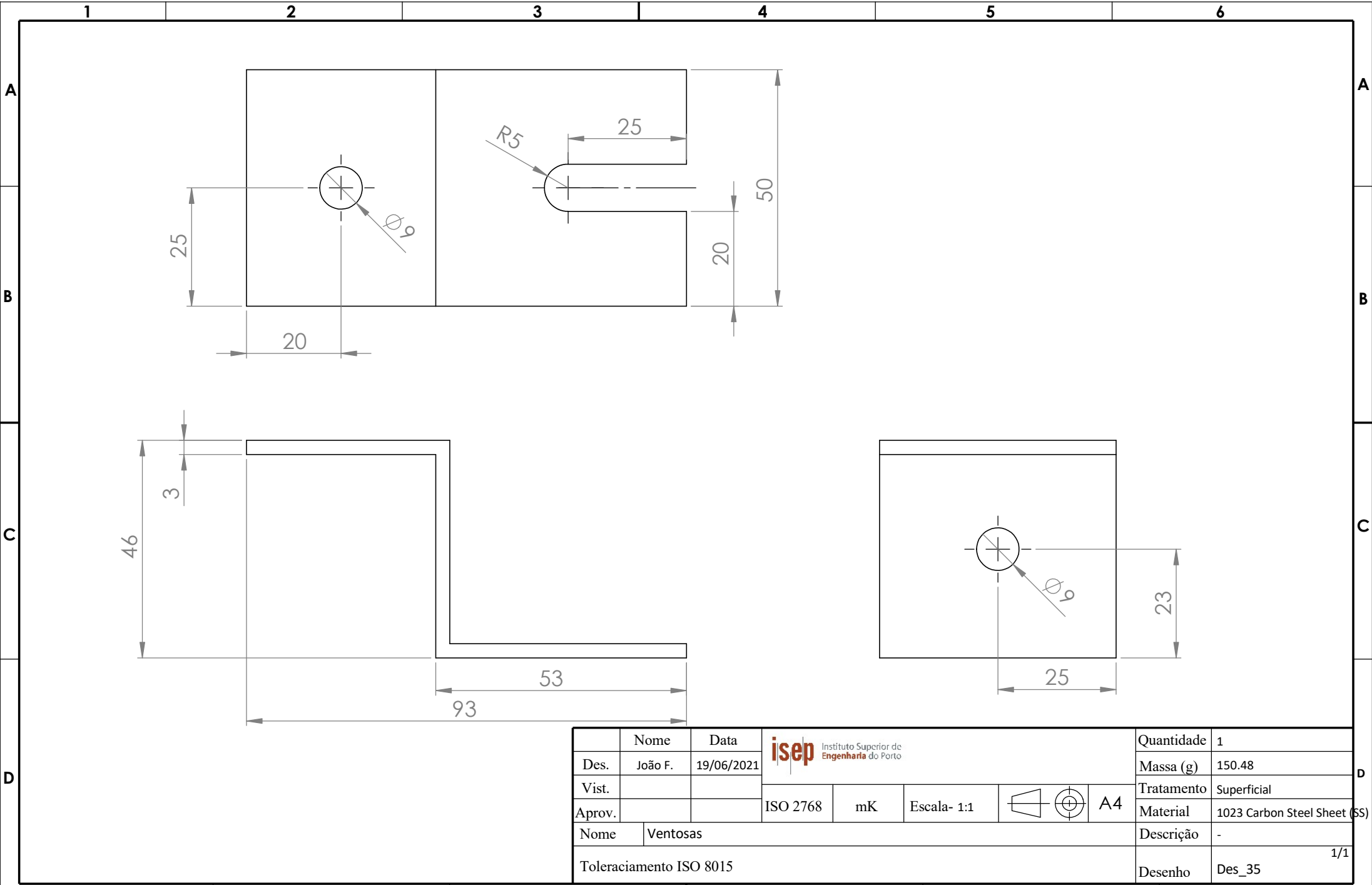
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1	
Des.	João Fernandes	12/08/2021					Massa (g)	2146.25	
Vist.			Tratamento	Superficial					
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5		A4	Material	AISI 1035 Steel (SS)
Nome	Lig_GL2_VENT_rev1						Descrição	-	
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_32	1/1



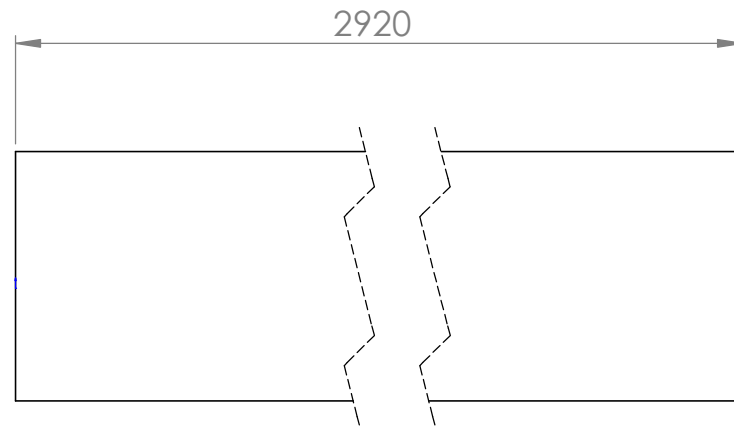
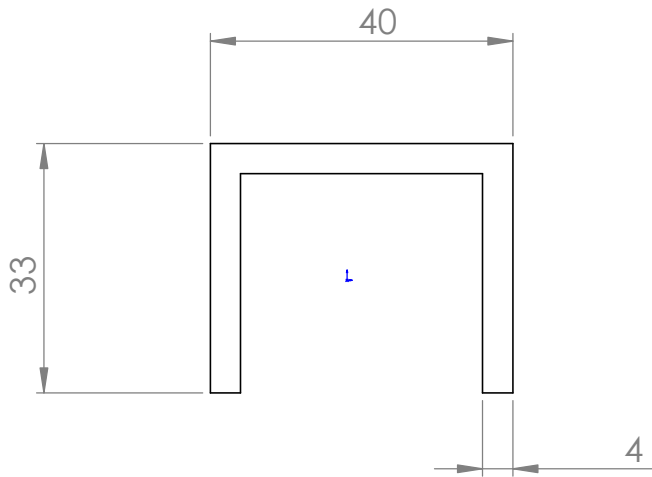
Nome	Uniao_supvent_1-2	Data	20/06/2021	 Instituto Superior de Engenharia do Porto	Quantidade	1
Des.	João F.				Massa (g)	2462.16
Vist.				ISO 2768	mK	Escala- 1:2
Aprov.						  A4
Toleraciamento ISO 8015					Tratamento	Superficial
					Material	AISI 1035 Steel (SS)
					Descrição	-
					Desenho	Des_33 1/1



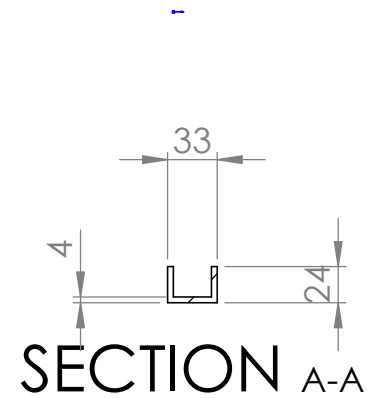
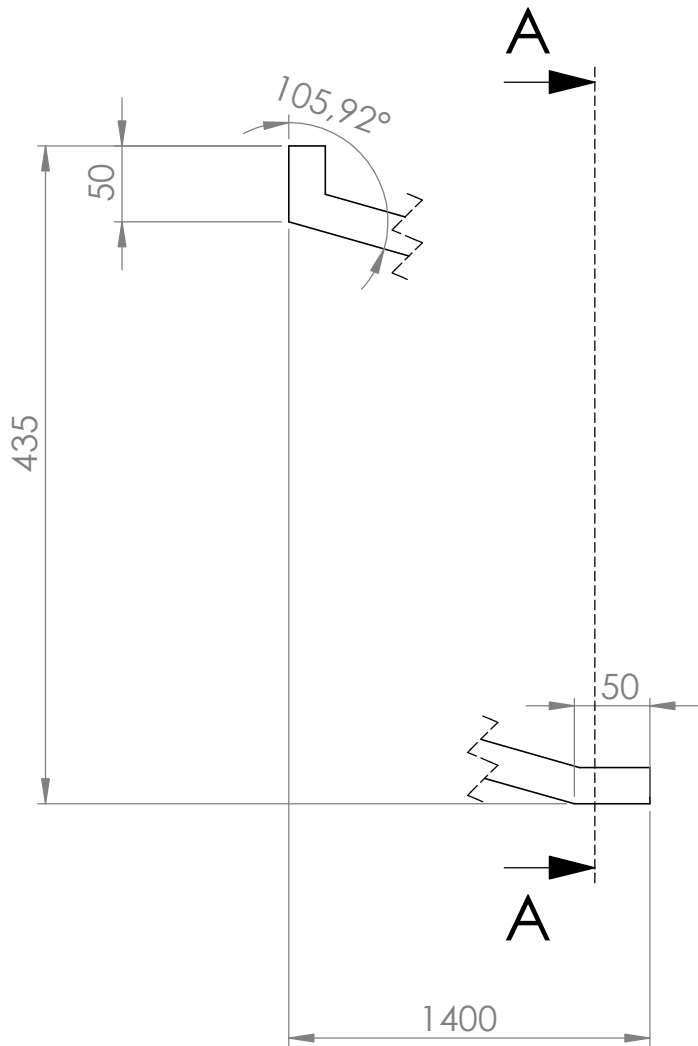
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	21/06/2021					Massa (g)	2565.45
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:3		Material	AISI 1035 Steel (SS)
Nome		Cotovelo					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_34 1/1


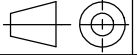


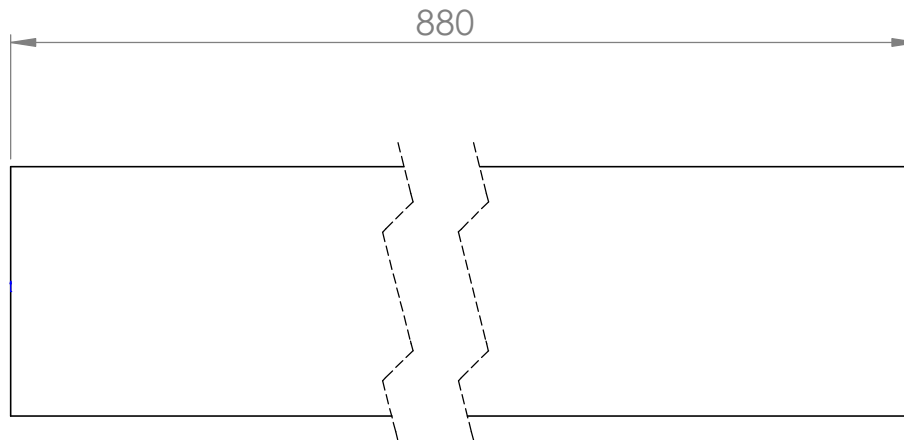
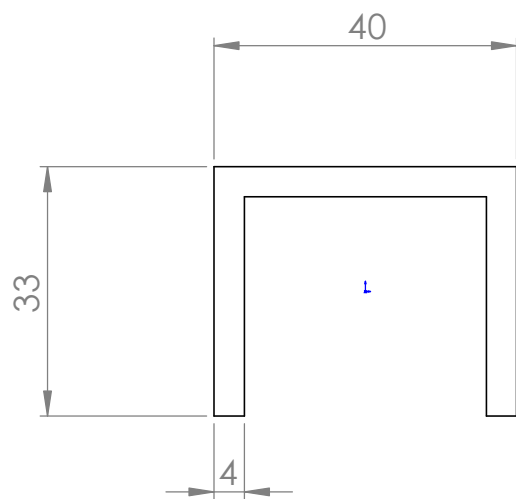
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	19/06/2021					Massa (g)	150.48
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	A4	Material	1023 Carbon Steel Sheet (SS)
Nome	Ventosas						Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_35 1/1


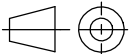


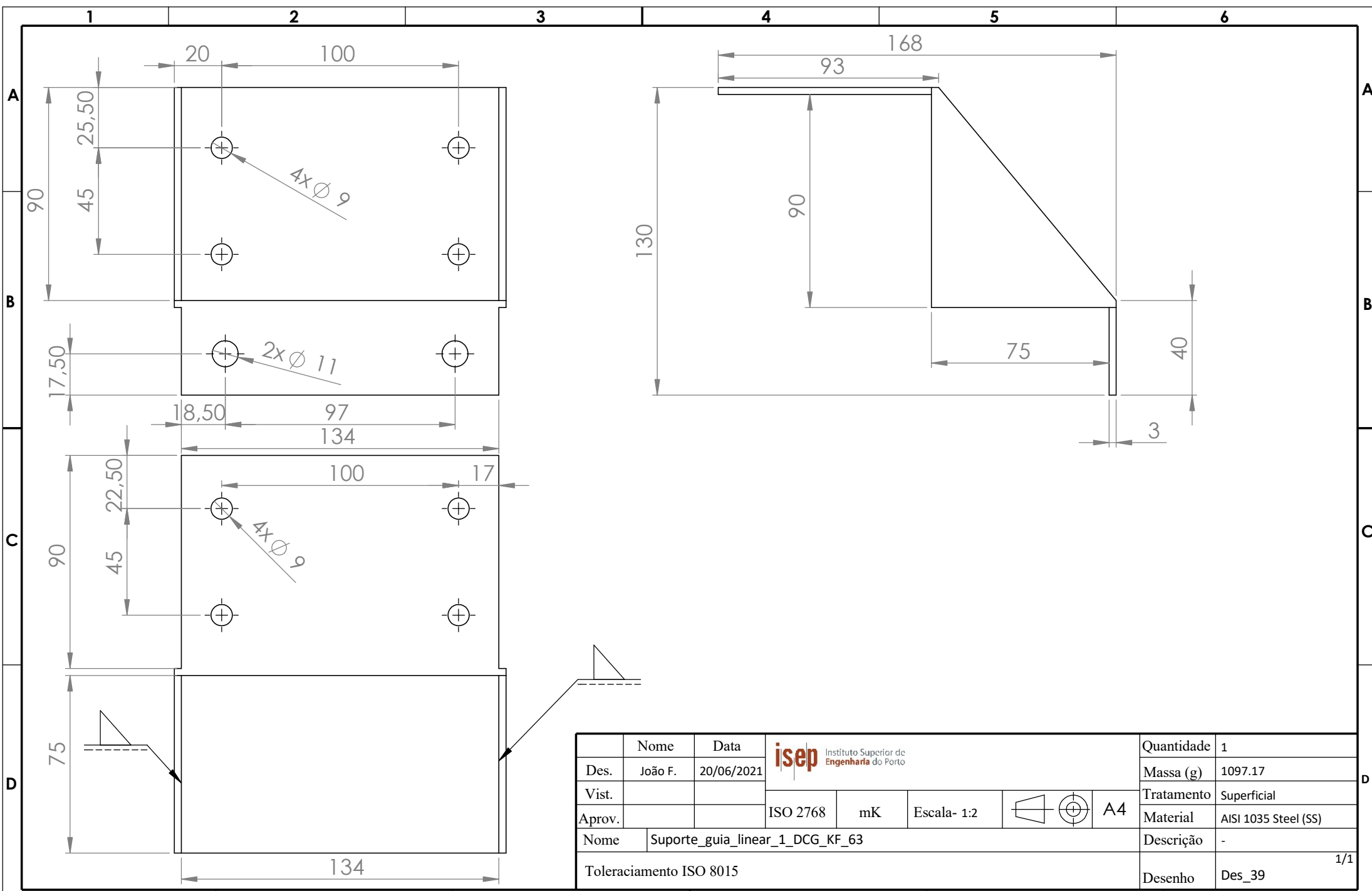
	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	19/08/2021					Massa (g)	8985.42
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Material	AISI 1035 Steel (SS)
Nome		L_reforço					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_36 1/1



	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	28/08/2021					Massa (g)	3411.90
Vist.			Tratamento	Superficial				
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	 A4	Material	AISI 1035 Steel (SS)
Nome	L_reforco_2					Descrição	-	
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_37 1/1



	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	28/08/2021						
Vist.						Tratamento	Superficial	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	 A4	Material	AISI 1035 Steel (SS)
Nome	L_reforco_3					Descrição	-	
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_38 1/1



	Nome	Data	isep Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	João F.	20/06/2021					Massa (g)	1097.17
Vist.							Tratamento	Superficial
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2		Material	AISI 1035 Steel (SS)
Nome		Suporte_guia_linear_1_DCG_KF_63					Descrição	-
Toleraciamento ISO 8015							Desenho	Des_39 1/1