



Desenvolvimento de um End Effector para a Manipulação de Caixas Paletizáveis em Cartão

BRUNO MIGUEL GUIMARÃES TELES

outubro de 2024

Desenvolvimento de um End Effector para a Manipulação de Caixas Paletizáveis em Cartão

Bruno Miguel Guimarães Teles

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Construções Mecânicas**

Orientador: Prof. Adriano A. Santos

Coorientador: Prof. Filipe de Sousa Pereira

Júri:

Presidente:

António Ferreira da Silva, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

José Mendes Machado, Professor Associado com Agregação, Universidade do Minho

Adriano A. Santos, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Filipe de Sousa Pereira, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Porto, setembro 2024

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, o Professor Adriano Santos, pela disponibilidade demonstrada durante toda esta jornada de aprendizagem, mas principalmente pela sua disposição para o esclarecimento de dúvidas e os seus conselhos que me levaram a enriquecer o trabalho desenvolvido.

Um agradecimento também ao meu coorientador, o Professor Filipe de Sousa Pereira, pelas suas opiniões e sugestões de melhoria, que fizeram com que o desenvolvimento deste trabalho se tornasse mais fácil e de melhor compreensão.

O percurso académico não se faz sozinho e torna-se mais enriquecedor quando existem pessoas que o tornam único e especial, por isso quero deixar o meu mais sincero agradecimento a todos os colegas que me proporcionaram estes anos de felicidade e principalmente de crescimento, agradecendo em especial aos que me acompanharam do início até ao fim desta caminhada, o João Ramos, o Gui Yang Fu, o Diogo Moreira e o Diogo Santos.

Por fim um agradecimento a todos os meus familiares que sempre me motivaram e ajudaram, mas em especial ao meu pai e à minha namorada, a Inês, que sempre me apoiaram em todos os momentos, principalmente naqueles que eu mais precisava, não deixando que os obstáculos interferissem no meu objetivo final.

A todos que desejam o meu sucesso, muito obrigado.

Resumo

Atualmente com todas as transformações que se vive a nível industrial o sucesso das organizações na maioria das vezes passa pela atualização das suas linhas produtivas e dos seus métodos de produção, destacando-se e aumentando a competitividade, aquelas que prezam pelo desenvolvimento interno e que consigam manter satisfeitos os seus colaboradores e as outras partes interessadas. A integração de sistemas robotizados permite um aumento significativo de qualidade dos produtos finais com reduções de tempo de produção consideráveis quando se comparam com processos manuais, que necessitam da capacidade e predisposição humana para serem realizados. As tarefas repetitivas ou que dependem da capacidade física de um colaborado têm vindo a ser substituídas por células robóticas, o que socialmente acarreta vantagens dentro das organizações permitindo um ambiente de trabalho mais ergonómico e produtivo. Com a realização deste trabalho pretende-se desenvolver um sistema para ser acoplado num braço robótico e integrar uma linha de produção, no momento final de paletização dos produtos contidos em caixas de cartão. No desenvolvimento deste mecanismo optou-se pela incorporação de diferentes componentes mecânicos, efetuando um estudo aprofundado dos mesmos, de maneira que fosse possível obter um equipamento funcional e capaz de realizar as suas tarefas.

Palavras-chave: Robótica, Paletização, Caixas, Programação, *Gripper*, *End-effector*.

Abstract

Nowadays, with all the changes taking place at an industrial level, the success of organizations most often involves updating their production lines and production methods. Those that value internal development and manage to keep their employees and other stakeholders satisfied stand out and increase their competitiveness. The integration of robotic systems allows for a significant increase in the quality of end products with considerable reductions in production time when compared to manual processes, which require human capacity and predisposition to be carried out. Repetitive tasks or those that depend on the physical capacity of an employee have been replaced by robotic cells, which socially brings advantages within organizations, allowing for a more ergonomic and productive working environment. The aim of this work is to develop a system to be attached to a robotic arm and integrated into a production line, at the final moment of palletizing the products contained in cardboard boxes. In the development of this mechanism, it was decided to incorporate different mechanical components, carrying out an in-depth study of them so that it was possible to obtain a functional piece of equipment capable of carrying out its tasks.

KEYWORDS: Robotics, Palletizing, Boxes, Programming, Gripper, End-effector.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Metodologia	2
1.4. Estrutura.....	3
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. A Indústria e a Robótica	5
2.1.1. Definição de robô.....	10
2.1.2. Produção robotizada.....	11
2.1.3. Componentes de um robô	13
2.1.4. Conceitos utilizados na robótica	15
2.1.5. Configurações dos robôs.....	16
2.1.6. Segurança.....	24
2.1.7. Programação	25
2.2. Paletização	26
2.2.1. Paletização com robô da ABB	28
3. Métodos e Aplicação.....	31
3.1. Princípio de funcionamento	31
3.1.1. Sistema de aperto das caixas	32
3.1.2. Sistema de aperto das paletes	36
3.2. Estudo prévio dos elementos do projeto.....	37
3.2.1. Caixas de cartão e europaleta.....	37
3.2.2. Determinação da força de aperto.....	39
3.3. Dimensionamento dos componentes	41
3.3.1. Sistema de aperto das caixas	41
3.3.2. Sistema de aperto das paletes.....	62
3.3.3. Estrutura exterior.....	63
3.3.4. Robô para manipulação	65
3.4. Materiais	66
3.5. Análise pelo Método de Elementos Finitos.....	69
3.5.1. Convergência de malha.....	69
3.5.2. Aperto da caixa	71
3.5.3. Aperto da paleta	73
3.6. Lista de componentes	74
4. Resultados e Discussão	77
4.1. <i>End-effector</i>	77

4.1.1. Estrutura exterior.....	78
4.1.2. Sistema de aperto das caixas.....	78
4.1.3. Sistema de aperto das paletes.....	81
4.2. Célula robótica de paletização	83
5. Conclusão.....	85
5.1. Conclusões finais.....	85
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	86

Lista de Figuras

Figura 1 – Número de instalações de robôs industriais em todo o mundo [4]	9
Figura 2 - Número de instalações de robôs industriais por indústria (a) e número de instalações de robôs industriais por aplicação (b) [4]	9
Figura 3 - Robô de Karel Capek [1].....	10
Figura 4 - Exemplo de robôs industriais da FANUC [7]	11
Figura 5 – Robô da ABB [10].....	13
Figura 6 – Comparação do braço robótico com o braço humano [11]	14
Figura 7 – Área de trabalho do robô IRB 1100-4/0.58 da ABB [12]	15
Figura 8 - <i>Pitch-yaw-roll</i> (a) e <i>Roll-pitch-roll</i> (b) (adaptado de [1])	16
Figura 9 - <i>Unimate</i> [14]	16
Figura 10 - Robô articulado da ABB [15]	17
Figura 11 - Robô cartesiano da Campetella [16].....	18
Figura 12 – Exemplos de robôs cilíndrico [17]	19
Figura 13 - Robô polar [17]	20
Figura 14 - Robô SCARA da FANUC [18]	21
Figura 15 - Robô delta da FANUC [19]	22
Figura 16 - Robô colaborativo da FANUC [21]	23
Figura 17 – <i>iPendant touch</i> FANUC [24]	25
Figura 18 – Ambiente de simulação virtual no <i>RobotStudio</i> [27]	26
Figura 19 – Exemplo de paletização de vidros [29].....	27
Figura 20 – Servo motor [33]	32
Figura 21 – Correia dentada [35]	33
Figura 22 – Polias para correia dentada [36]	33
Figura 23 – Parafuso de potência, com fuso e cubo [37].....	33
Figura 24 - Rolamento rígido de esferas [38].....	34
Figura 25 – Chumaceira [39]	35
Figura 26 – Trilho perfilado [40].....	35
Figura 27 – Carro guia [40].....	35
Figura 28 – Cilindro pneumático de dupla ação [41]	36
Figura 29 – Ilustração da caixa de cartão.....	37
Figura 30 – Ensaio BCT, norma ASTM D642 [43]	38
Figura 31 – Ensaio ECT, norma ISO 3037 [44]	38
Figura 32 – Dimensões da Europaleta [45]	39
Figura 33 – Ilustração do aperto da caixa	40
Figura 34 - DCL da caixa no <i>gripper</i>	40
Figura 35 – Fuso de rosca trapezoidal [37]	41
Figura 36 - Esquema representativo do <i>pick</i> da caixa de cartão no tapete.....	43
Figura 37 – DCL da caixa no tapete transportador	43
Figura 38 - Classificações básicas de carga de rolamentos rígidos de esferas [49]	50
Figura 39 – Fator de carga básico [50]	52

Figura 40 – Fator de correção de velocidade [50]	52
Figura 41 – Fator de correção de fadiga [50]	53
Figura 42 – Diagrama de seleção do perfil da correia dentada [50]	54
Figura 43 – Ajuste mínimo para montagem da correia dentada [50]	57
Figura 44 – Fator de comprimento da correia [50]	58
Figura 45 – Fator de dentes em malha [50]	58
Figura 46 – Potência nominal da correia dentada	59
Figura 47 – Fator de correção de largura da correia	59
Figura 48 – Representação da verificação da tensão na correia dentada [50]	60
Figura 49 – Perfil de alumínio [51]	64
Figura 50 – Representação esquemática do perfil [51]	64
Figura 51 – Exemplo da utilização dos conectores [51]	64
Figura 52 – Robô articulado IRB 5710 [53]	66
Figura 53 – Área de trabalho do robô IRB 5710-90/2.7	66
Figura 54 – Parafuso de potência	67
Figura 55 - Chumaceira	67
Figura 56 – Estrutura exterior com placas de aperto	68
Figura 57 – Peça para aperto das caixas	68
Figura 58 – Demonstração do ponto utilizado para o estudo de convergência de malha	69
Figura 59 - Gráfico de convergência de malha	71
Figura 60 – Malha obtida após o estudo de convergência de malha	71
Figura 61 – Aplicação da força de aperto da caixa	72
Figura 62 - Pontos de tensão mais elevada	72
Figura 63 – Pontos de maior tensão na flange	73
Figura 64 – Resultado da aplicação do MEF no sistema de aperto das paletes	74
Figura 65 – <i>End-effector</i>	77
Figura 66 – Pormenor montagem estrutura exterior	78
Figura 67 – Aperto do servo motor	78
Figura 68 – Aperto dos trilhos perfilados	79
Figura 69 – Montagem do parafuso de potência	79
Figura 70 – Sistema de transmissão	80
Figura 71 – Peça fixa	80
Figura 72 – Peça móvel	80
Figura 73 – Posição A	81
Figura 74 – Posição B	81
Figura 75 – Placa de aperto do mecanismo das paletes	81
Figura 76 – Montagem sistema de aperto das paletes	82
Figura 77 – Aperto pelo comprimento da paleta	82
Figura 78 – Aperto pela largura da paleta	82
Figura 79 – Montagem do <i>end-effector</i> no robô	83
Figura 80 – Ilustração da implementação do mecanismo desenvolvido	84

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tecnologias na Indústria 4.0 [2].....	7
Tabela 2 – Vantagens da robotização [9].....	12
Tabela 3 – Desvantagens da robotização [9]	12
Tabela 4 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs articulados [13]	17
Tabela 5 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs cartesianos [13].....	18
Tabela 6 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs cilíndricos [13].....	19
Tabela 7 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs polares [13]	20
Tabela 8 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs SCARA [13]	21
Tabela 9 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs delta [13].....	22
Tabela 10 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs colaborativos [13]	23
Tabela 11 – Restrições das dimensões das caixas de cartão	37
Tabela 12 – Coeficiente de atrito Borracha/Cartão [46].....	39
Tabela 13 – Dados para determinação da força de aperto	40
Tabela 14 – Características do Fuso	42
Tabela 15 – Valores para condição de autoimobilização do parafuso de potência	42
Tabela 16 – Valores para cálculo da força de encosto do <i>gripper</i> na caixa	44
Tabela 17 – Valores de força e momento a aplicar no parafuso de potência	45
Tabela 18 – Dados para cálculo de tensões no fuso	46
Tabela 19 – Tensões desenvolvidas no fuso do parafuso de potência	48
Tabela 20 - Características do parafuso de potência no <i>gripper</i>	49
Tabela 21 – Cargas aplicadas nos rolamentos	49
Tabela 22 – Valores para verificação da carga axial nos rolamentos	50
Tabela 23 – Características do servo motor EMMB-AS-60-04-K-S30MB da Festo	51
Tabela 24 – Dados para determinação do perfil da correia dentada	53
Tabela 25 – Características da polia menor	55
Tabela 26 – Características da polia maior e relações de velocidade.....	55
Tabela 27 – Distância entre centros das polias.....	56
Tabela 28 – Características da correia e verificação de potência	58
Tabela 29 – Caraterísticas do sistema de transmissão para verificação da tensão da correia dentada	61
Tabela 30 – Característica do sistema de guiamento	62
Tabela 31 – Características do sistema de aperto da Europaleta.....	63
Tabela 32 – Características do cilindro pneumático selecionado.....	63
Tabela 33 – Característica dos perfis de alumínio	64
Tabela 34 – Características principais do robô	65
Tabela 35 – Valores obtidos do estudo de convergência de malha	70
Tabela 36 – Lista de componentes necessários	75

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

ABB	<i>Asea Brown Boveri</i>
ARP	<i>Automatic Robot Palletizer</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BCT	<i>Box Compression Test</i>
BRA	<i>British Robot Association</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
DCL	Diagrama de Corpo Livre
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
ECT	<i>Edge Crush Test</i>
FANUC	<i>Fujitsu Automated Numerical Control</i>
IFR	<i>International Federation of Robotics</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIRA	<i>Japan Industrial Robot Association</i>
MEF	Método de Elementos Finitos
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
RIA	<i>Robotics Industries Association</i>
SCARA	<i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Lista de Símbolos

2α	Ângulo de filete	°
σ_{yy}	Tensão normal de compressão	MPa
σ_{xx}	Tensão normal de flexão	MPa
τ_{yz}	Tensão de corte devido ao momento torsor	MPa
τ_{xz}	Tensão de corte puro devido ao momento torsor	MPa
σ_{vM}	Tensão equivalente de von Mises	MPa
λ	Ângulo de hélice	°
ρ_{cf}	Pressão de contacto	MPa
n_{fil}	Número de filetes acoplados	—
a_{min}	Distância mínima entre os centros das polias	mm
$a_{máx}$	Distância máxima entre os centros das polias	mm
a_{nom}	Distância nominal entre os centros das polias	mm
b	Comprimento da rosca solicitada à flexão	mm
C	Classificação básica de carga dinâmica	N
$C0$	Fator de carga básico	—
$C3$	Fator de correção de velocidade	—
$C6$	Fator de correção de fadiga	—
$C2$	Fator de carga total	—
C_0	Classificação básica de carga estática	N
c_7	Fator de comprimento da correia	—
c_1	Fator de dentes em malha	—
d	Diâmetro exterior	mm
d_m	Diâmetro médio	mm
d_r	Diâmetro interior	mm
d_{wg}	Diâmetro do passo da polia maior	mm
d_{wk}	Diâmetro do passo da polia menor	mm
E_a	Deformação da correia	mm
f	Frequência de vibração	Hz
F	Força	N
F_a	Força de atrito	N
F_{aperto}	Força de aperto da paleta	N
F_{axial}	Carga axial	N
$F_{cilindro}$	Força de aperto por cilindro	N
F_{ensaio}	Força de ensaio	N
F_{radial}	Carga radial	N

F_s	Força de aperto	N
g	Aceleração da gravidade	m/s^2
i	Relação de velocidade	—
I	Momento de inércia da secção dos filetes	mm^4
k	Massa por metro da correia	kg/m
l	Avanço	mm
L	Comprimento do vão	mm
L_{wSt}	Comprimento do passo padrão	mm
M	Momento máximo	Nmm
m_{caixa}	Massa da caixa	kg
$m_{Europalette}$	Massa da Europalette	kg
M_{fletor}	Momento fletor máximo	Nmm
M_s	Binário de aperto	Nm
N	Força normal	N
$N_{cilindros}$	Número de cilindros	—
n_g	Velocidade de rotação da polia maior	rpm
n_k	Velocidade de rotação da polia menor	rpm
p	Passo	mm
P	Peso da caixa	N
$P_{Europalette}$	Peso próprio da Europalette	N
P_B	Potência de projeto	kW
P_N	Potência nominal	W
P_U	Potência nominal transmissível	W
S_a	Carga estática mínima no eixo	N
S_{n3}	Força circunferencial transmitida	N
T	temperatura	$^{\circ}C$
μ	Coefficiente de atrito	—
v	Velocidade máxima no fuso	mm/s
v_t	Velocidade tangencial	m/s
x	Ajuste mínimo para tensão	mm
y	Ajuste mínimo para montagem da correia	mm
Z	Número de dentes da correia	—
z_e	Número de dentes em contacto	—
z_g	Número de dentes da polia maior	—
z_k	Número de dentes da polia menor	—

1. Introdução

Neste primeiro capítulo apresenta-se uma contextualização do trabalho realizado, referindo também os objetivos que se pretendem atingir e as metodologias adotadas no desenvolvimento do trabalho. No final explica-se como se encontra estruturado todo este relatório.

1.1. Contextualização

As indústrias procuram atualmente formas de garantir um grande volume produtivo aliado à qualidade dos produtos produzidos, para isso é necessário garantir que utilizam os equipamentos adequados e que rentabilizem os recursos que têm disponíveis. A integração de sistemas robóticos em linhas de produção possibilita um melhor aproveitamento e organização do espaço de trabalho, permitindo alocar recursos humanos em outras tarefas menos cansativas e repetitivas, que sejam importantes para o resultado do produto final. A implementação de sistemas robóticos é uma decisão que deve ser tomada depois de fazer uma análise criteriosa do mercado em que se encontra a organização, uma vez que estes sistemas requerem um elevado custo inicial e, portanto, devem ser aplicados em tarefas que realmente sejam relevantes e necessitem de um sistema deste nível. Atualmente diversas indústrias utilizam sistemas robóticos para diferentes tipos de operações, como por exemplo soldadura, pintura e movimentação de objetos. A implementação destes equipamentos permite que a organização eleve o seu desempenho, não só a nível produtivo, mas também a nível de qualidade do produto final, já que os robôs conseguem realizar operações sem parar e com a mesma qualidade desde o início até ao fim do processo produtivo.

Com o desenvolvimento deste trabalho pretende-se demonstrar o funcionamento de sistemas robóticos em geral, mas sobretudo focar na integração destes sistemas em tarefas de paletização, que são processos manuais de baixo valor e com baixo tempo de inatividade. A implementação de sistemas robóticos neste processo faz com que, não só sejam reduzidos os custos de trabalho, como também exista, no setor social, uma melhoria da ergonomia dispensando os trabalhadores destas tarefas, o que traduz um aumento da satisfação dos trabalhadores e uma maior motivação dos mesmos para a realização de tarefas associados ao processo produtivo de cada entidade.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um *end-effector* capaz de realizar a paletização de produtos acabados contidos em caixas normalizadas, com a capacidade também de fazer a alimentação das paletes para o acondicionamento das caixas. Para além do desenvolvimento deste gripper em “*Computer Aided Design*” (CAD), pretende-se também explorar a integração de vários componentes mecânicos para que se obtenha uma solução final diferente daqueles que existem no mercado atualmente.

Para além deste objetivo a ser atingido com o desenvolvimento de todo o trabalho, existem também alguns objetivos mais específicos que estão intrinsecamente ligados com o principal. Estes objetivos específicos são:

- O conhecimento geral da aplicação dos sistemas robóticos na indústria atual bem como o funcionamento dos mesmos, são de grande importância para compreensão e abordagem do trabalho;
- Perceber quais os conceitos que estão relacionados com a robótica para compreender e interpretar documentos associados a robôs e ao seu funcionamento;
- Na conceção do *gripper* é necessário também ter consciência das medidas de segurança que estão presentes num equipamento destes e quais as normas associadas;
- Compreender o funcionamento de diferentes componentes mecânicos e as suas aplicações;
- Aplicação do Método de Elementos Finitos no desenvolvimento e conceção da estrutura do *end-effector*.

1.3. Metodologia

Para alcançar os objetivos específicos propostos para este trabalho, optou-se por iniciar com uma pesquisa bibliográfica sobre a indústria e o seu desenvolvimento ao longo dos anos para perceber melhor quando e como é que começaram a ser integrados os sistemas robóticos. Para compreender este assunto de forma mais específica foi realizada uma pesquisa aprofundada sobre os seguintes conceitos:

- Definição de robô;
- Produção através de sistemas robotizados;
- Componentes que constituem um robô;
- Conceitos utilizados na robótica e que são essenciais para a compreensão destes equipamentos;
- Configurações existentes de robôs e as suas aplicações mais comuns;
- Medidas de segurança e normas aplicadas em sistemas robóticos;
- Modos de programação possíveis para o funcionamento dos robôs.

Depois deste estudo preliminar procedeu-se então à pesquisa de sistemas semelhantes ao que se pretendia desenvolver, de maneira que fosse possível entender melhor os mecanismos responsáveis pela realização dos movimentos de aperto, tanto das caixas como das paletes. Com a realização desta pesquisa foi então possível fazer uma pré seleção de componentes mecânicos que poderiam vir a ser utilizados e começou-se a idealizar como seriam incorporados no sistema final, de maneira que fosse possível otimizar as suas dimensões e também a obtenção de um mecanismo final que não possuísse uma massa muito elevada, possibilitando assim a seleção de um robô de manipulação mais pequeno e conseqüentemente com custos mais reduzidos.

Após a seleção de todos os componentes mecânicos que seriam utilizados procedeu-se ao respetivo dimensionamento de cada um, de maneira que os modelos selecionados fossem os mais adequados para o desempenho das suas funções. Para finalizar realizaram-se estudos ao mecanismo desenvolvido, nomeadamente quando era feito o aperto da caixa e da paleta, para perceber o comportamento dos elementos mais críticos ao serem solicitados, neste caso os “dedos” do *gripper*, que será mencionado em pormenor mais à frente. Tendo em consideração que o *end-effector* será acoplado num braço robótico, também se procedeu à realização de um estudo para prever o comportamento da peça que fará a ligação do *end-effector* ao braço do robô.

1.4. Estrutura

Este trabalho está dividido em cinco capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Métodos e Aplicação, Resultados e Discussão e por fim a Conclusão. Na Introdução é apresentada uma contextualização sobre o trabalho desenvolvido e os objetivos que devem ser atingidos no final da sua realização. Neste primeiro capítulo também é dada a conhecer a metodologia adotada para atingir os objetivos propostos e a forma como se encontra estruturado todo relatório. No segundo capítulo, a Revisão Bibliográfica, é apresentada toda a informação relativa aos sistemas robóticos e a sua relação com as diferentes indústrias, bem como uma explicação do funcionamento destes equipamentos e como devem ser utilizados para conseguir rentabilizar o melhor possível o elevado investimento inicial. No terceiro capítulo são explicados os métodos utilizados para o desenvolvimento da estrutura, desde os estudos iniciais que serviram de sustentação para iniciar o projeto até aos estudos finais para prever o comportamento dos elementos no momento que serão solicitados durante a realização das suas funções. O quarto capítulo encontra-se reservado para uma exposição do resultado da estrutura desenvolvida, apresentando os pormenores de montagem e funcionamento de todos os componentes mecânicos. No final deste capítulo é apresentada uma ilustração da implementação do sistema desenvolvida numa linha de produção de modo que seja possível perceber como se organiza um equipamento deste género. Por fim, no capítulo das conclusões, é apresentado um resumo de todo o trabalho realizado bem como as conclusões mais relevantes, referindo também quais as limitações que surgiram durante a sua realização, a forma como foram ultrapassadas e trabalhos futuros que poderão vir a ser realizados de forma a melhorar o sistema já desenvolvido ou a implementação de novas soluções.

Introdução

2. Revisão Bibliográfica

A indústria e os sistemas robóticos encontram-se sempre em transformação e em evolução. Neste capítulo apresenta-se a evolução da indústria até aos dias de hoje, como é que os sistemas robóticos surgiram e as razões que levaram à implementação dos robôs na indústria. Ainda neste capítulo menciona-se também todos os conceitos que envolvem a robótica industrial e o que é necessário saber sobre estes sistemas. No final do capítulo explica-se ao pormenor a aplicação dos robôs em tarefas de paletização, apresentando alguns exemplos existentes no mercado e quais são as grandes vantagens da implementação destes sistemas em tarefas repetitivas como é a paletização.

2.1. A Indústria e a Robótica

A indústria encontra-se em transformação a todo o momento e para chegar nos dias de hoje foi necessário várias transformações. Até à presente data aconteceram quatro momentos marcantes no que diz respeito à transformação industrial, sendo que o quarto momento será mais explorado visto que é aquele que vivemos atualmente apesar de já começar a surgir o conceito da quinta transformação industrial onde é feita a conexão entre a velocidade e precisão da automação industrial com a capacidade criativa humana. O objetivo é desenvolver produtos e serviços inteligentes tornando os processos de fabrico mais eficientes e sustentáveis aliados ao foco na responsabilidade social.

A primeira revolução industrial teve início em Inglaterra no início do século XVII e ficou marcada pela substituição da economia agrária por outra totalmente mecanizada. Nesta revolução ocorreu a substituição dos processos de produção manual para máquinas, a produção de novos produtos químicos e processos de produção de ferro, a melhoria dos sistemas movidos por água corrente, o uso de energia a vapor, o desenvolvimento de máquinas- ferramentas e a ideia de fábrica. A indústria que mais sofreu alterações nesta primeira revolução industrial foi a têxtil, tanto em relação a postos de trabalho como valor de produção e de capital investido [1].

A segunda revolução industrial, também conhecida por revolução tecnológica, desenrolou-se desde o início do século XIX até ao início da I Guerra Mundial e foi marcada pelo rápido desenvolvimento industrial principalmente na Grã- Bretanha, Alemanha, Estados Unidos da América, França, Itália e Japão. Esta revolução foi essencialmente marcada pela construção de ferrovias, produção de ferro e aço em grande escala, uso generalizado de máquinas nos processos de fabrico, aumento significativo do uso de energia a vapor, utilização de petróleo e início da eletrificação [1].

Foi durante a segunda revolução industrial que Henry Ford instalou e tirou proveito do conceito de linhas de montagem, iniciando a era da produção em massa possibilitando na altura a redução do tempo de produção de um carro de doze horas para duas horas e meia [1].

A terceira revolução industrial iniciou-se no final da década de 60 do século XX, com a utilização de eletrônica e de sistemas de informação que permitiu a implementação de sistemas produtivos automatizados. Durante este período foi inventado o transistor semiconductor que permitiu desenvolver os computadores, sensores e todo o tipo de equipamentos eletrônicos. A produção assistida por computador, a utilização de *software* e de sistemas controlados por computador, como por exemplo os robôs, e a utilização de sensores e atuadores eletrônicos tornaram os processos produtivos da altura muito mais eficientes [1]. Esta revolução foi essencialmente marcada pelo desenvolvimento eletrônico e pelo aparecimento da robótica.

A quarta revolução industrial surgiu com o objetivo de aumentar a qualidade dos produtos fabricados reduzindo os custos, tanto dos produtos como de trabalho, e diminuir o tempo de produção. Em 2013-2014 surgiu na Alemanha o conceito de Indústria 4.0, concentrando-se na possibilidade de automatizar e digitalizar a indústria [1].

A Indústria 4.0 é um domínio em que a internet e os sistemas ciber-físicos se relacionam para acrescentar valor aos processos de fabrico contruindo uma plataforma aberta e inteligente para a interação industrial em rede. O objetivo é que todas as empresas tenham acesso fácil e económico às tecnologias de modelação e analíticas para satisfazer as suas necessidades. Todo o conceito em torno da Indústria 4.0 está relacionado com a ideia de fábricas inteligentes através da união do mundo virtual com o mundo físico acrescentando valor às necessidades dos clientes, ao desenvolvimento, à produção, à distribuição e à reciclagem [2].

Para uma correta implementação dos conceitos associados à Indústria 4.0 são necessárias várias tecnologias fundamentais para fazer parte de todo o sistema. Na Tabela 1 encontra-se um resumo das tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 acompanhadas por uma breve descrição de cada uma delas [2].

Tabela 1 – Tecnologias na Indústria 4.0 [2]

Tecnologia	Descrição
Sistema de integração horizontal e vertical	Este sistema de integração entre empresas, departamentos, funções e capacidades permite uma evolução das cadeias de valor totalmente automatizadas.
Internet industrial	A internet industrial permite a interligação de dispositivos tornando possível a comunicação e interação bem como a tomada de decisões em tempo real.
Cibersegurança	Necessidade de comunicações fiáveis, acesso a máquinas e identidade de utilizadores seguros.
A nuvem	O melhor desempenho das tecnologias torna os dados e as funcionalidades das máquinas cada vez mais importantes, e devem ser armazenados permitindo a partilha de dados entre sites e empresas.
Grandes volume de dados e análises	Os grandes volumes de dados e análises permitem a recolha e avaliação desses dados para apoiar a tomada de decisões em tempo real otimizando a qualidade da produção, poupando energia e melhoria do serviço.
Simulações	As simulações permitem utilizar os dados obtidos em tempo real no mundo físico para o mundo virtual, permitindo a realização de testes e otimização das definições da máquina reduzindo os tempos de configuração e aumentando a qualidade.
Fabrico aditivo	Produção de pequenos lotes de produtos personalizados que oferecem vantagens de construção como <i>designs</i> leves e complexos.
Realidade aumentada	Permite o suporte de uma grande variedade de serviços e enviar instruções de reparação através de dispositivos móveis.
Robôs	Os robôs continuam em grande desenvolvimento tornando-se mais autónomos, flexíveis e podem trabalhar entre si e com humanos em segurança.

Revoluções na robótica

Ao longo dos anos a indústria sofreu alterações constantes marcadas pelas quatro revoluções que já foram mencionadas e a robótica não é diferente, desde o seu surgimento até aos dias de hoje já foi sujeita a quatro transformações marcantes. Ao longo do tempo surgiram inúmeros sistemas robóticos na indústria em que alguns deles marcaram uma nova era na robótica.

Na era designada por “*Robotics 1.0*”, marcada pela motorização, os robôs surgiram para libertar os humanos de tarefas cansativas e repetitivas, mas eram considerados perigosos e por isso estavam colocados dentro de áreas completamente isoladas por sistemas de segurança. Nesta altura surgiram tecnologias como os servo motores e os controladores.

Com o desenvolvimento tecnológico apareceram robôs mais seguros que marcaram a era “*Robotics 2.0*”, em que a automação foi a grande implementação dos sistemas robóticos e começaram a ser usados sistemas de visão através do uso de sensores e câmaras. Durante este período surgiram também os primeiros robôs colaborativos que funcionavam com uma velocidade muito reduzidas quando interagem com os humanos.

No ano de 2010 surgiu uma nova era na robótica, a “*Robotics 3.0*”, marcada essencialmente pela digitalização dos sistemas robóticos e onde surgiram os primeiros robôs móveis e os conceitos de segurança sofreram grandes evoluções permitindo a colaboração otimizada de homem-máquina.

A partir de 2020 entrou-se na era da “*Robotics 4.0*” onde a integração da inteligência artificial é o grande desafio para dotar os robôs de capacidades cognitivas e torná-los inteligentes [3].

O impacto dos robôs na Indústria 4.0

Atualmente os robôs são uma parte muito importante na indústria uma vez que existem no mercado inúmeros modelos de robôs industriais que podem ser aplicados em diferentes ramos, como por exemplo nas áreas de soldadura, de paletização e de manipulação de objetos. As tarefas referidas podem ser completamente automatizadas pela integração dos sistemas robóticos ou através da colaboração dos robôs com os humanos, já que neste momento os robôs são desenvolvidos com um grande ênfase na segurança, flexibilidade e versatilidade. Uma das grandes vantagens da implementação de sistemas robóticos nesta era da Indústria 4.0 é o facto de por exemplo quando ocorre um erro durante a execução da tarefa programada para o robô, é possível o responsável receber uma indicação no telemóvel e através de uma câmara pode ver qual foi o problema que ocorreu e, dependendo da situação, pode resolvê-lo remotamente [2]. Este tipo de inovações alia o facto de os robôs poderem trabalhar sem parar com a rápida resolução de problemas aumentando assim a produtividade destes sistemas para valores muito interessantes em termos das exigências que a indústria impõe, em determinados mercados, onde os tempos de paragem são traduzidas em grandes perdas a nível financeiro.

O conceito da Indústria 4.0 tem um grande impacto nos processos de fabrico e nos modelos de negócio das empresas permitindo um aumento da velocidade de produção aliado com um aumento de produtividade e de qualidade dos produtos fabricados bem como a redução de defeitos e de desperdícios. A utilização de programas de manutenção preditiva permite que as empresas possam evitar as falhas das máquinas no chão de fábrica, nomeadamente dos robôs, aumentando assim a rentabilidade dos equipamentos [2]. Um dos grandes impactos da utilização de robôs nas empresas é o facto de libertar os operadores para realizar operações mais importantes deixando os robôs com as tarefas repetitivas e, mesmo depois de terminar o horário laboral, estes equipamentos podem continuar a realizar as suas tarefas.

Anualmente é disponibilizado pela “*International Federation of Robotics*” (IFR) um relatório que fornece estatísticas globais sobre os robôs industriais, em que são apresentados dados relativos a 40 países analisando as áreas de aplicação, os tipos de robôs e a densidade de robôs, ou seja, o número de robôs por cada 10 000 empregados, como medida do grau de automatização.

Segundo o relatório mais recente disponibilizado pela IFR, o número de instalações de robôs industriais tem vindo ao aumentar ao longo dos anos apesar de no ano de 2019 ter havido uma redução do número de instalações relativamente ao ano anterior. Esta descida pode ter ocorrido devido ao surgimento da *COVID-19*, que afetou toda a indústria a nível mundial.

Apesar disto os valores têm vindo a aumentar e em 2022 houve um aumento de 5% relativamente ao ano de 2021 como é possível observar na Figura 1.



Figura 1 – Número de instalações de robôs industriais em todo o mundo [4]

Como se sabe os robôs industriais apresentam uma grande aplicabilidade e flexibilidade podendo ser aplicados em diversas indústrias e realizar várias tarefas. No entanto, grande parte dos robôs industriais são aplicados na indústria elétrica e da eletrónica bem como na indústria automóvel, dos metais e máquinas como é possível observar na Figura 2 (a). No que diz respeito à sua aplicabilidade, os robôs industriais são essencialmente instalados para realizarem tarefas de manipulação de objetos e para tarefas de soldadura. Na Figura 2 (b) é possível verificar que desde o ano de 2020 tem havido um crescimento no número de robôs instalados para realização de tarefas de manipulação de objetos.

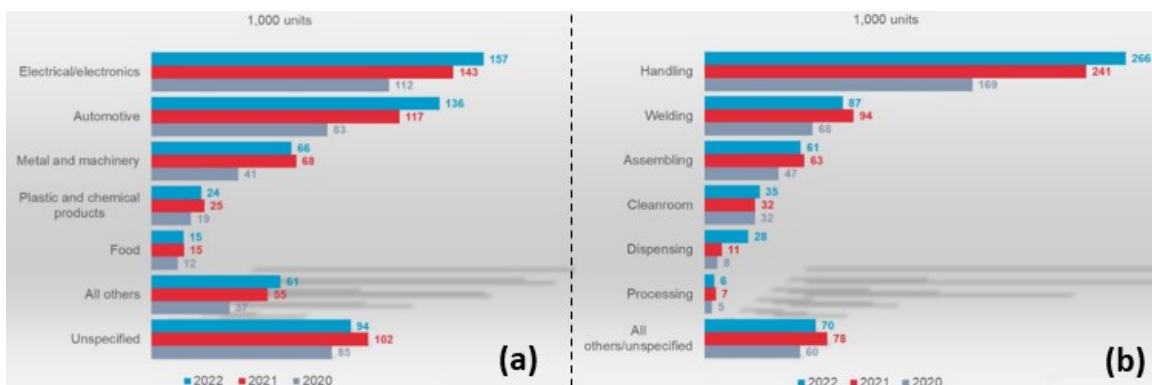


Figura 2 - Número de instalações de robôs industriais por indústria (a) e número de instalações de robôs industriais por aplicação (b) [4]

Indústria portuguesa

Relativamente à aplicação dos conceitos da Indústria 4.0 na indústria portuguesa é necessário haver uma grande consideração tendo em conta o modelo industrial que mais favorece a realidade do país, já que a aplicação destes conceitos podem ter um impacto relevante naquilo que é a realidade portuguesa atualmente. Com toda a informação disponível e tendo em conta as consequências que pode ter a automatização e robotização total, a indústria portuguesa deve reforçar a capacidade de fazer as coisas de forma correta tanto em pequena como em média escala, utilizando tecnologia avançada e pessoas com um grande grau de especialização e para isso é necessário manter uma forte relação entre a indústria e os estabelecimentos de ensino [1]. Neste momento as indústrias da metalomecânica, de têxtil e do calçado são bons exemplos de indústrias portuguesas que são competitivas e que possuem um elevado potencial de diferenciação com capacidade de alcançar mercados que reconhecem a qualidade dos produtos [1].

2.1.1. Definição de robô

A palavra robô surgiu do termo checo *robot*, que significa “trabalho forçado”, e utilizada pela primeira vez em 1921 por Karel Capek, na sua obra *Rossum's Universal Robotics*. Estes robôs apresentavam aspeto humano, como representado na Figura 3, com capacidades avançadas que trabalhavam sem parar [1]. A maioria dos robôs continuam a trabalhar de forma incansável e a realizar tarefas exigentes e com muita repetibilidade, mas atualmente a robótica é mais do que apenas realizar tarefas.



Figura 3 - Robô de Karel Capek [1]

Com o avanço da tecnologia o termo robô tornou-se mais aprimorado. Originalmente eram apenas autómatos mecânicos especiais, mas com a evolução dos dispositivos computacionais começaram a ter capacidade de raciocínio e de resolução de problemas [5].

Atualmente, segundo a norma ISO 8373, um robô é definido como um mecanismo programável com grau de autonomia para executar tarefas de movimentação, manipulação ou posicionamento. O grau de autonomia do mecanismo está diretamente relacionado com a capacidade de executar as tarefas pretendidas com base no seu estado atual e deteção, sem intervenção humana.

Esta norma, ISO 8373, menciona também que um robô industrial, como os exemplos da Figura 4, é um manipulador multifuncional reprogramável controlado automaticamente que pode ser programado em três ou mais eixos fixo num local ou a numa plataforma móvel para aplicações de automação em ambiente industrial [6].



Figura 4 - Exemplo de robôs industriais da FANUC [7]

Para além da definição de robô segundo a “*International Organization for Standardization*” (ISO), existem outras associações que apresentam outras definições para robôs. Segundo a “*British Robot Association*” (BRA) e a “*Robotics Industries Association*” (RIA), um robô industrial é um dispositivo reprogramável projetado para manipular e transportar peças, ferramentas ou outros componentes especializados através de vários movimentos programados para execução de tarefas específicas [8]. Com uma visão diferente, a “*Japan Industrial Robot Association*” (JIRA), define um robô como um sistema mecânico com movimentos flexíveis semelhantes aos movimentos dos organismos vivos ou que combine esses movimentos com funções inteligentes agindo como resposta à vontade humana. As funções inteligentes significam que o robô possui capacidades de julgamento, reconhecimento, adaptação ou aprendizagem [8].

2.1.2. Produção robotizada

A implementação de linhas de produção robotizadas nas indústrias é uma situação cada vez mais comum e o que traduz um aumento significativo de produtividade. Nestas circunstâncias é preciso ter em conta se realmente um robô será útil e se realmente ajudará em determinados tipos de trabalhos, para isso é importante fazer uma análise inicial das vantagens e desvantagens antes da implementação de linhas de produção robotizadas.

As vantagens da utilização de sistemas robóticos, apresentadas na Tabela 2, podem ser resumidas como um aumento de produtividade e de segurança nos ambientes industriais.

Tabela 2 – Vantagens da robotização [9]

Descrição	
Produtividade	Os robôs efetuam um trabalho mais eficiente do que os humanos e podem trabalhar de forma contínua sem ficarem cansados.
Qualidade	A qualidade do trabalho pode ser controlada e corrigida imediatamente se não estiver conforme os requisitos.
Custos de Funcionamento	Os custos de funcionamento são baixos e os tempos de paragem são mínimos.
Postos de trabalho	Futuramente será necessária muita mão de obra para conceber, reparar e instalar robôs.
Segurança	Os robôs são utilizados normalmente para tarefas monótonas, sujas e perigosas diminuindo assim o risco de acidentes de trabalho para os humanos.
Sociais	A execução de determinadas tarefas pelos robôs contribui para um melhor bem estar dos trabalhadores, não estando sujeitos a trabalhos monótonos ou de elevada exigência física.
Aplicabilidade	A integração de robôs em linhas produtivas é possível em grande parte dos setores industriais.
Organização	Com a incorporação dos robôs nas linhas de produção é possível conseguir um ambiente de trabalho mais organizado e aproveitar o espaço para outras operações.

As desvantagens da utilização de sistemas robóticos, apresentadas na Tabela 3, estão relacionadas maioritariamente com um elevados custo de obtenção e manutenção dos equipamentos e o aumento do desemprego.

Tabela 3 – Desvantagens da robotização [9]

Descrição	
Investimento	O investimento inicial para integrar um sistema robótico numa linha de produção é consideravelmente elevado.
Manutenção	Os níveis de manutenção são mais elevados do que a maioria dos postos de trabalho.
Formação	Formação de trabalhadores para operar e programar os sistemas robóticos. Este processo é demorado e apresenta custos associados.
Desemprego	Os robôs podem substituir o trabalho realizados pelos trabalhadores traduzindo assim um aumento do desemprego.
Inatividade	Os tempos em que o robô se encontra parado sem realizar qualquer tipo de tarefa é muito dispendioso.

Como já foi apresentado na Tabela 2, os sistemas robóticos apresentam uma grande aplicabilidade, mas a grande maioria está implementada nos setores industriais com as seguintes aplicações:

- **Carregamento e descarregamento de máquinas**- colocação de peças onde são necessárias para maquinação ou expedição;
- **Manuseamento**- embalagem de produtos ou movimentação de paletes;
- **Processos de fabrico**- fundição, operações de retificação, aplicação de colas, furação, fresagem e corte;
- **Pintura por pulverização**- pintura de automóveis, móveis e outros objetos;
- **Soldadura**- processos de soldadura em automóveis e estruturas de aço;
- **Montagem**- equipamentos elétricos, automóveis e pequenos eletrodomésticos;
- **Inspeção e testes**- controlo de qualidade para detetar defeitos na superfície e no interior utilizando sensores de visão e apalpadores.

2.1.3. Componentes de um robô

Um robô apresenta na sua constituição elementos como por exemplo o controlador, o braço, o atuador final, o dispositivo de acionamento e os sensores, mas antes disso é necessário perceber a estrutura física do robô antes de analisar os componentes que possibilitam o seu funcionamento.

Na Figura 5 está representado um exemplo de um robô da ABB, que é um fabricante de robôs industriais, onde é possível perceber como é feita a contabilização dos eixos de um robô. Neste caso o robô possui 6 eixos de rotação, existindo robôs que podem dispor de mais ou menos eixos.

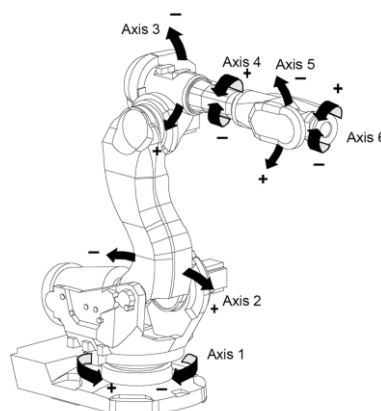


Figura 5 – Robô da ABB [10]

Um robô é constituído por uma extremidade que está fixa, designada por base, e outra extremidade que é livre para a realização dos movimentos, designada por elemento terminal. O braço é constituído por elos rígidos que estão ligados por juntas, se os elos estiverem ligados em sequência diz-se que a estrutura do robô é em série caso contrário será uma estrutura em paralelo [1,7].

Um braço robótico assemelha-se a um braço humano relacionando os elos do robô com os ossos e as juntas do robô com o cotovelo, o ombro e o pulso. Para conseguirmos entender melhor esta comparação podemos relacionar o conteúdo da Figura 5 com o da Figura 6 e analisando as duas figuras conseguimos perceber que o primeiro eixo de rotação do robô assemelha-se à cintura de um humano e os restantes eixos assemelham-se aos movimentos de rotação do ombro, do cotovelo, do pulso e da ponta do dedo humano.

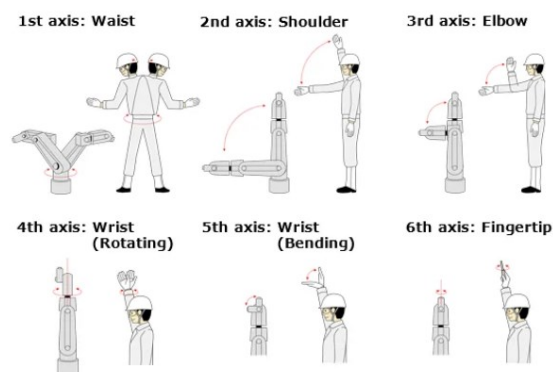


Figura 6 – Comparação do braço robótico com o braço humano [11]

As juntas do robô são normalmente atuadas por motores elétricos, geralmente motores trifásicos síncronos, podendo também ser utilizados atuadores pneumáticos ou hidráulicos. Internamente os braços robóticos possuem engrenagens de redução para aumentar a potência do motor e *encoders* que são dispositivos que indicam a posição do eixo de rotação [1,11].

Na extremidade livre do robô pode ser acoplado atuadores finais que são ferramentas desenvolvidas para o tipo de trabalho que o robô irá realizar. Estes atuadores finais podem ser por exemplo pinças para manipulação de objetos, dispositivos de vácuo para transporte de vidros, tochas para aplicações de soldadura, entre outros.

O robô está ligado a um sistema de controlo computadorizado, o controlador, que faz o controlo e supervisão recorrendo a informação sensorial para adquirir o estado do robô e do ambiente em que ele está inserido. O controlador é dos componentes principais para o correto funcionamento do robô já que possui o *software* de controlo que permite obter os movimentos desejados enviando sinais para os atuadores do robô [1].

2.1.4. Conceitos utilizados na robótica

Na robótica existem vários conceitos teóricos que devem estar presentes sempre que se trabalha com robôs, como por exemplo os graus de liberdade do robô, os graus de movimento ou mobilidade, o espaço de trabalho, o alcance, a velocidade, a precisão, a carga útil, a cinemática e a dinâmica.

Começando pelos graus de liberdade, se o robô possuir seis graus, isto significa que três graus são de posicionamento (X, Y, Z), os outros três são de orientação (θ_X , θ_Y , θ_Z). Os graus de movimento ou mobilidade de um robô são a soma de todos os movimentos independentes que o robô consegue efetuar. O espaço de trabalho são todas as posições que o robô consegue alcançar no seu espaço tridimensional. Na Figura 7 encontra-se ilustrado o espaço de trabalho de um robô industrial da ABB. A distância máxima do elemento terminal à base é designada por alcance do robô. A precisão associada aos movimentos do robô está relacionada com a capacidade de o robô atingir a posição programada dentro do espaço de trabalho.

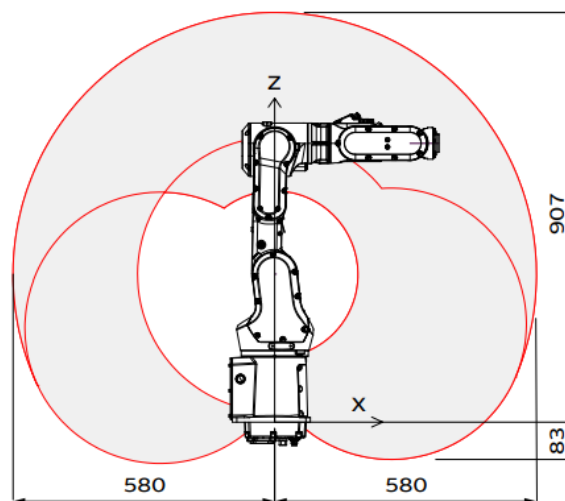


Figura 7 – Área de trabalho do robô IRB 1100-4/0.58 da ABB [12]

Quando falamos em velocidade é necessário ter em conta qual o trabalho que o robô vai efetuar, uma vez que é difícil conciliar grandes velocidades com elevada precisão, deve haver um compromisso entre a precisão requerida e a velocidade do robô. Em todos os casos também é necessário ter em conta a carga útil do robô que é a carga máxima admissível pelo robô na posição mais desfavorável.

Relativamente à cinemática é necessário antes perceber as diferentes configurações que o punho do robô, mantendo a analogia com o braço humano, pode ter. Na Figura 8 estão representadas as duas configurações possíveis, a *pitch-yaw-roll* (XYZ) ou punho humano e a *roll-pitch-roll* (ZYZ) ou punho esférico. A configuração de punho esférico é a mais utilizada na robótica de manipulação uma vez que é mais simples [1].

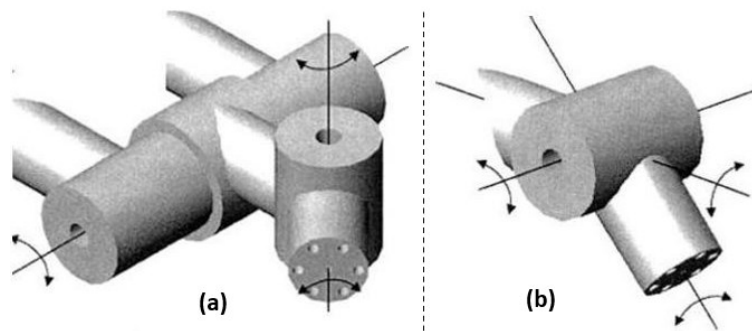


Figura 8 - Pitch-yaw-roll (a) e Roll-pitch-roll (b) (adaptado de [1])

A cinemática direta permite obter a posição e orientação do elemento terminal do robô através da leitura da posição angular de cada junta do robô. A transformação contrária designa-se por cinemática inversa [1]. A dinâmica está associada à relação entre as forças exercidas no robô e o seu movimento, ou seja, as velocidades e acelerações das juntas e dos elos do braço robótico. Para fazer o controlo desta relação são utilizadas equações matemáticas escritas com base numa determinada formulação dinâmica que descrevem o movimento do robô [1].

2.1.5. Configurações dos robôs

Atualmente na robótica existem sete tipos de robôs industriais: articulados, cartesianos, cilíndricos, polares, SCARA, delta e colaborativos [13]. Os primeiros trabalhos relacionados com robótica foram realizados alguns anos após o fim da II Guerra Mundial, inicialmente para manusear materiais perigosos, como por exemplo materiais radioativos [1].

Em 1950 a norte-americana General Mills Corporation desenvolveu o *gantry-robot* que se assemelha ao robô industrial cartesiano que existe nos dias de hoje. Passado sete anos, em 1957, foi desenvolvido o primeiro robô manipulador com coordenadas polares, o *Planetbot* [1].

O *Unimate*, representado na Figura 9, foi o primeiro robô industrial. Este robô, desenvolvido entre 1954 e 1961 por George Devol e Joseph Engelberger na companhia americana Unimation Inc, era um braço manipulador hidráulico concebido para realizar tarefas repetitivas e foi usado por fabricantes de automóveis para automatizar processos de metalurgia e soldadura [1,14].



Figura 9 - Unimate [14]

Como já referido, existem diferentes tipos de robôs industriais atualmente no mercado cada um deles com capacidades e aplicações diferentes. Será explicado de seguida cada um deles referindo também as suas vantagens, desvantagens e áreas de aplicação mais comuns.

Robô Articulado

Os robôs articulados possuem um desenho similar a um braço humano composto por dois a dez eixos que se dobram em várias direções [13]. O movimento de cada componente de um robô articulado é acionado por servo motores com um sistema de controlo que fornece energia a cada motor para um movimento preciso.



Figura 10 - Robô articulado da ABB [15]

Os robôs articulados, como o exemplo apresentado na Figura 10, são atualmente os mais utilizados na indústria [13]. Na Tabela 4 encontram-se descritas as vantagens e desvantagens da utilização destes robôs e em que área é que são aplicados com maior frequência.

Tabela 4 – Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs articulados [13]

Descrição	
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Alta velocidade operacional; • Flexibilidade para espaços confinados; • Facilidade de alinhamento de coordenadas múltiplas.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de um controlador dedicado para as operações; • Programação mais complicada; • Cinemática mais complexa.
Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadura; • Embalagem de alimentos; • Montagem automóvel; • Paletização.

Robô Cartesiano/*Gantry*

Os robôs cartesianos ou *gantry*, como o exemplo da Figura 11, possuem uma configuração retangular com três juntas prismáticas que fornecem movimento linear ao deslizar os três eixos perpendiculares. Os eixos podem deslocar-se em conjunto para permitir rotação [13].



Figura 11 - Robô cartesiano da Campetella [16]

Na Tabela 5 encontram-se descritas as vantagens e desvantagens da utilização dos robôs cartesianos e em que área é que são aplicados com maior frequência.

Tabela 5 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs cartesianos [13]

Descrição	
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Precisão de posicionamento; • Operação simplificada; • Programação <i>offline</i> facilitada; • Menor custo.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Grande área operacional e de instalação necessária; • Montagem complexa; • Movimento limitado a uma direção.
Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pick and place</i>; • Aplicações adesivas; • Carregamento e descarregamento.

Robô Cilíndrico

Os robôs industriais cilíndricos, como o exemplo da Figura 12, possuem uma junta rotativa na base, que permite um movimento de rotação, e uma junta prismática para conectar os elos, que permite um movimento linear [13].



Figura 12 – Exemplos de robôs cilíndrico [17]

Na Tabela 6 encontram-se descritas as vantagens e desvantagens da utilização dos robôs cilíndricos e em que área é que são aplicados com maior frequência.

Tabela 6 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs cilíndricos [13]

Descrição	
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Operação e instalação simples; • Grande alcance no espaço de trabalho; • Boa capacidade de carga.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa precisão na direção do movimento de rotação; • Incapacidade de ultrapassar obstáculos.
Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicações de montagem; • Aplicações de revestimento; • Fundição e aplicações de forjamento.

Robô Polar

Os robôs industriais polares, como o exemplo da Figura 13, possuem uma junta de torção entre o braço e a base, duas juntas rotativas e uma junta linear. Os seus eixos formam um sistema de coordenadas polares [13].



Figura 13 - Robô polar [17]

Na Tabela 7 encontram-se descritas as vantagens e desvantagens da utilização dos robôs polares e em que área é que são aplicados com maior frequência.

Tabela 7 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs polares [13]

Descrição	
Vantagens	<ul style="list-style-type: none">• Grande alcance espacial;• Capacidade de se mover entre obstáculos;• Grande volume de trabalho.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none">• Incapacidade de alcançar posições acima de si mesmo;• Baixa precisão;• Sistemas de controlo sofisticados.
Aplicações	<ul style="list-style-type: none">• Fundição;• Empilhamento e desempilhamento;• Moldagem por injeção;• Manuseio de materiais.

Robô SCARA

Os robôs SCARA, como o exemplo da Figura 14, possuem um alcance em forma de anel. Os eixos de rotação são posicionados na vertical e o eixo final move-se na horizontal. Estes robôs são especializados para a realização de movimentos laterais [13].



Figura 14 - Robô SCARA da FANUC [18]

Na Tabela 8 encontram-se descritas as vantagens e desvantagens da utilização dos robôs SCARA e em que área é que são aplicados com maior frequência.

Tabela 8 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs SCARA [13]

Descrição	
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Alta velocidade operacional; • Excelente repetibilidade; • Facilidade de programação.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de um controlador específico; • Limitação operacional a superfícies planas.
Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> • Montagem de circuitos; • Aplicações de cola; • Inspeção; • Aplicações biomédicas; • Paletização; • Carregamento de máquinas.

Robô Delta

Os robôs deltas, como o exemplo da Figura 15, possuem ligações paralelas de junções conectadas a uma base comum, apresentando uma aparência similar a uma aranha [13].



Figura 15 - Robô delta da FANUC [19]

Na Tabela 9 encontram-se descritas as vantagens e desvantagens da utilização dos robôs delta e em que área é que são aplicados com maior frequência.

Tabela 9 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs delta [13]

Descrição	
Vantagens	<ul style="list-style-type: none">• Alta velocidade operacional;• Excelente precisão durante a operação.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none">• Operação complexa;• Necessidade de um controlador específico.
Aplicações	<ul style="list-style-type: none">• Indústria alimentar, farmacêutica e eletrônica;• Alinhamento de fibra ótica.

Robô Colaborativo

Os robôs colaborativos, também conhecidos como *cobots*, são robôs com 6 eixos que operam sem necessidade de células de segurança, são leves, possuem uma boa capacidade de carga e são flexíveis em termos de operações em linhas de produção [13].

Os robôs colaborativos, como o exemplo da Figura 16, foram desenvolvidos para trabalhar em segurança juntamente com os operadores no mesmo espaço. O robô executa as tarefas mais repetitivas e o operador realiza as tarefas mais complexas. Estes robôs estão equipados com vários sensores para evitar colisões com operadores e também com sistemas de segurança para desligarem o robô caso ocorra algum contacto indesejado. O facto do robô trabalhar em simultâneo com o operador faz com que amplie as áreas de aplicação destes robôs [20].



Figura 16 - Robô colaborativo da FANUC [21]

Na Tabela 10 encontram-se descritas as vantagens e desvantagens da utilização dos robôs colaborativos e em que área é que são aplicados com maior frequência.

Tabela 10 - Vantagens, desvantagens e aplicações dos robôs colaborativos [13]

Descrição	
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente repetibilidade; • Possibilidade de operar sem células de segurança; • Integração em outros sistemas como máquinas CNC; • Implementação fácil e rápida; • Programação intuitiva; • Diversidade de ferramentas; • Capacidade de serem reutilizados em diferentes aplicações na mesma fábrica com reprogramação fácil.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Menor velocidade operacional quando comparados com outros robôs industriais, mas mesmo assim mais rápidos a executar tarefas do que um operador.
Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> • Embalagem de alimentos; • Soldadura; • Alimentação de máquinas; • Montagem automóvel; • Paletização; • Inspeções de qualidade; • Aplicação de cola e outros fluidos; • Investigação científica.

2.1.6. Segurança

As medidas de segurança em sistemas robóticos são de elevada importância uma vez que frequentemente é necessário aceder às áreas de trabalho do robô para efetuar manutenção, *teaching* ou apenas verificar o estado dos componentes. Quando ocorre qualquer uma destas situações é necessário garantir que não ocorrem acidentes como por exemplo esmagamentos e perfurações ou mais grave, a morte. Com o intuito de prever todas as situações possíveis de ocorrência foram criadas normas de segurança que devem ser, escrupulosamente, cumpridas num sistema robotizado.

Na indústria, existem células robotizadas instaladas de três maneiras diferentes. Uma das situações que se pode encontrar são células que possuem barreiras de segurança a todo o seu redor impedindo qualquer acesso de pessoas à área de trabalho do robô, outras que são abertas e estão protegidas por sistemas de deteção e sensores óticos e por fim existem outras células robotizadas que é uma mistura das anteriores, onde para além dos sensores óticos possuem também barreiras físicas de segurança limitando o acesso a determinadas áreas de trabalho.

A norma ISO 10218 estabelece os requisitos básicos para a segurança de um sistema robótico industrial. Esta norma encontra-se dividida em duas partes, a primeira parte é referente aos requisitos de segurança de robôs industriais e a segunda parte está relacionada com os requisitos de segurança para integração de sistemas robóticos. Para além desta norma, existe também a ISO 12100 que especifica a terminologia básica, princípios e metodologia para o desenvolvimento de máquinas.

De forma geral, todas as peças rotativas e pontas de um sistema robótico devem estar protegidas. Entre as peças móveis e objetos rígidos deve ser garantida uma distância mínima adequada de pelo menos 500 mm, medida entre o espaço de funcionamento do robô até à estrutura rígida. A área de trabalho do robô deve estar protegida contra radiação, calor, detritos e outros objetos voadores. Quando estiver selecionado o modo manual no controlador do sistema robótico, a velocidade deve estar limitada a menos de 250 mm/s e o *teach pendant* deve possuir funções de paragem de emergência. Quando selecionado o modo automático no controlador do sistema robótico, o robô deve imediatamente parar os seus movimentos quando for detetada a presença de uma pessoa no interior da área de trabalho [22,23].

No que diz respeito à segurança em robôs colaborativos, estes são concebidos para minimizar o risco de acidentes e lesões no local de trabalho. Os robôs colaborativos estão equipados com sensores para evitar colisões, limitações de força e configurações sem arestas vivas. Uma maior segurança em sistemas robóticos aumenta a produtividade e reduz os custos operacionais para os utilizadores de robôs.

2.1.7. Programação

Atualmente a indústria atravessa uma transformação onde os sistemas robóticos revelam-se determinantes para o desenvolvimento e evolução tecnológica sempre com o intuito de minimizar os tempos de inoperacionalidade e aumentar não só o volume de produção como também a qualidade dos produtos fabricados. Os tempos de inatividade dos robôs devem-se sobretudo à necessidade de programação destes sistemas.

A programação de células robóticas, conhecida como *teaching*, pode ser feita através do modo manual, programação *online*, ou através do modo virtual, programação *offline*. A programação *online* requer a presença de um operador para realizar todos os movimentos necessários e criar todo o programa para o robô executar. Neste modo de programação o operador guarda os pontos que o robô precisa para realizar os seus movimentos, para isso é utilizado um dispositivo de interface homem-máquina designado por *teach pendant*, como por exemplo o da Figura 17, utilizado pela FANUC.



Figura 17 – iPendant touch FANUC [24]

Este modo é intuitivo, fácil de aprender e permite programar um robô sem a necessidade de nenhuma habilidade especial de programação ou educação superior. A programação *online* é um modo seguro uma vez que a velocidade e os movimentos do robô estão limitados e são coordenados manualmente por quem está a realizar a programação. Com o objetivo de aumentar a eficiência deste modo de programação surgiram ideias de combinação de sistemas de visão, força e sensores de posição, contudo este modo ainda se revela pouco adequado para a indústria devido ao tempo despendido na programação combinado com o tempo de inatividade do robô durante a programação [25].

Ao longo dos últimos anos tem sido desenvolvida a programação *offline* para combater os tempos consumidos no modo de programação mencionado anteriormente. No modo *offline* a programação é gerada de forma automática sem a necessidade dos sistemas robóticos reais, reduzindo assim os tempos de paragem do robô e os custos de mão de obra, no entanto existem diferenças entre a simulação e a realidade podendo haver a necessidade de ajustar a trajetória dos movimentos do braço robótico [26].

No modo *offline* a programação é feita virtualmente num ambiente 3D, como representado na Figura 18, através de um computador onde depois o controlador desse robô calcula o deslocamento dos vários motores ligados a cada junta do manipulador.

Atualmente existem várias ferramentas no mercado que permitem a realização da programação virtual, contudo a maior parte delas estão direcionadas para um grupo restrito de robôs. Estas ferramentas são desenvolvidas geralmente por fabricantes de robôs industriais fazendo com que sejam possíveis de aplicar apenas aos seus robôs. Os *softwares* como por exemplo *Roboguide*, *RobotStudio*, *Robocad*, *Delmia Robotics* e *RobotDK*, apresentam elevados custos, mas geram programas robóticos de alta precisão para os seus robôs [26].



Figura 18 – Ambiente de simulação virtual no *RobotStudio* [27]

2.2. Paletização

A paletização é um processo que consiste em acomodar objetos numa paleta com o intuito de distribuir eficientemente a carga para uma maior facilidade de transporte e maior proteção da mercadoria. A introdução de sistemas robóticos em tarefas de paletização surgiu com o objetivo de aumentar a capacidade de produção melhorando as condições de trabalho e assegurando segurança e saúde no trabalho. As tarefas repetitivas e monótonas tornam o quotidiano dos trabalhadores cansativo e desinteressante. Por sua vez, os robôs, adaptam-se de forma excelente a estas tarefas e podem executá-las 24 horas por dia sem sentir cansaço, aumentando assim os níveis de produtividade para valores muito elevados que não eram possíveis de alcançar com um trabalhador a executar essas mesmas tarefas. Relativamente à ergonomia no trabalho, este conceito está relacionado com as práticas e condições de trabalho que favorecem a saúde do trabalhador na execução das suas tarefas, com a utilização de robôs é possível proporcionar aos trabalhadores um melhor bem estar durante as horas laborais favorecendo também a sua saúde e libertando-os de tarefas monótonas e cansativas. A utilização de robôs em tarefas de paletização permite também às empresas um maior aproveitamento e limpeza do espaço das suas fábricas favorecendo a melhoria do ambiente industrial a que os trabalhadores estão sujeitos durante o horário de trabalho, o que em termos sociais representa uma melhoria do bem estar dos trabalhadores.

Atualmente são utilizados robôs para fazer a paletização de diversos produtos como por exemplo caixas, sacos e garrafas em indústrias como a da alimentação, da medicina, de materiais de construção e da agricultura. A automatização dos processos de paletização é atualmente umas das principais necessidades das empresas tendo em conta a competitividade de todas as indústrias, mas antes de automatizar um processo de paletização desde o início é conveniente fazer uma análise sobre qual o método de paletização mais adequado para a tarefa que se quer automatizar.

Atualmente existem duas categorias: a paletização convencional e a paletização robótica [28]. O processo de paletização convencional é mais indicado para situações em que são requeridas grandes velocidades de produção, no entanto estes tipo de equipamento necessita de especial atenção em termos de manutenção e apresenta pouca versatilidade comparativamente aos sistema de paletização robótica que são utilizados quando a principal preocupação é a versatilidade, podendo ser implementados para satisfazer quase todas as necessidades de uma linha de produção [28].

A paletização robótica é muito utilizada na indústria automóvel e na Figura 19 é possível observar um esquema geral do funcionamento de um sistema robótico de paletização de vidros na indústria automóvel. De uma forma muito genérica, este processo de paletização inicia-se com a identificação da palete, se esta se encontra sem nenhum vidro ou se já possui algum. Depois é feita a recolha de um vidro da linha caso seja obtida a informação do PLC que existe efetivamente algum vidro na posição de recolha. Por fim o vidro é colocado na palete e recomeça todo o ciclo.

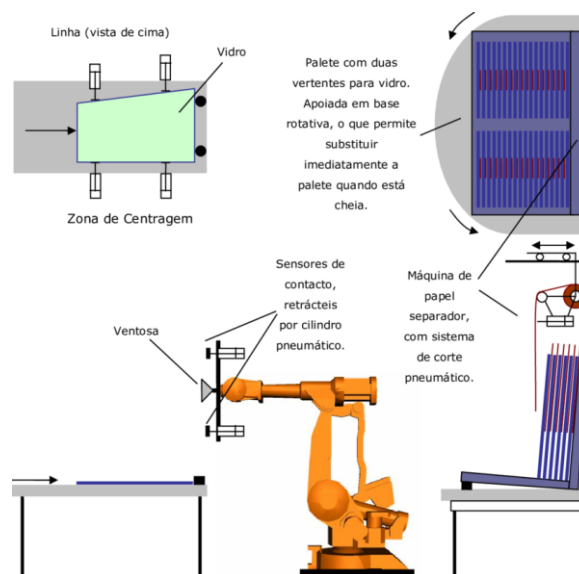


Figura 19 – Exemplo de paletização de vidros [29]

2.2.1. Paletização com robô da ABB

Ao longo dos anos os controladores dos robôs têm vindo a sofrer evoluções tecnológicas o que permite atualmente realizar toda a programação em ambiente virtual sem a necessidade da presença física do robô. O controlador destes robôs possui o seu sistema operativo, coordena e executa as várias funções do robô e inclui o seu modelo cinemático e algoritmo de controlo. A incorporação de informações de sensores e tarefas complexas levou ao desenvolvimento de linguagens de programação específicas que são na maioria desenvolvidas por produtores de robôs e são afetadas pela tecnologia de *hardware* e *software* do robô.

A aplicação “*Automatic Robot Palletizer*” (ARP) é desenvolvida na linguagem do controlador dos robôs da ABB, a *RAPID*, e pode ser utilizada em conjunto com o ambiente de simulação virtual, o *RobotStudio*. O conceito por trás desta aplicação é disponibilizar um método rápido de implementação das funções de paletização nos robôs da ABB com o menor número de passos e parâmetros necessários [30]. A ARP é composta por várias funções e informações que são relacionadas através de parâmetros de função ou variáveis globais utilizando um conjunto de valores iniciais como entradas, num ficheiro específico “*Extensible Markup Language*” (XML) (*ARPIInit*). As diferentes funções são importantes para o controlo e supervisão dos movimentos do robô e para o cálculo e criação da disposição das paletes. A troca destas informações com o controlador da célula robótica é realizada através de um “*Programmable Logic Controller*” (PLC) [30].

Todas estas funções estão divididas em três módulos: o *ARPPalletizer* que contém a execução do programa principal e os dados adicionais, o *ARPMovement* que contém as funções que tratam dos movimentos do robô e a *ARPBasics* que contém várias funções que não são necessárias para a função principal, mas necessitam de estar presentes para a execução do programa. Para além destes módulos é necessário o ficheiro *ARPIInit* que deve ser descarregado para o controlador do robô virtual para a realização da simulação [30]. Depois de realizar todas as simulações necessárias o programa pode ser carregado no controlador físico do robô.

A estrutura da ARP é constituída pelo fluxo do programa em que basicamente deve ser definida a forma como será feita a paletização definindo a existência de pontos de recolha dos objetos e de paletização dos mesmos. Neste fluxo de programa deve existir também um ponto inicial definido para o robô e pontos de aproximação tanto para a recolha do objeto como para a colocação do mesmo na paleta. Depois é necessário definir os valores iniciais tais como: a posição inicial do robô, o seu alcance máximo, o centro da sua ferramenta, os valores relacionados com a posição, orientação e tamanho da paleta e dos objetos a serem lá colocados e ainda os valores de *layout* e de camadas que permitem ao controlador fazer a determinação das posições dos objetos a serem colocados na paleta. O terceiro passo é definir os percursos desde o ponto inicial do robô até à colocação do objeto na paleta. Por fim é necessário a existência de um PLC para trocar informações com o controlador da célula robótica, esta interface consiste num grupo de sinais digitais que permite o correto funcionamento de todo o processo de paletização [30].

Por sua vez em [31], a abordagem à paletização é realizada *offline* e realizada com recurso ao *software* de simulação Modelica capaz de modular e simular sistemas de engenharia multifísicos. Neste trabalho os autores exploram a capacidade de modelação de um projeto de controlo de um robô industrial de 6 eixos cuja estrutura tem por base o braço robótico ABB IRB 140. Os autores apresentam todo o cálculo de cinemática inversa por forma a garantirem a precisão dos sinais de entrada do sistema de malha fechada envolvido num qualquer ambiente industrial. Com esta abordagem foi possível otimizar as trajetórias do robô, utilização da linguagem Modelica orientada a objetos, para um processo físico de *Pick and Place*, paletização.

Revisão Bibliográfica

3. Métodos e Aplicação

O desenvolvimento de um *end-effector* capaz de executar a sua função de forma segura e com facilidade faz parte dos objetivos quando se projeta uma estrutura deste género. Antes de iniciar o projeto era importante fazer um estudo sobre os componentes mais indicados para desempenhar cada função. Neste capítulo explica-se o princípio de funcionamento do sistema e apresenta-se também um estudo dos elementos que serviram de base ao projeto, as caixas de cartão e a Europaleta. O correto dimensionamento de todos os componentes é uma parte fundamental de um projeto e, portanto, neste capítulo também se apresenta todos os cálculos realizados para a escolha dos componentes a serem incorporados no sistema, bem como os materiais utilizados para o seu fabrico. Para finalizar apresenta-se também a aplicação do Método de Elementos Finitos à estrutura desenvolvida, tendo em conta o momento de aperto das caixas e da paleta.

3.1. Princípio de funcionamento

O sistema desenvolvido é constituído por dois subsistemas, um deles responsável pelo aperto das caixas para a sua manipulação e outro que tem a função de aperto da paleta para que seja colocada no local da paletização. Os dois sistemas são independentes e foram desenvolvidos tendo em conta que é feita uma das operações de cada vez, ou seja, enquanto está a ser executada a operação de paletização não é possível que esteja a ser transportada uma paleta vazia. Esta restrição apenas está relacionada com a capacidade de carga do robô utilizado, se houver a necessidade de fazer o transporte de uma caixa e de uma paleta ao mesmo tempo, então terá de se optar por um outro modelo de robô com uma capacidade de carga maior e proceder a algumas alterações na flange de ligação do robô à estrutura do *gripper*.

O sistema de aperto das caixas é constituído por três elementos principais, o servo motor, a correia e o parafuso de potência. Através da combinação destes três componentes é possível realizar o aperto das caixas em qualquer uma das dimensões das mesmas, desde que estas estejam dentro dos valores possíveis para os quais o sistema foi projetado. A utilização de um servo motor neste sistema possibilita um aperto preciso de cada uma das caixas permitindo assim manipular mercadorias mais pesadas e robustas, mas também mais frágeis não correndo o risco de a danificar. A correia dentada faz a transmissão do movimento para o parafuso de potência, que conseqüentemente converte o movimento rotativo em movimento linear que permite o fecho ou abertura do *gripper*.

O sistema de manipulação das paletes é constituído por componentes com diferentes características dos referidos anteriormente no sistema de aperto das caixas. Neste caso são utilizados dois cilindros pneumáticos para fazer o aperto da paleta. Em cada uma das hastes dos cilindros é fixada uma peça que juntamente com uma outra, que se encontra fixa, permite o aperto da paleta. Com este sistema e a forma como está projetado é possível apertar a paleta segundo o comprimento ou segundo a largura, não havendo assim restrições no que diz respeito ao posicionamento da paleta, tanto na zona onde será feita a paletização como na zona onde se encontram as paletes em *stock*. Uma outra particularidade deste sistema é que possui uma inclinação de 45°. Esta inclinação permite o acesso a paletes que estejam armazenadas em qualquer posição sem que haja risco de danificar os restantes componentes do sistema.

3.1.1. Sistema de aperto das caixas

Neste subcapítulo serão mencionados e explicados de forma geral os componentes utilizados para incorporar no sistema de aperto das caixas de forma a garantir a sua funcionalidade global. Depois, mais à frente neste capítulo, serão expostos todos os cálculos realizados para o dimensionamento destes componentes, bem como os fornecedores de cada um deles.

Servo motor

O servo motor, como o exemplo apresentado na Figura 20, é um componente eletromecânico que faz a conversão de sinais de controlo em movimentos mecânicos de elevada precisão. Estes componentes fazem parte de um sistema de malha fechada e são compostos por um circuito de controlo, um eixo, um potenciômetro, engrenagens de acionamento, um amplificador e um codificador. O eixo de saída pode ser movido para um determinado ângulo, posição ou velocidade, dependendo da aplicação do servo motor, sendo que o movimento é sempre realizado com elevada eficiência e precisão, devido à existência de um sensor de *feedback* posicional [32].



Figura 20 – Servo motor [33]

A utilização deste dispositivo neste projeto teve como objetivo diminuir os tempos de execução dos movimento sem haver perdas de precisão do movimento. Como estes equipamentos são capazes de funcionar em diferentes velocidades sem perder precisão e apresentam um tempo de resposta rápido, então optou-se pela sua seleção.

Correia Dentada

As correias são utilizadas para unir duas ou mais polias que em conjunto formam uma transmissão mecânica flexível que permitem a transmissão do movimento do veio motor para o veio que é movido. Atualmente existem quatro tipos de correias: as correias planas, as redondas, as trapezoidais e as dentadas [34]. Para incorporar neste projeto, optou-se por uma correia dentada, também conhecida como correia síncrona, com um perfil de dentes semicircular, como apresentado no exemplo da Figura 21. A utilização deste tipo de correias permite obter soluções mais compactas e com uma maior precisão na transmissão de movimento, uma vez que nestas correias os dentes encaixam nos rasgos das polias, como por exemplo as da Figura 22, e o movimento é transferido por engrenamento e não por atrito como acontece nas correias planas [34].



Figura 21 – Correia dentada [35]



Figura 22 – Polias para correia dentada [36]

Parafuso de Potência

Os parafusos de potência, que também podem ser designados por parafusos de transmissão de movimento, são elementos mecânicos utilizados para fazer a conversão de movimento de rotação em movimento de translação, ou vice-versa, possibilitando assim a movimentação de cargas. Estes parafusos são constituídos por um varão roscado, designado por fuso, apoiado nas extremidades e onde funciona o cubo. O cubo apresenta um furo roscado com o mesmo passo do fuso [34]. Na Figura 23 é possível observar um parafuso de potência, neste caso, constituído pelo fuso e pelo cubo.



Figura 23 – Parafuso de potência, com fuso e cubo [37]

Os parafusos de potência podem funcionar por deslizamento, no caso de o fuso apresentar rosca quadrada ou trapezoidal, ou por rolamento, no caso de fusos de esferas ou de rolos. No entanto, os parafusos de rosca trapezoidal e os fusos de esferas são os mais utilizados em sistemas de transmissão de movimento e de carga. Os fusos de rosca trapezoidal são mais fáceis de fabricar e apresentam uma maior resistência devido à sua geometria, o que faz com que sejam mais utilizados em detrimento dos fuso de rosca quadrada. Nos fusos com rosca trapezoidal é também mais fácil de ajustar as folgas, proporcionando assim um movimento mais suave e silencioso [34].

No caso particular deste projeto, o parafuso de potência será utilizado para converter o movimento de rotação produzido pelo servomotor em movimento de translação, no caso para efetuar o fecho e abertura do *gripper*. O fuso descreve um movimento de rotação e como o cubo se encontra bloqueado em termos de rotação, então o seu movimento é de translação, com um avanço igual ao passo do fuso por cada rotação, assim, todos os componentes ligados ao cubo através de uma flange, descrevem esse mesmo movimento.

Rolamentos

Os rolamentos são componentes mecânicos que têm como principal função reduzir o atrito entre as superfícies em contacto quando existe um movimento de rotação. No mercado existem diferentes tipos de rolamentos que são específicos para determinadas funções, neste caso optou-se pela utilização de rolamentos que fossem capazes de suportar cargas axiais e radiais, os rolamentos de esferas, exemplificado na Figura 24. Estes rolamentos são dos mais utilizados na indústria e são compostos por dois anéis que no seu interior alojam esferas ao longo de uma pista, permitindo assim a redução da superfície de contacto e a diminuição do atrito.



Figura 24 - Rolamento rígido de esferas [38]

Chumaceiras

As chumaceiras, como o exemplo apresentado na Figura 25, são elementos mecânicos que servem de suporte aos rolamentos, sendo essenciais para a montagem e correto funcionamento dos rolamentos. Estes componentes também desempenham a função de proteção dos rolamentos de possíveis contaminações exteriores, aumentando assim a sua vida útil. Para este projeto optou-se por desenvolver uma peça com o objetivo de desempenhar a mesma função de uma chumaceira tradicional, uma vez que, com as dimensões que eram pretendidas, não foi possível encontrar uma chumaceira no mercado que satisfizesse os requisitos dimensionais para ser integrada no projeto.

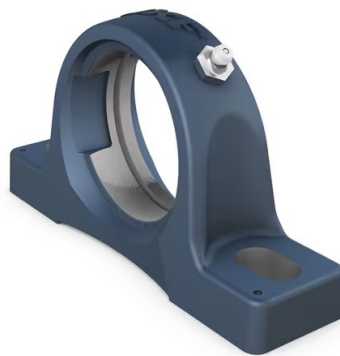


Figura 25 – Chumaceira [39]

Guias Lineares

Para a realização do movimento de forma linear durante o fecho ou a abertura do *gripper* é necessário utilizar um sistema de guiamento. Neste projeto utilizou-se um sistema de guias lineares, composto por um trilho perfilado, apresentado na Figura 26, e carros guia, apresentados na Figura 27, numa configuração em miniatura para obter uma solução resistente, mas ao mesmo tempo compacta.



Figura 26 – Trilho perfilado [40]



Figura 27 – Carro guia [40]

3.1.2. Sistema de aperto das paletes

Neste subcapítulo serão mencionados e explicados de forma geral os componentes utilizados para incorporar no sistema de aperto das paletes de forma a garantir que a movimentação das mesmas seja feita em segurança e da forma correta.

Cilindro pneumático

Os cilindros pneumáticos são dispositivos mecânicos desenvolvidos para produzir uma força em movimento linear através da utilização de ar comprimido. Estes componentes são constituídos por um pistão e uma haste que se movem no interior de uma câmara fechada. No mercado existe vários tipos de cilindros, no entanto, para este projeto optou-se pela utilização de cilindros pneumáticos de ação dupla, como o exemplo da Figura 28. Estes cilindros necessitam de receber ar comprimido tanto para o movimento de avanço como para o movimento de recuo. Com este tipo de componentes é possível então fazer o aperto das paletes para que a movimentação seja realizada de forma segura e eficaz.



Figura 28 – Cilindro pneumático de dupla ação [41]

Na realização dos movimentos de avanço e de recuo dos cilindros pneumáticos é necessário a utilização de guias lineares que proporcionem um movimento guiado, para isso incorporou-se neste sistema, tal como no de aperto das caixas, uns trilhos perfilados com os carros guias de forma que todos os componentes que se encontram acoplados à haste do cilindro pneumático realizem um movimento de translação completamente orientado.

3.2. Estudo prévio dos elementos do projeto

Este subcapítulo tem como objetivo expor as bases em que foram sustentadas todo o desenvolvimento do *end-effector*, nomeadamente a definição das dimensões exteriores das caixas a serem paletizadas, o seu peso máximo, a sua resistência e como é obtido esse valor. Ainda que de dimensões padronizadas, é também feita uma apresentação da palete utilizada para acomodar as caixas.

3.2.1. Caixas de cartão e europaleta

Atualmente no mercado existem caixas de cartão com diversas dimensões e com capacidades de carga distintas. Neste trabalho o objetivo passa por conseguir fazer a manipulação de caixas padronizadas com as dimensões apresentadas na Tabela 11. Estas dimensões dizem respeito aos limites a que o *gripper* está condicionado, não impossibilitando o transporte de caixas que tenham comprimentos superiores, desde que a largura não ultrapasse os 600 mm. O mesmo acontece com as caixas de menores dimensões, será sempre necessário que um dos lados apresente a dimensão mínima de 200 mm.

Tabela 11 – Restrições das dimensões das caixas de cartão

	Limite dimensional	Detalhes
Dimensão mínima	200 mm	A caixa deve possuir no mínimo esta dimensão, seja no comprimento, largura ou altura.
Dimensão máxima	600 mm	A caixa deve possuir no máximo esta dimensão, seja no comprimento, largura ou altura.

As caixas de cartão normalizadas são definidas em função das suas dimensões, na Figura 29 está ilustrada a forma como são apresentadas as medidas das caixas sendo que, é possível para o *gripper* desenvolvido neste trabalho, fazer o aperto em qualquer uma das dimensões desde que sejam respeitadas os limites que estão descritos na Tabela 11.



Figura 29 – Ilustração da caixa de cartão

Relativamente ao aperto das caixas por parte do *gripper* é preciso ter em atenção a força que é feita para que não ocorra o esmagamento da caixa. A avaliação da resistência à compressão da caixa de cartão é essencial para garantir a sua integridade durante o transporte e manipulação. Existem ensaios normalizados que determinam estes valores de resistência, como por exemplo o “*Box Compression Test*” (BCT) e o “*Edge Crush Test*” (ECT). Os valores obtidos nestes testes estão normalmente presentes na ficha técnica das caixas de cartão.

O BCT, apresentado na Figura 30, é um teste utilizado para determinar o valor máximo da resistência à compressão de uma caixa de cartão sem que esta deforme. O procedimento deste teste consiste na aplicação gradual de uma força vertical na caixa, que está colocada entre duas superfícies planas, até que esta comece a apresentar deformação. Este teste é realizado segundo a norma da “*American Society for Testing and Materials*”, ASTM D642, e da norma ISO 12048 [42].

O ECT, representado na Figura 31, é um teste utilizado para determinar a resistência do cartão à compressão dos bordos, para isso é aplicada pressão nos bordos de uma amostra seguindo as indicações da norma ISO 3037 [42].

Com a realização destes testes é possível ter acesso aos valores de resistência obtidos experimentalmente, podendo assim ser comparados com a força de aperto necessária para fazer a movimentação da caixa, com a segurança de que não existe risco que esmagamento nem de deformação.



Figura 30 – Ensaio BCT, norma ASTM D642 [43]

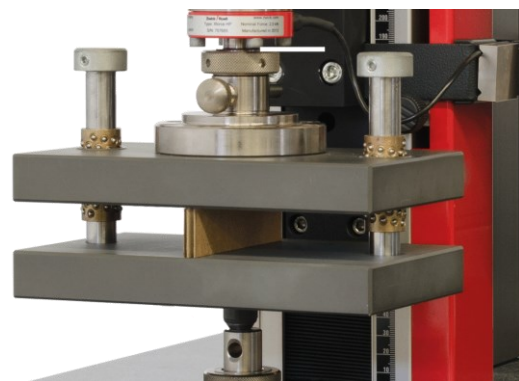


Figura 31 – Ensaio ECT, norma ISO 3037 [44]

A palete onde será feita a paletização das caixas de cartão é uma Europaleta que apresenta dimensões padronizadas e que estão apresentadas na Figura 32. Este tipo de palete tem dimensões fixas e é a palete mais utilizada em toda a Europa sendo as mais adequadas para armazenamento e transporte de mercadorias. Este modelo de palete possui uma massa de cerca de 25 kg, considerando a madeira seca e com 22% de teor de humidade.

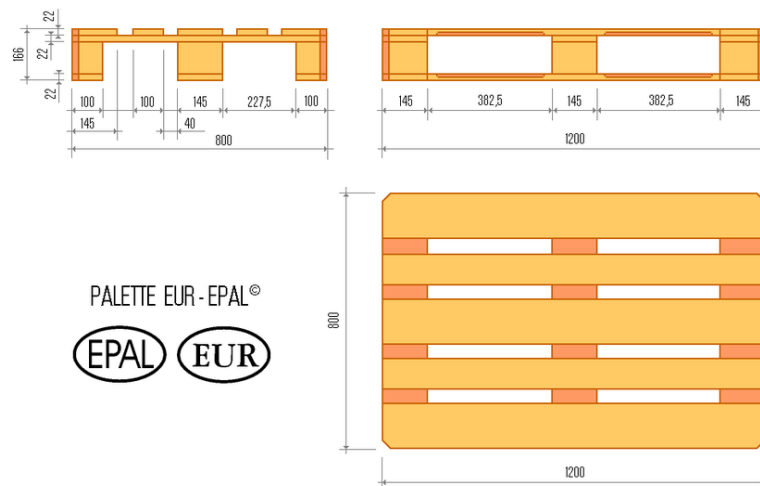


Figura 32 – Dimensões da Europaleta [45]

Tendo em consideração a versatilidade do *gripper* desenvolvido, é possível fazer a paletização de várias formas com o intuito sempre de conseguir otimizar o espaço disponível na paleta e conseguir que a carga fique corretamente acomodada, para um transporte seguro e sem risco de queda, que possam danificar a mercadoria transportada ou causar acidentes mais graves. No momento da paletização é necessário ter em atenção as dimensões do sistemas de aperto do *gripper*, que como era de esperar, impossibilitam que as caixas sejam encostadas umas às outras, no entanto, o espaço que ficará entre cada uma será mínimo, uma vez que todo o sistema foi pensado para um maior aproveitamento do espaço disponível. O espaço que ficará após a paletização desaparecerá quando for feito o aperto das caixas na paleta, através de fitas ou através de outra forma que possa ser garantida a segurança durante o transporte.

3.2.2. Determinação da força de aperto

O *gripper* desenvolvido para a manipulação das caixas terá um revestimento em borracha, como ilustrado na Figura 33, cuja principal função é aumentar o atrito entre as superfícies em contacto, para que seja possível fazer a movimentação da caixa com uma força de aperto mais baixa, conseguindo assim fazer o transporte se forma segura e eficiente. Como apresentado na Tabela 12, o coeficiente de atrito entre a borracha e o cartão varia entre dois valores, mas optou-se por utilizar o coeficiente mais baixo, trabalhando assim sobre o lado mais conservativo.

Tabela 12 – Coeficiente de atrito Borracha/Cartão [46]

Combinação de materiais	Condições do contacto	Coeficiente de atrito
Borracha/Cartão	Limpo e seco	0,5 – 0,8

Com a Equação (1) e o Diagrama de Corpo Livre (DCL) apresentado na Figura 34, foi possível determinar a força necessária para o aperto de forma a transportar a caixa de forma segura e estável. Para o desenvolvimento deste projeto foi estabelecido um peso máximo de 30 kg para as caixas a serem manipuladas com este equipamento, sendo este o valor com que serão realizados os cálculos para a obtenção da força de aperto.



Figura 33 – Ilustração do aperto da caixa

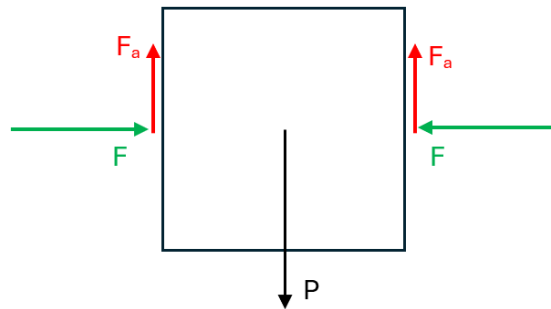


Figura 34 - DCL da caixa no gripper

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow 2 \times F_a = P \Leftrightarrow 2 \times \mu_a \times F = P \Leftrightarrow F = \frac{P}{2 \times \mu_a} \quad (1)$$

Os resultados obtidos da análise do DCL da caixa e da aplicação da Equação (1) encontram-se apresentados na Tabela 13. Com a obtenção do valor da força de aperto, é então possível fazer a comparação deste força, com os valores dos ensaios de resistência à compressão em caixas de cartão referidos anteriormente. Como é possível observar o valor da força de aperto corresponde a cerca de 16% da força suportada pela caixa no ensaio de BCT e, portanto, não haverá quaisquer problemas de deformação nem colapso da caixa de cartão, possibilitando a aplicação de uma força que garanta o aperto da caixa para uma manipulação em segurança da mesma sem danificar a própria caixa nem a mercadoria que está no seu interior.

Tabela 13 – Dados para determinação da força de aperto

	Valor	Unidades
m_{caixa}	30	kg
g	9,81	m/s^2
P	294,30	N
F_a	147,15	N
F	294,30	N
BCT^a	1802	N

^a Valor obtido da ficha técnica de um fornecedor [47]

3.3. Dimensionamento dos componentes

Neste subcapítulo serão explicados todos os passos realizados para o dimensionamento e seleção de todos os componentes utilizados para incorporar nos sistemas de aperto das caixas e das europaletes. Inicialmente será apresentado um conjunto de cálculos para o dimensionamento do sistema de transmissão de binário do servo motor para o fuso do parafuso de potência, e todos os procedimentos seguintes no que diz respeito aos componentes periféricos necessários para garantir um funcionamento correto do sistema. Depois será apresentado o dimensionamento dos componentes que fazem parte do sistema de aperto das paletes e a seleção dos perfis utilizados para desenvolver a estrutura exterior do *end-effector*. Por fim será apresentado como foi feita a seleção do robô de manipulação, tendo em conta as características de todo o mecanismo desenvolvido e que será acoplado ao braço robótico.

3.3.1. Sistema de aperto das caixas

O sistema de aperto é constituído por vários componentes como já foi mencionado anteriormente. Estes componentes precisam de ser corretamente dimensionados para não ocorrerem problemas durante o funcionamento do sistema. Para a escolha e dimensionamento começou-se por definir um diâmetro do fuso do parafuso de potência, tendo em consideração as dimensões do sistema completo, para que, através do cálculo do binário necessário para o aperto das caixas, se procedesse à escolha de um servo motor que tivesse a capacidade de produzir um valor de binário superior para que não esteja constantemente a trabalhar no limite das suas capacidades. Por fim fez-se o dimensionamento de todos os componentes restantes necessários para o funcionamento do sistema de transmissão.

Parafuso de potência

O parafuso de potência utilizado neste mecanismo é constituído por um fuso de aço e um cubo numa liga de bronze. O fuso escolhido para incorporar neste sistema é de rosca trapezoidal, como apresentado na Figura 35, pelo facto de apresentar uma maior facilidade de ajustes e conseguir um funcionamento mais suave e mais silencioso, combinando ainda com uma maior resistência devido à sua geometria.

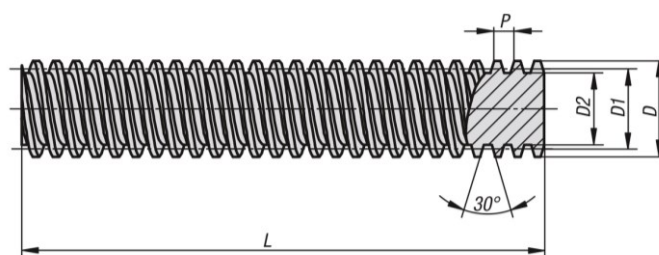


Figura 35 – Fuso de rosca trapezoidal [37]

As dimensões e características do fuso encontram-se apresentadas na Tabela 14, bem como o coeficiente de atrito resultante da interação entre o fuso e cubo. Denota-se ainda que na Tabela 14, a simbologia correspondente aos diâmetros característicos do fuso apresentam um símbolo que será utilizado ao longo de todo o trabalho, mas também um símbolo que corresponde ao la legenda apresentada na Figura 35.

Tabela 14 – Características do Fuso

Descrição	Símbolo	Valor	Unidades
Diâmetro exterior	$d (D)$	14	mm
Diâmetro interior	$d_r (D2)$	10	mm
Diâmetro médio	$d_m (D1)$	12	mm
Passo	$p (P)$	4	mm
Coeficiente de atrito ^a	μ	0,19	-
Avanço	l	4	mm
Ângulo de filete	2α	30	°
Ângulo de hélice	λ	6	°

^a Valor obtido de bibliografia [34]

Tendo em conta a aplicação deste componente foi necessário garantir que o parafuso de potência utilizado apresentasse um condição específica, a autoimobilização. Esta característica faz com que, em movimentos realizados pelo sistema robótico, não exista a possibilidade de haver retorno do cubo, ou seja, de desaperto da caixa e conseqüentemente a sua queda. A condição necessária para que um parafuso de potência de rosca trapezoidal apresente autoimobilização é a que está apresentada na Equação (2). Como é possível observar nos valores apresentados na Tabela 15, a condição de autoimobilização do parafuso de potência com as características e dimensões utilizadas é então verificada.

$$\mu > \tan \lambda \cos \alpha \quad (2)$$

Tabela 15 – Valores para condição de autoimobilização do parafuso de potência

	Valor
μ	0,19
$\tan \lambda$	0,11
$\cos \alpha$	0,97
$\tan \lambda \cos \alpha$	0,10

Para proceder ao cálculo do fuso, procedeu-se previamente a um estudo de como seria feito o *pick* da caixa de cartão. Estas caixas chegarão ao ambiente de trabalho do robô através de tapetes rolantes, normalmente este tipo de transportadores são constituídos por um tapete em borracha e, portanto, é necessário considerar o atrito entre a caixa e o tapete quando será feita a recolha da caixa pelo *gripper* do robô. O sistema desenvolvido para o aperto da caixa é composto por uma peça fixa e outra móvel, que é coordenada com o movimento de translação proporcionado pelo parafuso de potência. Como é possível observar na Figura 36, no momento de aperto da caixa existe um arrastamento da caixa sobre o tapete, sendo assim é então necessário considerar o atrito entre os materiais das duas superfícies, o cartão da caixa e a borracha do tapete transportador.

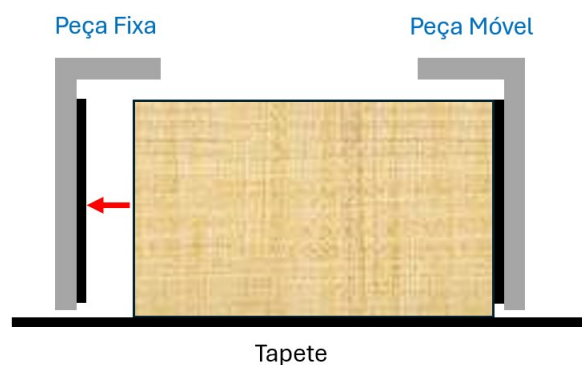


Figura 36 - Esquema representativo do *pick* da caixa de cartão no tapete

O valor do coeficiente de atrito já foi utilizado anteriormente nos cálculos da definição da força de aperto da caixa no subcapítulo anterior, mas neste caso irá ser utilizado o valor mais alto da gama de valores definidos na Tabela 12, para que assim seja também considerado o caso mais desfavorável que é quando o atrito é mais elevado. Para efeitos do cálculo utilizou-se também a massa máxima possível de transportar nas caixas de cartão para este projeto, os 30 kg.

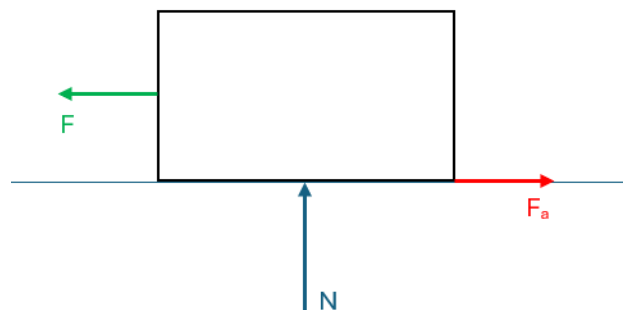


Figura 37 – DCL da caixa no tapete transportador

Considerando então estas variáveis e tendo como base o DCL da Figura 37, calculou-se, através da Equação (3), a força necessária que a peça móvel do *gripper* teria de exercer sobre a caixa para conseguir encostá-la à peça fixa e consequentemente fazer o aperto e a respetiva movimentação.

$$F = F_a \Leftrightarrow F = \mu \times N \quad (3)$$

Os valores utilizados para o cálculo e os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 16. Para o dimensionamento do fuso do parafuso de potência é necessário selecionar o valor maior de força que será necessário que o *gripper* exerça e, portanto, quando se faz a comparação do valor da força de aperto apresentado na Tabela 13 com o valor da força necessária para o encosto da caixa na peça fixa do *gripper*, apresentado na Tabela 16, conclui-se que a força de aperto é maior do que a força de encosto da caixa. Com a obtenção destes valores é então possível fazer o dimensionamento do fuso tendo como base o valor da força de aperto, visto ser esta a força de maior magnitude.

Tabela 16 – Valores para cálculo da força de encosto do *gripper* na caixa

	Valor	Unidades
m_{caixa}	30,00	kg
g	9,81	m/s ²
N	294,30	N
F_a	235,44	N
F	235,44	N

Estando então definida a força necessária para manter a caixa de cartão imobilizada para a sua manipulação, procedeu-se então ao cálculo da força motora de aperto a aplicar no fuso para que seja possível vencer o atrito nos filetes do fuso e a força exterior, no caso esta força toma o valor que está apresentado na Tabela 13. Através da aplicação da Equação (4) foi possível determinar o valor da força de aperto de maneira que seja vencido também o atrito.

$$F_s = \frac{l + \pi \mu d_m \sec \alpha}{\pi d_m - \mu l \sec \alpha} F \quad (4)$$

Determinada a força de aperto, calculou-se também o momento que deve ser aplicado ao fuso de maneira que seja vencida a carga exterior e o atrito nos filetes através Equação (5).

$$M_s = \frac{l + \pi \mu d_m \sec \alpha}{\pi d_m - \mu l \sec \alpha} \frac{F d_m}{2} \quad (5)$$

No cálculo destes dois valores é de realçar que as equações aplicadas para o cálculo da força e do momento aplicados no fuso, para conseguir eficazmente o aperto da caixa de cartão, foram adaptadas, uma vez que as equações usadas dizem respeito a movimentos de elevação de carga por parte de sistemas onde tenham implementados parafusos de potência de rosca trapezoidal [48]. No entanto foi feito o paralelismo com o aperto das caixas como um movimento de subida, possibilitando assim o uso das equações para o correto dimensionamento do parafuso de potência. Na Tabela 17, estão apresentados os valores obtidos da aplicação da Equação (4) e da Equação (5), considerando ainda um coeficiente de segurança para a determinação do momento necessário a aplicar ao parafuso.

Tabela 17 – Valores de força e momento a aplicar no parafuso de potência

	Valor	Unidades
F_s	91,02	N
M_s	0,55	Nm
$c.s$	1,50	-
M_s	0,82	Nm

Neste tipo de transmissão torna-se necessário quantificar as tensões existentes, de modo que possam ser verificadas as escolhas dos parâmetros do fuso, como por exemplo o diâmetro e o material. O objetivo passa por fazer o cálculo do estado de tensão de um ponto genérico através do critério de von Mises, utilizando o tensor das tensões. Este critério faz a transformação do estado triaxial instalado num ponto crítico do fuso, num estado uniaxial equivalente, podendo assim determinar o correto dimensionamento do fuso ou se será necessário proceder a algum tipo de alteração, seja a nível dimensional ou de material.

Para a realização dos cálculos respetivos às tensões desenvolvidas no fusão serão necessários os dados geométricos do fuso que estão apresentados na Tabela 14, bem como os dados mencionados na Tabela 18, considerando que a velocidade máxima do fuso foi calculado tendo em conta o curso do fuso e o tempo estabelecido para a realização dessa distância completa. Para a obtenção do número de filetes acoplados, o comprimento de rosca solicitado à flexão e o momento de inércia da secção retangular dos filetes utilizou-se a Equação (6), a Equação (7) e a Equação (8), respetivamente.

$$n_{fil} = \frac{2F}{\pi d_m \rho_c f p} \quad (6)$$

$$b = \pi d_r n_{fil} \quad (7)$$

$$I = \frac{1}{12} \pi d_r n_{fil} \left(\frac{p}{2}\right)^3 \quad (8)$$

Tabela 18 – Dados para cálculo de tensões no fuso

Descrição	Símbolo	Valor	Unidades
Carga axial máxima	F	294,30	N
Momento máximo	M	546,09	Nmm
Velocidade máxima do cubo	v	173,33	mm/s
Pressão de contacto ^a	ρ_{cf}	7,6	MPa
Número de filetes acoplados ^b	n_{fil}	0,51	-
Comprimento da rosca solicitada à flexão	b	16,13	mm
Momento de inércia da secção dos filetes	I	1,08	mm^4

^a Valor obtido de bibliografia [34]

^b Valor inteiro, neste caso considera-se $n_{fil} = 1$

Para o cálculo da tensão normal aplicou-se a Equação (9). Esta tensão atua em toda a secção do fuso e apresenta um valor negativo já que a tendência é de esmagar o componente [34]. Esta tensão atua na direção normal ao plano perpendicular ao eixo “y” e é exercida nesta mesma direção, por isso é que é utilizado o índice “yy” no símbolo de tensão.

$$\sigma_{yy} = -\frac{F}{A_r} \Leftrightarrow \sigma_{yy} = -\frac{F}{\pi d_r^2} \quad (9)$$

No cálculo do momento fletor máximo utilizou-se a Equação (10). A carga axial que atua de forma a comprimir o componente provoca flexão ao longo da extensão dos filetes. Deste modo é necessário proceder ao cálculo do momento fletor máximo causado por esta força, que se localiza na raiz dos filetes [34].

$$M_{fle} = F \frac{p}{4} \quad (10)$$

A tensão normal de flexão foi obtida através da Equação (11). Esta tensão é causada pela aplicação da força axial topo da raiz dos filetes e atua na direção normal ao plano perpendicular ao eixo “x” e é exercida nesta mesma direção [34].

$$\sigma_{xx} = \frac{6F}{\pi d_r n_{fil} p} \quad (11)$$

Para o cálculo da tensão de corte, causada pela aplicação do momento torsor que o faz rodar, utilizou-se a Equação (12). Esta tensão ocorre no raio exterior do cilindro do fuso, o que corresponde à raiz dos filetes e atua na direção normal ao plano perpendicular ao eixo “y” sendo exercida na direção do eixo “z” [34].

$$\tau_{yz} = \frac{16M_{tor}}{\pi d_r^2} \quad (12)$$

O momento torsor provoca também uma tensão de corte na raiz dos filetes causada por uma força tangencial. Esta força tangencial dá origem a corte puro na secção dos filetes do fuso que é calculado através da Equação (13). Esta tensão de corte atua na direção normal ao plano perpendicular ao eixo “x” e é exercida na direção do eixo “z” [34].

$$\tau_{xz} = \frac{4M_{tor}}{\pi d_r^2 n_{fil} p} \quad (13)$$

O estado de tensão de um ponto crítico do componente mecânico em estudo é caracterizado por quatro componentes de tensão:

- Tensão de compressão devido à carga axial exterior;
- Tensão normal de flexão causada pela carga axial exterior;
- Tensão de corte devido ao momento torsor aplicado no fuso;
- Tensão de corte puro causado pelo momento torsor aplicado no fuso.

Conhecidas estas quatro tensões é então possível proceder ao cálculo da tensão equivalente de von Mises através da Equação (14).

$$\sigma_{vM} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (14)$$

Na Tabela 19 estão apresentados os valores correspondentes das componentes que caracterizam o estado de tensão num ponto crítico do componente mecânico, bem como o valor da tensão equivalente de von Mises que será comparada com a tensão de cedência do material utilizado para o fabrico do fuso do parafuso de potência.

Tabela 19 – Tensões desenvolvidas no fuso do parafuso de potência

Descrição	Símbolo	Valor	Unidades
Tensão normal de compressão	σ_{yy}	-3,75	N/mm^2
Momento fletor máximo	M_{fletor}	294,30	Nmm
Tensão normal de flexão	σ_{xx}	14,05	N/mm^2
Tensão de corte	τ_{yz}	2,78	N/mm^2
Tensão de corte	τ_{xz}	3,38	N/mm^2
Tensão equivalente de von Mises	σ_{vM}	17,94	N/mm^2

O objetivo na determinação da tensão equivalente de von Mises é, como já mencionado, comparar o valor obtido com a tensão de cedência do material de que é fabricado o componente. Essa comparação é feita através da aplicação da Equação (15), e tendo em consideração que a tensão de cedência do material utilizado para o fuso é de 215 Mpa, então o valor da tensão equivalente encontra-se bastante abaixo desse valor, estando o fuso sobredimensionado, no entanto, as dimensões deste componente já são bastante reduzidas e, portanto, optou-se pela utilização do fuso com as dimensões já apresentadas anteriormente.

$$\sigma_{adm} = \sigma_{vM} \leq \frac{\sigma_{ced}}{c.s} \quad (15)$$

Depois de verificados todos os cálculos no dimensionamento do fuso do parafuso de potência, foi então possível proceder à determinação de parâmetros de funcionamento do *gripper* que serão relevantes na escolha e dimensionamento dos restantes elementos associados ao funcionamento de todo o conjunto. O fuso deverá ter um curso de 520 mm para ser possível a movimentação de caixas com as dimensões já mencionadas anteriormente.

Na Tabela 20 é possível perceber que, associado ao curso do fuso, está uma duração do movimento completo do fuso, que foi estabelecido para o projeto tendo em atenção a produtividade do mecanismo. Com estes valores foi possível calcular a velocidade de rotação máxima que o fuso deve ter para que o cubo consiga percorrer a distância total no tempo estipulado e a velocidade de translação do mesmo. Este valor da velocidade de translação será um parâmetro relevante mais à frente no decorrer deste trabalho para a escolha das guias lineares que irão ser acopladas no sistema de aperto das caixas.

Tabela 20 - Características do parafuso de potência no *gripper*

Descrição	Valor	Unidades
Curso ^a	520	mm
Duração do movimento ^b	3	s
Rotações ^c	130	-
Velocidade de rotação	2600	rpm
Velocidade de translação do cubo	0,173	m/s

^a Dimensão obtida no decorrer do projeto do sistema no *Solidworks*

^b Curso completo do fuso, tempo definido para o projeto

^c Rotações necessárias para percorrer o fuso completo

Rolamentos

Os rolamentos rígidos de esferas foram o tipo de rolamento utilizados para incluir neste mecanismo, pelo facto de apresentarem uma grande versatilidade e otimização para que, com elevadas velocidades de rotação, produzam baixo ruído e baixa vibração, além de que o atrito entre as superfícies também apresenta valores reduzidos. Para o dimensionamento destes componentes mecânicos recorreu-se ao catálogo de rolamentos da “*Svenska Kullagerfabriken*” (SKF), uma vez que neste documento estão explicados os passos para um correto dimensionamento e seleção de rolamentos.

Antes da consulta dos procedimentos de dimensionamento foi necessário determinar as cargas externas a que os rolamentos estarão sujeitas durante a sua utilização. Na Tabela 21 estão apresentados os valores das cargas a que estão sujeitos os rolamento, sabendo que a carga radial está relacionada com a massa dos componentes do mecanismo que compõem o sistema de aperto das caixas e a carga axial está relacionada com a força de aperto máxima que poderá ser utilizada. A carga radial foi determinada tendo em conta a massa consultada no projeto CAD no *Solidworks*, à qual foi associada um coeficiente de segurança de 1,5.

Tabela 21 – Cargas aplicadas nos rolamentos

Descrição	Símbolo	Valor	Unidades
Carga axial	F_{axial}	294,30	N
Carga radial	F_{radial}	118,00	N

Com estes valores e consultando a tabela da Figura 38 disponibilizada no catálogo foi possível perceber que um rolamento com diâmetro interno de 3 mm era suficiente para suportar a carga radial a que estarão sujeitos os rolamentos, no entanto, e tendo em conta a capacidade de carga axial, teve de se optar por um rolamento de maiores dimensões. Neste caso os rolamentos foram dimensionados tendo em consideração a sua capacidade de carga axial e não a carga radial. Depois de algumas iterações optou-se por um rolamento com diâmetro interno e externo de 7 mm e 22 mm, respetivamente.

Dimensões principais	Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga P_0	Classificações de velocidade			
	dinâmica C	estática C_0		Velocidade de referência	Velocidade-limite		
d	D	B	kN	kN	r/min		
3	10	4	0,54	0,18	0,007	130 000	80 000
4	9	2,5	0,423	0,116	0,005	140 000	85 000
	11	4	0,624	0,18	0,008	130 000	80 000
	12	4	0,806	0,28	0,012	120 000	75 000
	13	5	0,936	0,29	0,012	110 000	67 000
	16	5	1,11	0,38	0,016	95 000	60 000
5	11	3	0,468	0,143	0,006	120 000	75 000
	13	4	0,884	0,335	0,014	110 000	70 000
	16	5	1,14	0,38	0,016	95 000	60 000
	19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	50 000
6	13	3,5	0,715	0,224	0,01	110 000	67 000
	15	5	0,884	0,27	0,011	100 000	63 000
	19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	50 000
7	14	3,5	0,78	0,26	0,011	100 000	63 000
	17	5	1,06	0,375	0,016	90 000	56 000
	19	6	2,34	0,95	0,04	85 000	53 000
	22	7	3,45	1,37	0,057	70 000	45 000
8	16	4	0,819	0,3	0,012	90 000	56 000
	19	6	1,46	0,465	0,02	85 000	53 000
	22	7	3,45	1,37	0,057	75 000	48 000
	24	8	3,9	1,66	0,071	63 000	40 000

Figura 38 - Classificações básicas de carga de rolamentos rígidos de esferas [49]

O processo iterativo para determinar qual o rolamento mais adequado para o mecanismo consistiu em calcular a capacidade de carga axial dos rolamentos disponíveis no catálogo partindo dos rolamentos com diâmetro interno de 3 mm. A condição que deveria ser verificada para que o rolamento suportasse a carga axial era que essa carga fosse inferior a 0,25 vezes o valor da classificação básica de carga estática, tendo em conta que são rolamentos considerados “pequenos” pelo catálogo (diâmetro interior igual ou inferior a 12 mm) [49]. Na Tabela 22 é possível verificar que o valor de capacidade de carga axial que o rolamento suporta é superior à carga axial a que vai estar sujeito em condições normais de funcionamento, mesmo no caso limite do mecanismo no aperto de caixas de 30 kg.

Tabela 22 – Valores para verificação da carga axial nos rolamentos

Descrição	Símbolo	Valor	Unidades
Classificação básica de carga estática	C_0	1370	N
Classificação básica de carga dinâmica	C	3450	N
Capacidade de carga axial	-	342,5	N
Verificação ^a	$F_{axial} \leq 0,25 \times C_0 \Leftrightarrow 294,30 \leq 342,50$		

^a A equação utilizada para a verificação foi retirado do catálogo da SKF [49]

Servo motor

O servo motor é o componente responsável por fornecer o binário necessário para fazer movimentar o *gripper* para a realização do aperto das caixas. Com os cálculos efetuados para o parafuso de potência, obteve-se um valor do momento necessário a aplicar no fuso do parafuso para, no caso mais crítico de carga, ter a capacidade de realizar a sua função. Com este valor foi então possível procurar um servo motor que tivesse a capacidade de produzir um binário que satisfizesse o requisito de momento apresentado na Tabela 17. Após uma pesquisa sobre os servo motores existentes no mercado, optou-se por um componente com as características apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 – Características do servo motor EMMB-AS-60-04-K-S30MB da Festo

Descrição	Valor	Unidades
Binário nominal	1,27	<i>Nm</i>
Binário de pico	3,81	<i>Nm</i>
Velocidade de rotação nominal	3000	<i>rpm</i>
Velocidade de rotação máxima	6000	<i>rpm</i>
Potência nominal	400	<i>W</i>

Tendo em consideração que o servo motor será implementado num sistema de funcionamento intermitente, com paragens constantes e acionamentos rápidos, a característica mais relevante para a seleção foi o binário nominal e o binário de pico, sendo que estes valores deveriam ser superiores ao necessário que foi calculado. Na aplicação destes componentes, o binário de pico deve ser superior ao necessário fazendo com o componente não funcione constantemente no seu limite e, conseqüentemente, aumenta a sua durabilidade, mantém a sua eficiência e evita consumos desnecessários de energia. Relativamente ao binário nominal, esta característica esta relacionada com o valor de binário que o servo motor produz continuamente em velocidade e potência nominal, sendo que este valor também deverá ser superior ao valor calculado para o funcionamento do sistema.

Perfil da Correia Dentada

Para determinar o tipo de correia dentada para ser utilizada neste projeto, optou-se pela consulta de um catálogo de um fornecedor deste tipo de componentes, no caso da “*Optibelt*”, onde são esclarecidos todos os fatores de que dependem a escolha do perfil da correia dentada.

Para a escolha do perfil da correia foi necessário proceder ao cálculo da potência de projeto, que depende de um fator denominado fator de carga total (C_2). Este fator é determinado através da soma de outros três fatores:

Métodos e Aplicação

- Fator de carga básico (C_0)

Este fator está relacionado com o tempo de funcionamento diário da correia dentada, o tipo de acionamento da correia e com o motor principal que faz esse acionamento [50]. Tendo em conta que é um sistema para paletização robótica, o seu funcionamento será contínuo ao longo de todo o dia e como será feito o acionamento através de um servo motor, então este valor do coeficiente de carga básico toma o valor destacada na Figura 39.

Load type and examples for work machines	Load type and examples for drive machines			
	Continuous running		Non-continuous running	
	Basic load factor c_0 with daily operation times			
	up to 16 h	up to 16 h	up to 16 h	over 16 h
Light drives, shock-free with smooth running characteristics Measurement devices Film cameras Office machines Conveyor systems (light goods)	1.3	1.4	1.4	1.5
Medium drives, operation with smaller to medium intermittent shock strain Mixing machines Kitchen machines Printing shop machines Textile machines Packaging machines Conveyor systems (heavy goods)	1.6	1.7	1.8	1.9
Heavy drives, operation with medium to high intermittent shock strain Tool machines Wood processing machines Eccentric drives Conveyor systems (heavy goods)	1.8	1.9	2.0	2.1
Extremely heavy drives, operation with high constant shock strain Mills Colenders Extruders Piston pumps/compressors Lifting appliances	2.0	2.1	2.2	2.3

Figura 39 – Fator de carga básico [50]

- Fator de correção de velocidade (C_3)

Para a determinação do fator de correção de velocidade era necessário ter em conta o rácio de velocidade, que desde o início se apontou para um relação de 1 para 2, o que se traduz num rácio de velocidade de 2 e consultando a tabela apresentada na Figura 40 do catálogo pode observar-se que este fator de correção de velocidade toma o valor de 0, que não tem influência no fator de carga total.

Speed correction i	Speed correction factor c_3
1.00–0.80	0.0
0.79–0.57	0.1
0.56–0.40	0.2
0.39–0.28	0.3
0.27 and smaller	0.4

Figura 40 – Fator de correção de velocidade [50]

- Fator de correção de fadiga (C_6)

Relativamente ao fator de correção respetivo à fadiga, é possível observar na tabela da Figura 41, presente no catálogo, que tendo em conta o tempo de operação do equipamento, o valor deste fator será aquele que se encontra destacado.

Operating conditions	Fatigue correction factor c_6
Use of tension or guide idlers	0.2
Operating time 16 to 24 hours	0.2
Only infrequent or occasional operation	- 0.2

Figura 41 – Fator de correção de fadiga [50]

Através da Equação (16) foi possível então fazer o cálculo do fator de carga total, mas como é indicado no catálogo que em situações onde a correia será implementada num sistema de arranques e paragens frequentes então este fator de carga total deve ser igual ou superior à relação entre o binário de arranque e o binário nominal.

$$C_2 = C_0 + C_3 + C_6 \quad (16)$$

Com a consulta do catálogo e seguindo todos os procedimentos indicados no mesmo, foi possível determinar a potência de projeto através da Equação (17). Na Tabela 24 encontram-se todos os dados relativos aos fatores referidos anteriormente bem como a relação entre o binário de arranque e o binário nominal, que no caso será o valor que se adotou para o cálculo da potência de projeto.

$$P_B = P \times C_2 \quad (17)$$

Tabela 24 – Dados para determinação do perfil da correia dentada

	Valor	Unidades
C_0	1,7	-
C_3	0	-
C_6	0,2	-
C_2	1,9	-
M_a/M_N	3	-
P_B	1,2	kW
$n_{Polia\ menor}$	6000	rpm

Os modelos de correia dentada da Optibelt “OMEGA HP” são os mais indicados para projetos económicos uma vez que apresentam desempenhos elevados, sendo que são aplicáveis tanto para acionamentos de elevada velocidade como para baixa velocidade [50]. Com o valor da potência de projeto calculado e a velocidade de rotação da polia menor, neste caso a polia motora associada ao servo motor, foi então possível obter o tipo de perfil mais adequado da correia dentada, através do diagrama apresentado na Figura 42, a ser aplicado neste sistema de transmissão. Para integrar este sistema de transmissão optou-se então pelo perfil “3M” do modelo “OMEGA HP” da Optibelt.

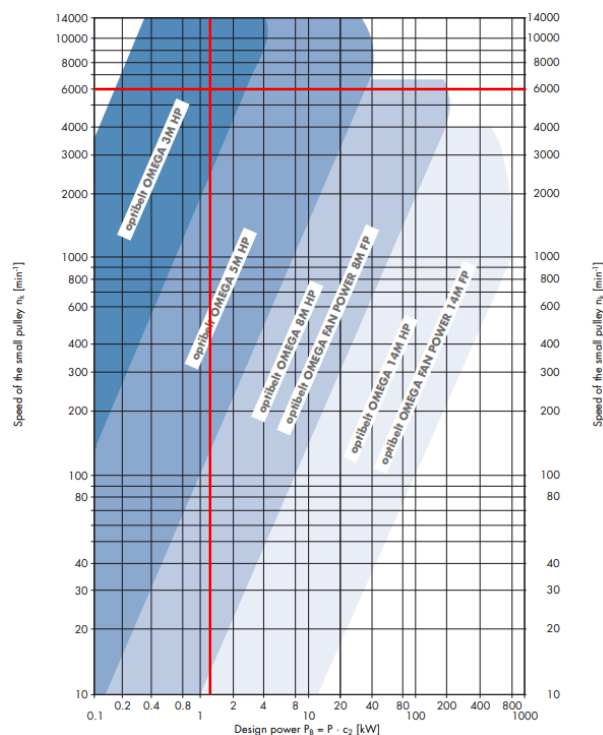


Figura 42 – Diagrama de seleção do perfil da correia dentada [50]

Polias

Neste mecanismo a transmissão de binário do servo motor para o fuso do parafuso de potência é feito através de um sistema de correia dentada com polias. No servo motor será acoplada uma polia de menores dimensões do que aquela que será colocada no fuso, sendo que o objetivo desde o início seria conseguir uma relação de velocidade de 2. Considerando que inicialmente se começou pela seleção do servo motor, então a escolha das dimensões da polia motora passava por adequar o tipo de polia com o servo motor. A escolha e dimensionamento das polias foi realizada através da consulta do mesmo catálogo utilizado para a escolha do tipo de correia dentada, uma vez que as polias e a correia dentada devem possuir o mesmo tipo de perfil para um correto desempenho da sua função. A polia menor, que é a polia motora, apresenta as dimensões mencionadas na Tabela 25 e foi selecionada tendo em conta as dimensões do veio de saída do servo motor.

Tabela 25 – Características da polia menor

	Símbolo	Valor	Unidades
Velocidade de rotação	n_k	6000	<i>rpm</i>
Número de dentes	z_k	32	-
Diâmetro do passo	d_{wk}	30,56	<i>mm</i>

Como já tinha sido calculado anteriormente a velocidade de rotação do fuso teria de ser de 2600 rpm no caso mais extremo para caixas de 30 kg, então a polia maior teria de apresentar essa mesma velocidade de rotação e através da Equação (18) calculou-se a relação de velocidade inicial. Recorrendo depois à mesma equação foi possível proceder ao cálculo do número de dentes da polia maior para que fosse possível obter esse valor de relação de velocidade, no entanto, consultando o catálogo, a polia com o número de dentes mais próximo do calculado possui as características apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 – Características da polia maior e relações de velocidade

	Símbolo	Valor	Unidades
Velocidade de rotação	n_g	2600	<i>rpm</i>
Relação de velocidade inicial	i	2,31	-
Número de dentes ^a	z_g	73,85	-
Número de dentes	z_g	72	-
Diâmetro do passo	d_{wg}	68,75	<i>mm</i>
Relação de velocidade final	i	2,25	-
Velocidade de rotação final	n_2	2667	<i>rpm</i>

^a Valor obtido através da aplicação da Equação (18) disponível no catálogo da "Optibelt" [50]

Depois de selecionadas as dimensões das duas polias procedeu-se ao cálculo da relação de velocidade final das polias, para que com este valor fosse possível determinar a velocidade de rotação final da polia maior de maneira que fosse verificado se essa velocidade cumpriria com a velocidade necessária definida anteriormente para o aperto das caixas com 30kg.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (18)$$

Como é possível observar na Tabela 26 o valor da velocidade de rotação final da polia maior é superior ao valor da definida inicialmente, o que quer dizer que estas duas polias com as características mencionadas anteriormente, são capazes de, juntamente com a correia dentada, realizar a transmissão de binário do servo motor para o fuso do parafuso de potência garantindo as velocidades de rotação necessárias.

Para a montagem das polias foi necessário também proceder ao cálculo da distância mínima e máxima entre os centros das polias, para isso utilizou-se a Equação (19) e a Equação (20), respetivamente. Na Tabela 27 estão apresentados os valores que correspondem ao intervalo de dimensões que devem ser respeitadas no posicionamento das polias.

$$a > 0,5(d_{wk} + d_{wg}) + 15 \quad (19)$$

$$a < 2,0(d_{wk} + d_{wg}) \quad (20)$$

Tabela 27 – Distância entre centros das polias

	Símbolo	Valor	Unidades
Distância mínima	a_{min}	64,66	mm
Distância máxima	$a_{máx}$	198,62	mm

Correia dentada

Depois de selecionar o perfil da correia dentada e as dimensões das polias que iriam ser utilizadas no sistema de transmissão, procedeu-se à determinação das características da correia, nomeadamente o comprimento do passo e o número de dentes. Para o cálculo do comprimento do passo da correia utilizou-se a Equação (21), recorrendo aos valores apresentados em tabelas anteriores. Determinado este valor, consultou-se o catálogo da “Optibelt” para escolher uma correia que tivesse um comprimento do passo padronizado perto deste valor calculado.

$$L_{wth} = 2a + \frac{\pi}{2}(d_{wg} + d_{wk}) + \frac{(d_{wg} - d_{wk})^2}{4a} \quad (21)$$

Com o valor do comprimento do passo padrão, calculou-se a distância entre centros das polias, para que fosse possível de utilizar uma correia dentada com dimensões *standard*. Para o cálculo desta distância é necessário calcular um valor de “K”, que é obtido através da Equação (22), e depois introduzido na Equação (23), para obter então o valor da distância entre centros

$$K = \frac{L_{wst}}{4} - \frac{\pi}{8}(d_{wg} + d_{wk}) \quad (22)$$

$$a_{nom} = K + \sqrt{K^2 - \frac{(d_{wg} - d_{wk})^2}{8}} \quad (23)$$

Depois de calculados estes valores procedeu-se à determinação de dois ajustes necessários para a tensão da correia e para a sua montagem nas polias. Através da Equação (24) calculou-se o ajuste mínimo para a que a correia dentada esteja tensionada e a funcionar corretamente.

$$x = 0,004a_{nom} \quad (24)$$

Através da tabela apresentada na Figura 43 foi possível determinar o ajuste mínimo necessário para realizar a montagem da correia no sistema de transmissão, utilizando para isso o passo da correia e sabendo que apenas uma das polias possui flange, a polia motora que está acoplado ao servo motor.

Pitch [mm]	Flange on one timing pulley [mm]	Flange on both timing pulleys [mm]
2	6	12
3	8	14
5	14	19
8	22	33
14	36	58

Figura 43 – Ajuste mínimo para montagem da correia dentada [50]

Uma característica importante deste sistema de transmissão é o número de dentes em contacto entre a polia menor e a correia. Este número foi obtido através da aplicação da Equação (25).

$$z_e = \frac{z_k}{6} \left(3 - \frac{d_{wg} - d_{wk}}{a_{nom}} \right) \quad (25)$$

Este número de dentes em contacto na polia menor será utilizado para obter o fator de dentes em malha para a verificação do requisito de potência da correia, juntamente com o fator de comprimento da correia. O requisito que deve ser verificado na correia dentada está relacionado com a potência nominal transmissível da correia e a potência de projeto definida para a determinação do perfil da correia dentada. Este requisito foi verificado através da Equação (26) e os dois fatores mencionados anteriormente foram obtidos através das tabelas da Figura 44 e da Figura 45.

$$P_U \geq P_B \Leftrightarrow P_N \times c_1 \times c_7 \geq P_B \quad (26)$$

Number of meshing teeth	Teeth in mesh factor c_1
≥ 6	1.0
5	0.8
4	0.6
3	0.4
2	0.2

Pitch length [mm]	c_7
≤ 190	0.8
$> 190 \leq 260$	0.9
$> 260 \leq 400$	1.0
$> 400 \leq 600$	1.1
> 600	1.2

Figura 44 – Fator de comprimento da correia [50]

Figura 45 – Fator de dentes em malha [50]

Na Tabela 28 estão apresentados todos os dados respetivos à correia dentada bem como a verificação do requisito de potência que garante o devido funcionamento do sistema de transmissão desenvolvido para este *gripper*.

Tabela 28 – Características da correia e verificação de potência

	Símbolo	Valor	Unidades
Comprimento do passo padrão	L_{wst}	300	mm
Número de dentes a correia	Z	100	-
Valor de “K”	K	36	-
Distância entre centros	a_{nom}	69,37	mm
Ajuste mínimo para tensão	x	0,28	mm
Ajuste mínimo para montagem da correia	y	8	mm
Número de dentes em contacto	z_e	13	-
Fator de comprimento da correia	c_7	1	-
Fator de dentes em malha	c_1	1	-
Potência nominal ^a	P_N	2202	W
Potência nominal transmissível	P_U	2202	W
Potência de projeto	P_B	1200	W
Requisito de potência	$P_U \geq P_B$	2202 ≥ 1200	

^a Valor obtido através da consulta da tabela da Figura 46 com a aplicação do fator de correção apresentado na Figura 47

Para a determinação da largura da correia dentada foi necessário recorrer a um processo iterativo partindo do valor obtido através da consulta da tabela apresentada na Figura 46. Numa fase inicial utilizou-se este valor, mas verificou-se que não cumpria o requisito de potência e, portanto, houve a necessidade de escolher uma largura de correia superior e visto que, acima de 9 mm de largura o tamanho *standard* era 15 mm, optou-se pela utilização de uma correia com essa largura. Para obtenção da potência nominal da correia com uma espessura diferente de 9 mm foi necessário multiplicar pelo fator de correção apresentado na tabela da Figura 47.

Nominal power P_N [W] for profile and design 3M HP and a timing belt width of 9 mm															
Speed of the small pulley n_1 [min ⁻¹]	Number of teeth on the small pulley z_1														
	10	12	14	16	18	20	24	28	32	40	48	56	64	72	80
	Pitch diameter of the small pulley d_{p1} (mm)														
	9.55	11.46	13.37	15.28	17.19	19.10	22.92	26.74	30.56	38.20	45.84	53.48	61.12	68.75	76.39
20	2.7	3.4	4.1	4.8	5.6	6.4	8.0	9.8	11.5	14.9	18.4	21.6	24.5	27.3	30.0
40	5.2	6.5	7.8	9.2	10.7	12.1	15.2	18.6	21.8	28.5	35.0	41.2	46.7	52.0	57.3
60	7.6	9.5	11.4	13.4	15.5	17.7	22.2	27.0	31.8	41.4	51.0	60.1	68.0	75.8	83.5
100	12.3	15.3	18.4	21.7	25.1	28.7	36.0	43.5	50.9	66.1	81.6	96.3	109.3	122.2	134.7
200	23.3	28.9	34.8	40.9	47.4	54.1	67.7	81.9	95.5	125.0	154.7	183.0	207.1	231.6	255.9
300	31.6	39.4	47.7	56.3	65.6	74.7	93.8	113.6	133.0	173.9	215.1	253.9	287.6	321.9	354.5
400	39.6	49.4	59.7	70.6	82.0	93.3	116.7	141.0	165.6	216.0	268.0	315.6	358.2	400.2	441.5
500	46.3	58.1	70.6	83.6	97.3	111.3	138.6	167.6	197.0	255.8	317.1	372.8	423.0	473.3	521.3
600	52.3	65.6	80.1	95.3	112.1	128.1	160.0	192.4	226.5	294.0	363.6	426.9	485.0	541.8	597.5
700	58.6	73.9	90.0	106.9	125.6	143.7	180.5	217.4	254.7	330.1	407.7	478.8	544.0	607.6	669.7
800	66.1	82.8	100.2	118.6	138.5	158.5	199.2	240.6	281.3	365.0	451.0	529.0	601.0	671.0	739.0
900	71.5	89.0	109.3	129.7	152.0	173.5	217.4	262.8	307.9	399.0	491.0	577.0	655.0	731.0	807.0
950	74.0	92.7	113.3	135.0	157.8	180.8	226.5	273.4	320.6	415.0	512.0	600.0	682.0	761.0	839.0
1000	76.5	96.3	117.4	140.3	164.5	188.1	235.7	284.1	333.2	432.0	531.0	624.0	708.0	791.0	871.0
1200	86.3	109.3	133.7	160.0	187.7	214.8	270.7	326.5	382.2	496.0	609.0	713.0	809.0	902.0	994.0
1400	96.0	122.0	149.7	179.1	211.0	241.7	303.4	366.0	428.2	554.0	680.0	797.0	903.0	1009.0	1110.0
1450	98.5	124.8	153.7	183.6	216.8	247.8	311.9	375.0	439.1	569.0	698.0	818.0	927.0	1034.0	1139.0
1600	106.4	135.2	164.9	197.4	232.5	266.6	335.1	404.3	473.1	611.0	749.0	877.0	995.0	1110.0	1221.0
1800	117.0	148.0	180.0	215.0	253.0	290.0	365.0	440.0	515.0	667.0	816.0	955.0	1082.0	1207.0	1326.0
2000	125.0	158.0	193.0	231.0	272.0	312.0	395.0	475.0	557.0	718.0	879.0	1029.0	1165.0	1298.0	1427.0
2400	141.0	178.0	219.0	263.0	309.0	356.0	450.0	543.0	635.0	819.0	1000.0	1168.0	1322.0	1471.0	1613.0
2850	155.0	198.0	245.0	296.0	350.0	403.0	509.0	614.0	718.0	923.0	1125.0	1313.0	1484.0	1648.0	1792.0
3200	170.0	216.0	266.0	320.0	379.0	436.0	552.0	665.0	779.0	1001.0	1218.0	1419.0	1601.0	1775.0	1940.0
3600	182.0	233.0	287.0	347.0	411.0	473.0	599.0	722.0	845.0	1084.0	1317.0	1531.0	1724.0	1907.0	2079.0
4000	194.0	248.0	308.0	372.0	441.0	508.0	644.0	776.0	907.0	1163.0	1409.0	1635.0	1837.0	2028.0	2203.0
5000	221.0	284.0	350.0	427.0	507.0	587.0	743.0	896.0	1047.0	1335.0	1608.0	1853.0	2065.0	2257.0	2425.0
6000	246.0	317.0	395.0	479.0	571.0	661.0	838.0	1011.0	1178.0	1495.0	1788.0	2045.0	2257.0	2440.0	2587.0
7000	265.0	344.0	429.0	523.0	625.0	724.0	919.0	1105.0	1286.0	1621.0	1919.0	2169.0	2359.0	2506.0	2598.0
8000	284.0	368.0	462.0	564.0	676.0	784.0	994.0	1194.0	1385.0	1733.0	2030.0	2264.0	2420.0	2517.0	2537.0
10000	320.0	418.0	515.0	632.0	759.0	880.0	1114.0	1334.0	1534.0	1877.0	2128.0	2277.0	2393.0		
12000	349.0	452.0	566.0	690.0	822.0	954.0	1204.0	1428.0	1624.0	1920.0	2064.0				
14000	347.0	458.0	583.0	721.0	869.0	1006.0	1260.0	1476.0	1651.0	1856.0					

Figura 46 – Potência nominal da correia dentada

Width correction factor							
Profile and design 3M HP							
Belt width [mm]	3	Standard 6	Standard 9	12	Standard 15	20	25
Factor	0.28	0.61	1.00	1.44	1.87	2.63	3.40

Figura 47 – Fator de correção de largura da correia

A realização de uma transmissão de potência correta faz com que se consiga obter uma maior rentabilidade do componentes utilizados e neste caso que a correia possua um vida útil longa. A tensão aplicada à correia no momento da instalação é muito importante para o desempenho da sua função e tensões aplicadas à correia muito altas ou muito baixas provocará a sua falha prematura.

Depois de tensionar a correia é possível verificar se efetivamente essa tensão está correta, normalmente com a experiência de profissionais, estes já sabem se a tensão aplicada está aceitável, no entanto, para obter a máxima eficiência e vida útil do sistema a “Optibelt” recomenda que sejam calculados os parâmetros que permitem identificar que a correia está com a devida tensão e uma vez que as suas correias possuem um alongamento reduzido, não será necessário voltar a tensionar a correia desde que esta seja usada da forma correta [50]. Para determinar se a correia está corretamente tensionada foi necessário proceder ao cálculo da deformação que a correia deveria de ter a meio vão, para que depois ao aplicar uma força de ensaio o valor da deformação não exceda o valor calculado, como se ilustra na Figura 48.

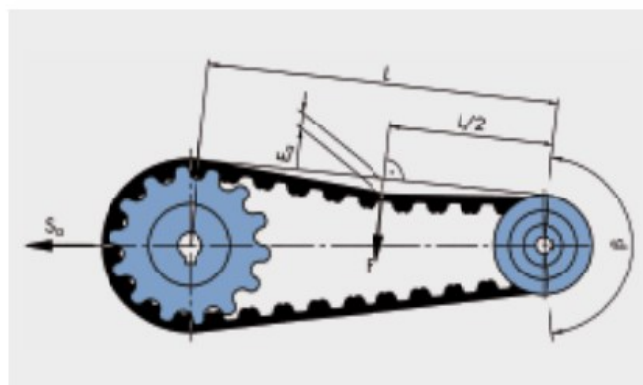


Figura 48 – Representação da verificação da tensão na correia dentada [50]

Inicialmente começou-se por calcular velocidade tangencial na polia motora através da Equação (27). Depois de terminar este valor calculou-se a força circunferencial transmitida, através da Equação (28) para que depois fosse possível de introduzir na Equação (29) e proceder ao cálculo da força de ensaio que será utilizada para determinar a deformação a meio vão da correia.

$$v_t = \frac{d_{wk} n_k}{19100} \quad (27)$$

$$S_{n3} = \frac{P \times 1000}{v_t} \quad (28)$$

$$F_{ensaio} = \frac{S_{n3}}{20} \quad (29)$$

O comprimento total do vão do sistema de transmissão foi determinado através da Equação (30), para que depois fosse introduzido na Equação (31) e determinar assim a deformação da correia quando aplicada a força de ensaio e que se traduz numa tensão correta da correia que permitirá o devido funcionamento do sistema.

$$L = \sqrt{a_{nom}^2 - \left(\frac{d_{wg} - d_{wk}}{2}\right)^2} \quad (30)$$

$$E_a = \frac{L}{50} \quad (31)$$

A “Optibelt” possui um dispositivo que é utilizado para verificar a frequência de vibração da correia e assim determinar se esta se encontra corretamente tensionada. Para determinar essa frequência de vibração foi necessário proceder ao cálculo da carga estática mínima no eixo, através da Equação (32), e de um valor de “T” que foi obtido através da aplicação da Equação (33). Com estes valores determinados utilizou-se então a Equação (34) para proceder ao cálculo da frequência de vibração da correia que deverá ser medida pelo dispositivo para que esteja com a devida tensão aplicada.

$$S_a = S_{n3} \times 1,1 \quad (32)$$

$$T = 0,5 \times S_a \quad (33)$$

$$f = \sqrt{\frac{T}{4 \times k \times L^2}} \quad (34)$$

Na Tabela 29 encontram-se apresentados todos os valores respetivos às equações anteriormente mencionadas e que serviram de base para o cálculo da deformação da correia através da aplicação da força de ensaio a meio vão, e da determinação da frequência de vibração da correia.

Tabela 29 – Características do sistema de transmissão para verificação da tensão da correia dentada

	Símbolo	Valor	Unidades
Velocidade tangencial	v_t	9,60	m/s
Força circunferencial transmitida	S_{n3}	41,67	N
Força de ensaio	F_{ensaio}	2,08	N
Comprimento do vão	L	66,69	mm
Deformação da correia	E_a	1,33	mm
Carga estática mínima no eixo	S_a	45,83	N
Valor de “T”	T	22,92	N
Peso por metro	k	0,024	kg/m
Frequência de vibração	f	231,67	Hz

Guias Lineares

No sistema de aperto das caixas utilizou-se dois sistemas de guias lineares com o objetivo de realizar o movimento de fecho ou de abertura do *gripper* de forma linear. Estas guias são compostas por um trilho perfilado e um carro guia. Para determinar quais as dimensões adequadas para implementar no sistema recorreu-se à velocidade máxima de translação que o mecanismo poderá atingir, valor esse que já tinha sido determinado e encontra-se apresentado na Tabela 20. Com este valor procedeu-se a uma pesquisa de sistemas de guia existentes no mercado e selecionou-se um modelo de trilho que satisfizesse a condição de velocidade máxima do cubo e que fosse possível de incluir no sistema desenvolvido, devido à necessidade de possuírem dimensões reduzidas. O sistema de guiamento utilizado no sistema suporta a velocidade máxima que está apresentada na Tabela 30, sendo que este é um modelo em miniatura o que permitiu uma otimização do espaço ao incorporar no mecanismo.

Tabela 30 – Característica do sistema de guiamento

Descrição	Valor	Unidades
Velocidade de translação do cubo	0,173	<i>m/s</i>
Velocidade máxima de deslocamento ^a	3	<i>m/s</i>

^a Valor obtido do fornecedor do sistema de guiamento [40]

3.3.2. Sistema de aperto das paletes

O sistema desenvolvido para a manipulação das Europaletes é constituído por dois cilindros pneumáticos e um sistema de guiamento semelhante ao utilizado no sistema de aperto das caixas. Para o dimensionamento dos cilindros teve-se em conta o peso próprio de cada Europaleta e a partir daí conseguiu-se determinar qual o tamanho de cada cilindro para que fosse possível fixar a europaleta, de forma que a sua manipulação fosse feita de maneira segura e correta.

Cilindros Pneumáticos

Como já mencionado anteriormente, uma Europaleta normalmente possui uma massa de 25 kg, partindo deste valor calculou-se o seu peso próprio e determinou-se a força total que seria necessário para garantir a fixação da europaleta. Considerando o coeficiente de segurança que foi utilizado ao longo dos restantes dimensionamentos e que o sistema é constituído por dois cilindros pneumáticos, determinou-se a força que cada cilindro pneumático deveria exercer. Na Tabela 31, encontram-se apresentados todos os valores utilizados até à determinação da força de aperto final.

Tabela 31 – Características do sistema de aperto da Europaleta

Descrição	Símbolo	Valor	Unidades
Massa da Europaleta	$m_{Europaleta}$	25	<i>kg</i>
Peso próprio da Europaleta	$P_{Europaleta}$	245,25	<i>N</i>
Coefficiente de segurança	<i>c. s</i>	1,5	-
Força de aperto necessária	F_{aperto}	367,88	<i>N</i>
Número de cilindros	$N_{cilindros}$	2	-
Força de aperto por cilindro	$F_{cilindro}$	183,94	<i>N</i>

Depois de determinar a força que cada cilindro pneumático deveria exercer na Europaleta, fez-se uma pesquisa sobre fornecedores destes componentes. Para incorporar neste sistema, um dos requisitos de seleção dos cilindros era que fossem compactos, de maneira que ocupassem pouco espaço e que fossem leves. Para além disto, os cilindros deveriam ter um curso curto, uma vez que não haverá variações na espessura da madeira da Europaleta, no entanto deverão possuir um curso suficiente para apertar a Europaleta em duas posições distintas, que serão mencionadas mais à frente, permitindo que não existam limitações da forma como é feito o *pick and place* da europaleta. Na Tabela 32 estão apresentadas as características dos cilindros pneumáticos selecionados para incorporar no sistema de manipulação das europaletes.

Tabela 32 – Características do cilindro pneumático selecionado

Descrição	Valor	Unidades
Força teórica em avanço	295	<i>N</i>
Força teórica em retração	247	<i>N</i>
Diâmetro do pistão	25	<i>mm</i>
Curso	40	<i>mm</i>

3.3.3. Estrutura exterior

A estrutura exterior é onde serão acoplados os sistemas de aperto. Esta estrutura deverá apresentar uma massa não superior a 10 kg e que seja capaz de suportar todos os esforços a que estará sujeita, para a realização da montagem de todos os componentes em segurança. Inicialmente desenvolveu-se uma peça única que seria fabricada por fundição, no entanto, e tendo em conta o processo de fabrico, rapidamente se colocou esta hipótese de lado para dar vez à utilização de perfis de alumínio, que para além de serem leves, possuem também uma boa resistência. A utilização deste tipo de elementos permite uma maior facilidade de montagem de todos os sistemas desenvolvidos e maior praticidade no caso de necessidade de substituição, reparação ou manutenção dos componentes.

Os perfis de alumínio permitem também que no futuro, caso exista a necessidade de efetuar alguma alteração ao *end-effector* ou até adicionar algum sistema para desempenhar uma função diferente, apenas seja necessário acrescentar mais alguns perfis através da utilização de conectores e rapidamente se consegue uma alteração ou melhoria do conjunto.

O tipo de perfil utilizado na construção da estrutura exterior encontra-se exemplificado na Figura 49 e as suas dimensões bem como a força máxima que suporta encontram-se apresentados na Tabela 33. A força máxima suportada pelos perfis utilizados tem a direção que está demonstrada no esquema da Figura 50.

Tabela 33 – Característica dos perfis de alumínio

Descrição	Valor	Unidades
Largura	40	mm
Altura	40	mm
Força máxima ($F1$)	2,5	kN



Figura 49 – Perfil de alumínio [51]

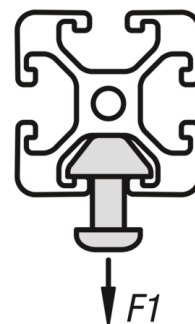


Figura 50 – Representação esquemática do perfil [51]

Para fazer a união dos perfis de forma a constituir a estrutura desejada, utilizou-se uns conectores apropriados para o efeito e que garantem o encaixe e aperto correto nas uniões dos perfis. Na Figura 51 é possível perceber como é feita essa ligação.

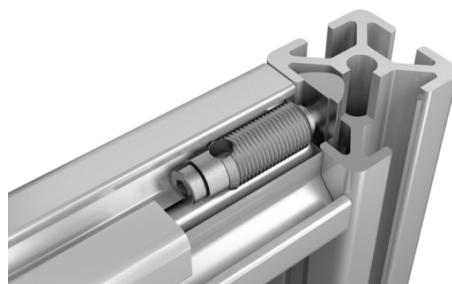


Figura 51 – Exemplo da utilização dos conectores [51]

3.3.4. Robô para manipulação

Para além do processo de desenvolvimento do *end-effector* foi também necessário proceder á seleção do robô onde será acoplado todo o mecanismo. Atualmente no mercado existem robôs que são específicos para desempenhar determinadas funções, possuindo características que os favorecem durante a realização da tarefa para o qual foram selecionados. Os robôs articulados são os mais indicados para tarefas de soldadura, pintura e manuseamento de componentes, no entanto existem robôs que foram desenvolvidos apenas para a realização de tarefas de paletização.

Para este projeto selecionou-se um robô articulado da ABB de tamanho grande, tendo em conta a sua capacidade de carga e uma otimização do espaço de trabalho. Apesar da ABB dispor de robôs completamente pensados para realização de tarefas de paletização, estes apresentam uma capacidade de carga útil mais alta do que a carga máxima que será necessária movimentar neste projeto e são robôs que apenas possuem 4 eixos de movimento. Por estas razões optou-se pela utilização de um robô articulado da gama de robôs grandes da ABB, que foram desenvolvidos com um *design* compacto para diminuição do seu peso, com capacidade de atingir elevadas acelerações evitando obstáculos num curto espaço e com uma elevada capacidade de produção e maior produtividade [52]. Este modelo de robô articulado possui 3 posições de montagem para ser integrado numa linha de produção com o objetivo de retirar o máximo de proveito das suas características, permitindo também neste caso o acoplamento de um *end-effector* para realizar as tarefas propostas com a máxima eficiência e com grande cadência de trabalho. Comparativamente com os robôs desenvolvidos especificamente para paletização, este modelo de robô articulado possui 6 eixos de movimento que é necessário para o tipo de paletização que será realizado pelo equipamento. O robô com 4 eixos não permitiria a movimentação das paletes da maneira que é pretendida uma vez que para fazer o *pick and place*, as paletes teriam de estar obrigatoriamente apenas numa posição, o que não é o pretendido, já que uma das vantagens do *end-effector* desenvolvido é a não restrição da posição das paletes tanto no momento do *pick* como no momento de *place*. Na Tabela 34 estão apresentadas as características principais do robô articulado selecionado para implementar o *end-effector* desenvolvido.

Tabela 34 – Características principais do robô

Descrição	Valor	Unidades
Capacidade de carga	90	<i>kgf</i>
Alcance	2,7	<i>m</i>
Número de eixos	6	-

Na Figura 52 está representado o modelo de robô selecionado e na Figura 53 encontra-se representada a sua área de trabalho, destacando-se o alcance do braço robótico nas diferentes direções.



Figura 52 – Robô articulado IRB 5710 [53]

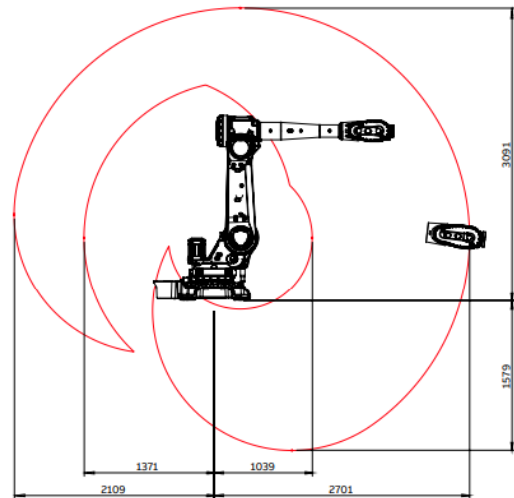


Figura 53 – Área de trabalho do robô IRB 5710-90/2.7

3.4. Materiais

Um dos fatores mais importantes no desenvolvimento de um projeto é a seleção dos materiais adequados para os componentes que serão integrados nos mecanismos. Selecionar materiais que não possuam as características ideais para desempenhar determinada função poderá provocar um funcionamento anormal do mecanismo, e conseqüente provocar um maior desgaste dos componentes ou até a perda total dos mesmos. Neste subcapítulo serão apenas mencionados os materiais que foram selecionados para peças que necessitam de ser produzidas através de processos de maquinagem ou de componentes que existem no mercado, mas que possam ser de materiais diferentes. Para os restantes componentes serão apresentados em anexo as suas fichas técnicas onde poderá ser consultado entre outras características, os materiais dos mesmos.

Neste mecanismo o parafuso de potência, representado na Figura 54, é um dos componentes com maior importância e que é necessário que seja garantido o seu correto funcionamento. Este componente é na verdade constituído por dois elementos, o cubo e o fuso, em que normalmente o fuso poderá ser em aço com baixo teor em carbono ou em aço inoxidável, já relativamente ao cubo, este poderá ser em ligas de bronze e de cobre, que são materiais mais dúcteis e de fácil substituição em caso de necessidade [34]. Tendo em conta o fornecedor selecionado para a obtenção deste elemento mecânico, optou-se por escolher um fuso em aço inoxidável AISI 303. Para o fuso era necessário selecionar um material que fosse resistência à corrosão, tivesse uma boa resistência mecânica e que fosse fácil de maquinagem uma vez que a este elemento será necessário aplicar processos de maquinagem para obter a peça final de maneira que seja incorporada e adaptada ao mecanismo desenvolvido. Para o cubo optou-se por uma liga de bronze e estanho, a RG7, que apresenta também uma boa maquinabilidade, resistência à corrosão e é sobretudo utilizada em componentes deslizantes como é o caso deste sistema.

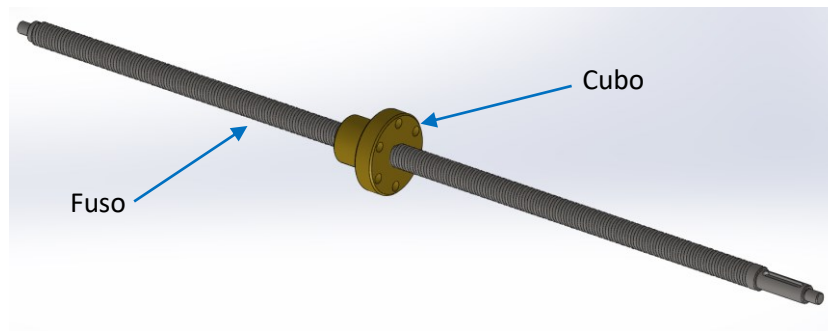


Figura 54 – Parafuso de potência

O parafuso de potência para funcionar devidamente, necessita de ter acoplado nas suas extremidade componentes que permitam a sua rotação, que são os rolamentos. Estes rolamentos por sua vez necessitam de um local onde possam ser montados e que restrinja o seu movimento de translação, permitindo só movimentos de rotação. Para incorporar neste sistema será necessário proceder à modelação de uma chumaceira com dimensões específicas para integrar no mecanismo. Desenvolveu-se então o componente que está representado na Figura 55, e que será produzido também em aço inoxidável AISI 304. Este material é bastante utilizado na indústria atualmente e apresenta boas características de maquinabilidade, essencial para a produção da peça em questão.

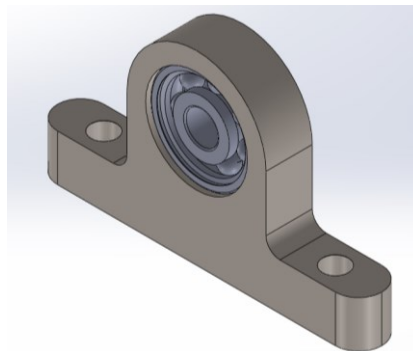


Figura 55 - Chumaceira

A estrutura final deverá possuir uma massa reduzida de maneira que seja fácil de manusear e proceder à sua montagem no braço robótico, para além disso, todos os componentes devem também estar posicionados de maneira que seja agilizado o processo de substituição ou reparação de algum componente. Tendo em conta estes princípios, optou-se pela utilização de perfis de alumínio para a estrutura exterior do mecanismo, montados através de parafusos específicos de rápido aperto. Estes perfis são de uma liga de alumínio, AW 6063, que é uma das ligas mais conhecidas da série 6000 [54]. O fornecedor escolhido para os perfis de alumínio tem disponível os perfis neste material, o que, tendo em conta a aplicação dos perfis, adequa-se ao projeto em questão. Na Figura 56 estão representados os principais componentes da estrutura, sendo eles a estrutura exterior e as placas de aperto.

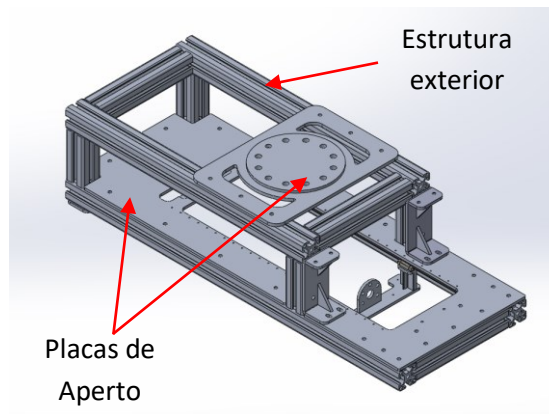


Figura 56 – Estrutura exterior com placas de aperto

As placas de aperto são utilizadas para fazer apoio, posicionamento e fixação de todos os componentes que fazem o sistema funcionar. Estas placas não são do mesmo material dos perfis que constituem a estrutura exterior, uma vez que neste componentes era necessário selecionar um material que tivesse um bom compromisso entre soldabilidade e maquinabilidade. A existência de vários furos e recortes nestas placas exige que o material que as constituem seja fácil de maquinar para não dificultar os processos de fabrico, nem que ocorram acidentes durante os mesmos, prevenindo assim a possível perda total das peças logo no momento da sua produção. Relativamente à boa soldabilidade, existem alguns componentes que para além de serem sujeitos, por exemplo, a processos de quinagem, será necessário proceder à união através de soldadura de uns reforço, de maneira que a peça quinada não deforme durante a sua utilização. O material selecionado para o fabrico destes componentes foi também uma liga de alumínio, mas a AW 6061, que apresenta uma boa relação entre maquinabilidade e soldabilidade [55].

O mecanismo final possui duas peças iguais à que está representada na Figura 57. Este componente faz parte do mecanismo de aperto das caixas de cartão e, tal como todas as restantes peças do mecanismo que não foram especificadas neste subcapítulo, será fabricada na liga de alumínio AW 6061. Como forma de aumentar o atrito no contacto com o cartão optou-se por acoplar a estas peças umas “almofadas” de borracha que farão com que o aperto das caixas e a sua movimentação sejam realizadas de forma mais fácil e segura.

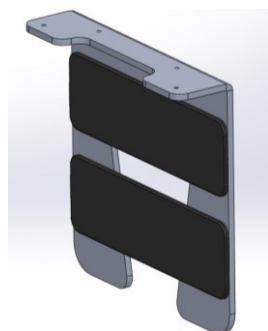


Figura 57 – Peça para aperto das caixas

3.5. Análise pelo Método de Elementos Finitos

O Método de Elementos Finitos (MEF) apresenta como finalidade a obtenção do estado de tensão e de deformação de um sólido com uma geometria arbitrária que se encontra sujeito a ações externas. A utilização deste método permite a possibilidade de modificar uma estrutura ou mecanismo tendo por base os resultados obtidos, o que permite assim uma otimização dos componentes e que seja alcançado um compromisso em termos de materiais e custos de fabrico [56].

Inicialmente começou-se por definir o tipo de estudo que se iria realizar, neste caso optou-se por uma análise estática da estrutura com o intuito de analisar o comportamento dos diferentes componentes sob a ação de esforços constantes. Neste tipo de estudo será possível obter, por exemplo, os valores de tensão e deslocamento para serem depois comparados com as propriedades dos materiais definidos para cada componente, e assim determinar se existe a necessidade de alterações de maneira que todo o mecanismo se encontre corretamente dimensionado.

3.5.1. Convergência de malha

No MEF a utilização de uma malha mais fina permite a obtenção de resultados mais próximos da realidade, no entanto a capacidade computacional e o tempo de processamento serão mais elevados. Com o objetivo de obter um compromisso razoável entre estas variáveis procedeu-se à realização de um estudo de convergência de malha, onde se começou por definir uma malha mais grosseira com a utilização de elementos de maior dimensão e procedeu-se à simulação do estudo e selecionou-se um ponto, ilustrado na Figura 58, para obter a tensão de von Mises e o deslocamento. Para que o estudo seja realizado corretamente era necessário que todas as iterações tivessem como base o mesmo ponto da estrutura. Depois de obtidos estes valores procedeu-se à realização de um refinamento da malha, diminuindo o tamanho dos elementos que a constituem e procedeu-se novamente ao registo dos resultados.

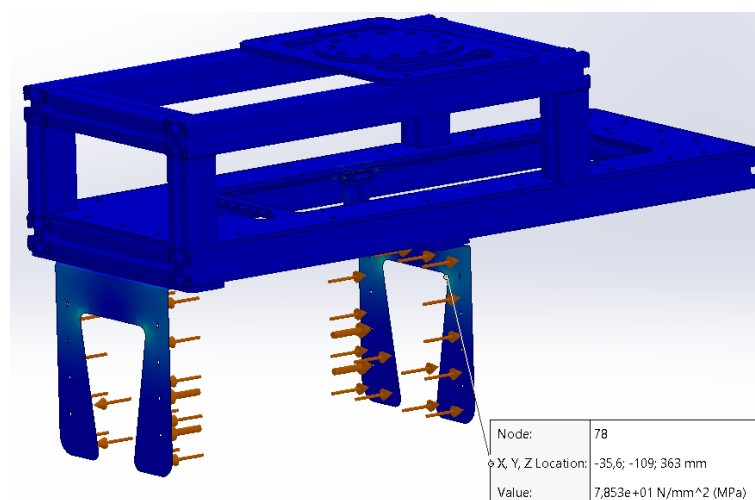


Figura 58 – Demonstração do ponto utilizado para o estudo de convergência de malha

Para determinar qual a malha mais adequada para a realização dos estudos futuros, definiu-se que, quando o desvio percentual entre iterações sucessivas fosse inferior a 3%, então a malha com as características apresentadas na última iteração seria a escolhida. Para o cálculo do desvio percentual utilizou-se a Equação (35).

$$Desvio (\%) = \frac{|iteração_n - iteração_{n-1}|}{|iteração_{n-1}|} \quad (35)$$

Os valores obtidos das iterações realizadas encontram-se apresentadas na Tabela 35, optando-se então pelas características da malha da quarta iteração visto que o desvio percentual comparativamente com a terceira apresenta um valor inferior ao estipulado como referência. No entanto procedeu-se a um refinamento desta malha para confirmar se realmente apresentaria valores aceitáveis e obteve-se um desvio percentual, face à quarta iteração, de 0,10%, verificando-se então mais uma vez que as características da malha utilizados para a realização da quarta iteração são os mais adequados sobretudo pelo facto de que exigirá menos capacidade computacional do que a quinta iteração e será possível obter resultados mais rapidamente. Com a utilização da malha com as características apresentadas na quinta iteração iriam ser obtidos resultados mais próximos da realidade, no entanto haveria a necessidade de uma maior capacidade computacional e maior tempo de processamento, que não se justifica porque os valores obtidos na quarta iteração já apresentam resultados aceitáveis com um desvio abaixo daquele que se estipulou como referência.

Tabela 35 – Valores obtidos do estudo de convergência de malha

Iteração	Número de elementos	Tensão (MPa)	Deslocamento (mm)	Desvio (%)
1	454432	79,73	0,44	-
2	581132	76,66	0,38	3,85
3	589957	80,81	0,39	5,41
4	694369	78,61	0,35	2,72
5	796769	78,53	0,40	0,10

No gráfico da Figura 59 é possível observar a forma como os valores de tensão e de deslocamento no ponto selecionado convergem à medida que se faz o refinamento da malha através da diminuição do tamanho dos elementos que a constituem. O aspeto da malha obtida encontra-se demonstrado na Figura 60, sendo que será a malha com estas características que será utilizada no estudo pelo MEF para a situação do aperto da caixa com a maior massa que foi definida no início deste projeto e também na simulação do mecanismo responsável por fazer o aperto da paleta.

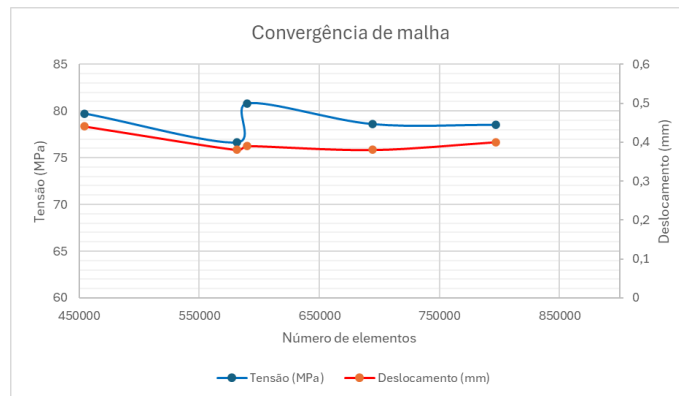


Figura 59 - Gráfico de convergência de malha



Figura 60 – Malha obtida após o estudo de convergência de malha

3.5.2. Aperto da caixa

Na realização da simulação do aperto da caixa de cartão optou-se por excluir os elementos da estrutura que não têm influência no estudo com o intuito de diminuir o tempo de obtenção de resultados e a capacidade computacional necessária. Nesta simulação foram utilizados apenas os componentes que apresentam a maioria da resistência da estrutura, como por exemplo a estrutura exterior, a flange de ligação ao braço robótico e as peças associadas ao mecanismo de aperto, desde os trilhos perfilados até aos “dedos” do *gripper*.

Para a realização do estudo dos componentes no momento do aperto da caixa de cartão, aplicou-se as forças externas associadas ao aperto e que se encontram apresentadas na Tabela 13, considerando ainda que a caixa estará a ser apertada pela dimensão de 400 mm. A estrutura foi também fixada na flange que faz a ligação entre o *end-effector* e o braço do robô. Na Figura 61 encontra-se ilustrado a forma como foi aplicada a força nos “dedos” do *gripper* de modo a simular o momento do *pick* da caixa de cartão com a massa maior que foi definida previamente.

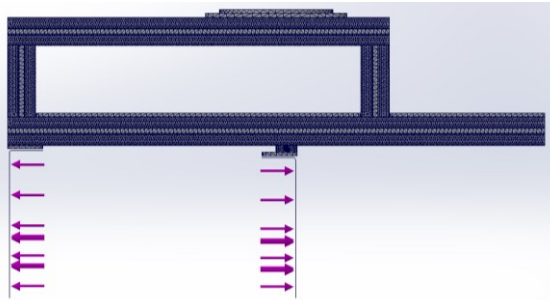


Figura 61 – Aplicação da força de aperto da caixa

Como é possível observar na Figura 62, no momento do aperto da caixa, a zona dos trilhos perfilados onde se encontram os carros guia, apresentam valores de tensão mais elevados, no entanto, e tendo em conta o material destes componentes não apresentam quaisquer riscos uma vez que os valores ainda se encontram abaixo dos valores de referência do material. Relativamente à zona com maior tensão nos “dedos” do *gripper* também se considera que sejam valores elevados, no entanto, tal como nos trilhos perfilados, o valor de tensão encontra-se abaixo do valor tomado como referência do material para a tensão de cedência.

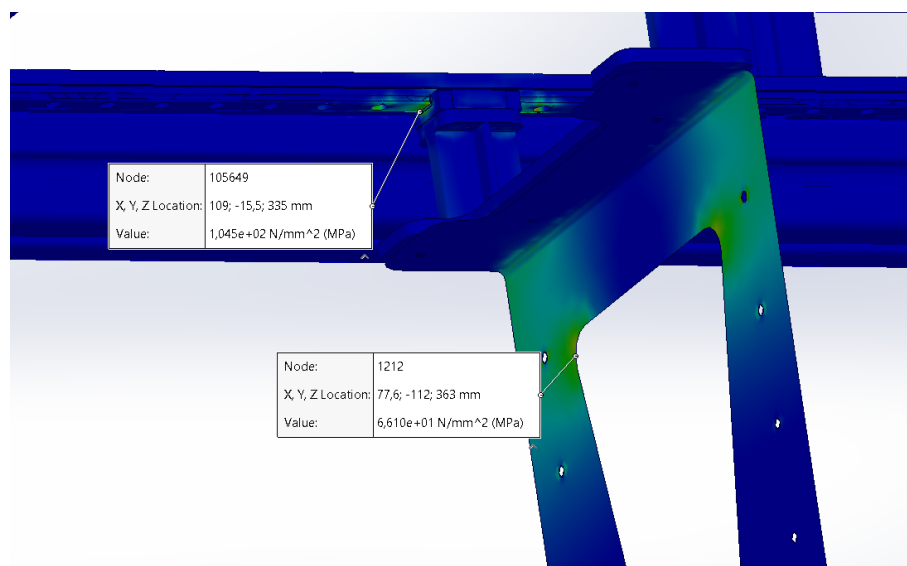


Figura 62 - Pontos de tensão mais elevada

Este primeiro estudo teve como objetivo avaliar o comportamento dos componentes quando sujeitos à força de aperto necessária que o sistema terá de aplicar para garantir a fixação da caixa para a sua movimentação, não sendo possível avaliar o comportamento da estrutura relativamente à massa de 30 kg que a caixa possuirá.

Para estudar então o comportamento da estrutura neste caso, realizou-se um novo estudo nas mesmas condições do primeiro, mas com uma única diferença, a aplicação da força exterior. Neste segundo estudo aplicou-se as forças externas nos “dedos” do *gripper* na vertical, no sentido descendente, enquanto no primeiro caso as forças foram aplicadas na horizontal, simulando o aperto.

Na Figura 63 encontra-se apresentado o resultado da aplicação destas forças, sendo possível observar que os pontos de maior tensão se situam nas zonas representadas a uma cor esverdeada. No entanto, o valor de tensão obtido encontra-se abaixo da tensão de cedência do material e por isso não existem à partida problemas na resistência da estrutura, mais propriamente na flange que faz a ligação do *end-effector* ao braço robótico. Esta peça apresenta umas aberturas apenas para diminuição da massa do componente e como as tensões desenvolvidas devido a essas aberturas não são críticas, quando comparadas com os valores de referência do material de que é constituída, então optou-se por manter essa característica.

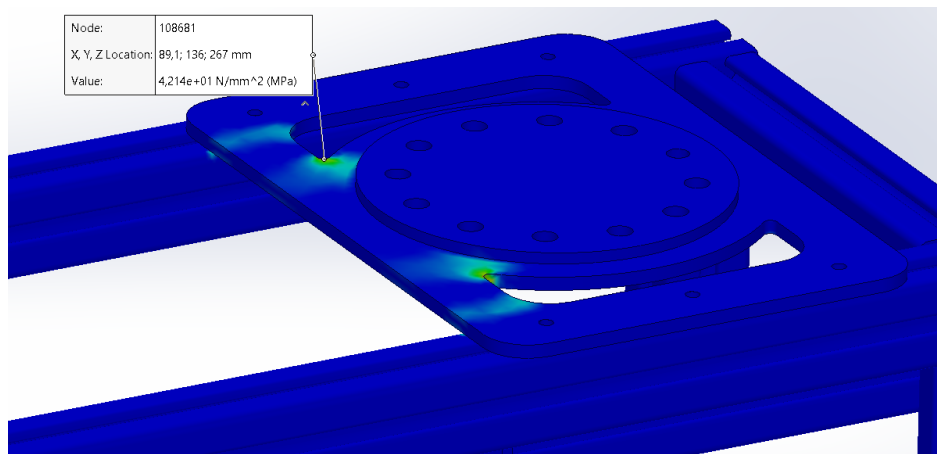


Figura 63 – Pontos de maior tensão na flange

3.5.3. Aperto da palete

Para a realização do estudo dos componentes do sistema de aperto das paletes foram retirados todos os elementos que não fazem parte do sistema, utilizando-se apenas a estrutura exterior, a flange de ligação do *end-effector* ao robô e os componentes que fazem parte do sistema de aperto das paletes. Tal como no sistema de aperto das caixas, a exclusão de alguns componentes permite a obtenção de resultados mais rapidamente e uma diminuição de exigência da capacidade computacional, não colocando em causa a veracidade dos resultados obtidos uma vez que, neste caso, o que se pretende estudar são os elementos associados ao sistema de aperto das paletes.

Depois de aplicada a força que representará o aperto da paleta por parte do mecanismo, obtiveram-se os resultados que se encontram apresentados na Figura 64. Com a obtenção destes resultados é possível observar que os valores de tensão mais elevados se encontram situados na zona mais à esquerda das peças que farão o aperto da paleta, como era de esperar, no entanto estes valores não ultrapassam mais uma vez os valores de referência de tensão de cedência do material e, portanto, os componentes encontram-se bem dimensionados. Uma outra zona onde as tensões são mais elevadas é na fixação da peça móvel à haste do cilindro pneumático, sendo que apresenta valores mais altos quando comparados com os valores obtidos nas peças de apoio, mas também era um situação que já era expectável visto ser a zona mais crítica no momento do avanço do cilindro, que fará com que seja possível o aperto da paleta para a sua imobilização e respetiva movimentação.

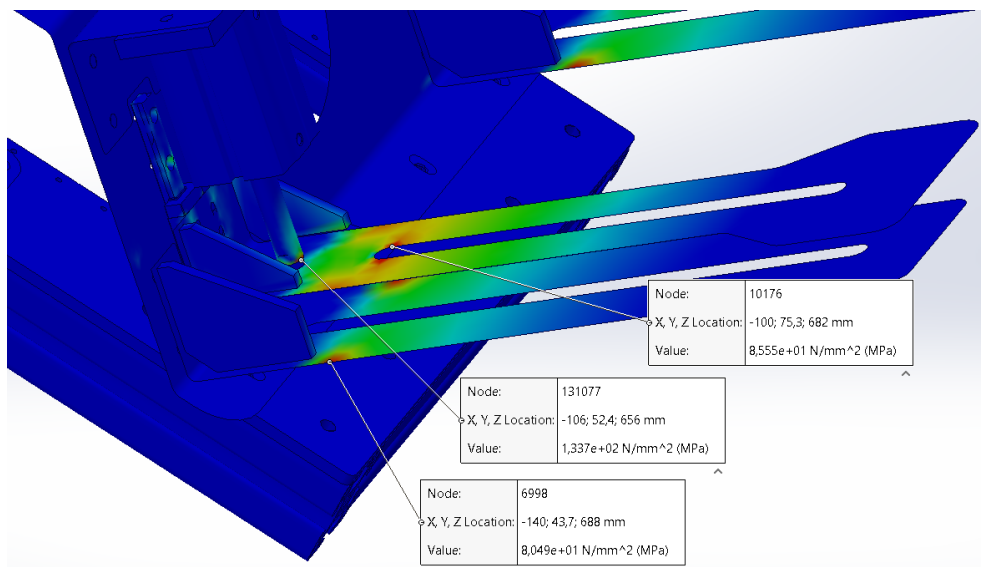


Figura 64 – Resultado da aplicação do MEF no sistema de aperto das paletes

3.6. Lista de componentes

Para a idealização de todo o mecanismo existem componentes que terão de ser adquiridos e outros que serão fabricados através de processos de maquinagem e soldadura. Os componentes necessários para incorporar o *end-effector* estão apresentados na Tabela 36, onde são apresentadas as designações ou referências de cada elemento de maneira que seja possível através dos catálogos dos fornecedores, que também se encontram mencionados, obter rapidamente todas as características de cada um deles, no entanto, em anexo, encontram-se as fichas de dados de todos estes elementos.

Tabela 36 – Lista de componentes necessários

Descrição	Designação/Referência	Fornecedor	Quantidade	Ficha de dados
Servo motor	EMMB-AS-60-04-K-S30MB	Festo	1	Anexo C
Correia dentada	OMEGA HP timing belt 300 3M HP 15	Optibelt	1	Anexo E
Polia menor	ZRS HTD timing belt pulley 32-3M-15 (Design 6F)	Optibelt	1	Anexo D
Polia maior	ZRS HTD timing belt pulley 72-3M-15 (Design 6)	Optibelt	1	Anexo D
Fuso de rosca trapezoidal	24000-140412X1000	Norelem	1	Apêndice A e Anexo N
Porca flangeada de rosca trapezoidal (Cubo)	24005-140313	Norelem	1	Anexo F
Rolamentos	627- SKF Explorer	SKF	2	Anexo I
Carro guia	21420-09103101	Norelem	4	Anexo G
Trilho perfilado	21425-0907X0495	Norelem	3	Anexo H
Cilindro pneumático	Cilindro compacto ADN-S- 25-40-I-P-A	Festo	2	Anexo J
Flange cilindro pneumático	FNC-25	Festo	2	Anexo K
Robô articulado	IRB 5710- 90/2.7	ABB	1	Anexo A e Anexo B
Perfis estruturais	Tipo I- 40x40x1000	Norelem	4	Anexo L
Conectores perfis estruturais	10210-08	Norelem	28	Anexo M

Relativamente aos perfis estruturais, estes são comercializados em peças de 1 metro e, portanto, depois de adquirido será necessário proceder ao corte com as respetivas medidas. O fuso de rosca trapezoidal também é fornecido como uma peça de 1 metro, mas este componente além do processo de corte passará também por processos de maquinagem para obter o componente final desejado. No sistema de transmissão que faz o aperto das caixas de cartão, o trilho perfilado será montado com o comprimento comercializado, mas para montar no sistema de aperto das paletes será necessário efetuar o corte de um perfil de maneira a obter o comprimento final.

4. Resultados e Discussão

No decorrer deste capítulo apresentam-se todos os detalhes de funcionamento do *end-effector* desenvolvido, com o objetivo de demonstrar como todos os componentes estão conjugados de modo que seja um sistema completamente funcional, não descartando pormenores como por exemplo a facilidade de acesso aos componentes para futuras reparações ou tarefas de manutenção preventiva.

Neste capítulo também se explica o passo a passo de montagem dos componentes, começando pela estrutura exterior onde depois serão apertadas as placas de montagem que servirão de apoio, posicionamento e fixação para os componentes que tornam o mecanismo funcional.

4.1. *End-effector*

O mecanismo final, representado na Figura 65, é composto por uma estrutura em perfis de alumínio onde será apertado uma placa de aperto dos componentes, nestes perfis será também colocada umas placas em policarbonato com o intuito de resguardar os componentes, principalmente o servo motor que é um elemento de elevada importância no funcionamento do sistema. A utilização de proteções neste material tem como objetivo também possibilitar a visualização interna do mecanismo para detetar rapidamente possíveis avarias que possam surgir durante o funcionamento sem a necessidade de desmontagem.

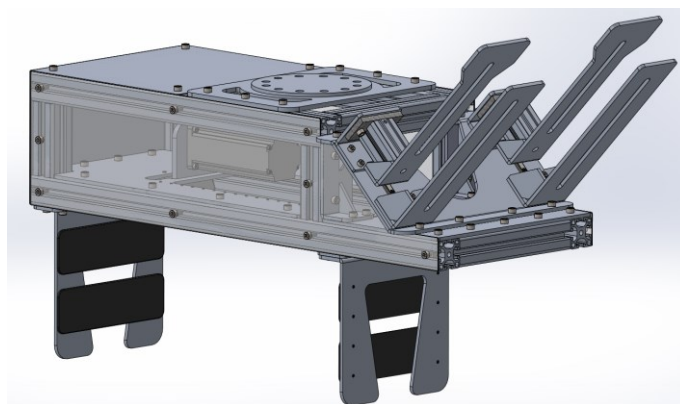


Figura 65 – *End-effector*

4.1.1. Estrutura exterior

Como já referido a estrutura exterior é formada por elementos estruturas compostos por perfis de alumínio. A utilização destes componentes permitiu a redução da massa final da estrutura e possibilitou também uma maior facilidade na junção com os outros elementos, uma vez que devido a presença das ranhuras laterais foi possível fazer o aperto de qualquer componente através da utilização de conectores. Para fazer a união dos perfis existem cantoneiras ou conectores especiais para o efeito, no entanto optando-se neste mecanismo pela utilização dos conectores especiais uma vez que garantem a resistência do conjunto e não carecem do mesmo espaço que seria necessário para a utilização das cantoneiras. Na Figura 66 está representado em pormenor a forma como são utilizados os conectores para a montagem da estrutura exterior com os perfis de alumínio.

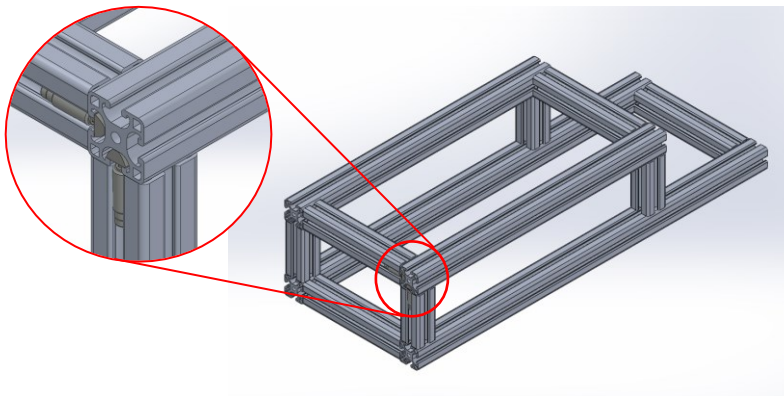


Figura 66 – Pormenor montagem estrutura exterior

4.1.2. Sistema de aperto das caixas

O mecanismo de aperto das caixas é constituído por vários elementos, sendo um deles o servo motor que será montado numa flange de ligação que se encontra aparafusada à placa de aperto como está demonstrado na Figura 67.

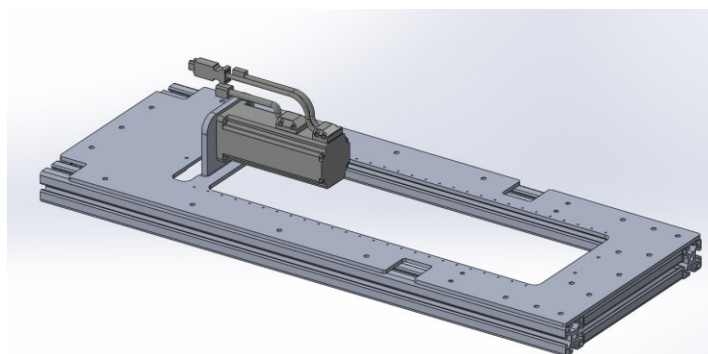


Figura 67 – Aperto do servo motor

Esta placa encontra-se apertada à parte inferior da estrutura exterior e também será nesta peça onde serão colocados os trilhos que servirão de guia ao movimento de translação originado pela conversão do movimento de rotação do servo motor pelo conjunto das polias e da correia dentada. Na Figura 68 está representada a montagem dos trilhos perfilados que irão receber os carrinhos para a realização do movimento de abertura e fecho do *gripper* de maneira correta.

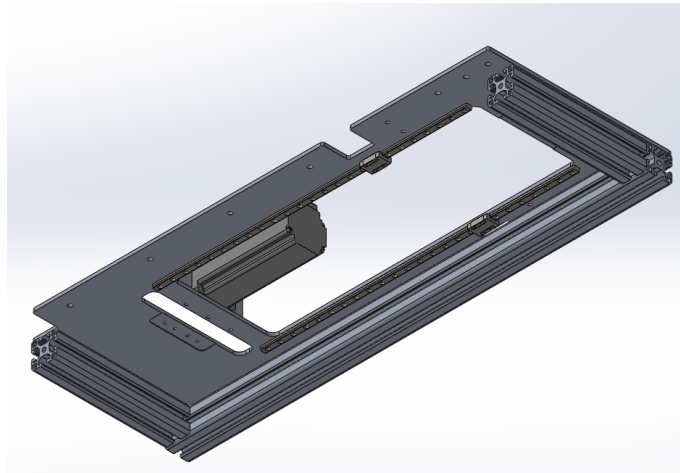


Figura 68 – Aperto dos trilhos perfilados

O parafuso de potência é montado na mesma face da placa onde estão colocados os trilhos perfilados, como está representado na Figura 69, sendo que o fuso se encontra apoiado nas suas extremidades nas chumaceiras onde estão colocados também os rolamentos. Neste componente será depois fixada uma flange no cubo que possibilitará então que o movimento seja transmitido às peças que farão o encosto nas caixas de cartão.

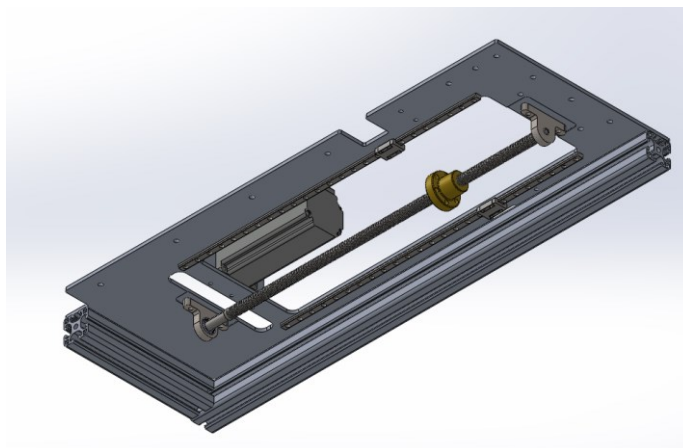


Figura 69 – Montagem do parafuso de potência

Resultados e Discussão

Um dos conjuntos de componentes mais importantes neste sistema de aperto é o conjunto de polias e da correia denta. Estes componentes farão a conversão do movimento de rotação gerado pelo servo motor em movimento de translação, garantindo assim a finalidade do sistema. Na Figura 70 é possível observar que na polia motora, que se encontra acoplada à saída do veio do servo motor, possui uma peça que é apertada no veio, de maneira que seja restringido o movimento de translação da polia nesse veio, garantido assim que a polia se encontra corretamente fixada.

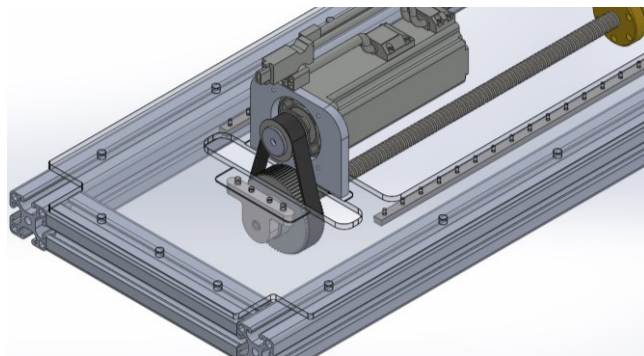


Figura 70 – Sistema de transmissão

Para a realização do aperto das caixas de cartão existem duas peças, uma fixa e uma móvel que está acoplada ao parafuso de potência. A peça fixa encontra-se apresentada na Figura 71 e é fixa numa peça que se encontra apertada na estrutura exterior no perfil de alumínio. Relativamente à peça móvel, apresentada na Figura 72, esta é fixada numa flange que possui dois conjuntos de peças de ligação, uma delas apertada ao cubo do parafuso de potência e outras duas apertadas aos carrinhos que se encontram montados nos trilhos perfilados, e que fazem com que o movimento de translação seja guiado em todo o seu curso.

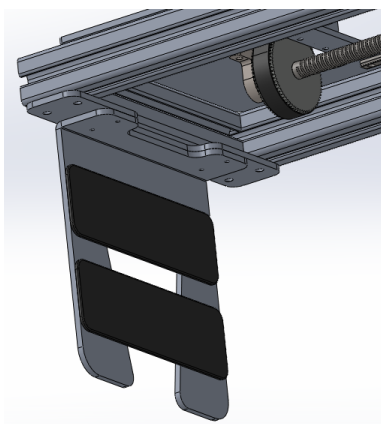


Figura 71 – Peça fixa

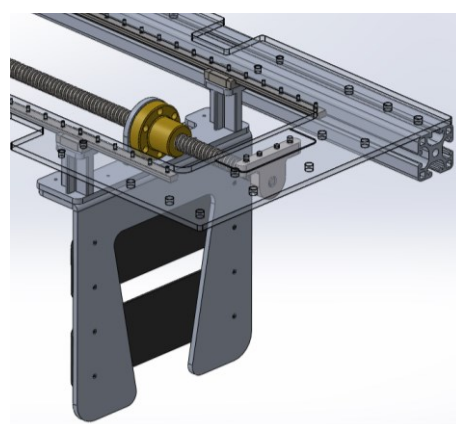


Figura 72 – Peça móvel

Como já foi mencionado anteriormente o objetivo era desenvolver um *end-effector* que tivesse a capacidade de fazer a paletização de caixas de cartão DIN com diferentes dimensões, sendo que foi delimitado uma dimensão mínima de 200 mm e uma dimensão máxima de 600 mm. Na Figura 73 e na Figura 74 é possível observar que, depois de desenvolvido todo o sistema do mecanismo de aperto, conseguiu-se obter na posição A uma dimensão mínima de 190 mm e na posição B uma dimensão máxima de 650 mm, que correspondem ao mínimo e ao máximo, respetivamente. O mecanismo permite assim uma movimentação de caixa com variadas dimensões, apresentando no seu geral uma estrutura compacta e funcional.

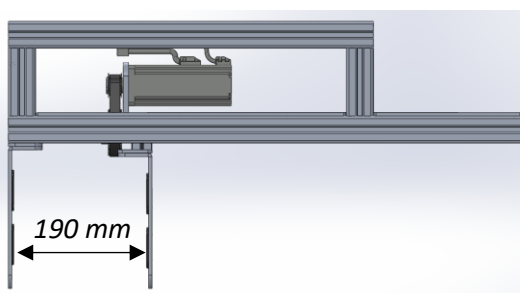


Figura 73 – Posição A

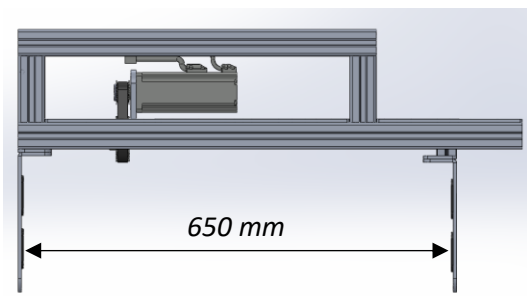


Figura 74 – Posição B

4.1.3. Sistema de aperto das paletes

O mecanismo que fará o aperto das paletes para a sua movimentação é, comparativamente com o sistema de aperto das caixas, mais simples e constituído por um menor número de componentes. As Europaletes são paletes que possuem dimensões padronizadas, portanto não existia a necessidade de desenvolver um mecanismo com a necessidade de se adaptar a diferentes medidas, por isso optou-se pela utilização de cilindros pneumáticos associados a peças que terão de ser fabricadas especificamente neste caso. Inicialmente começou-se pelo desenvolvimento de uma peça que servirá de aperto de todos os componentes que farão funcionar devidamente o mecanismo, sendo que esta peça estará devidamente fixada na estrutura exterior do *end-effector*. A chapa de aperto que foi desenvolvida encontra-se representada na Figura 75 e possui várias furações para que seja então possível fazer o apoio, posicionamento e fixação de todos os elementos bem como o aperto à estrutura exterior.

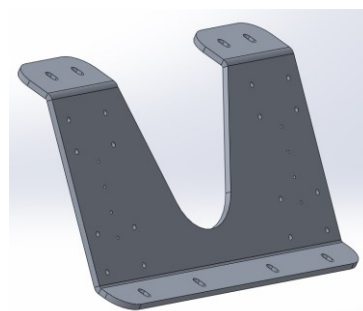


Figura 75 – Placa de aperto do mecanismo das paletes

Apesar de diferentes, o sistema de aperto das paletes e o sistema de aperto das caixas possuem alguns componentes em comum, como por exemplo os trilhos perfilados e os carros guia, que possuem exatamente a mesma função de guia do movimento de translação dos componentes no aperto e na abertura. Este sistema também é composto por uma peça que ficará fixa na placa de aperto e outra que será apertada no carro guia e à haste do cilindro pneumático. A montagem destes componentes encontra-se representada na Figura 76, onde é possível identificar a peça que ficará fixa e a peça que fará o aperto da paleta. A peça móvel possui um formato mais alargado na ponta desenvolvido com o intuito de aumentar a área de contacto com a superfície da paleta.

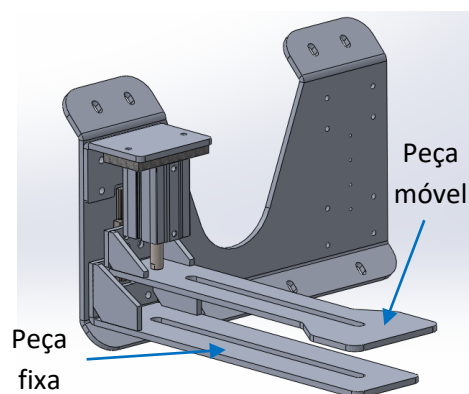


Figura 76 – Montagem sistema de aperto das paletes

Este sistema foi desenvolvido com o intuito de possibilitar o aperto e movimentação das paletes em duas posições diferentes, a posição representada na Figura 77, onde a paleta é apertada ao longo do seu comprimento e a posição ilustrada na Figura 78, onde a paleta é apertada ao longo da sua largura. Com esta característica é então possível fazer o *pick* das paletes qualquer que seja a posição em que se encontram. Para além disto, o mecanismo de aperto das paletes é montado na estrutura exterior numa posição estratégica, ilustrada na Figura 65, que permite à célula robótica fazer a alimentação das paletes sem a necessidade de que estas se encontrem obrigatoriamente na posição horizontal.

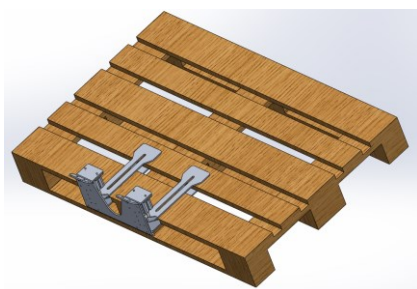


Figura 77 – Aperto pelo comprimento da paleta

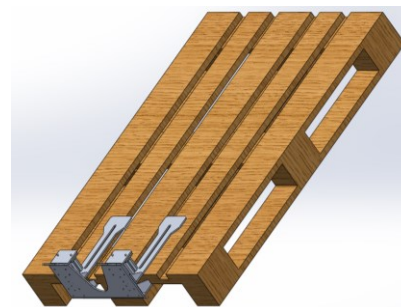


Figura 78 – Aperto pela largura da paleta

4.2. Célula robótica de paletização

Depois de desenvolvidos todos os sistemas que iriam integrar o *end-effector*, desenvolveu-se então uma flange que tem como função fazer a fixação de todo o mecanismo desenvolvido num robô da ABB, preparando-o assim para a realização da sua tarefa que é a paletização de caixas DIN em Europaletes. Na Figura 79 é possível visualizar a forma como é feita a montagem do mecanismo desenvolvido, através de uma flange de ligação que se encontra destacada. O robô foi selecionado tendo em conta a massa total de todos os componentes associados ao *end-effector*, somando também a massa máxima que foi estabelecida que uma caixa poderia vir a ter.

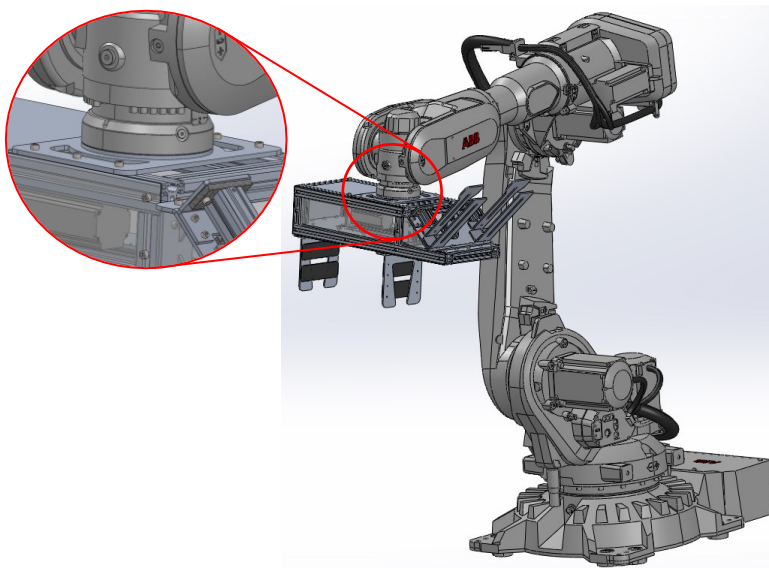


Figura 79 – Montagem do *end-effector* no robô

Com a utilização deste robô associado ao desenvolvimento do mecanismo que foi pensado para a paletização das caixas e alimentação de paletes, será então possível inserir este conjunto num ambiente de trabalho para a realização da sua principal tarefa. Na Figura 80 encontra-se demonstrado um exemplo da implementação num ambiente de trabalho onde as caixas de cartão chegam através de um tapete transportador e o robô realiza a tarefa de *pick and place* da mesma colocando-a na paleta destinada. As paletes são colocadas ao lado do robô e sempre que uma se encontre totalmente preenchida, esta será retirada da área de trabalho, e o robô fará a reposição da paleta, movimentando uma das disponíveis no *stock* de paletes naquele momento. Todo o ambiente de trabalho do robô deverá ser protegido através de gradeamento de segurança e os locais de retirada de paletes completas e reposição do *stock* de paletes deverá estar protegido por dispositivos de segurança óticos, como é o caso apresentado na Figura 80, ou através de portas de segurança.

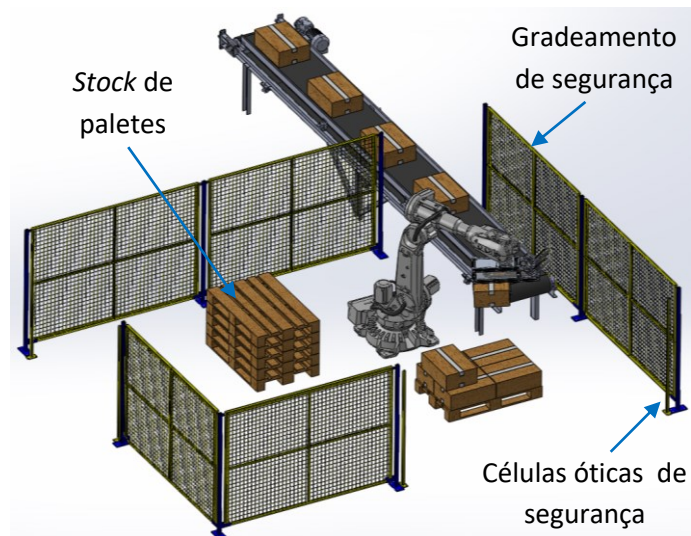


Figura 80 – Ilustração da implementação do mecanismo desenvolvido

5. Conclusão

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões finais de todo o trabalho desenvolvido, desde a pesquisa sobre o funcionamento destes sistemas até à obtenção da solução final. Serão também apresentadas algumas propostas de trabalhos futuros que possam melhorar a estrutura em geral e possibilitem também uma maior adaptabilidade relativamente à sua função principal.

5.1. Conclusões finais

A realização deste trabalho permitiu perceber como era a indústria antes do aparecimento dos sistemas robóticos e quais foram as melhorias a nível produtivo e social com a integração destes equipamentos em tarefas consideradas de baixo valor nas organizações. Com as diferentes configurações de robôs que estão disponíveis atualmente no mercado, é possível aplicá-los na grande maioria dos setores industriais, aumentando assim de forma considerável a qualidade e volume de trabalho produzido.

O conhecimento dos conceitos utilizados na robótica, bem como do funcionamento destes equipamentos, permite que seja fácil a compreensão de características de cada tipo de robô, tornando mais acertada a decisão sobre qual o ideal para desempenhar determinada tarefa. Esta percepção faz com que se tome uma decisão informada não havendo desperdício do capital investido causado por futuras paragens do equipamento devido a avarias por utilização não conforme com as especificações do robô.

A operação de sistemas robóticos em ambiente industrial requer cuidados devido às elevadas velocidades de funcionamento e, portanto, deve existir planos de formação para os operadores, com o objetivo de os informar sobre o equipamento que operam, sobretudo quando se trata de tarefas de programação *online*. Este modo de programação, mesmo sendo utilizado com menos frequência devido à necessidade de paragem produtiva do robô, requer cuidados especiais por parte de quem o está a fazer, porque qualquer distração pode causar acidentes graves. Como o objetivo dos sistemas robóticos é sobretudo o aumento da produtividade, então a programação *offline* é o modo mais conveniente de ser utilizado, uma vez que permite que seja feita toda a simulação em ambiente virtual e rapidamente pode ser implementado no controlador físico do robô para iniciar o processo produtivo.

Conclusão

Com a realização da pesquisa bibliográfica relacionada com sistemas robóticos foi possível aprofundar conhecimentos nesta área, permitindo alcançar o objetivo principal deste trabalho, o desenvolvimento de um *end-effector* capaz de fazer a paletização de caixas DIN e também fazer respetiva alimentação de paletes. As diferentes soluções existentes no mercado visam principalmente tarefas de soldadura, montagem de componentes em linhas de produção e paletização, sendo tudo tarefas que são consideradas exaustivas para operações manuais. Com este trabalho foi possível desenvolver uma solução diferente das muitas que já existem, uma vez que permite a paletização de caixas com diferentes dimensões e também a alimentação das paletes no local do acondicionamento dessas caixas. Dentro da área de trabalho da célula robótica com o *end-effector* desenvolvido apenas é necessário a existência de um lote de paletes, que basicamente é o *stock* de paletes, e um tapete transportador onde chegarão as caixas DIN que serão colocadas na paleta. Estando estas condições reunidas, com a implementação do mecanismo desenvolvido todo o trabalho de *pick and place* das caixas e a alimentação de paletes vazias é garantida pelo robô, sendo necessário apenas a retirada da paleta quando esta de encontre preenchida.

Para a obtenção de uma estrutura final que satisfizesse os requisitos impostos inicialmente foi necessário a realização de um estudo cuidado sobre as caixas de cartão, de maneira que no momento do aperto não existisse esmagamento da mesma, o que poderia vir a danificar a mercadoria contida no seu interior. Para além disto foi também necessário desenvolver um sistema que se pudesse adaptar a diferentes dimensões das caixas, o que permitiu adquirir conhecimentos sobre a grande variedade de componentes mecânicos que podem ser utilizados para esta função e selecionar o mais adequado para o caso em específico. No final encontrou-se uma solução capaz de dar resposta ao desafio imposto inicialmente, sendo que a estrutura final é uma boa base para melhorias e adaptações que possam torná-la aplicável na paletização de outros produtos.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

No início deste trabalho a procura por informação sobre o funcionamento de sistemas de paletização e de *pick and place* demonstrou-se ser uma etapa fundamental no desenvolvimento do *end-effector*, mas também uma das mais demoradas tendo em conta a grande quantidade de informação existente e a necessidade de filtrar aquela que realmente seria útil e que poderia servir como base para o desenvolvimento do sistema pretendido. Depois desta etapa, e aproveitando a informação recolhida, foi possível fazer a adaptação de diversos componentes mecânicos e desenvolver uma solução funcional que garantisse o cumprimento das suas funções, ultrapassando algumas etapas mais demoradas e de carácter importante como o dimensionamento e seleção desses componentes mecânicos. A correta seleção de quais elementos utilizar foi a tarefa mais importante neste trabalho uma vez que são a base para o funcionamento adequado de todo o mecanismo.

A estrutura desenvolvida apresenta uma capacidade de transporte das caixas com uma grande variedade de dimensões, no entanto não será possível fazer o *pick and place* de caixas de grandes dimensões ou outro tipo de mercadoria. Um dos trabalhos que poderia vir a ser realizado passaria pelo desenvolvimento de “dedos” com diferente geometria que pudessem ser adaptados rapidamente ao sistema principal e assim possibilitar as tarefas de paletização de outros elementos, como por exemplo: garrafas, componentes da indústria automóvel ou peças em série que passaram por processos de quinagem ou soldadura. Com uma simples adaptação conseguir-se-ia que o mesmo *end-effector* fosse capaz de trabalhar em diferentes linhas de produção e em diferentes indústrias.

A estrutura exterior desenvolvida para o *end-effector* é formada por perfis de alumínio, o que a torna resistente e leve sendo capaz de desempenhar a sua função sem problemas, mas com algumas modificações, geométricas ou optar-se por um material com melhores características, permitiria que a estrutura final fosse mais leve, no entanto a sua produção acarretaria custos mais elevados. Tal como os perfis da estrutura exterior, a maioria das peças que constituem a estrutura também são em alumínio, e da mesma forma poderia optar-se por um material com melhores características, mas numa estrutura deste gênero que seria para acoplar num braço robótico, o investimento é elevado e portanto é necessária fazer um estudo prévio para determinar qual a melhor solução para obter uma boa relação entre o custo e o benefício na implementação de uma célula robótica como o exemplo a que foi desenvolvido.

A limitação principal deste *end-effector* é que após a sua implementação numa linha de produção de mercadoria em caixas de cartão DIN, estas caixas, que chegarão à área de trabalho do robô através de um tapete transportador por exemplo, terão de estar sempre na mesma posição, uma vez que o robô seria programado para fazer o *pick* da caixa tendo em conta a dimensão que era predefinida pelo operador. Com o intuito de não haver esta necessidade e que o robô fosse capaz de detetar como é que a caixa estaria posicionada no tapete, poderia optar-se pela adição de sistemas de visão ao *end-effector* e assim não existiria a preocupação por parte do operador de selecionar previamente como é que as caixas deveriam ser retiradas do tapete. A utilização de sistemas de visão permitiria também que fosse feita a leitura das dimensões da palete onde seria a paletização das caixas, e assim adaptar a melhor forma de empilhamento, de maneira que fosse otimizado o espaço disponível na palete. Esta solução possibilitaria também a paletização de caixas de diferentes dimensões na mesma palete sem que o operador se preocupe com o tipo de caixas e a forma como seria feita a paletização.

Conclusão

Referências

- [1] J. N. Pires, *Robótica Industrial- Indústria 4.0*, Lidel. Lisboa, 2018.
- [2] M. A. Kamarul Bahrin, M. F. Othman, N. H. Nor Azli, e M. F. Talib, «Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic», 2016, doi: 10.11113/jt.v78.9285.
- [3] S. Kuhlenschmidt, S. Weaver, e S. Morgan, «A Conceptual Framework for the Center», vol. 28, n. 20210331, Jan. 2010, doi: 10.3998/tia.17063888.0028.006.
- [4] International Federation of Robotics, «World Robotics 2023 Presentation». Acedido: 10 de Dezembro de 2023. Disponível em: <https://ifr.org/free-downloads/>
- [5] M. Mataric, «Introdução à Robótica». Acedido: 28 de Outubro de 2023. Disponível em: https://www.google.pt/books/edition/Introdução_à_robótica/Nj26DwAAQBAJ?hl=pt-PT&gbpv=1
- [6] International Organization for Standardization, «Manipulating Industrial Robots-Vocabulary», ISO 8373. Acedido: 28 de Outubro de 2023. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en>
- [7] FANUC, «Robôs Industriais Fanuc». Acedido: 28 de Outubro de 2023. Disponível em: <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs>
- [8] P. Abreu e A. M. Lopes, «Robótica Industrial». Acedido: 19 de Novembro de 2023. Disponível em: <http://fe.up.pt/maic>
- [9] M. Miller e R. Miller, «Robots and Robotics». Acedido: 10 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/c3aa754b41116a37/9c06ab41e3b10d6fe634205917d4b1e8bee251ae486263ef74cf9a55ab70032d/book-summary.pdf>
- [10] E. Wernholt, «On Multivariable and Nonlinear Identification of Industrial Robots». Acedido: 28 de Dezembro de 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228890279_On_multivariable_and_nonlinear_identification_of_industrial_robots
- [11] Kawasaki Robotics, «Industrial Robot Arms». Acedido: 12 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://kawasakirobotics.com/blog/the-ins-outs-of-industrial-robot-arms/>
- [12] ABB, «IRB1100_Datasheet». Acedido: 24 de Dezembro de 2023. Disponível em: https://library.e.abb.com/public/bdf0b25a165f40c4984d770bf110994b/IRB1100_data_sheet.pdf?x-sign=g4cWIQRp9AvibMh/pw8vNr3e3Y1ljXbWimINTWpP9hTQAKz+h/bLPYhgyAOMAvhl
- [13] Universal Robotics, «Tipos de Robôs Industriais». Acedido: 28 de Outubro de 2023. Disponível em: <https://www.universal-robots.com>
- [14] Robotsguide, «Robots». Acedido: 1 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://robotsguide.com/robots/unimate>

Referências

- [15] ABB, «Robôs Articulados». Acedido: 1 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-660>
- [16] Campetella, «Robô Cartesiano». Acedido: 1 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.campetella.com/pt/robôs-cartesianos/cx1-prime-series/>
- [17] Citisystems, «Robôs Industriais». Acedido: 1 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>
- [18] FANUC, «Robôs SCARA». Acedido: 1 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/scara-series/scara-sr-3ia>
- [19] FANUC, «Robôs Delta». Acedido: 1 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/delta-robots/série-m2/m-2ia-3s>
- [20] A3Robotics, «Collaborative Robots». Acedido: 1 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.automate.org/a3-content/what-are-collaborative-robots>
- [21] FANUC, «Robôs Colaborativos». Acedido: 1 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/robôs-colaborativos/collaborative-cr7ial>
- [22] International Organization for Standardization, «Manipulating Industrial Robots-Safety», ISO 10218. Acedido: 19 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:10218:-1:ed-2:v1:en>
- [23] International Organization for Standardization, «Safety of machinery- General principles for design- Risk assessment and risk reduction», ISO 12100. Acedido: 19 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12100:ed-1:v1:en>
- [24] FANUC, «iPendant touch». Acedido: 16 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/acessórios/robot-controller-and-connectivity/ipendant-touch>
- [25] A. A. Santos *et al.*, «Simulation Case Study for Improving Painting Tires Process Using the Fanuc Roboguide Software», em *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: Establishing Bridges for More Sustainable Manufacturing Systems*, 2024, pp. 517–524. doi: 10.1007/978-3-031-38241-3_58.
- [26] A. A. Santos, F. Pereira, e C. Felgueiras, «Optimization and improving of the production capacity of a flexible tyre painting cell», Fev. 2024, doi: 10.1007/s00170-024-13208-4.
- [27] ABB, «RobotStudio Palletizing». Acedido: 30 de Dezembro de 2023. Disponível em: https://library.e.abb.com/public/8194b916f2b7c1e7c1257864004a3dc4/ROB0211EN_A_Palletizing PowerPac data sheet_final.pdf
- [28] PT Systems and Automation, «Paletização Robótica e Convencional». Acedido: 12 de Dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.ptchronos.com/pt/blog/paletizadora-robotica-versus-uma-paletizadora-convencional>
- [29] J. N. Pires, «Os Desafios da Robótica Industrial». Acedido: 28 de Dezembro de 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264237265_Os_Desafios_da_Robotica_Industrial
- [30] F. M. Moura e M. F. Silva, «Application for automatic programming of palletizing robots», IEEE, Abr. 2018, pp. 48–53. doi: 10.1109/ICARSC.2018.8374159.

- [31] A. A. Santos, F. Pereira, A. Monteiro, e J. Machado, «MODELLING AND SIMULATION OF A PICK&PLACE SYSTEM USING MODELICA MODELLING LANGUAGE AND AN INVERSE KINEMATICS APPROACH», *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, vol. 1, n. 16, Jun. 2024, doi: 10.17683/ijomam/issue16.1.
- [32] Lin Engineering, «Servo Motor». Acedido: 6 de Julho de 2024. Disponível em: https://www.linengineering.com/what-is-a-servo?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI9eufkqyOhwMV-6doCR1mMA54EAAYAiAAEgLYQ_D_BwE
- [33] FESTO, «Servo Motores». Acedido: 6 de Julho de 2024. Disponível em: https://www.festo.com/pt/pt/p/servomotor-id_EMMT/?tab=HIGHLIGHTS
- [34] P. Flores, *Projeto e Seleção de Componentes Mecânicos*. Porto, 2023.
- [35] Optibelt, «Correias Dentadas». Acedido: 3 de Julho de 2024. Disponível em: <https://www.optibelt.com/us/products/timing-belts-rubber/optibelt-omega-hp/>
- [36] Norelem, «Polias Perfil HTD 3M». Acedido: 3 de Julho de 2024. Disponível em: <https://norelem.es/pt/Visão-geral-de-produtos/Sistemas-e-componentes-para-a-construção-de-máquinas-e-equipamentos/22000/Correias-dentadas-Polias/Polias-Perfil-HTD-3M/p/agid.26643>
- [37] Norelem, «Fusos». Acedido: 3 de Julho de 2024. Disponível em: <https://norelem.es/pt/Visão-geral-de-produtos/Sistemas-e-componentes-para-a-construção-de-máquinas-e-equipamentos/24000/Animação-sobre-a-aplicação-do-fuso-de-esferas-recirculantes/Fusos-de-esferas-recirculantes-em-miniatura-retificados-com-porca-flangeada>
- [38] SKF, «Rolamentos de Esferas». Acedido: 4 de Julho de 2024. Disponível em: <https://www.skf.com/pt/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>
- [39] SKF, «Caixa de Mancal». Acedido: 4 de Julho de 2024. Disponível em: <https://www.skf.com/pt/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SY 510 M>
- [40] Norelem, «Guias de Trilhos Perfilados». Acedido: 3 de Julho de 2024. Disponível em: <https://norelem.es/pt/Visão-geral-de-produtos/Sistemas-e-componentes-para-a-construção-de-máquinas-e-equipamentos/21000/Guias-de-trilhos-perfilados/c/21472>
- [41] FESTO, «Atuadores Pneumáticos». Disponível em: https://www.festo.com/pt/pt/p/cilindro-compacto-atuacao-dupla-id_ADN/?q=~%3AfestoSOrderScored
- [42] Metropack, «ECT (Edge Crush Test) and BCT (Box Compression Test) of a corrugated box.» Acedido: 2 de Julho de 2024. Disponível em: <https://www.metropack.eu/definition/materials/corrugated-cardboard/ect-edge-crush-test-and-bct-box-compression-test-corrugated-box>
- [43] TechLab Systems, «Compression Tester». Acedido: 2 de Julho de 2024. Disponível em: https://www.dgts.it/files/products/VALIDATOR_Plus-50_Compression_Tester.pdf
- [44] ZwickRoell, «Ensaio edge crush (ensaio ECT)». Acedido: 2 de Julho de 2024. Disponível em: <https://www.zwickroell.com/pt/setores-da-industria/papel-papelao-tecidos/papelao-ondulado-e-papelao-macico/ensaio-de-compressao-de-bordas-edge-crush-ensaio-ect/>

Referências

- [45] B. Margeirsson, S. Arason, e H. Pálsson, «Thermal Performance of Corrugated Plastic Boxes and Expanded Polystyrene Boxes», 2009.
- [46] Engineeringtoolbox, «Friction Coefficients». Acedido: 2 de Julho de 2024. Disponível em: https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
- [47] Rajapack, «Caixa de cartão canelado». Acedido: 2 de Julho de 2024. Disponível em: https://raja.scene7.com/is/content/Raja/FT_PT_CHA83.pdf
- [48] F. Pereira, L. Magalhães, A. A. Santos, A. F. da Silva, K. Antosz, e J. Machado, «Development of an Automated Wooden Handle Packaging System with Integrated Counting Technology», *Machines*, vol. 12, n. 2, p. 122, Fev. 2024, doi: 10.3390/machines12020122.
- [49] SKF, «Rolamentos de Esferas». Acedido: 17 de Julho de 2024. Disponível em: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416a2b/pdf_preview_medium/0901d19680416a2b_pdf_preview_medium.pdf
- [50] Optibelt, «Technical Manual Rubber Timing Belt Drives». Acedido: 9 de Julho de 2024. Disponível em: <https://www.optibelt.com/fileadmin/pdf/produkte/keilriemen/Optibelt-TM-Rubber-Timing-Belt-Drives.pdf>
- [51] Norelem, «Perfis de alumínio». Acedido: 27 de Julho de 2024. Disponível em: <https://norelem.es/pt/Visão-geral-de-produtos/Sistema-de-montagem/10000/Perfis-em-alumínio/c/21183>
- [52] ABB, «IRB 5710». Acedido: 19 de Agosto de 2024. Disponível em: <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-5710>
- [53] ABB, «IRB 5710 Large size robot for material handling , payload from 70kg to 110kg», 2024.
- [54] Polylanema, «Liga de Alumínio AW 6063». Acedido: 23 de Agosto de 2024. Disponível em: <https://www.polylanema.pt/pt/aluminios-tecnicos/perfis/aw-6063-1/>
- [55] Polylanema, «Liga de Alumínio AW 6061». Acedido: 23 de Agosto de 2024. Disponível em: <https://www.polylanema.pt/pt/aluminios-tecnicos/aw-6061/>
- [56] Á. Azevedo, «Método Dos Elementos Finitos», *Tecnica (Lisboa)*, 2003.

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

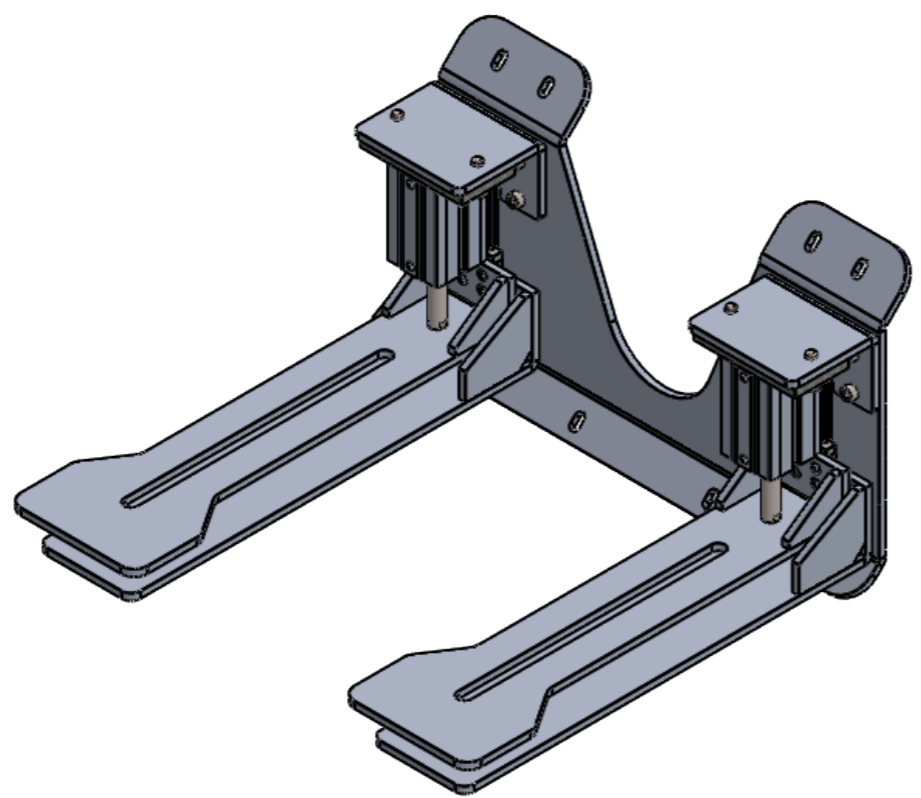
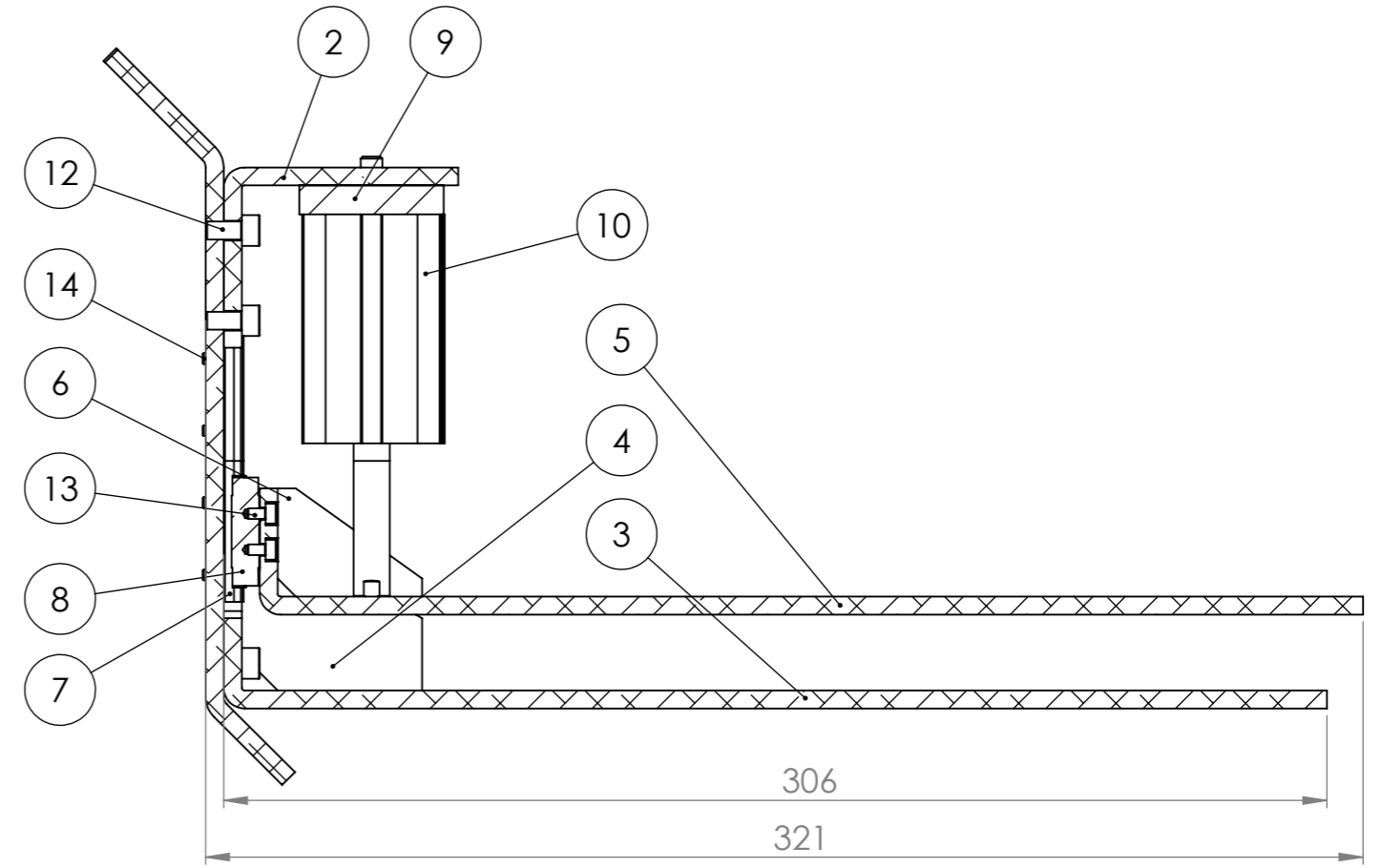
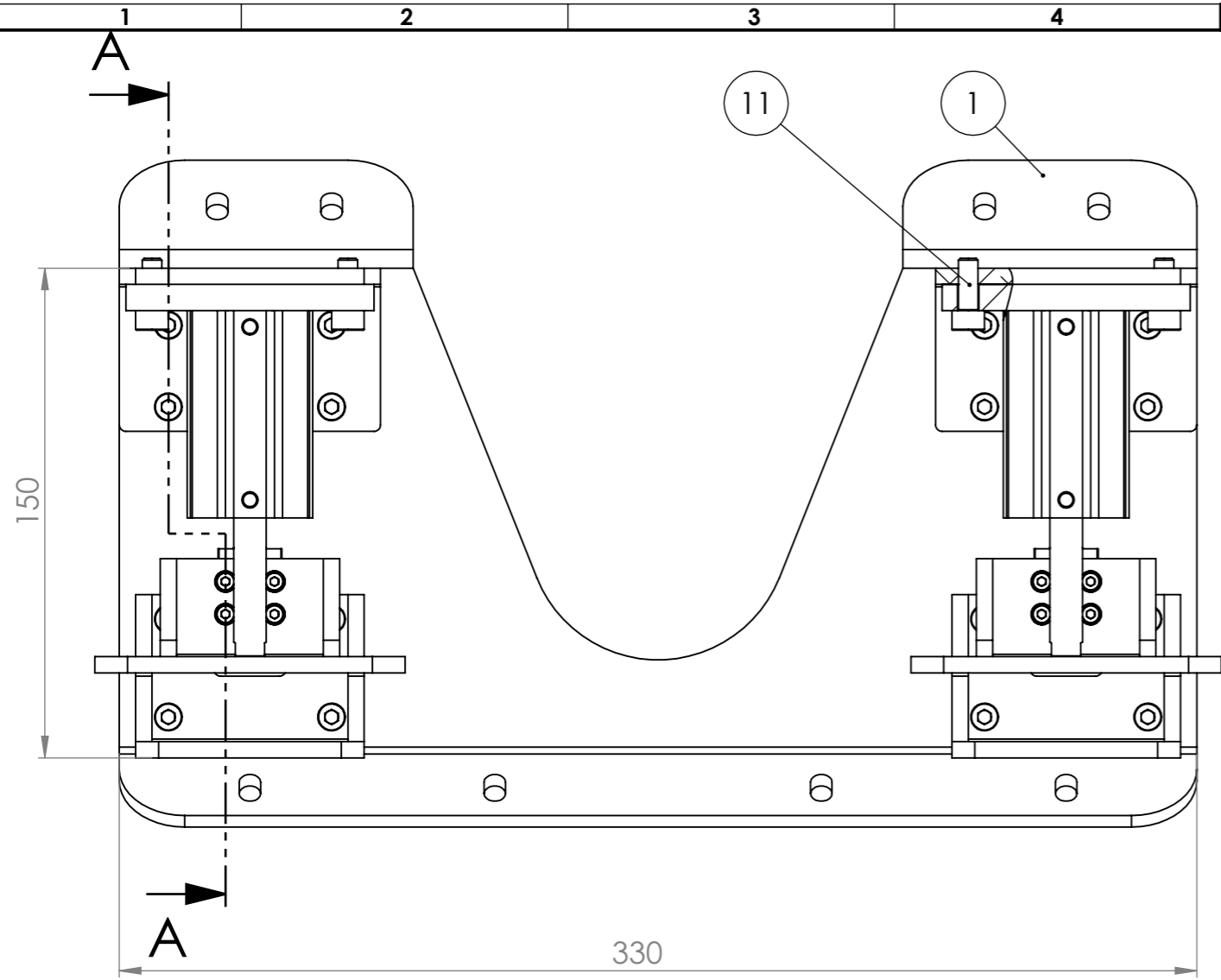
Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Bruno Miguel Guimarães Teles

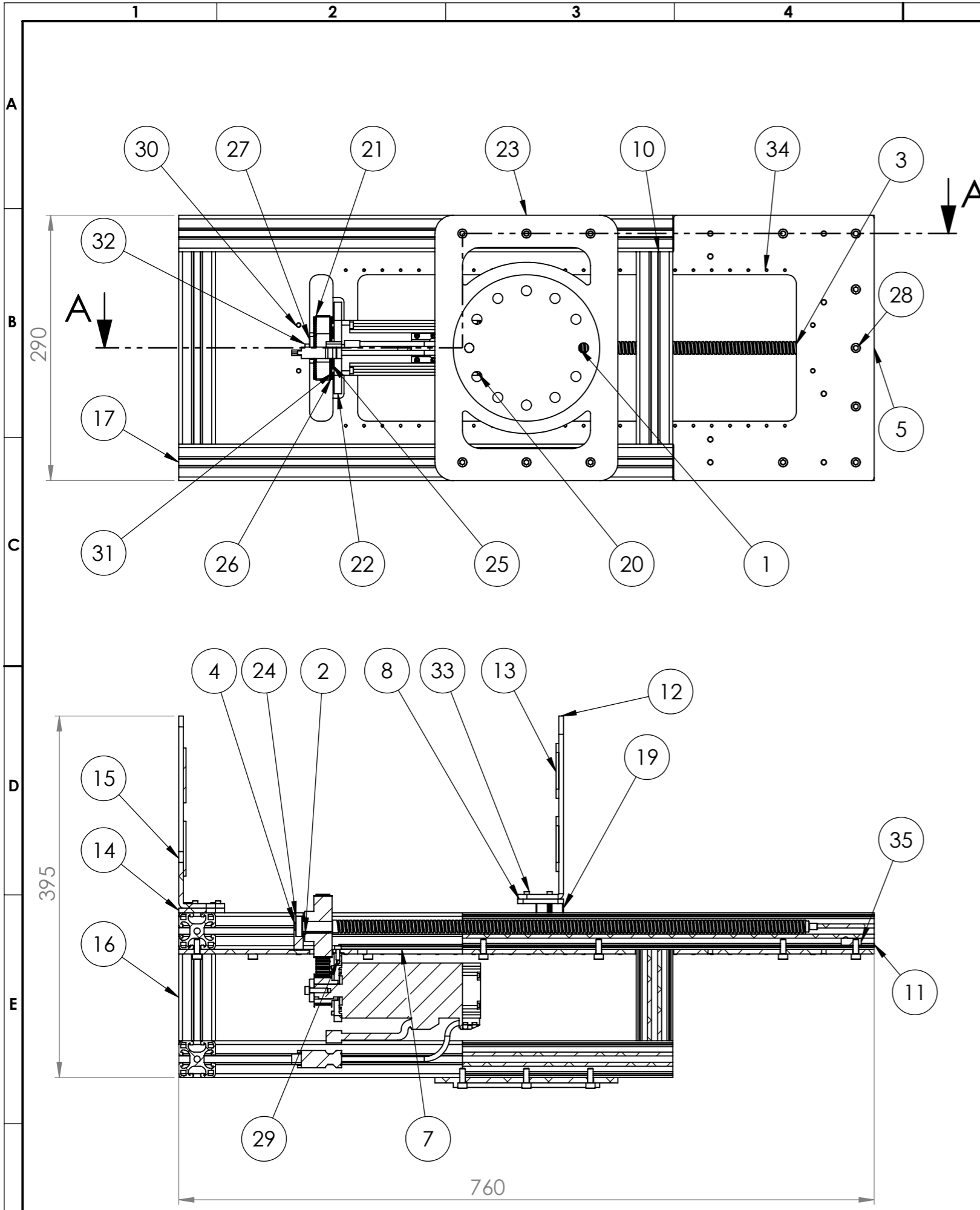
ISEP, Porto, 14 de setembro de 2024

Apêndice A



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Gripper_Palete_Base_Vfinal	1
2	Flange_Cilindro_Vfinal	2
3	Gripper_Palete_001_Vfinal	2
4	Gripper_Palete_003_Vfinal	4
5	Gripper_Palete_002_Vfinal	2
6	Gripper_Palete_005_Vfinal	4
7	Trilho_perfilado_21425-0907X075	2
8	Carro_guia_21420-09103101	2
9	537248 FNC-25	2
10	8076348 ADN-S-25-40-I-P-A---(0_high)	2
11	ISO 4762 M6 x 16 - 16C	4
12	ISO 4762 M5 x 10 - 10C	16
13	ISO 4762 M3 x 5 - 5C	8
14	ISO 4762 M3 x 8 - 8C	8

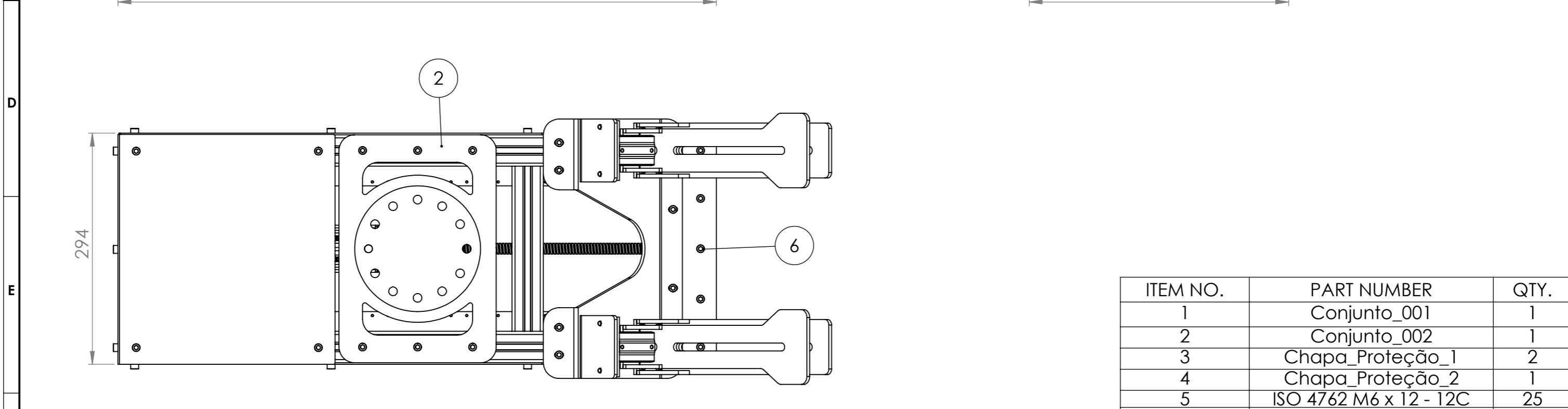
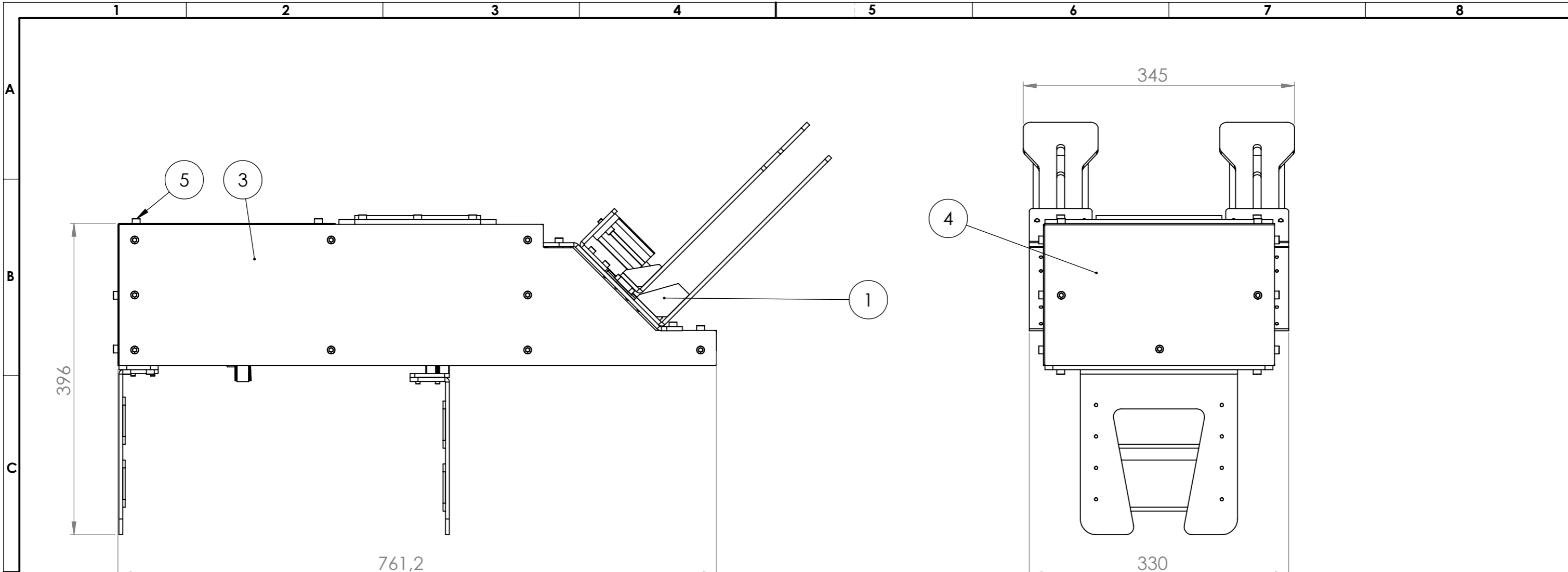
Nome	Data		Quantidade	1
Des.	Bruno 06/05/2024		Massa (kg)	3,0
Vist.		ISO 2768 mK Escala- 1:2 A3	Tratamento	
Aprov.			Material	
Nome	Mecanismo_paletes_Vfinal		Descrição	Montagem
			Desenho	Conjunto_001 1/1




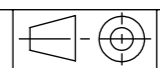
SECTION A-A
SCALE 1:5

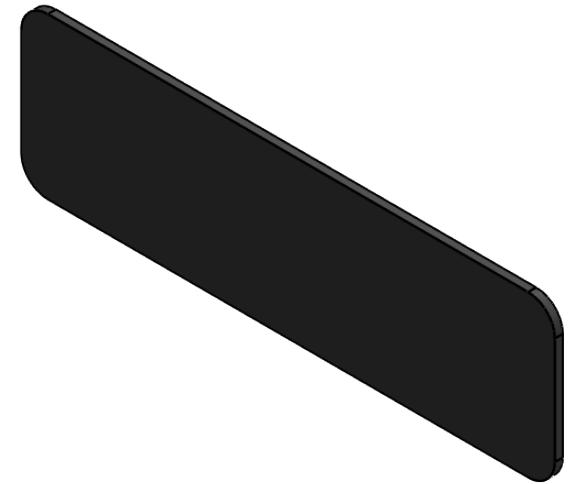
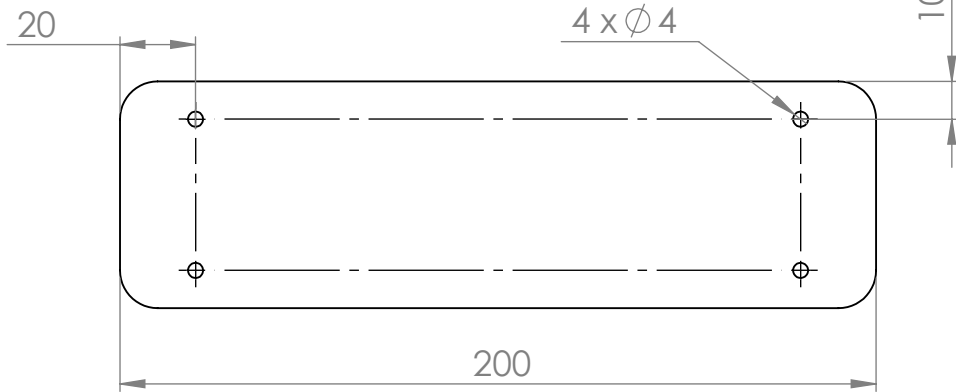
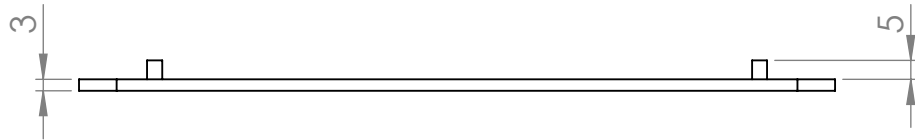
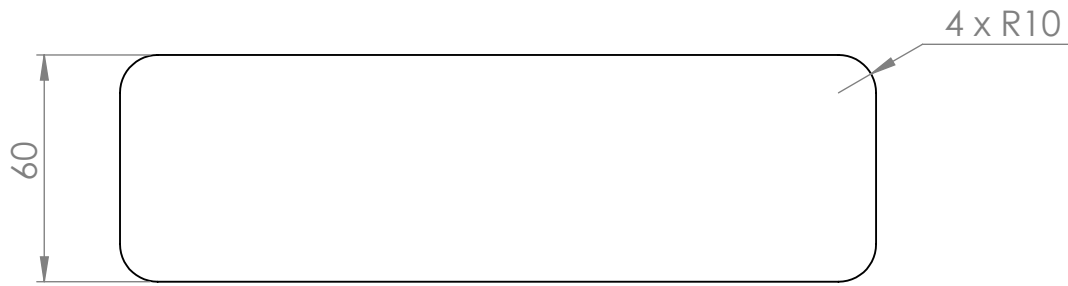
ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Porca_roscada_trapezoidal_24005-140313	1
2	Chaveta	1
3	Fuso_24000-140311_V2	1
4	Apoio_rolamento	2
5	Base_Perfil_V2	1
6	Carro_guia_21420-09103101	2
7	Trilho_perfilado_21425-0907X0495	2
8	Gripper_003_V2	1
9	Flange_porca_roscada_trapezoidal_V2	1
10	Perfil_210	4
11	Perfil_760	2
12	Gripper_001	1
13	Borracha	4
14	Gripper_003_b_V2	1
15	Gripper_002_V3	1
16	Perfil_100	4
17	Perfil_540	2
18	Conector_10210-08	1
19	Aperto_carro_guia	2
20	Servomotor_8097186 EMMB-AS-60-04-K-S30MB	1
21	Correia_22062-0309_Vfinal	1
22	Flange_Servomotor_Vfinal	1
23	Flange_Robô_IRB5710	1
24	skf_bearing_627_2	2
25	Polia_menor_22004-031532	1
26	Polia_maior_22004-031572	1
27	Peça_aperto_polia_menor	1
28	ISO 4762 M6 x 16 - 16C	28
29	ISO 4762 M4 x 12 - 12C	3
30	ISO 4762 M5 x 16 - 16C	4
31	ISO 4762 M4 x 20 - 20C	4
32	ISO 4762 M5 x 20 - 20C	7
33	ISO 4762 M3 x 10 - 10C	17
34	ISO 4762 M3 x 8 - 8C	58
35	Aperto_Chapas	3


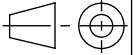
Nome	Data		Quantidade	1
Des.	Bruno		27/04/2024	Massa (kg)
Vist.			Tratamento	
Aprov.			Material	
Nome	Mecanismo_aperto_caixas		Descrição	Montagem
			Desenho	Conjunto_002 1/1

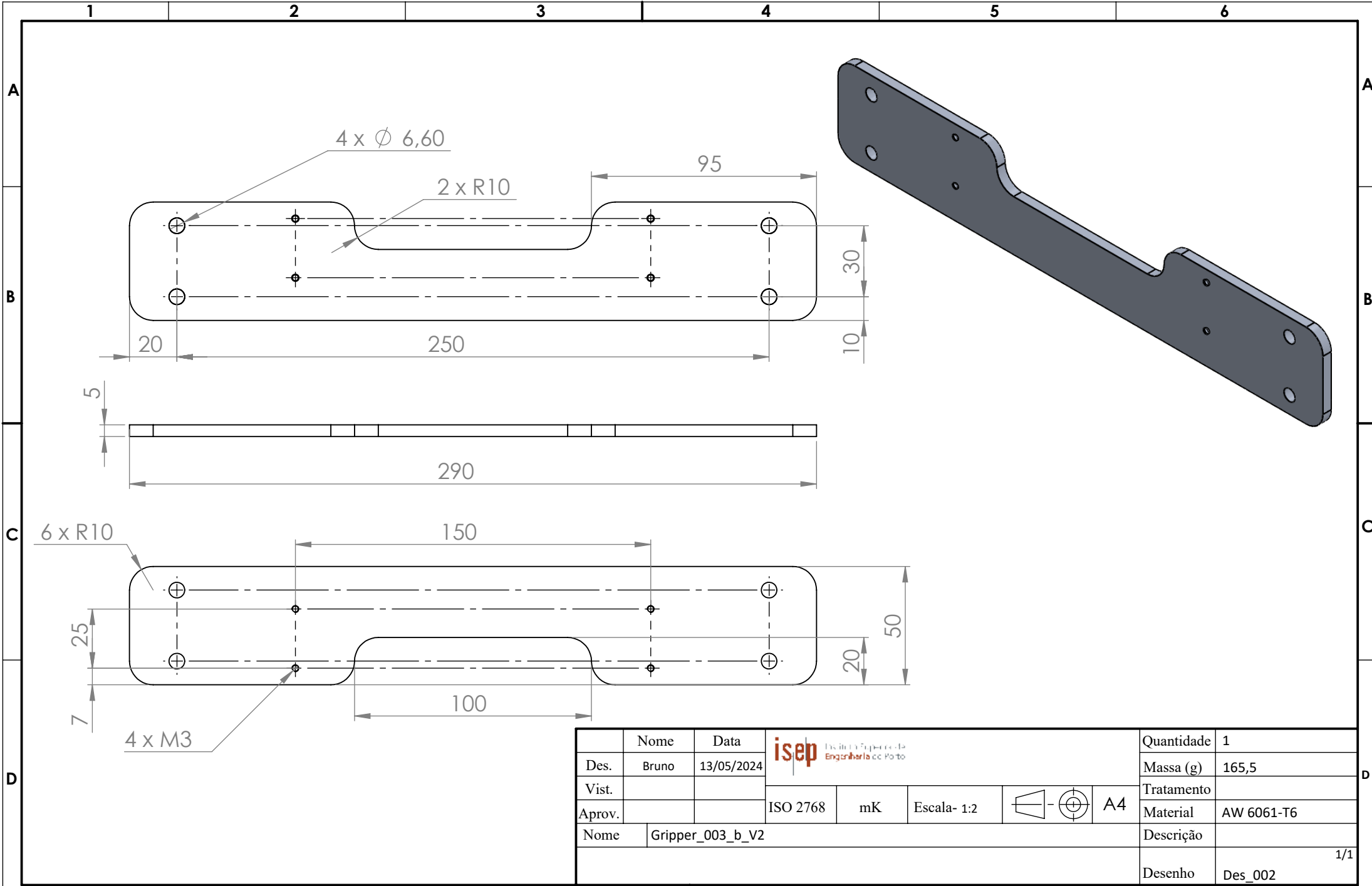




ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Conjunto_001	1
2	Conjunto_002	1
3	Chapa_Proteção_1	2
4	Chapa_Proteção_2	1
5	ISO 4762 M6 x 12 - 12C	25
6	ISO 4762 M6 x 10 - 10C	19

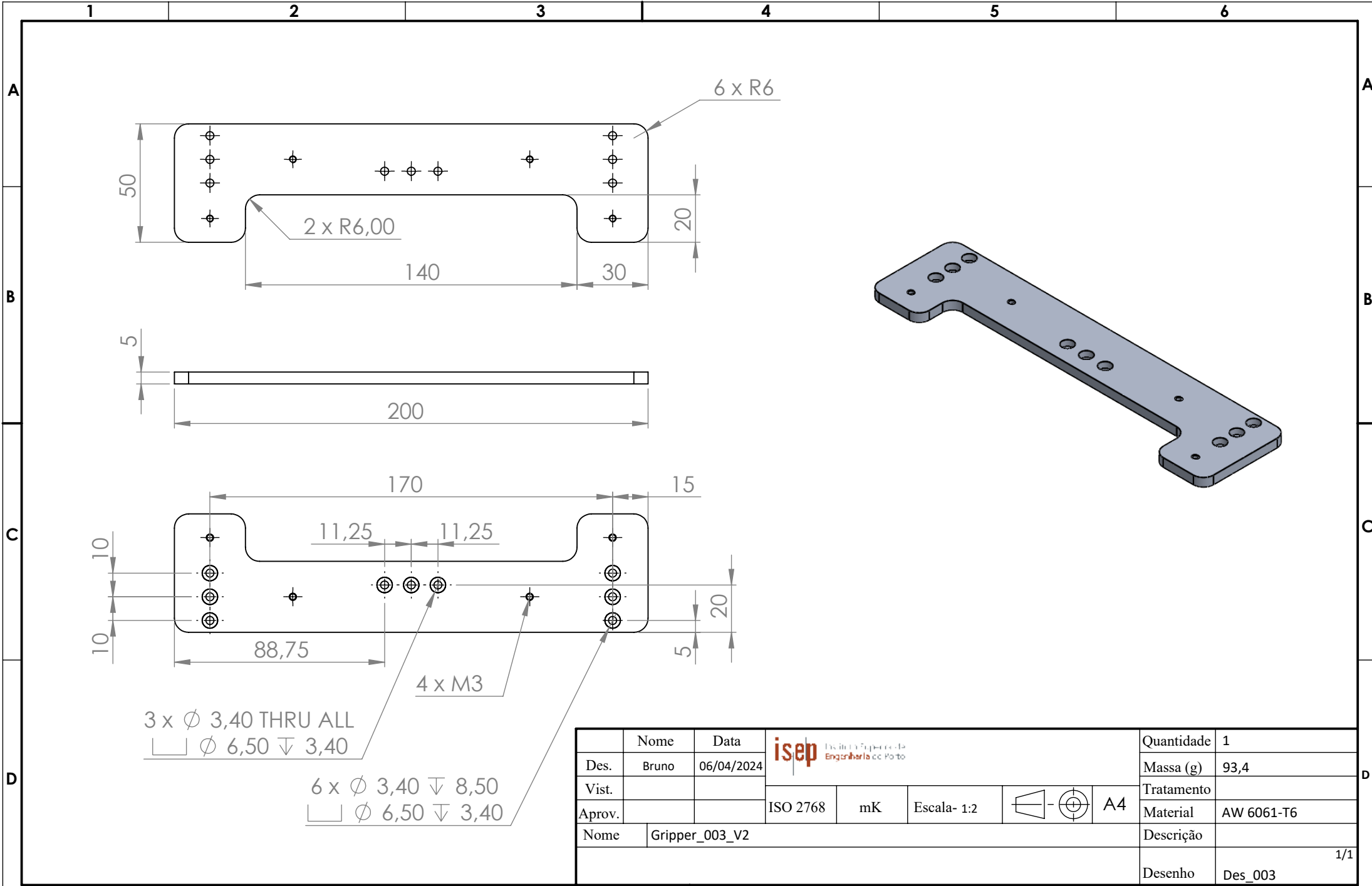
Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia de Lisboa	Quantidade	1	
Des.	Bruno		27/04/2024	Massa (kg)	18,1
Vist.			Tratamento		
Aprov.		ISO 2768	mK	Escala- 1:5	
				 A3	
Nome	Mecanismo_Versao_Final_IRB5710			Descrição	Montagem
				Desenho	Conjunto_003 1/1





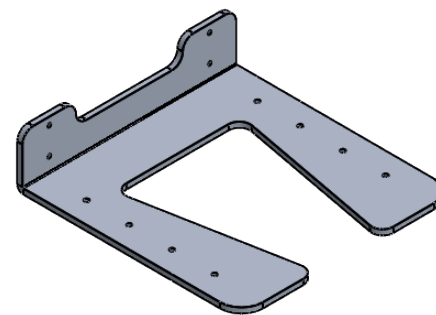
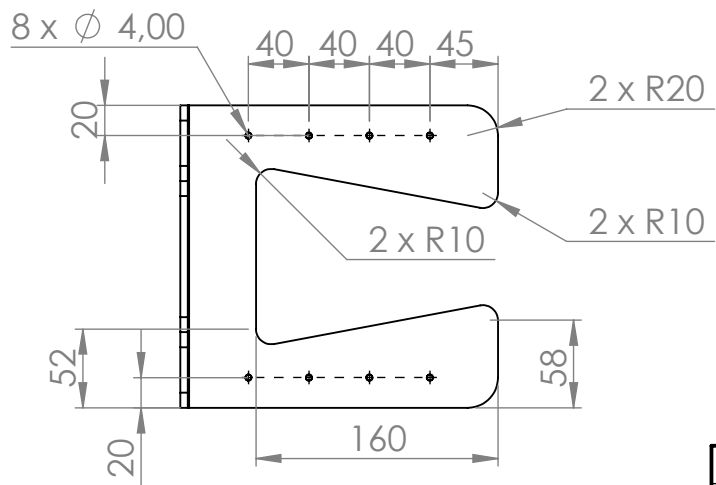
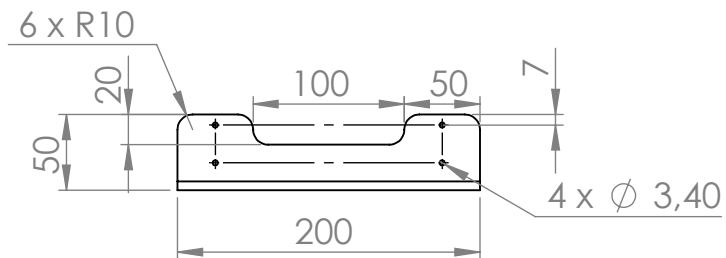
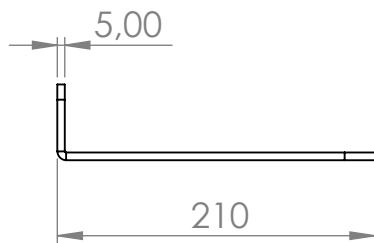
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	4
Des.	Bruno	01/05/2024					Massa (g)	34,5
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	Borracha natural
Nome	Borracha						Descrição	
							Desenho	Des_001
								1/1


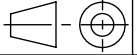


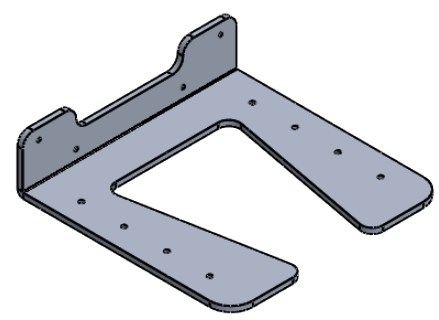
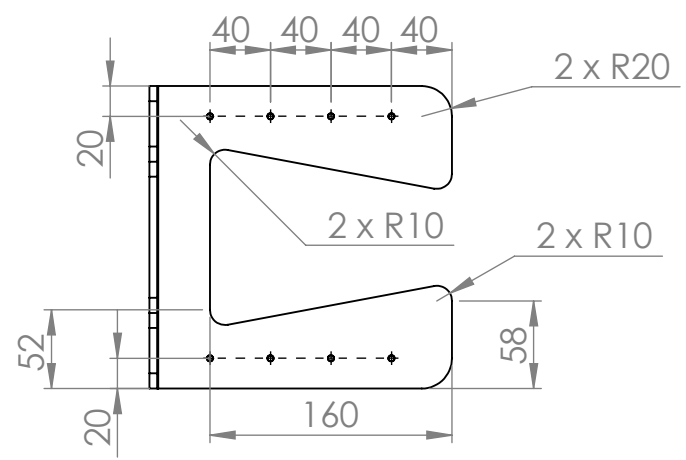
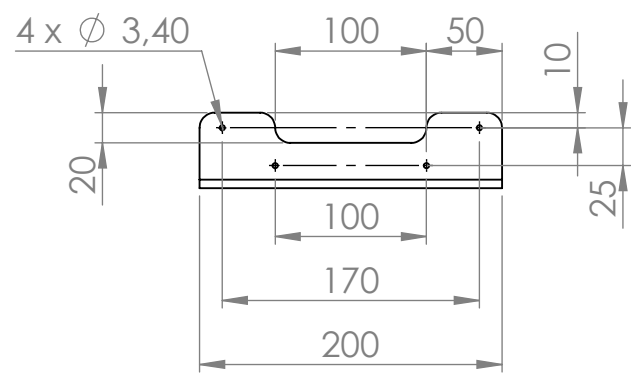
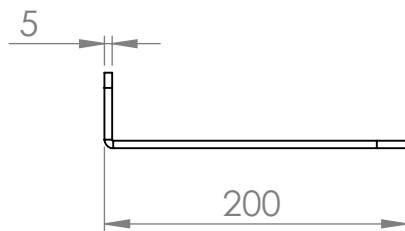
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	13/05/2024					Massa (g)	165,5
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Gripper_003_b_V2						Descrição	
							Desenho	Des_002
								1/1


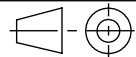


	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	06/04/2024					Massa (g)	93,4
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Gripper_003_V2						Descrição	
							Desenho	Des_003 1/1



	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	06/04/2024					Massa (g)	458,6
Vist.			Tratamento					
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Gripper_002_V3					Descrição		
						Desenho	Des_004	
							1/1	

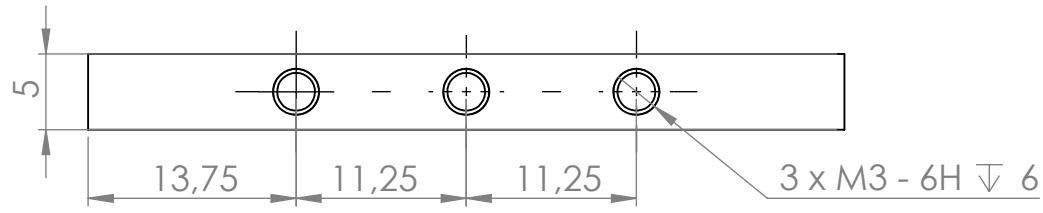


	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	06/04/2024					Massa (g)	431,6
Vist.			Tratamento					
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Gripper_001					Descrição		
						Desenho	Des_005	
							1/1	

1 2 3 4 5 6

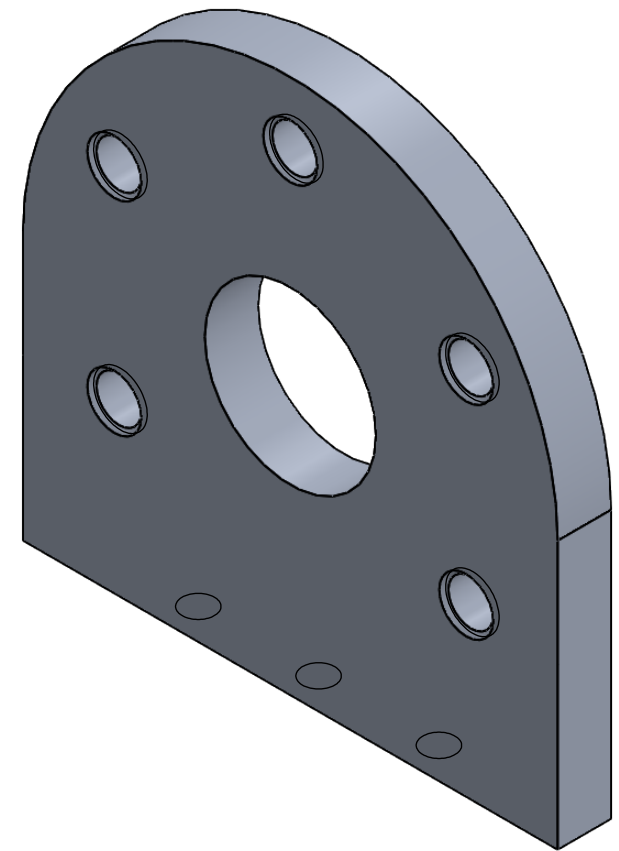
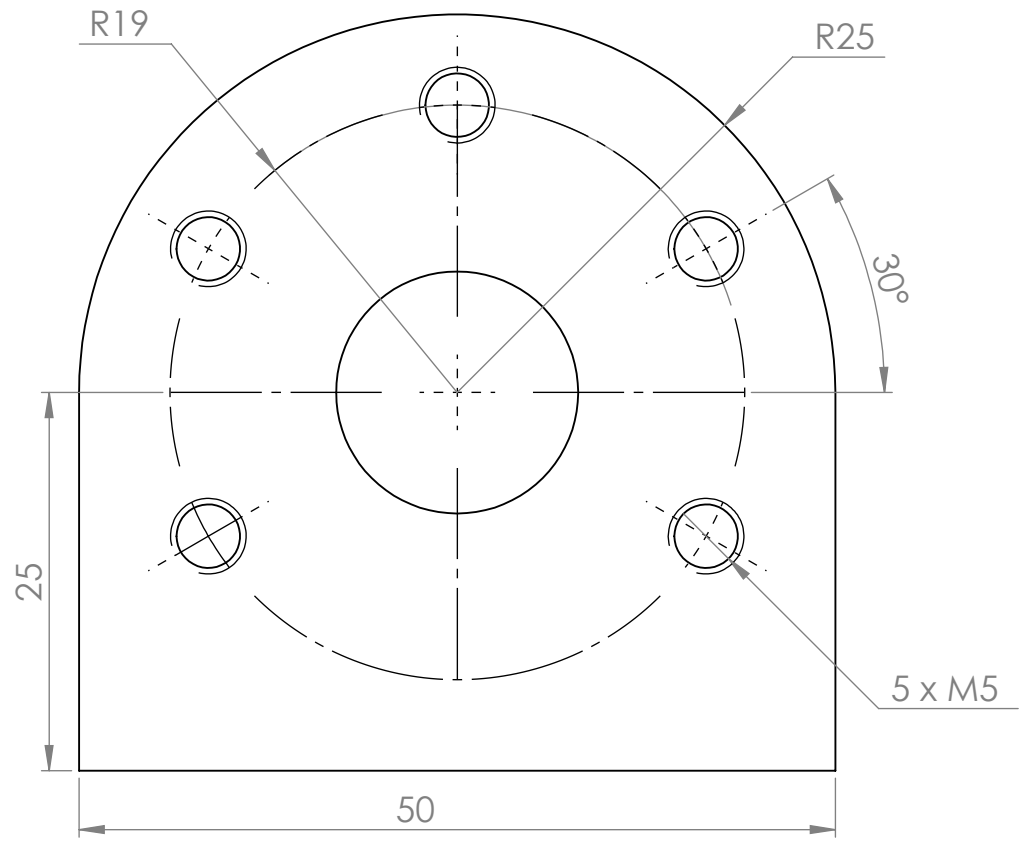
A

A



B

B


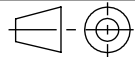


C

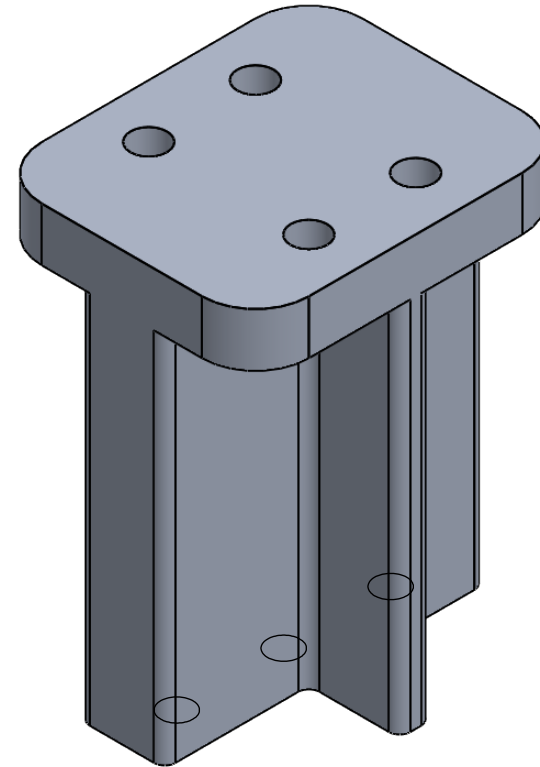
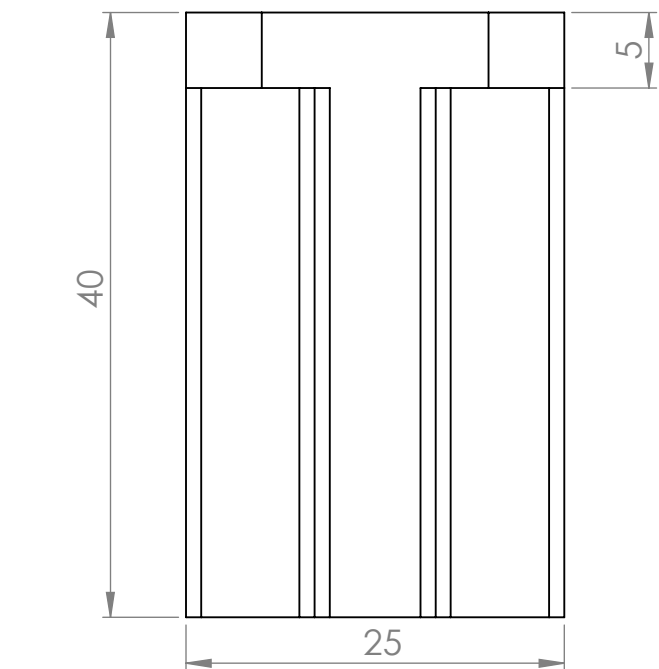
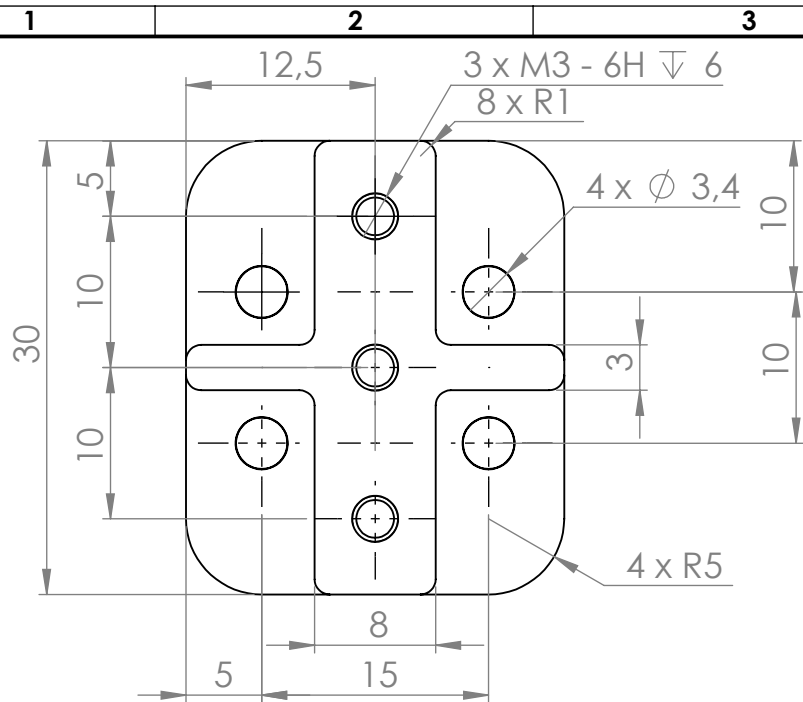
C


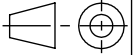
D

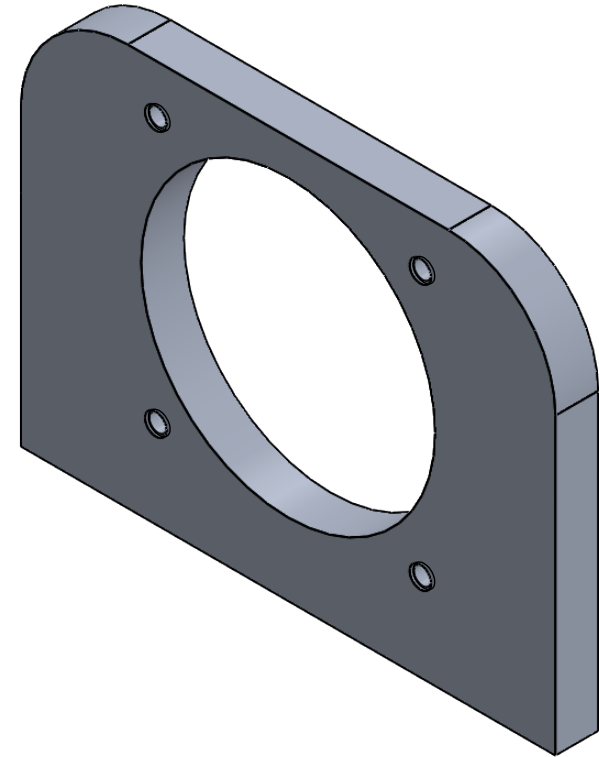
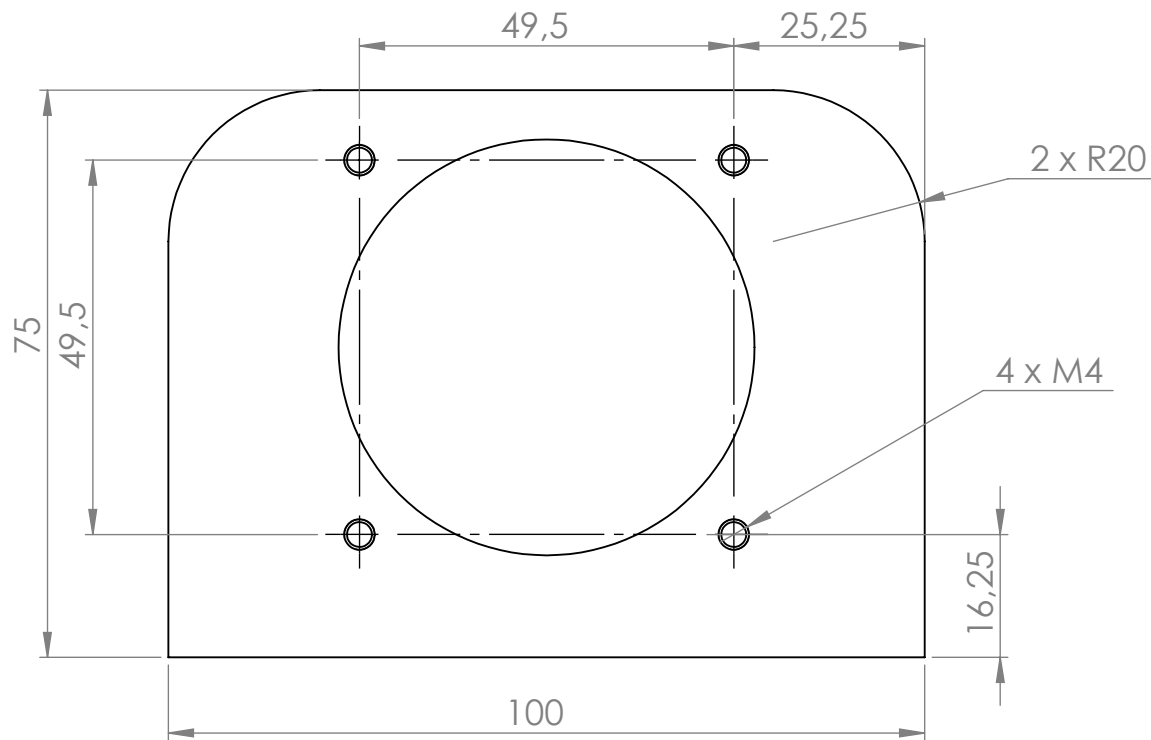
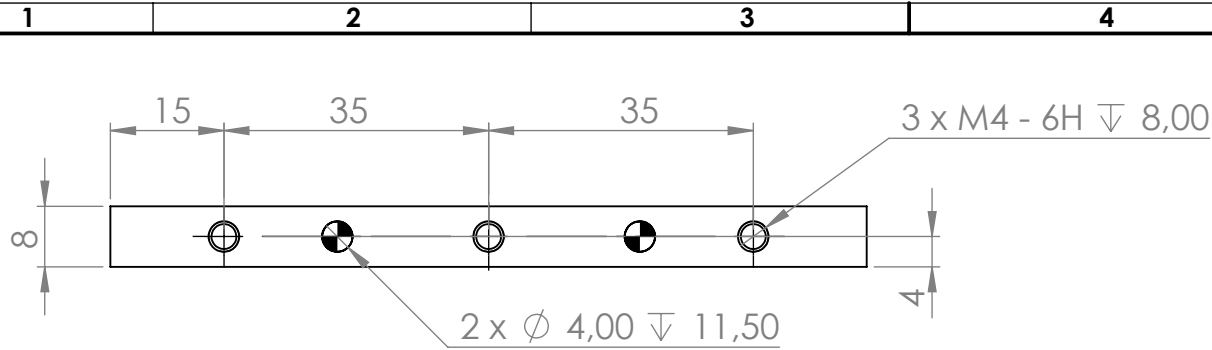
D


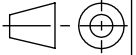
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	20/04/2024					Massa (g)	26,1
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Flange_porca_roscada_trapezoidal_V2						Descrição	
							Desenho	Des_006
								1/1

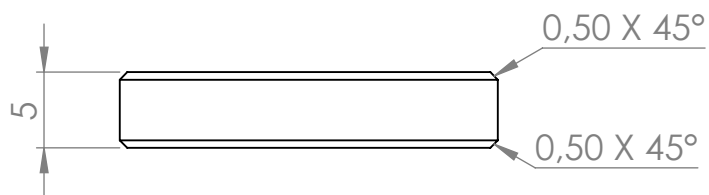
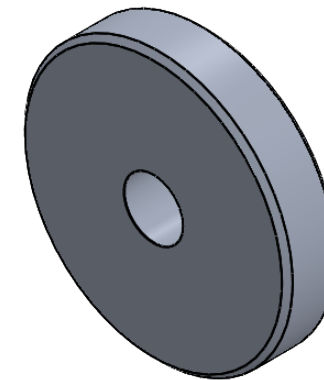
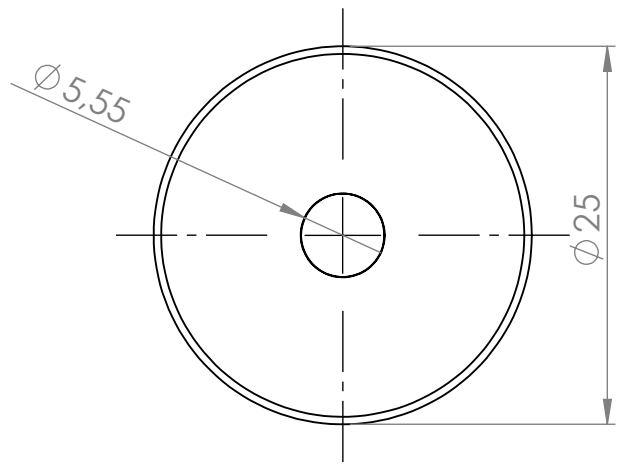
1 2 3 4 5 6


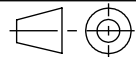


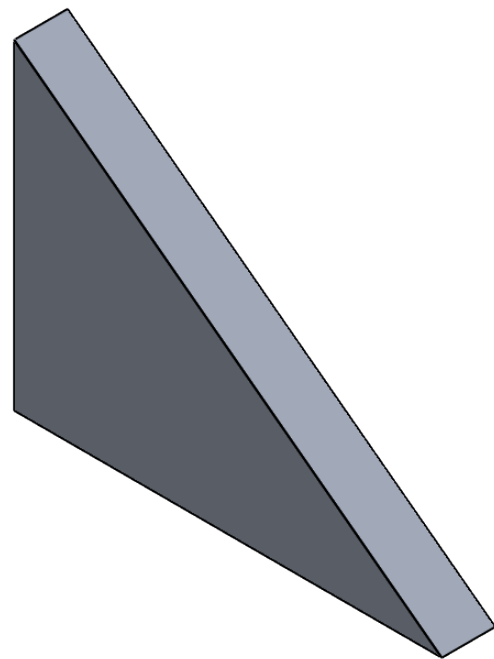
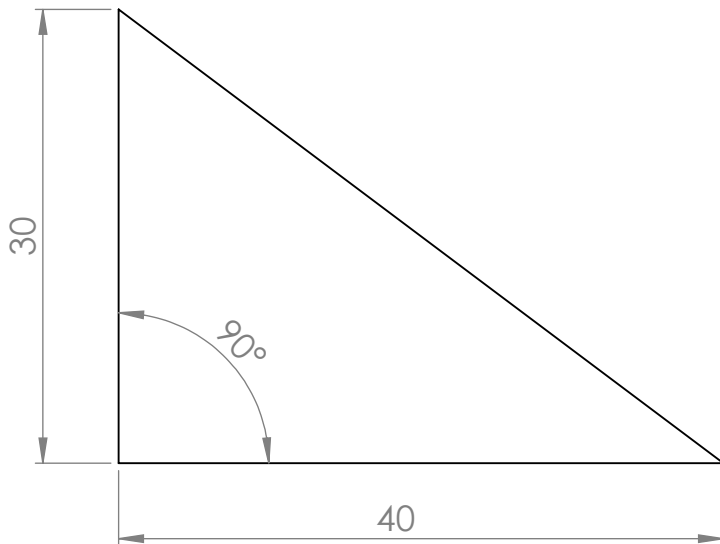
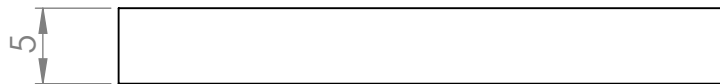
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	2
Des.	Bruno	21/05/2024					Massa (g)	36,4
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Aperto_carro_gui						Descrição	
							Desenho	Des_007
								1/1


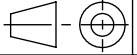


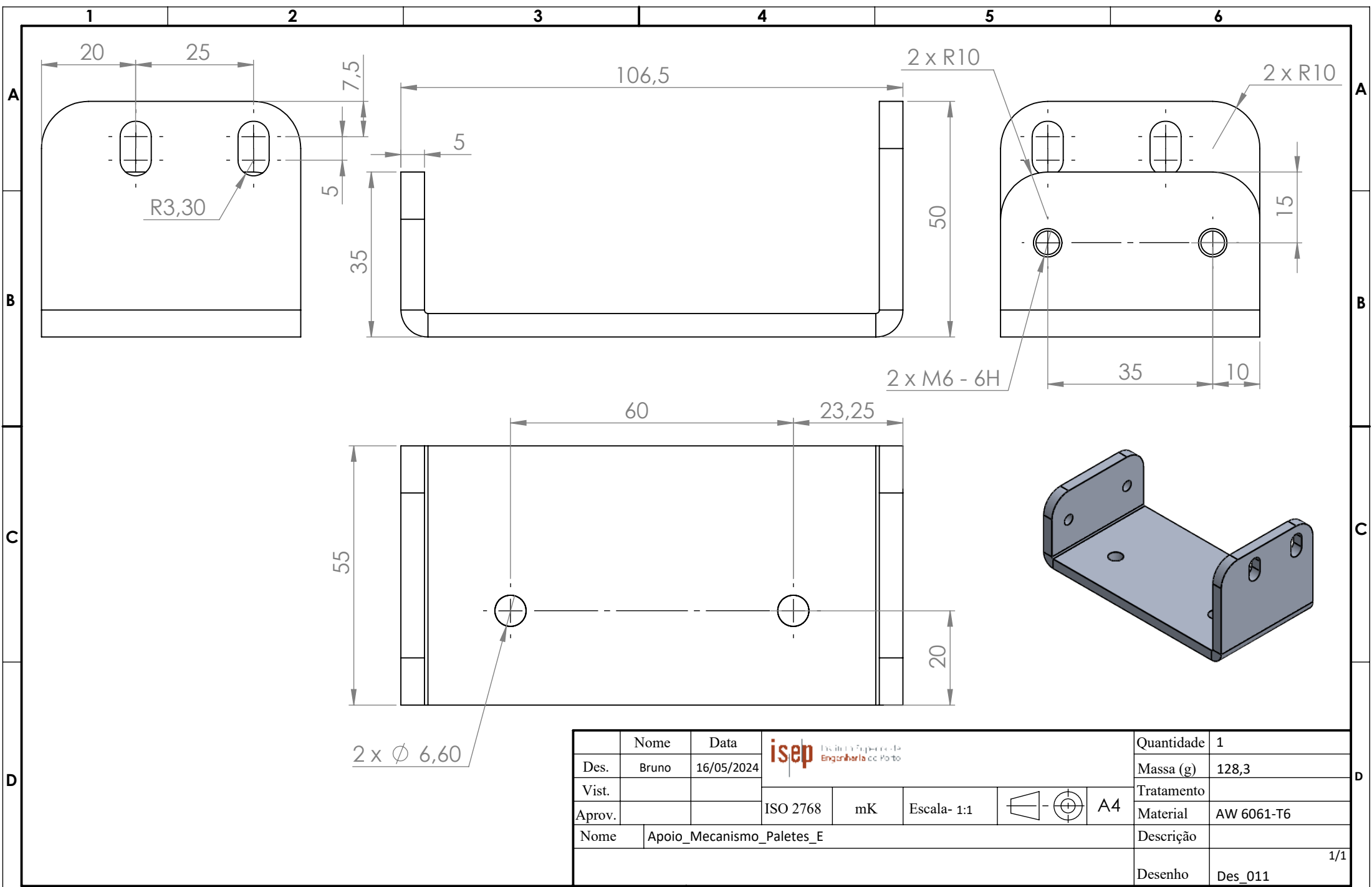
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	05/06/2024					Massa (g)	104,6
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Flange_Servomotor_Vfinal						Descrição	
							Desenho	Des_008
								1/1





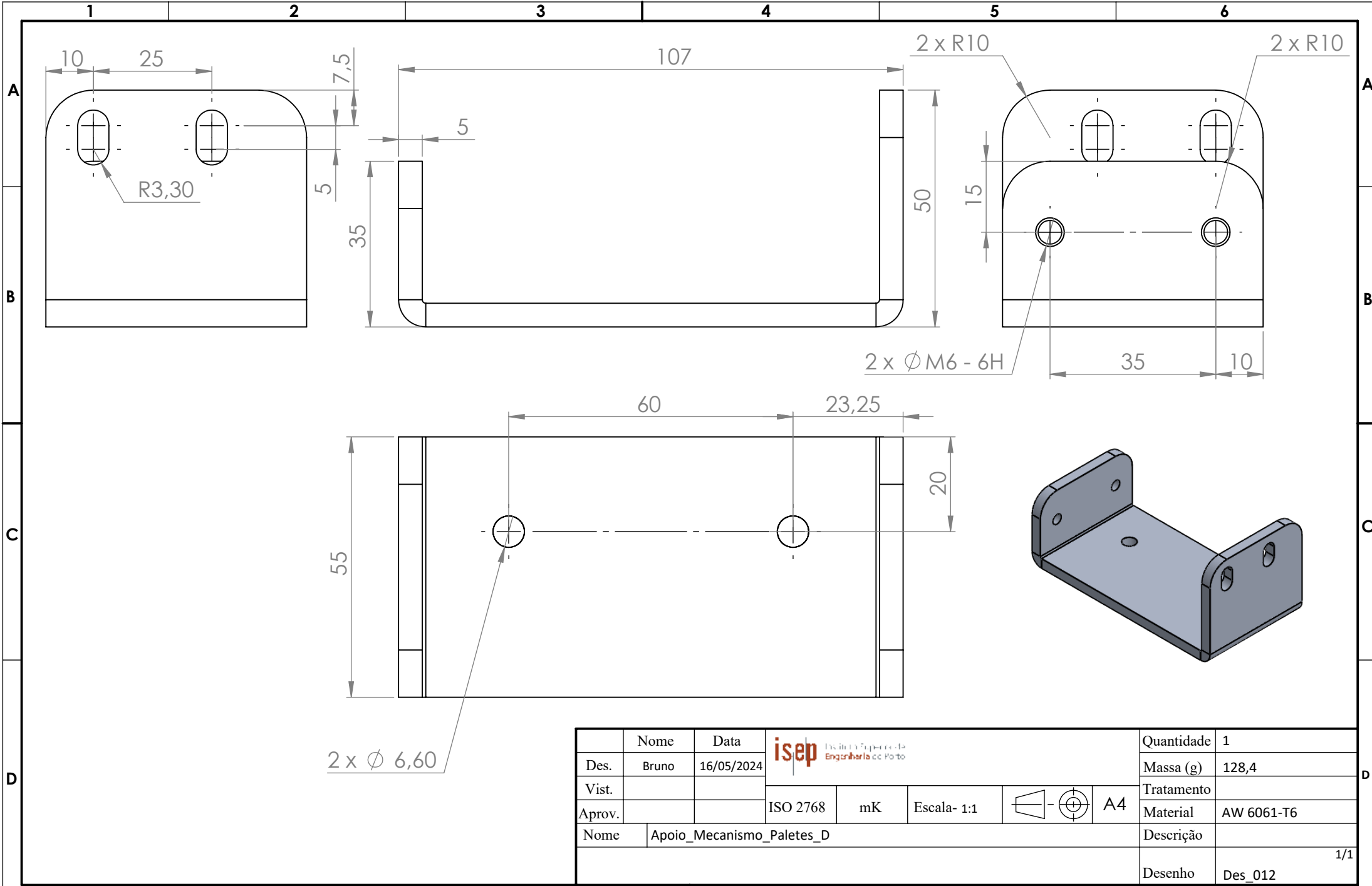
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	29/07/2024						
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Peça_aperto_polia_menor						Descrição	
							Desenho	Des_009
								1/1





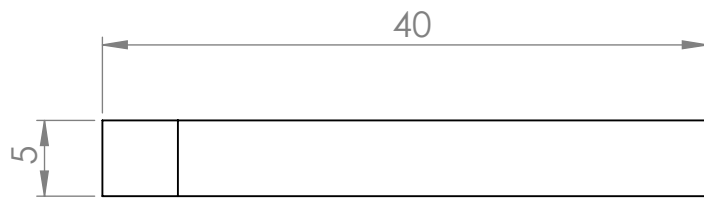
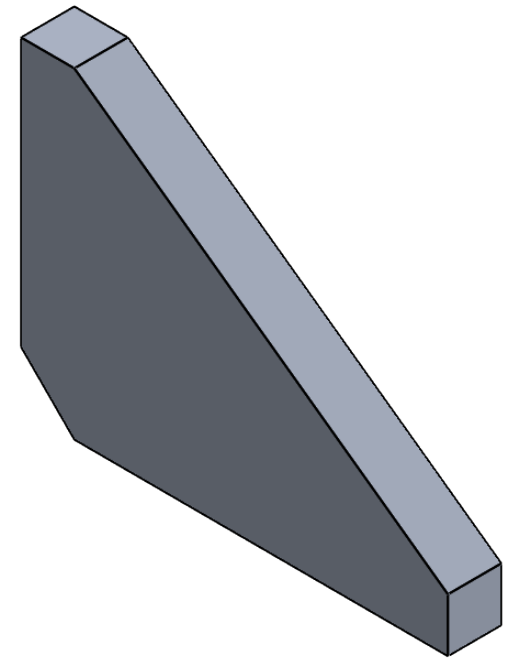
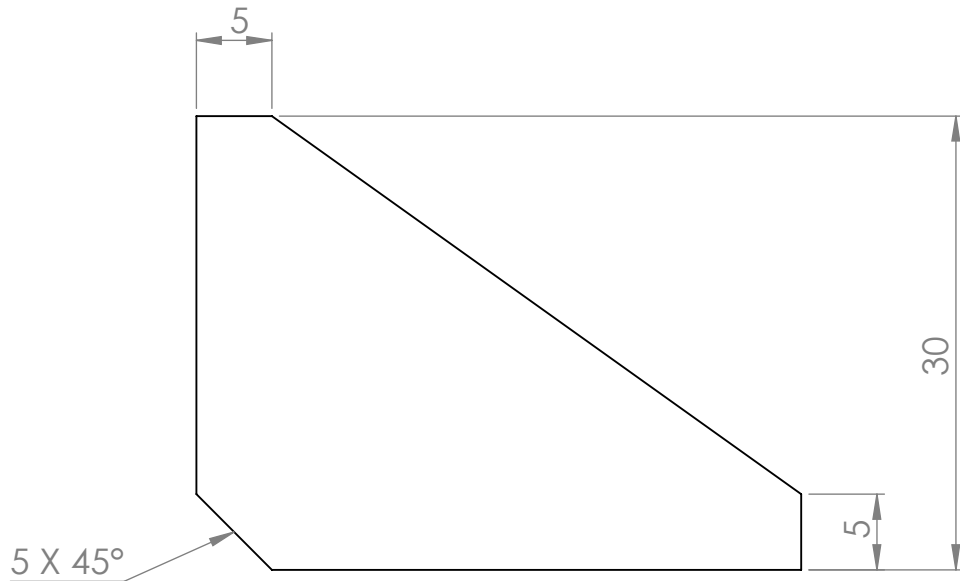
	Nome	Data					Quantidade	4	
Des.	Bruno	16/05/2024					Massa (g)	8,1	
Vist.							Tratamento		
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1		A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Reforço_Apoio_Mecanismo						Descrição		
							Desenho	Des_010	
								1/1	


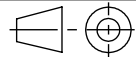


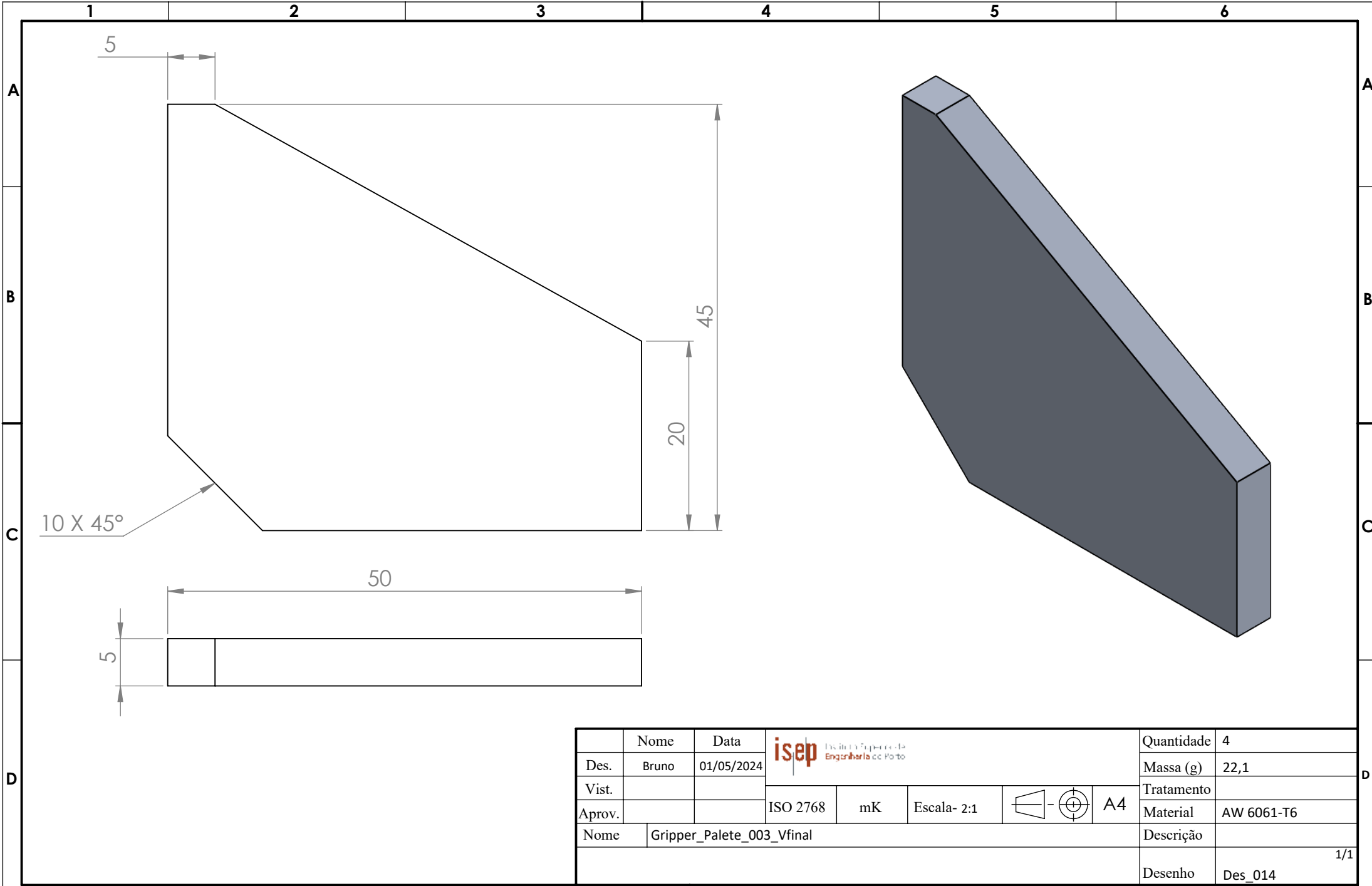
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	16/05/2024					Massa (g)	128,3
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome		Apoio_Mecanismo_Paletes_E					Descrição	
							Desenho	Des_011
								1/1


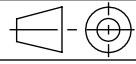


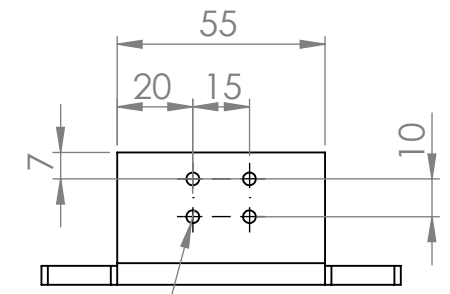
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	16/05/2024					Massa (g)	128,4
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome		Apoio_Mecanismo_Paletes_D					Descrição	
							Desenho	Des_012
								1/1



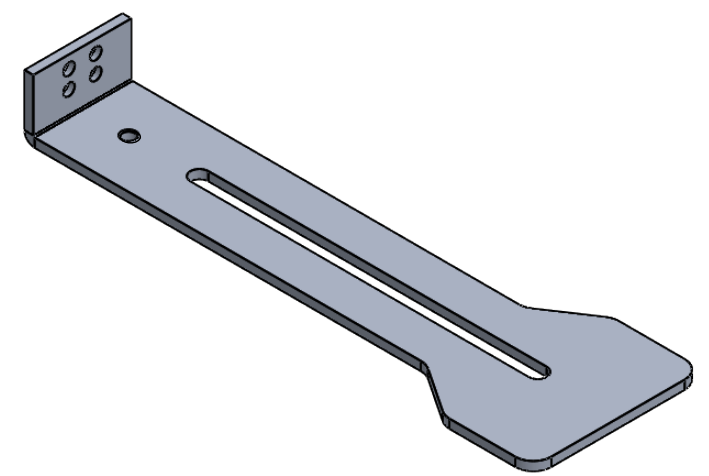
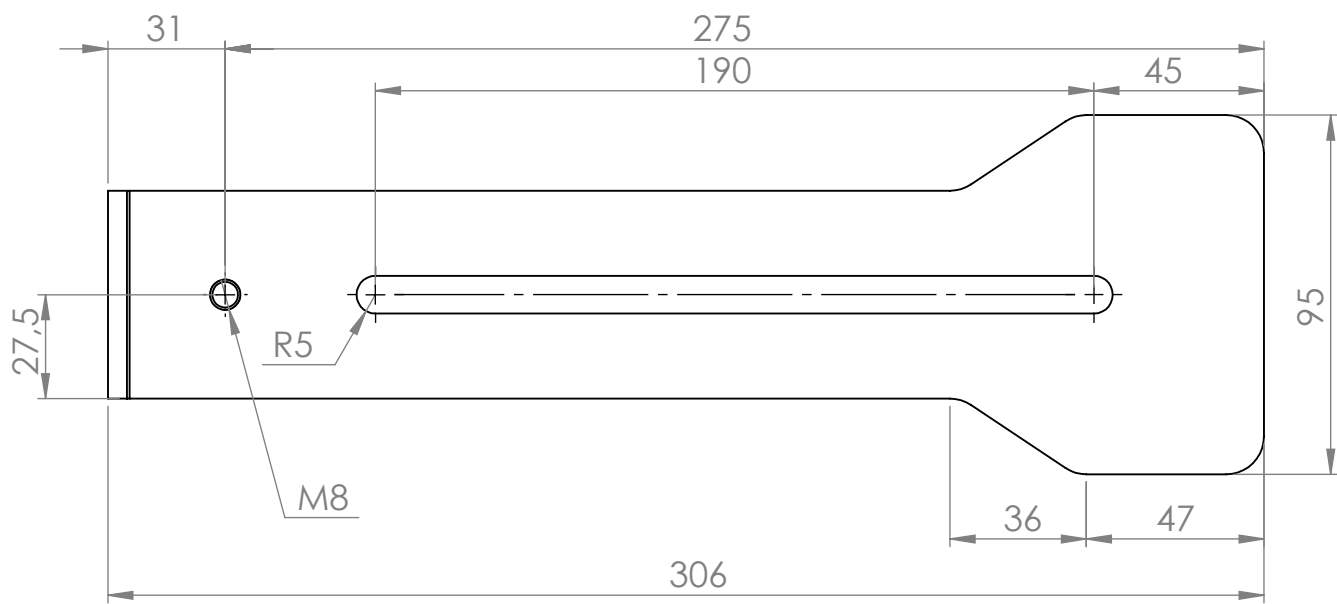
	Nome	Data					Quantidade	4	
Des.	Bruno	01/05/2024					Massa (g)	10,1	
Vist.							Tratamento		
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1		A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Gripper_Paleta_005_Vfinal						Descrição		
							Desenho	Des_013	
								1/1	


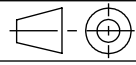


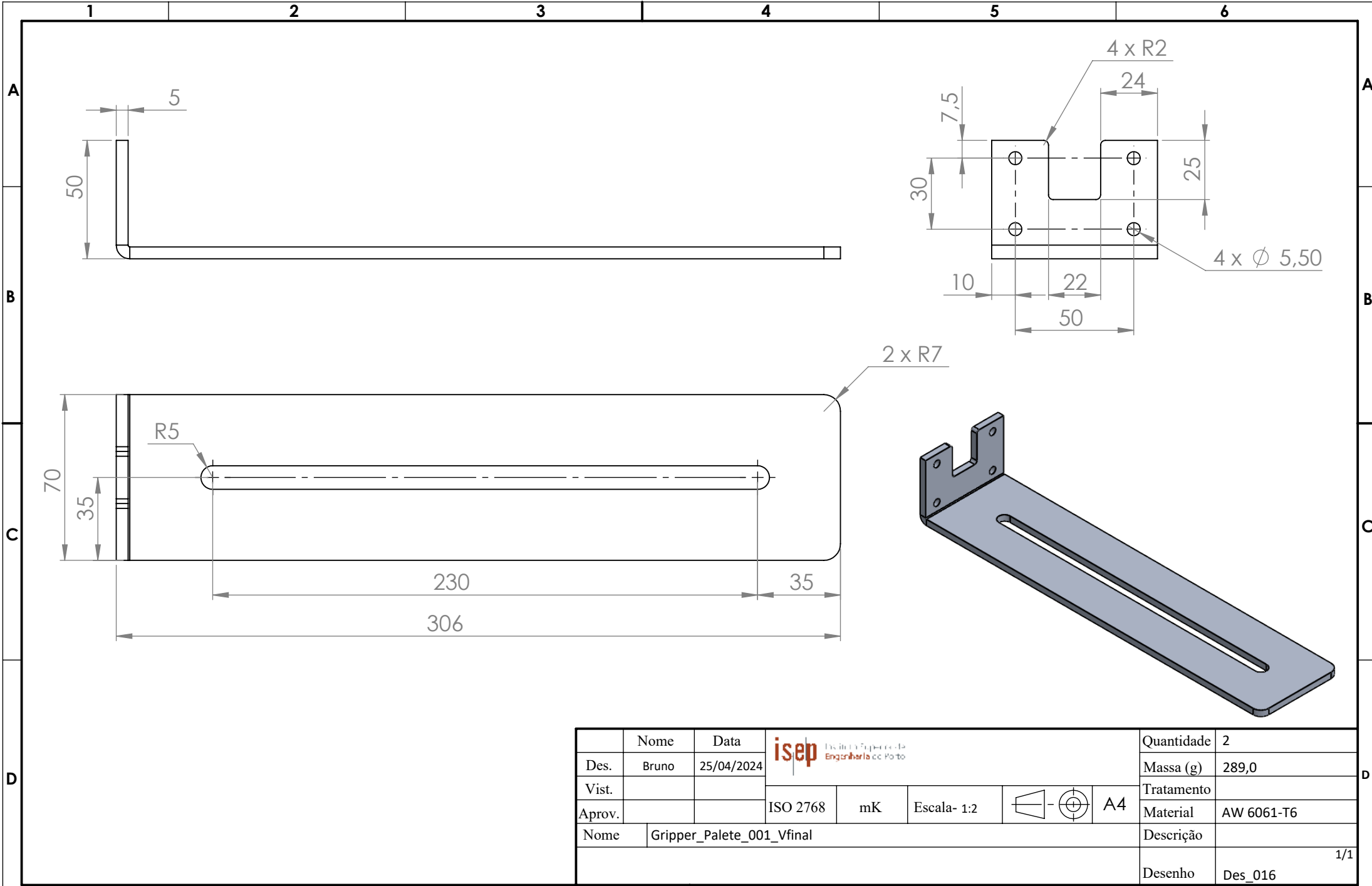
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	4
Des.	Bruno	01/05/2024					Massa (g)	22,1
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome		Gripper_Palete_003_Vfinal					Descrição	
							Desenho	Des_014
								1/1





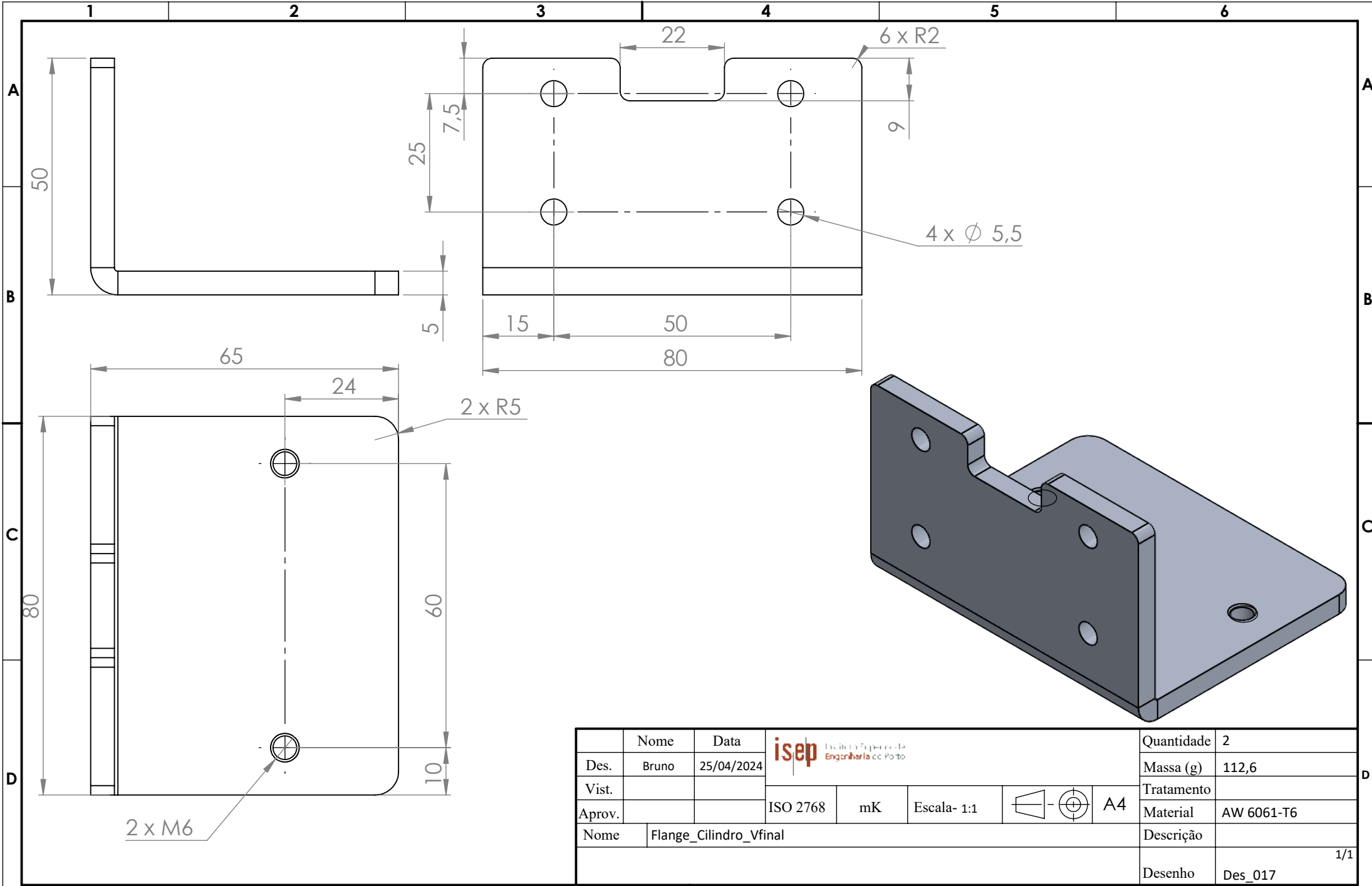
4 x \varnothing 3,40 THRU ALL
 \square \varnothing 6,50 ∇ 3,40


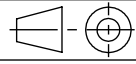


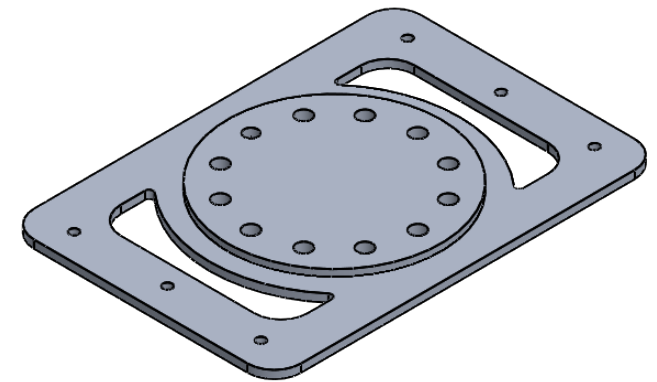
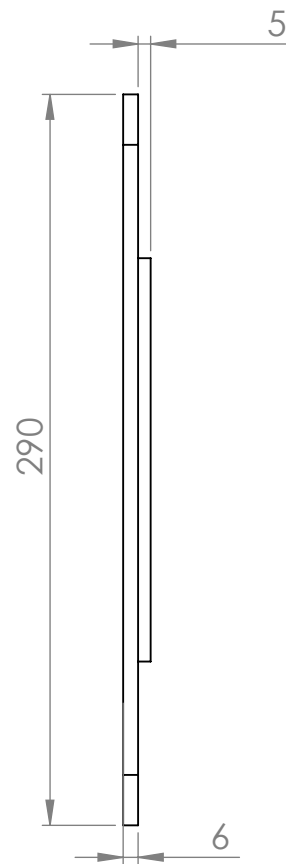
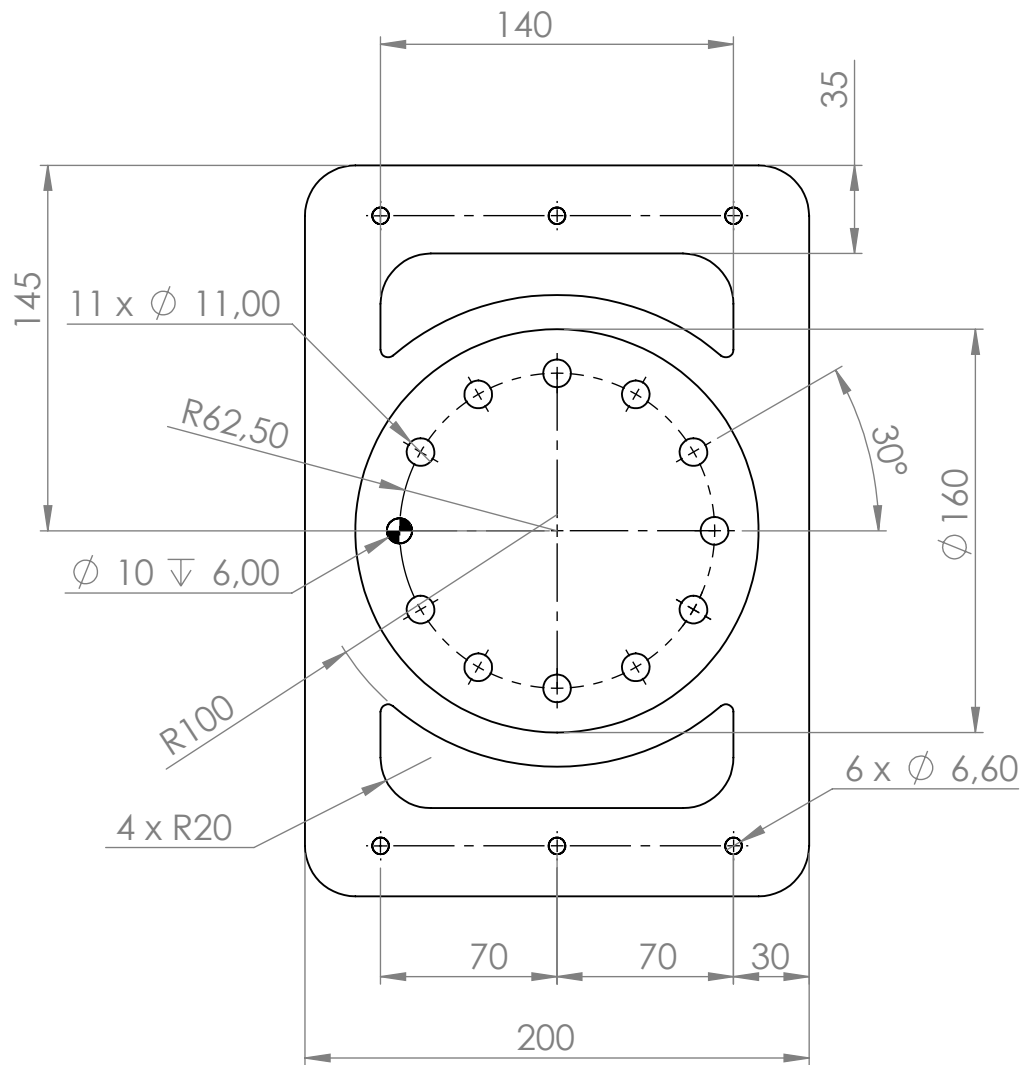
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	2
Des.	Bruno	25/04/2024					Massa (g)	253,8
Vist.			Tratamento					
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Gripper_Palette_002_Vfinal						Descrição	
						Desenho	Des_015	
							1/1	



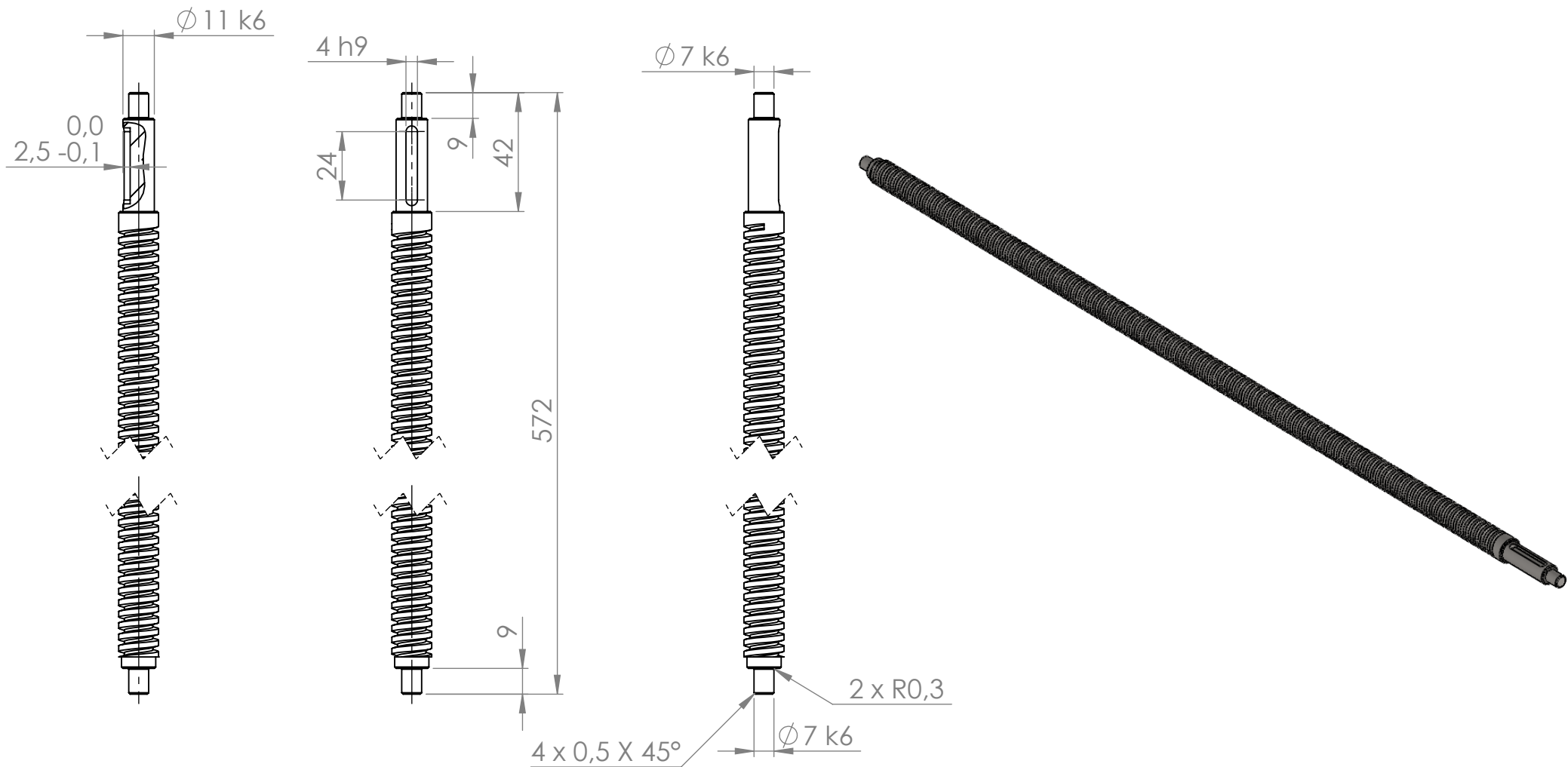
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	2
Des.	Bruno	25/04/2024					Massa (g)	289,0
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Gripper_Palette_001_Vfinal						Descrição	
							Desenho	Des_016
								1/1





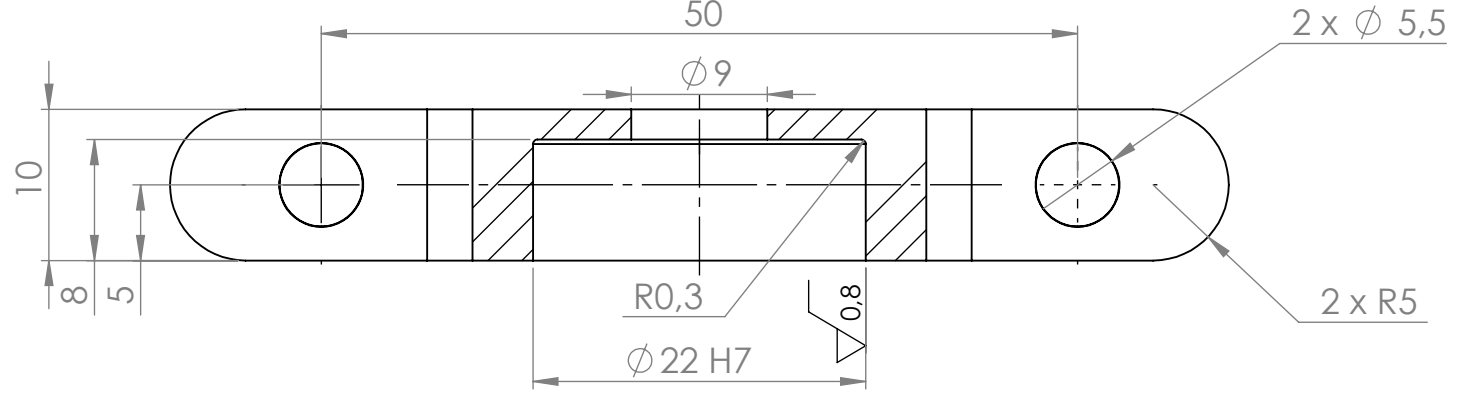
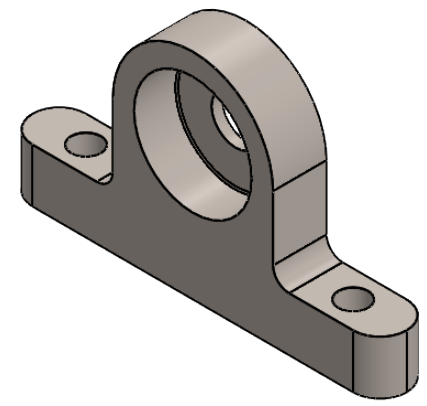
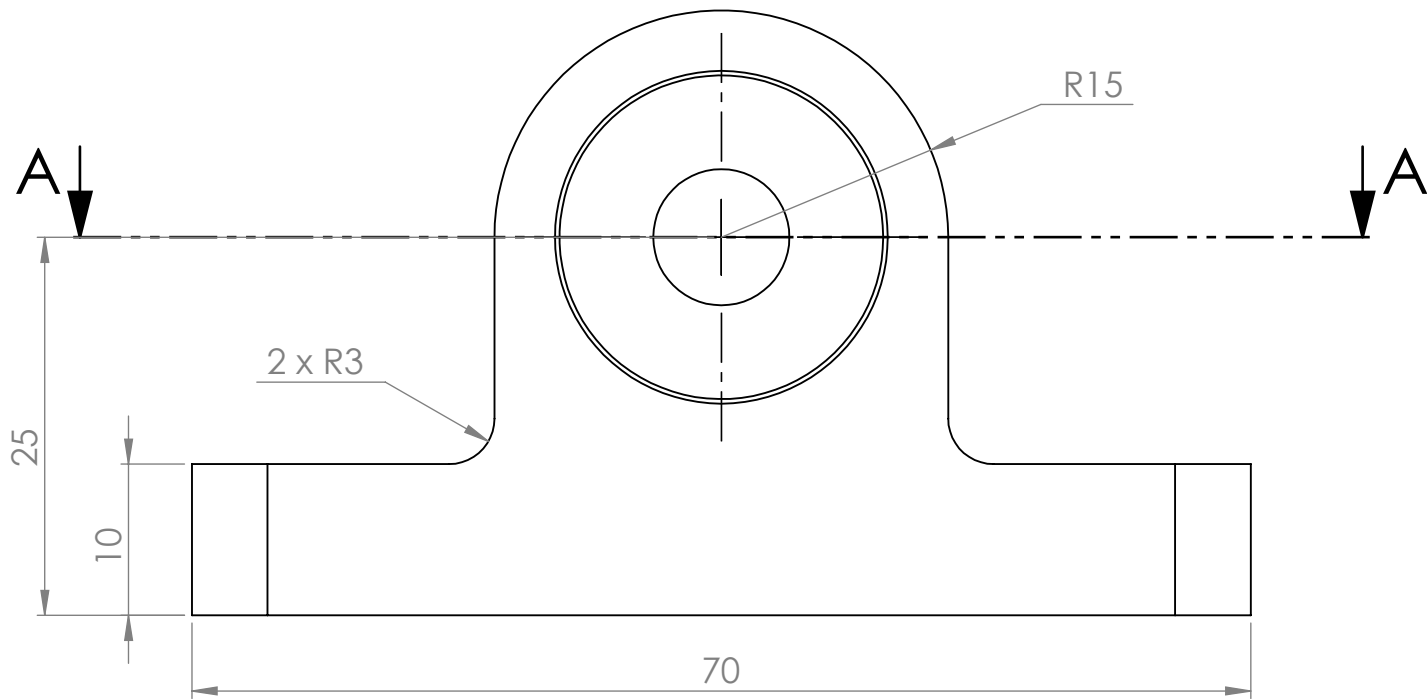
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	2
Des.	Bruno	25/04/2024					Massa (g)	112,6
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:1	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Flange_Cilindro_Vfinal						Descrição	
							Desenho	Des_017
								1/1





	Nome	Data	isep <small>Instituto Superior de Engenharia do Porto</small>				Quantidade	1
Des.	Bruno	18/05/2024					Massa (g)	1060,9
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:3	A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Flange_Robô_IRB5710						Descrição	
							Desenho	Des_018
								1/1

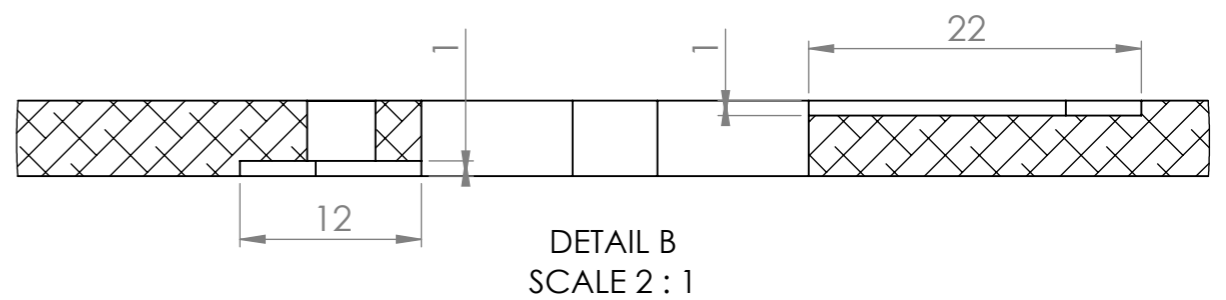
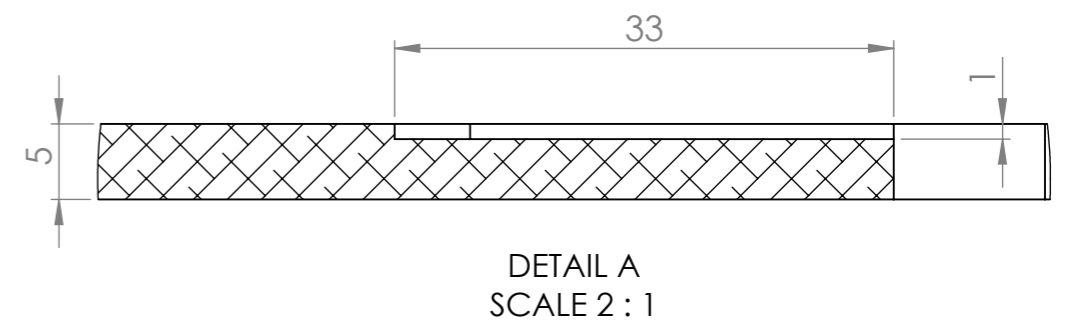
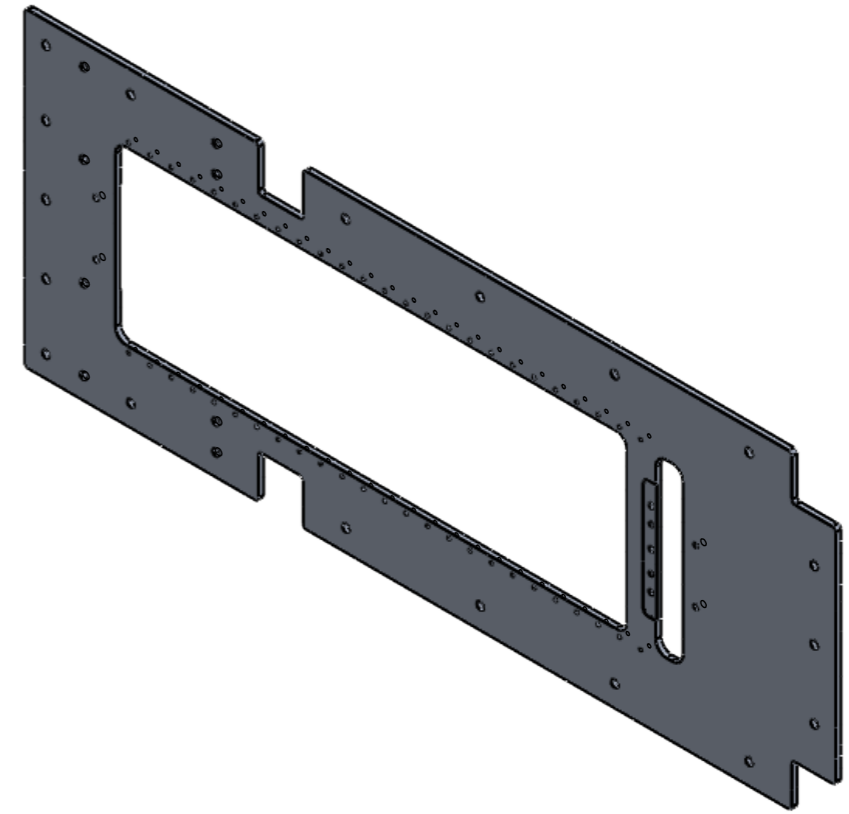
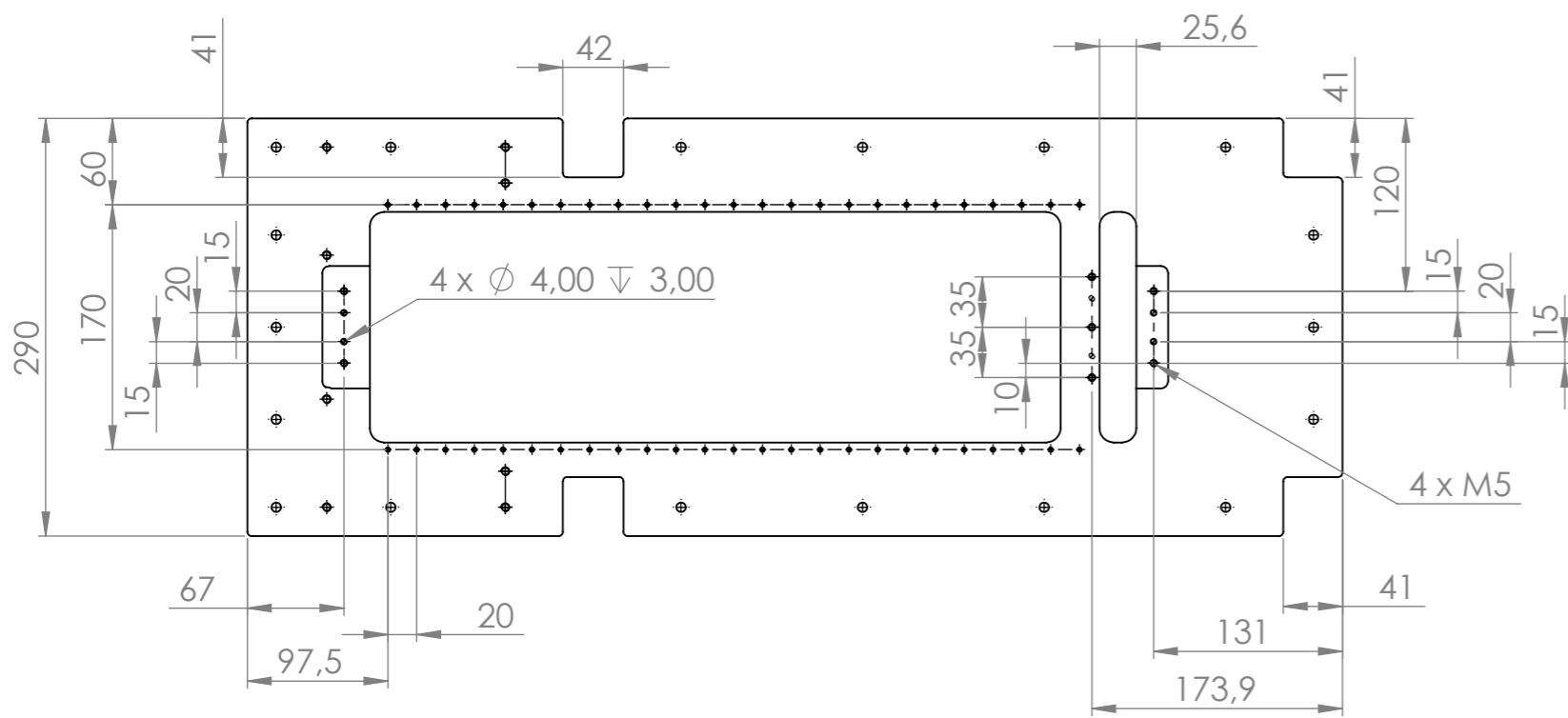
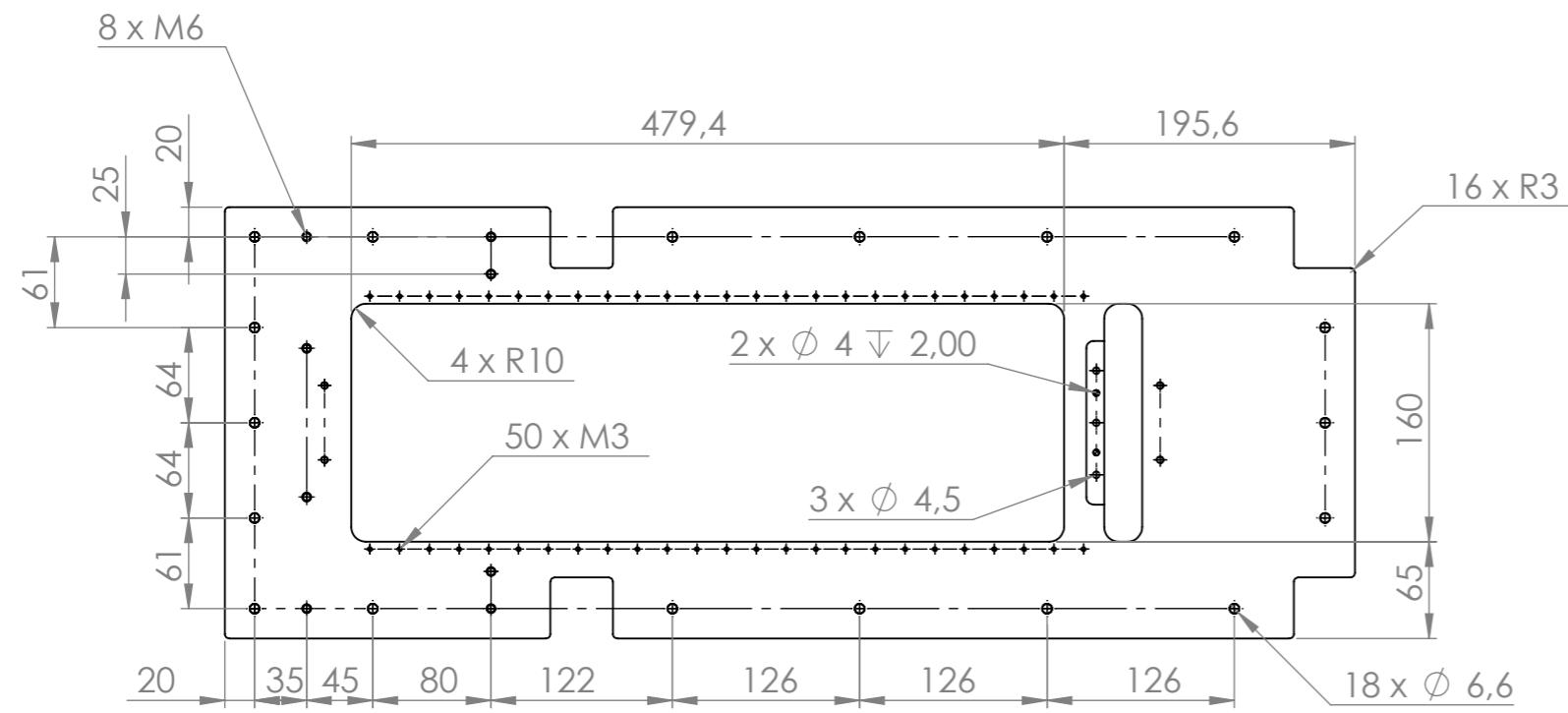


	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	20/04/2024					Massa (g)	541,0
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A4	Material	AISI 304
Nome	Fuso_24000-140311_V2						Descrição	
							Desenho	Des_019
								1/1

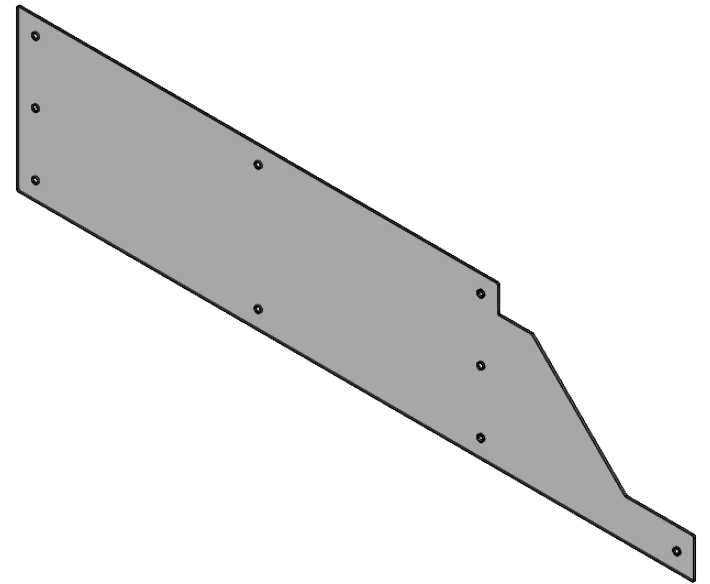
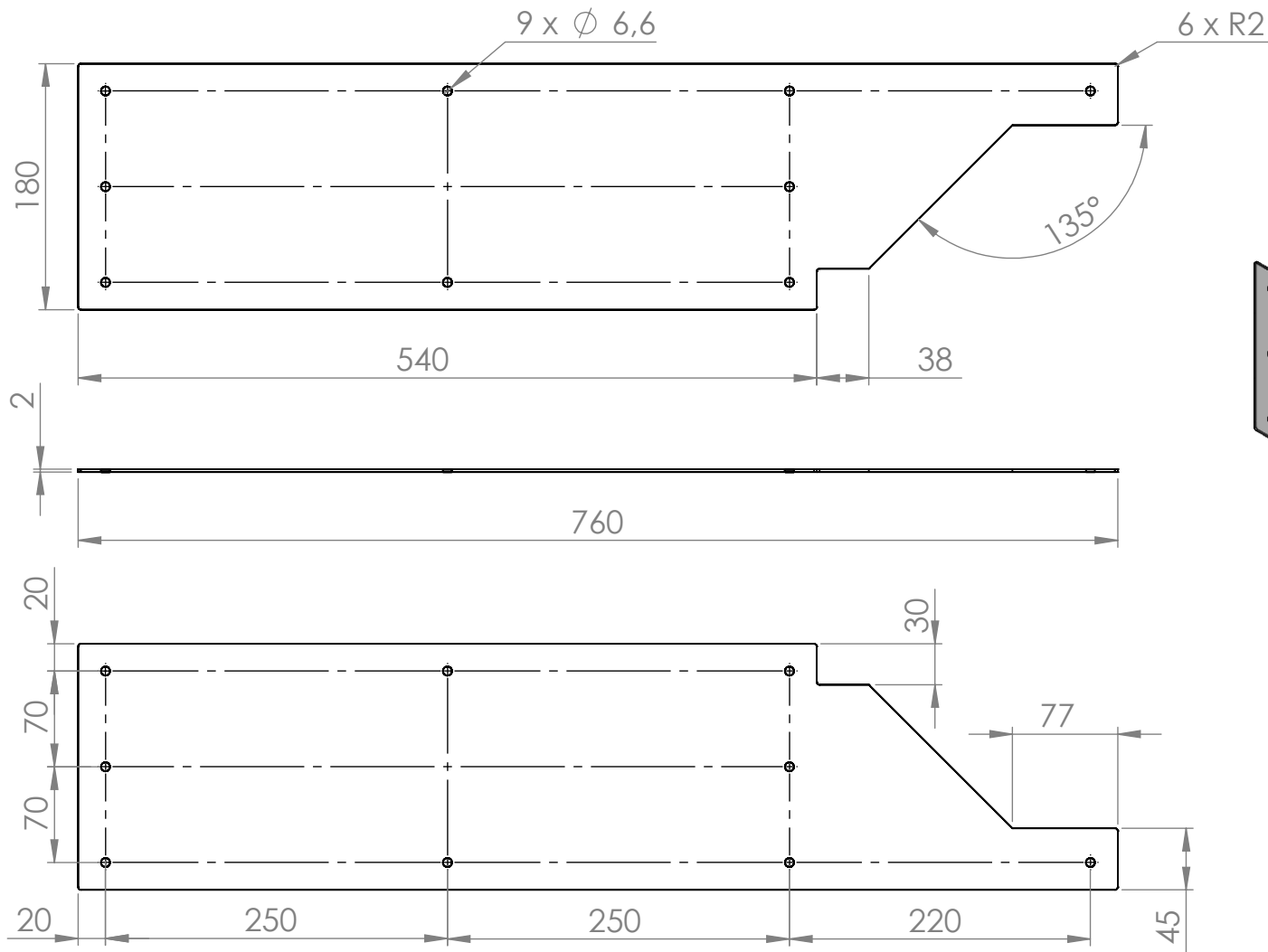



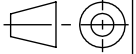
SECTION A-A

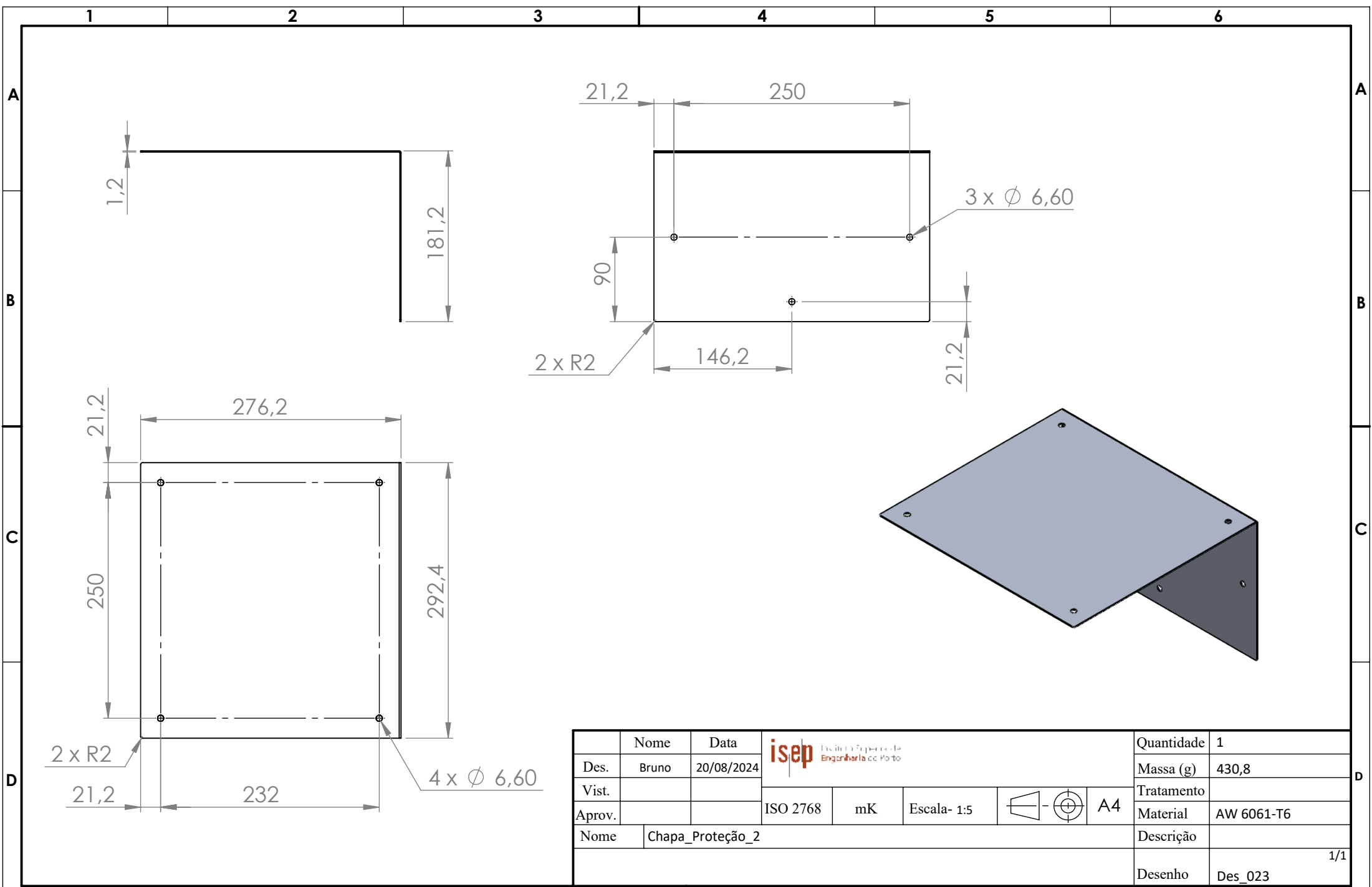
	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	2
Des.	Bruno	04/05/2024					Massa (g)	86,3
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 2:1	 A4	Material	AISI 304
Nome	Apoio_rolamento						Descrição	
							Desenho	Des_020
								1/1





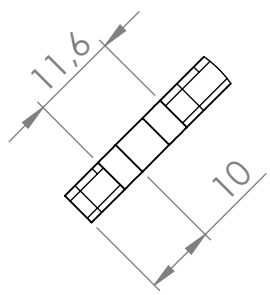
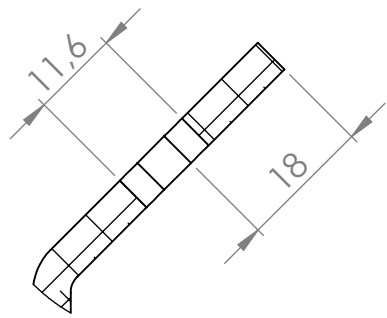
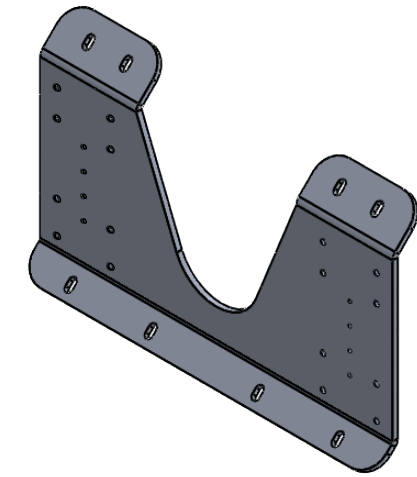
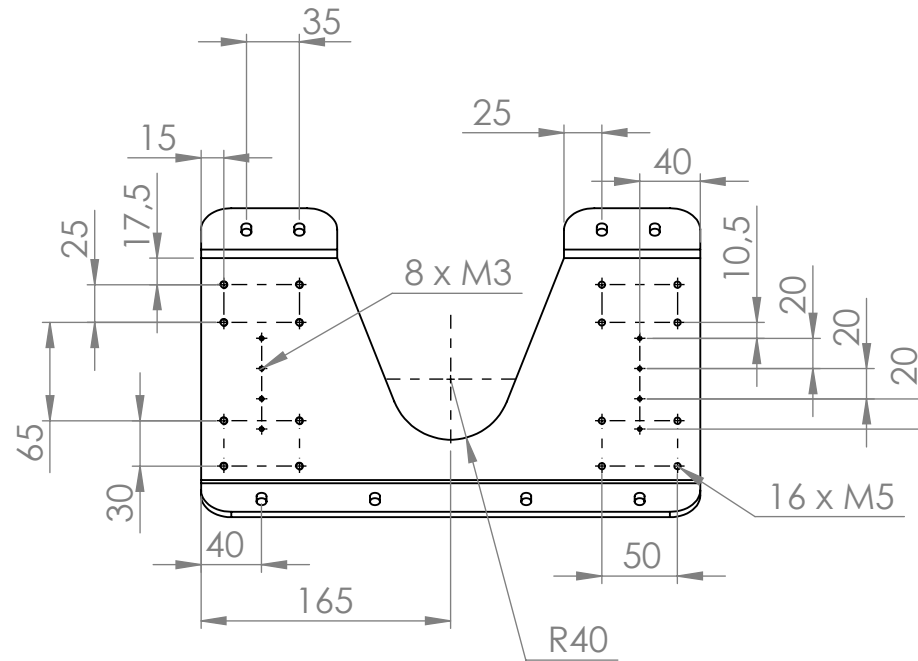
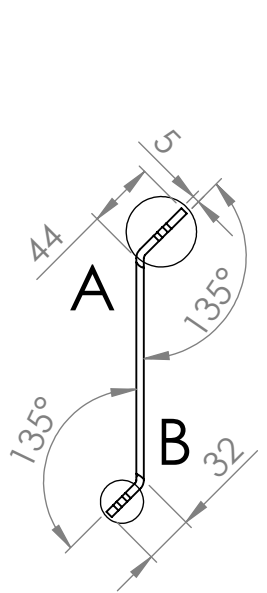
Nome	Data		Quantidade	1
Des.	Bruno 04/05/2024		Massa (g)	1763,4
Vist.		ISO 2768	mK	Escala- 1:5
Aprov.				A3
Nome	Base_Perfil_V2			Descrição
			Desenho	Des_021 1/1



	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	2
Des.	Bruno	20/08/2024					Massa (g)	166,1
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	 A4	Material	Policarbonato
Nome	Chapa_Proteção_1						Descrição	
							Desenho	Des_022
								1/1



	Nome	Data	 Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	20/08/2024					Massa (g)	430,8
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	 A4	Material	AW 6061-T6
Nome	Chapa_Proteção_2					Descrição		
							Desenho	Des_023
								1/1



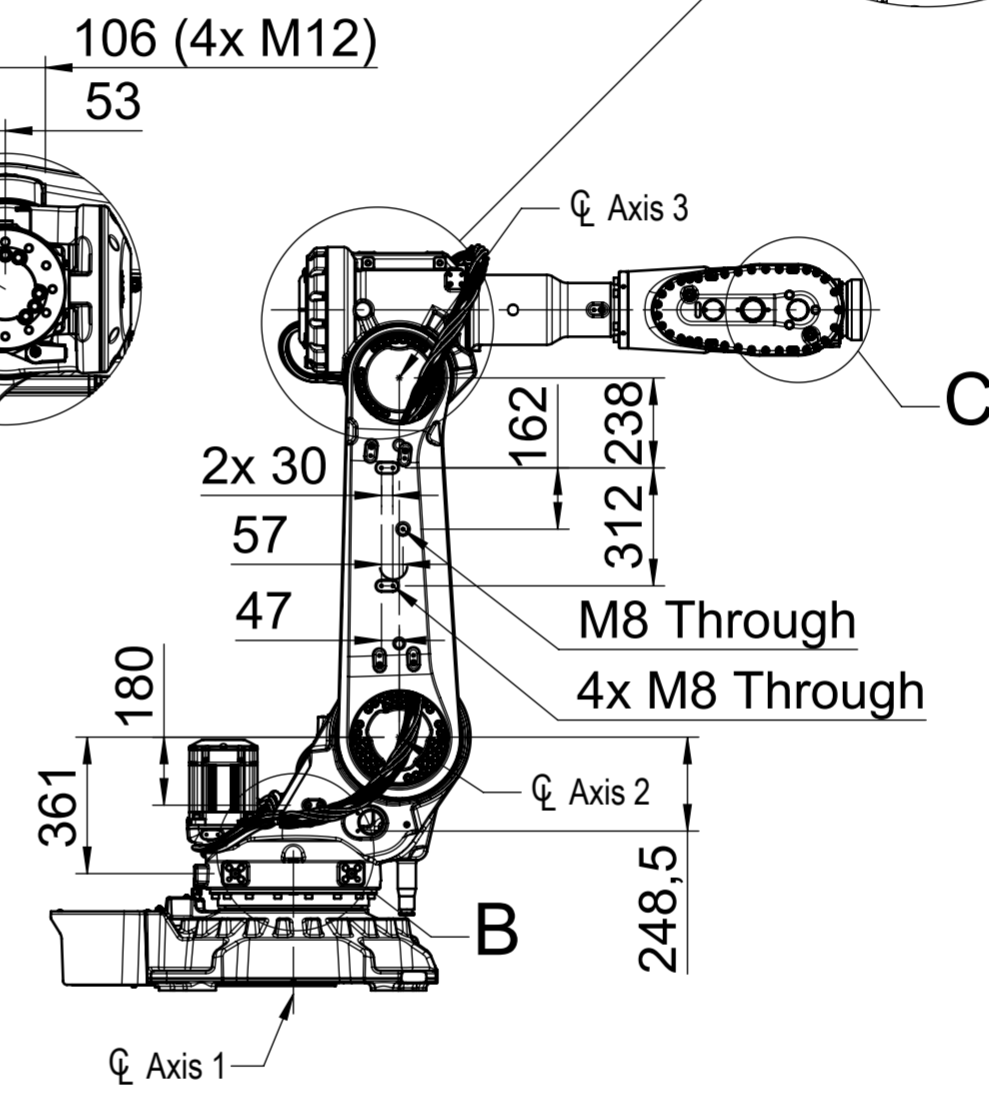
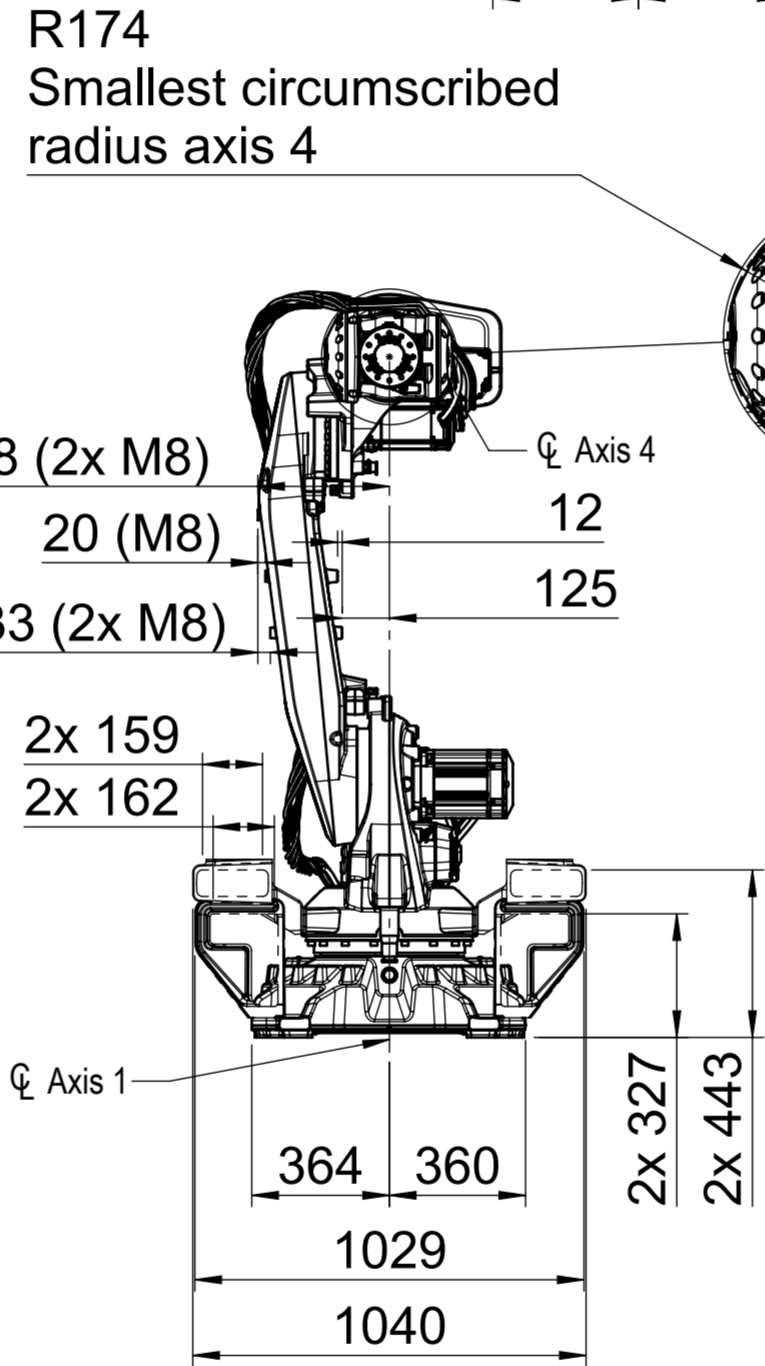
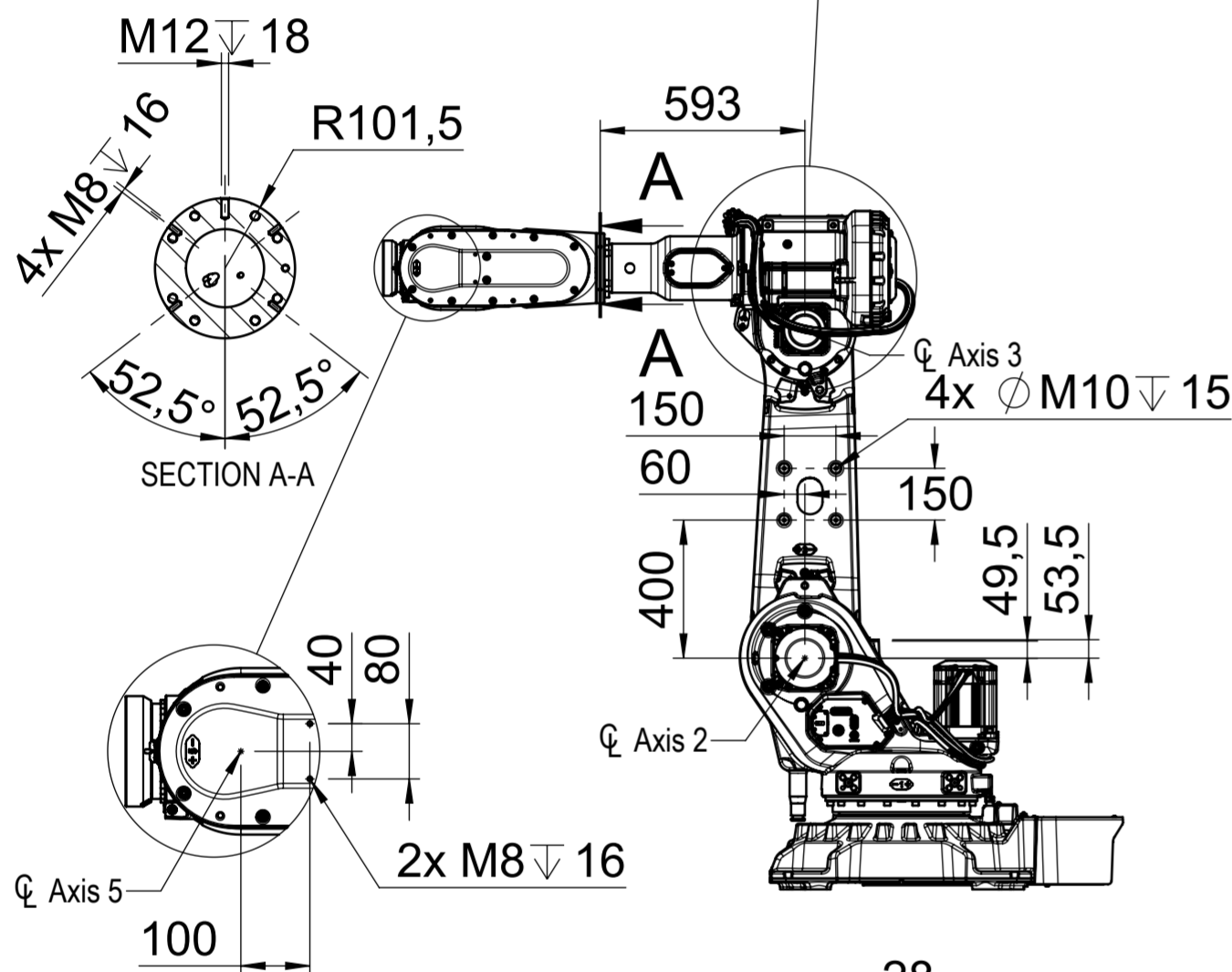
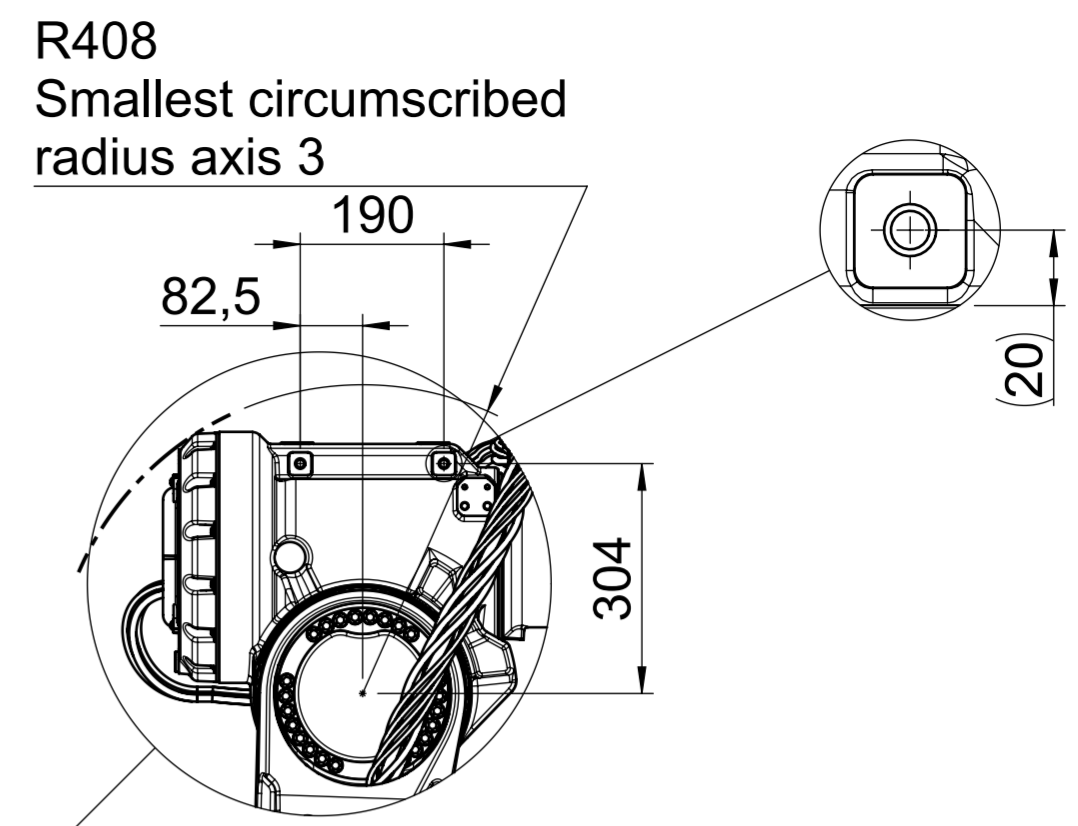
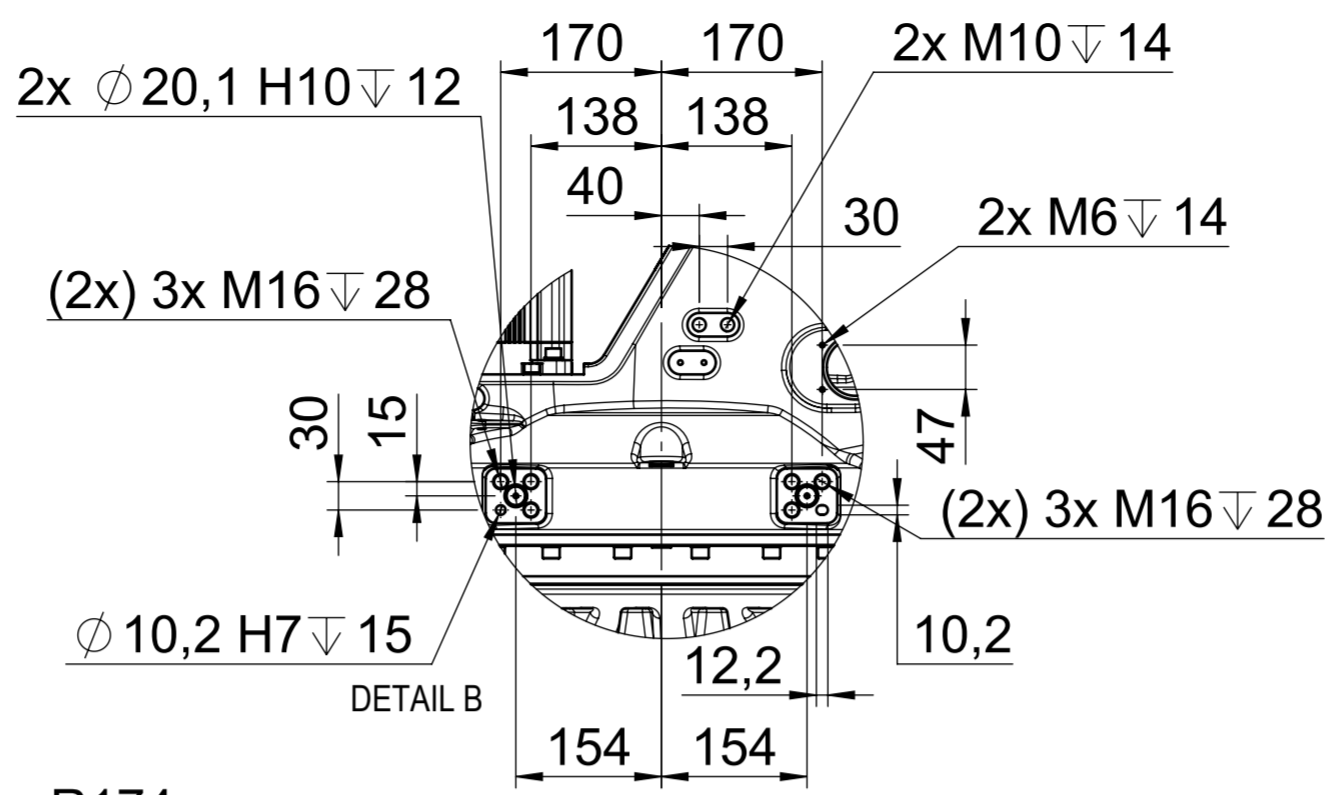
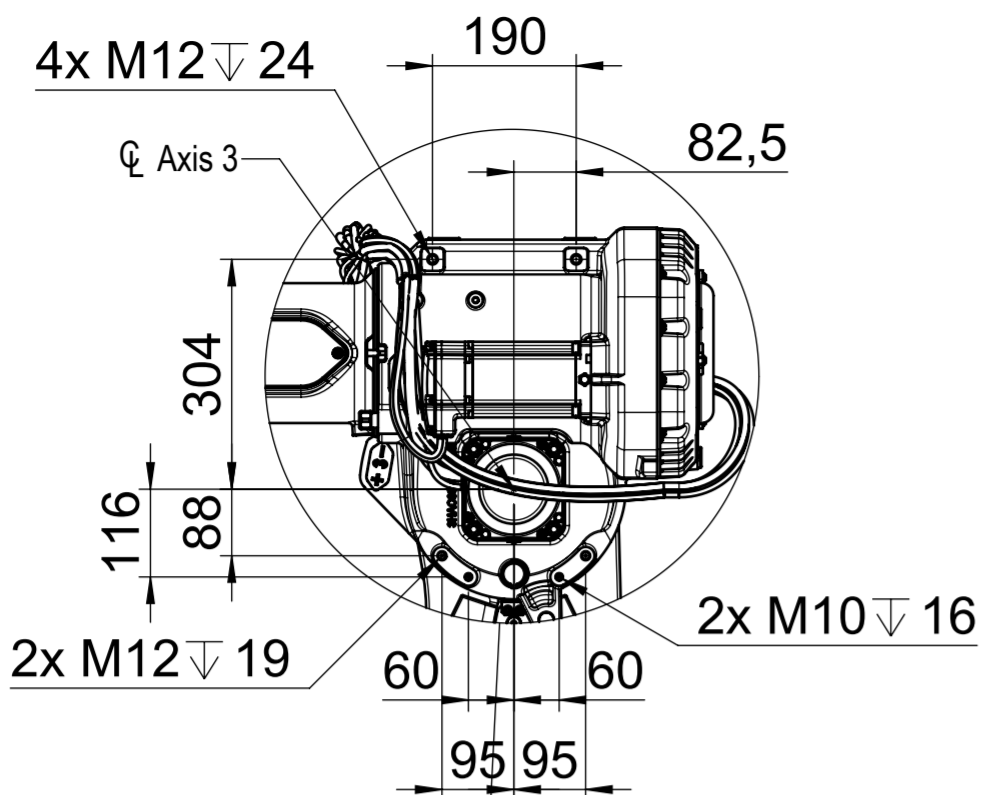
DETAIL A
SCALE 1 : 1

DETAIL B
SCALE 1 : 1

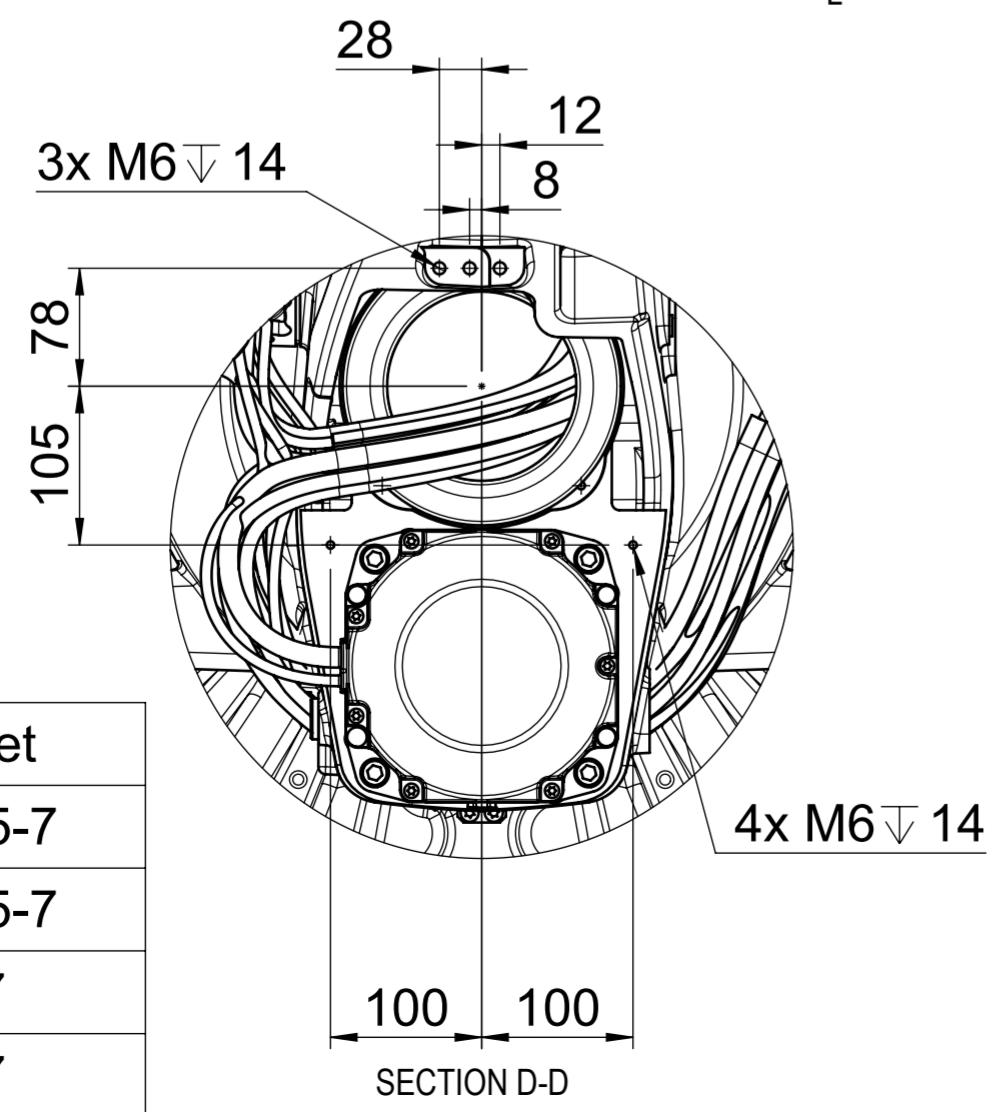
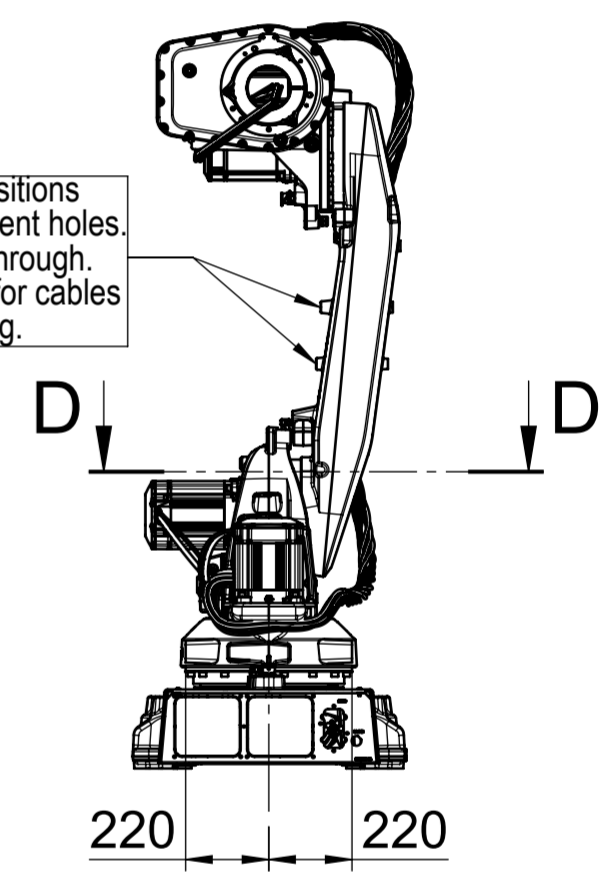
	Nome	Data	Instituto Superior de Engenharia do Porto				Quantidade	1
Des.	Bruno	25/04/2024					Massa (g)	716,7
Vist.							Tratamento	
Aprov.			ISO 2768	mK	Escala- 1:5	A4	Material	AW 6061-T6
Nome		Gripper_Palette_Base_Vfinal					Descrição	
							Desenho	Des_024
								1/1

Anexo A

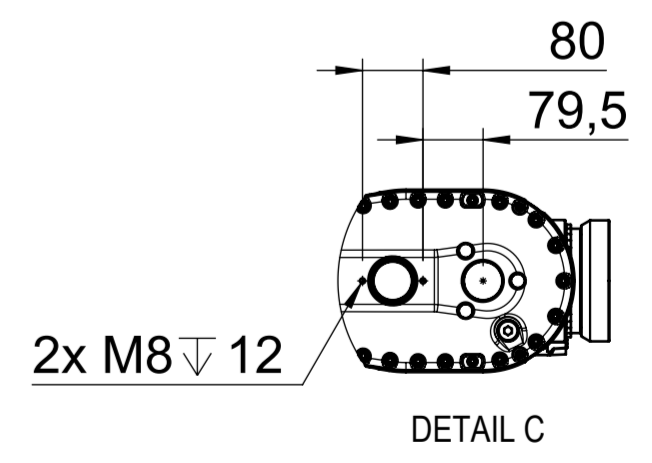
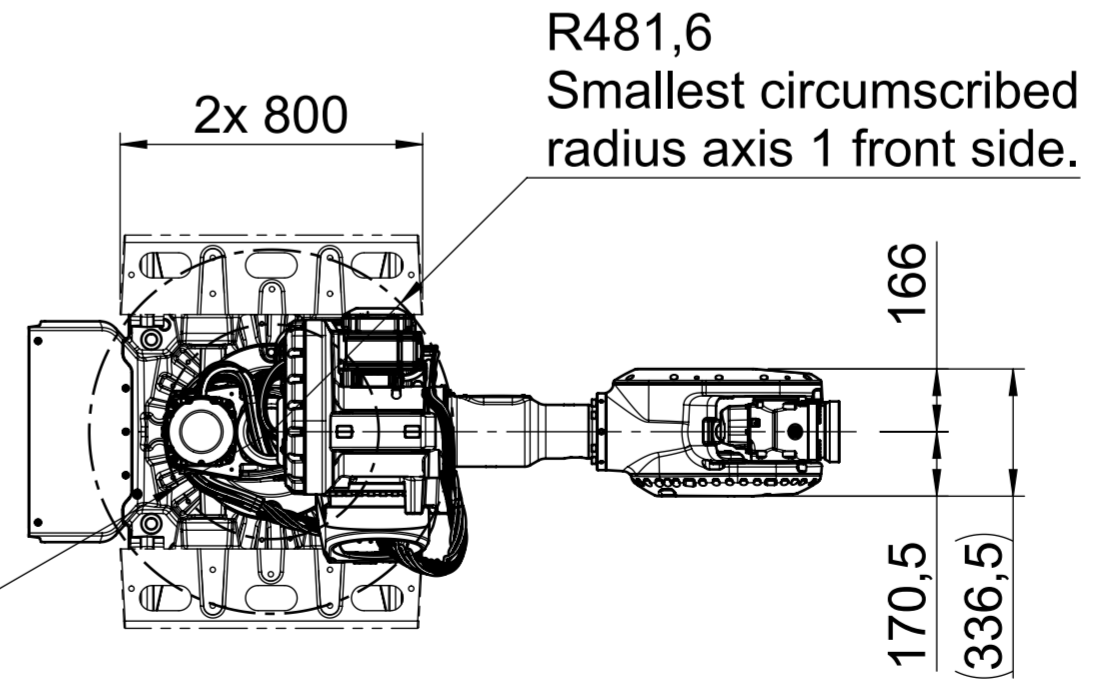
We reserve all rights in this document and in the information disclosed to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2024 ABB



Allowed positions for attachment holes. 4x M12 ∇ through. Watch out for cables when drilling.



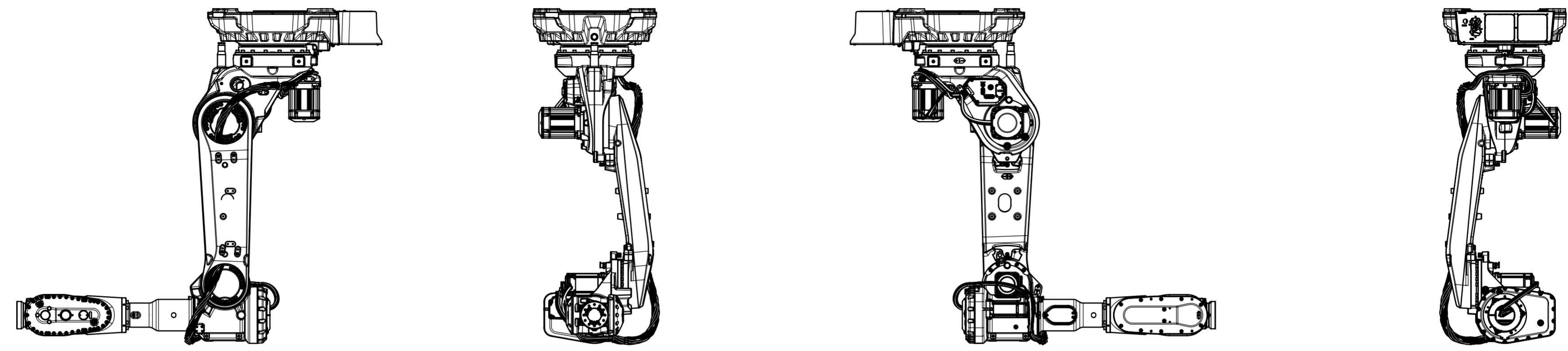
R284
Smallest circumscribed radius axis 1 back side



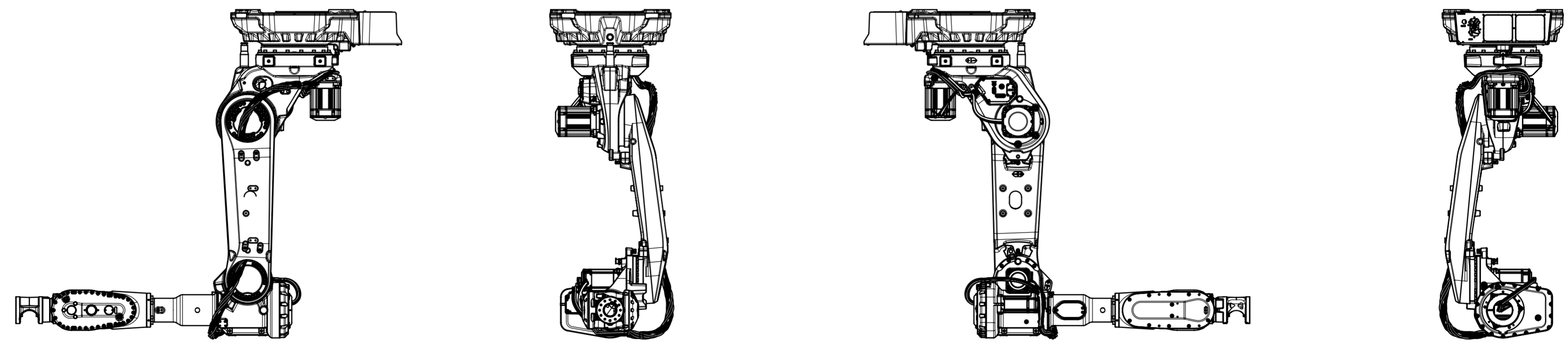
Variant	Sheet
110/2.3	1-2, 5-7
90/2.3 LID	1-2, 5-7
90/2.7	3-7
70/2.7 LID	3-7

Latest Revision

Prepared	Responsible Department	Description	SWD	Drawing
Approved	Security level	Main dimensions IRB 5710		Sheet 1
Status	ECO number	Huvudmått IRB 5710		No. of sh. 7
Approved		Document no.		Rev. ind. 05
		3HAC075062-001		



IRB 5710-110/2.3 Inverted



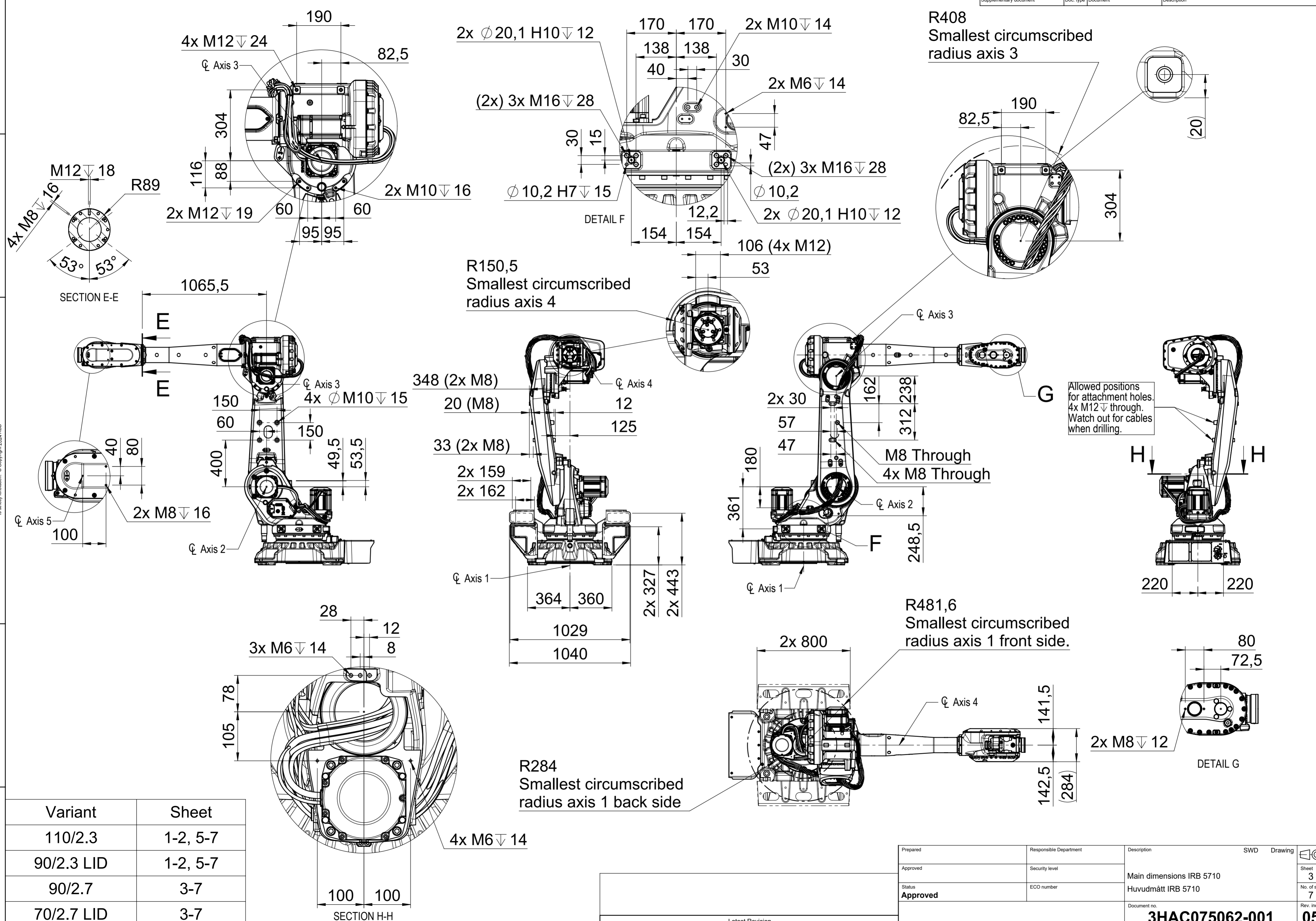
IRB 5710-90/2.3 LID Inverted

We reserve all rights in this document and in the information contained herein. No part of this document may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of ABB. © Copyright 2024 ABB

Variant	Sheet
110/2.3	1-2, 5-7
90/2.3 LID	1-2, 5-7
90/2.7	3-7
70/2.7 LID	3-7

Prepared	Responsible Department	Description	SWD	Drawing	
Approved	Security level	Main dimensions IRB 5710			Sheet 2
Status	ECO number	Huvudmått IRB 5710			No. of sh. 7
Latest Revision		Document no.	3HAC075062-001		Rev. ind. 05

We reserve all rights in this document and in the information disclosed to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2024 ABB



Variant	Sheet
110/2.3	1-2, 5-7
90/2.3 LID	1-2, 5-7
90/2.7	3-7
70/2.7 LID	3-7

Prepared	Responsible Department	Description	SWD	Drawing
Approved	Security level	Main dimensions IRB 5710		Sheet 3
Status	ECO number	Huvudmått IRB 5710		No. of sh. 7
Approved		Document no. 3HAC075062-001		Rev. ind. 05

Latest Revision

A

A

B

B

C

C

D

D

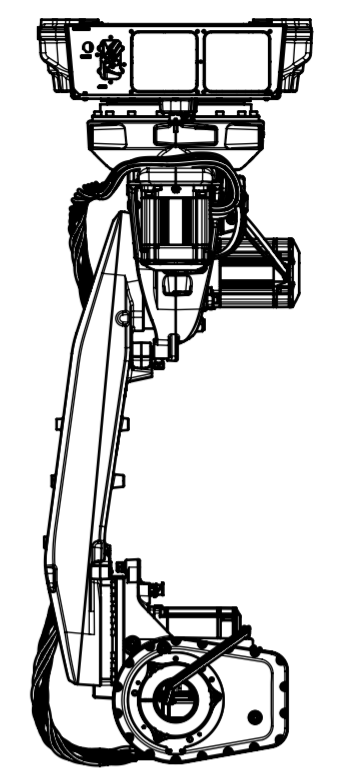
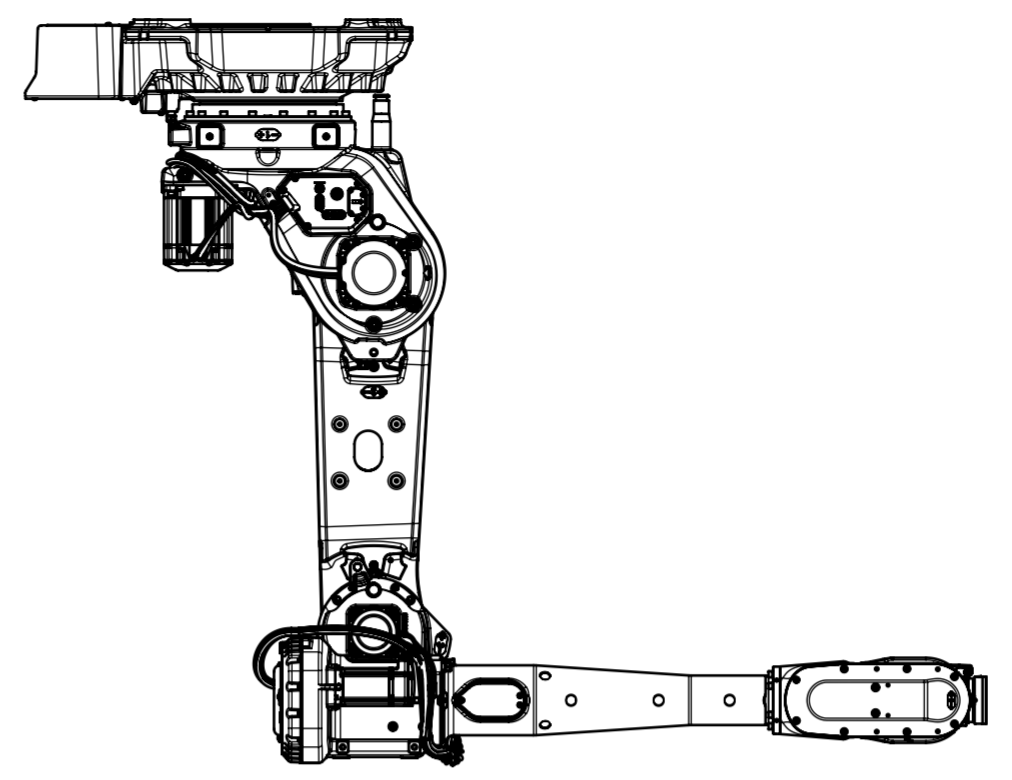
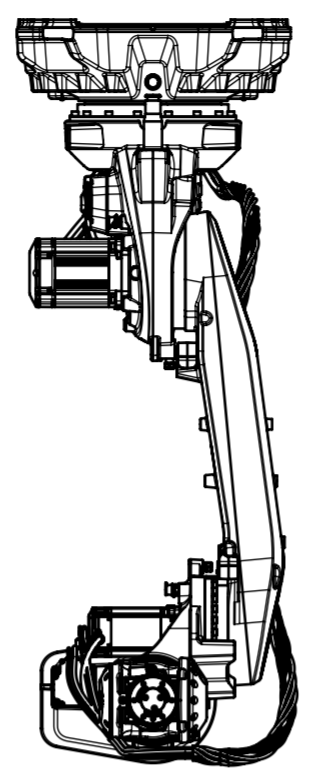
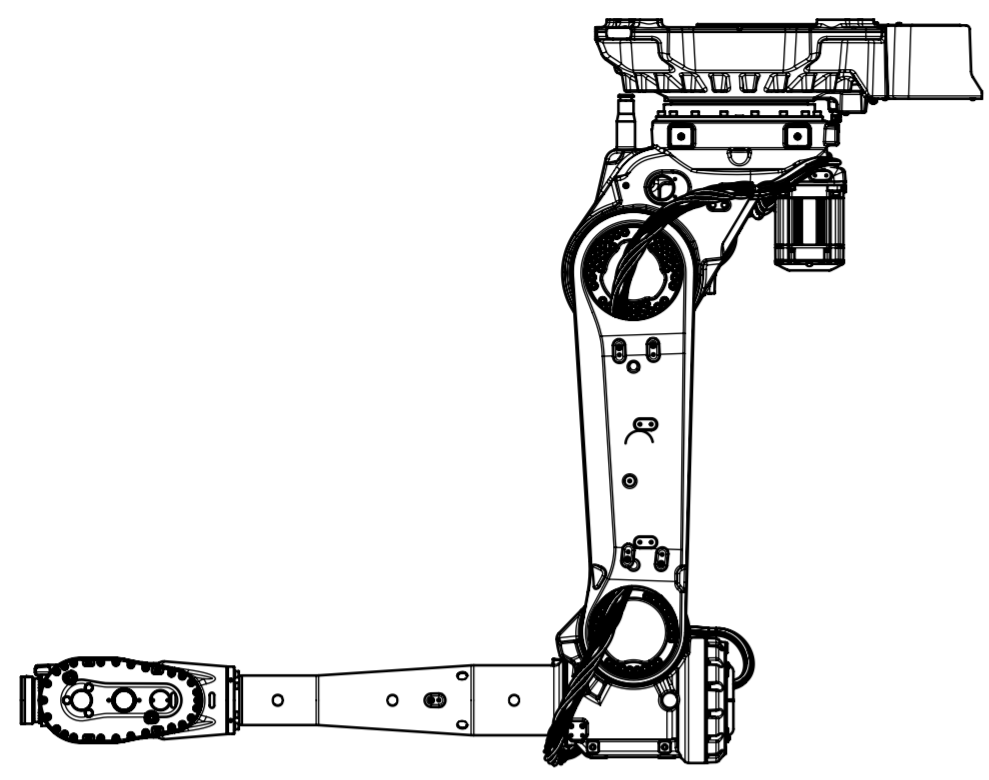
E

E

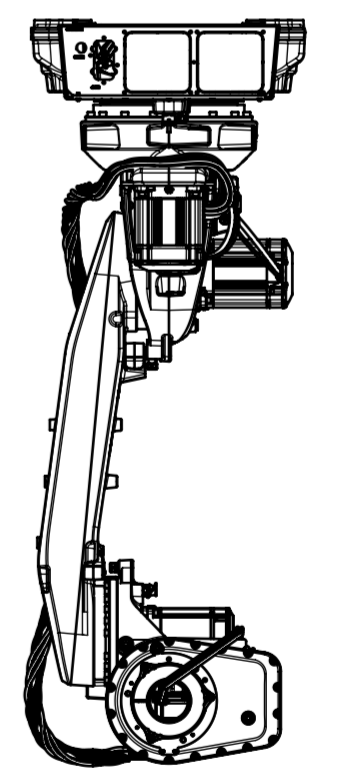
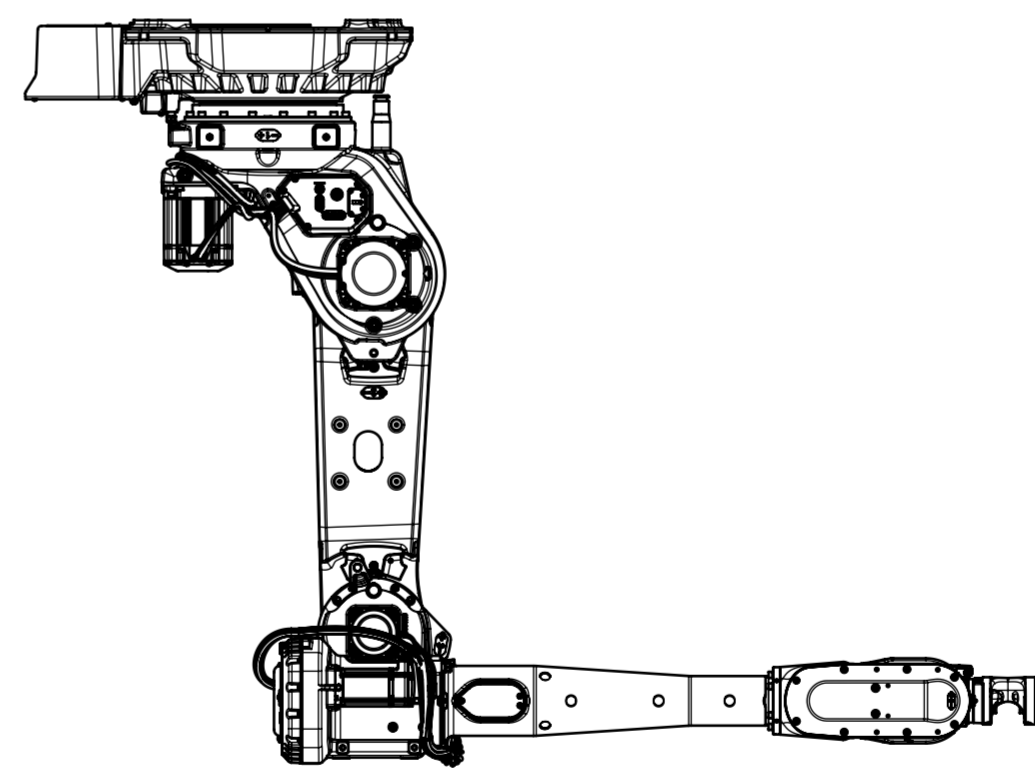
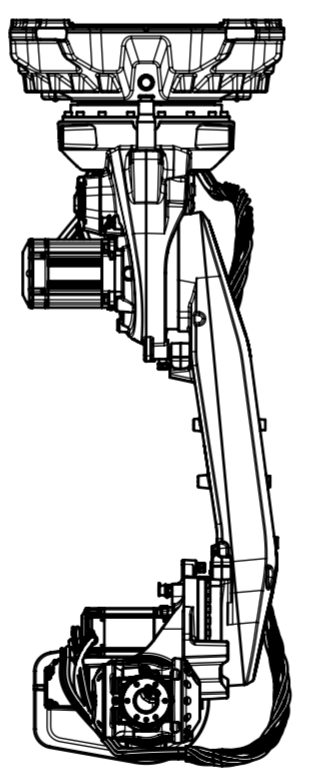
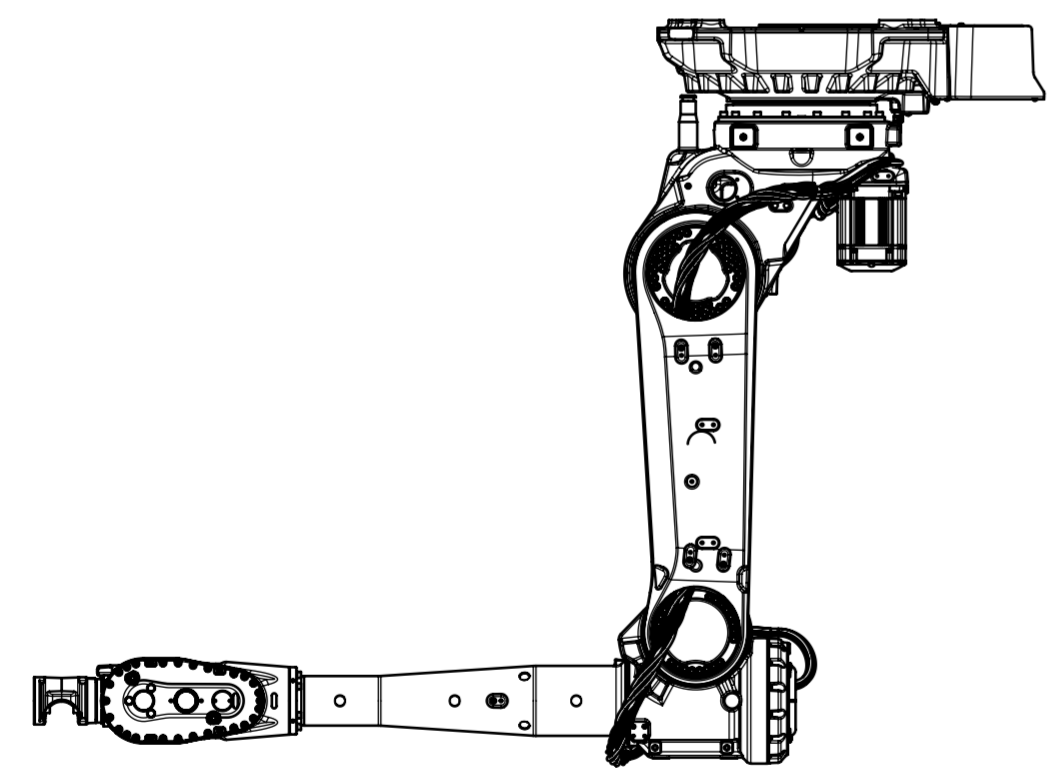
F

F

We reserve all rights in this document and in the information contained herein. All rights reserved. Disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2024 ABB



IRB 5710-90/2.7 Inverted

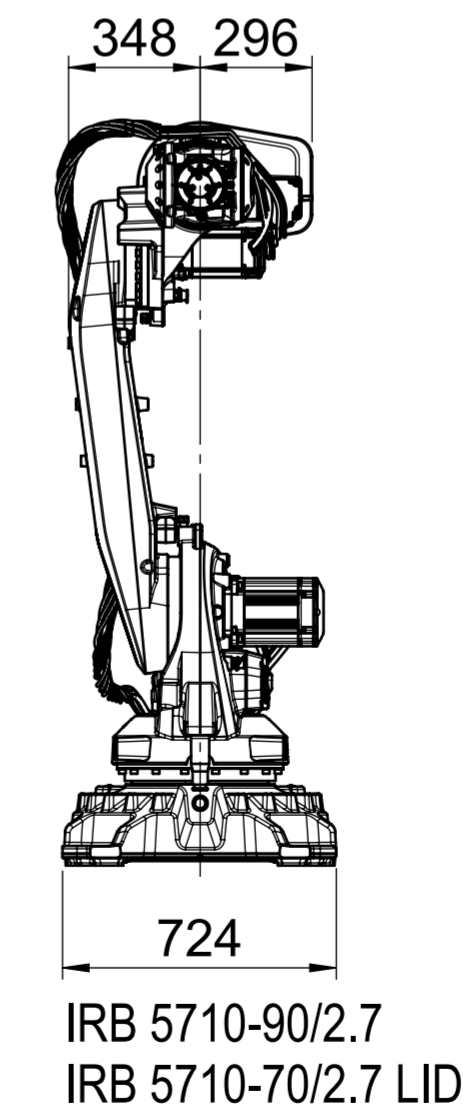
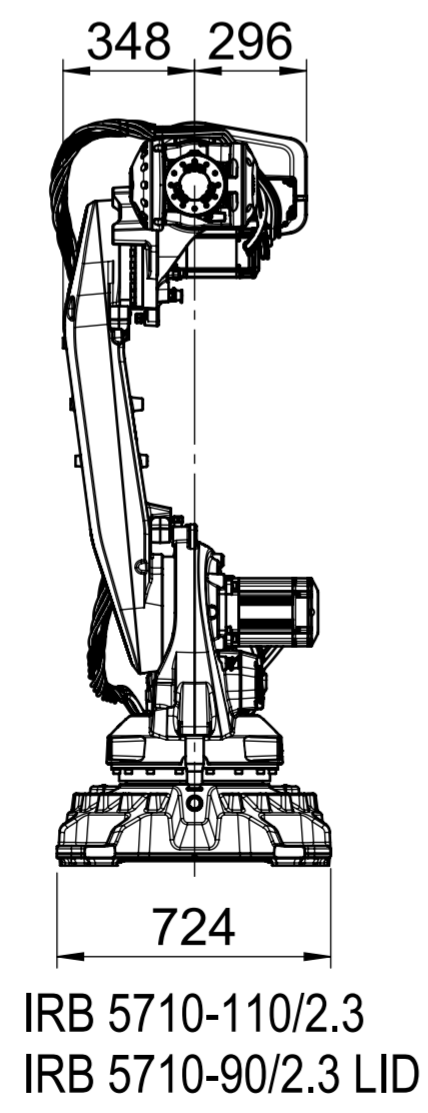
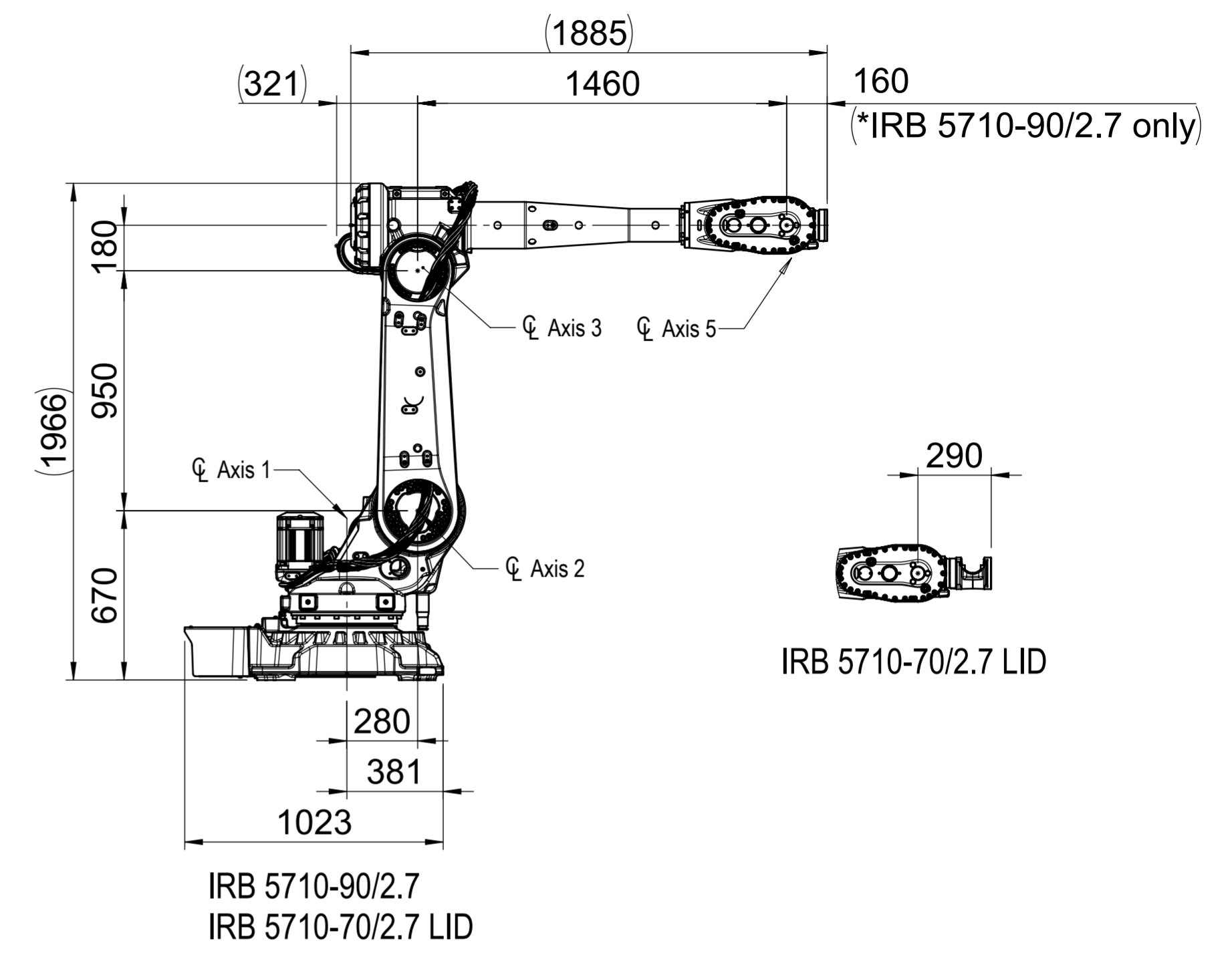
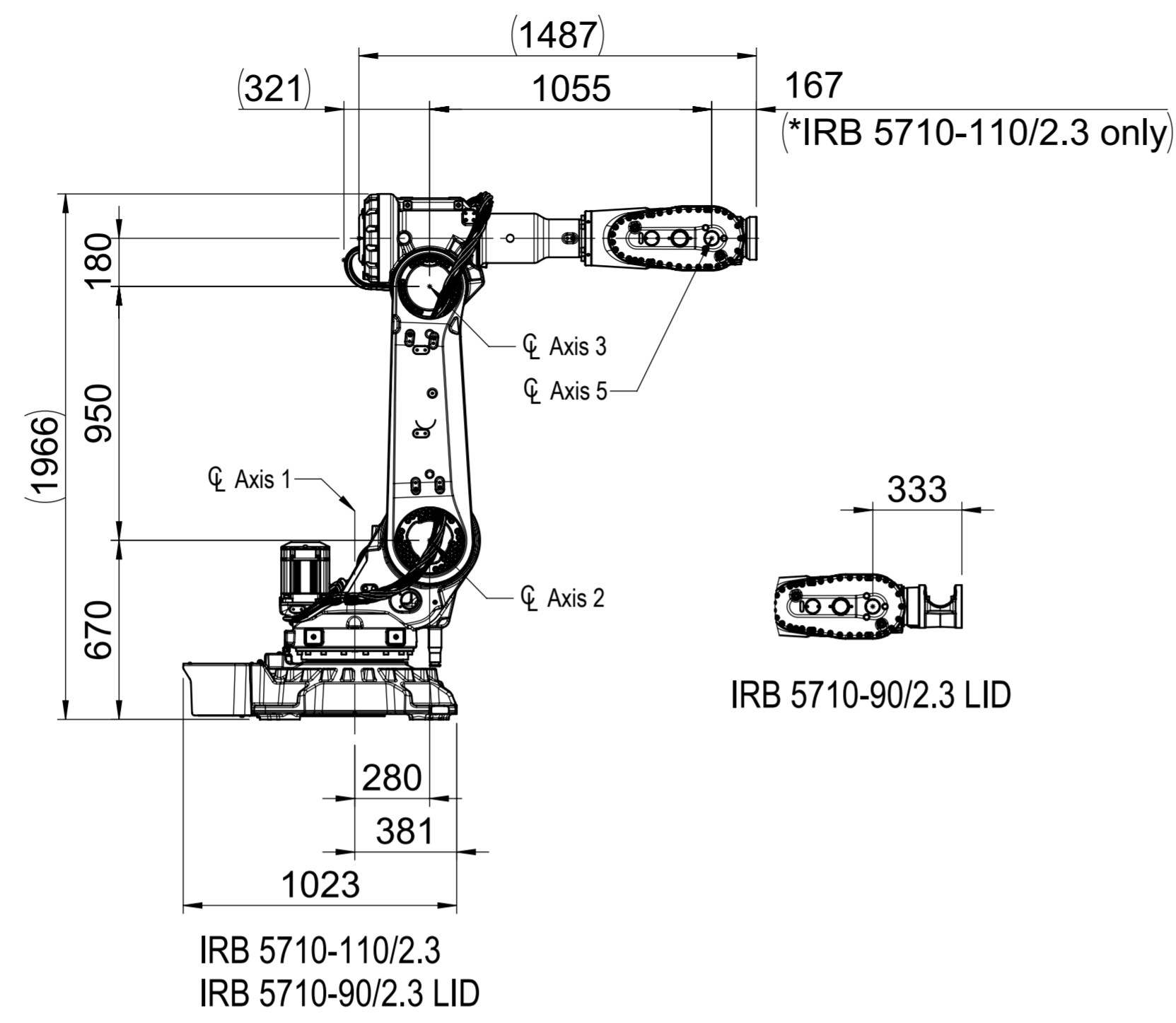


IRB 5710-70/2.7 LID Inverted

Variant	Sheet
110/2.3	1-2, 5-7
90/2.3 LID	1-2, 5-7
90/2.7	3-7
70/2.7 LID	3-7

Prepared	Responsible Department	Description	SWD	Drawing	
Approved	Security level	Main dimensions IRB 5710			Sheet 4
Status	ECO number	Huvudmått IRB 5710			No. of sh. 7
Latest Revision		Document no.	3HAC075062-001		Rev. ind. 05

A
B
C
D
E
F



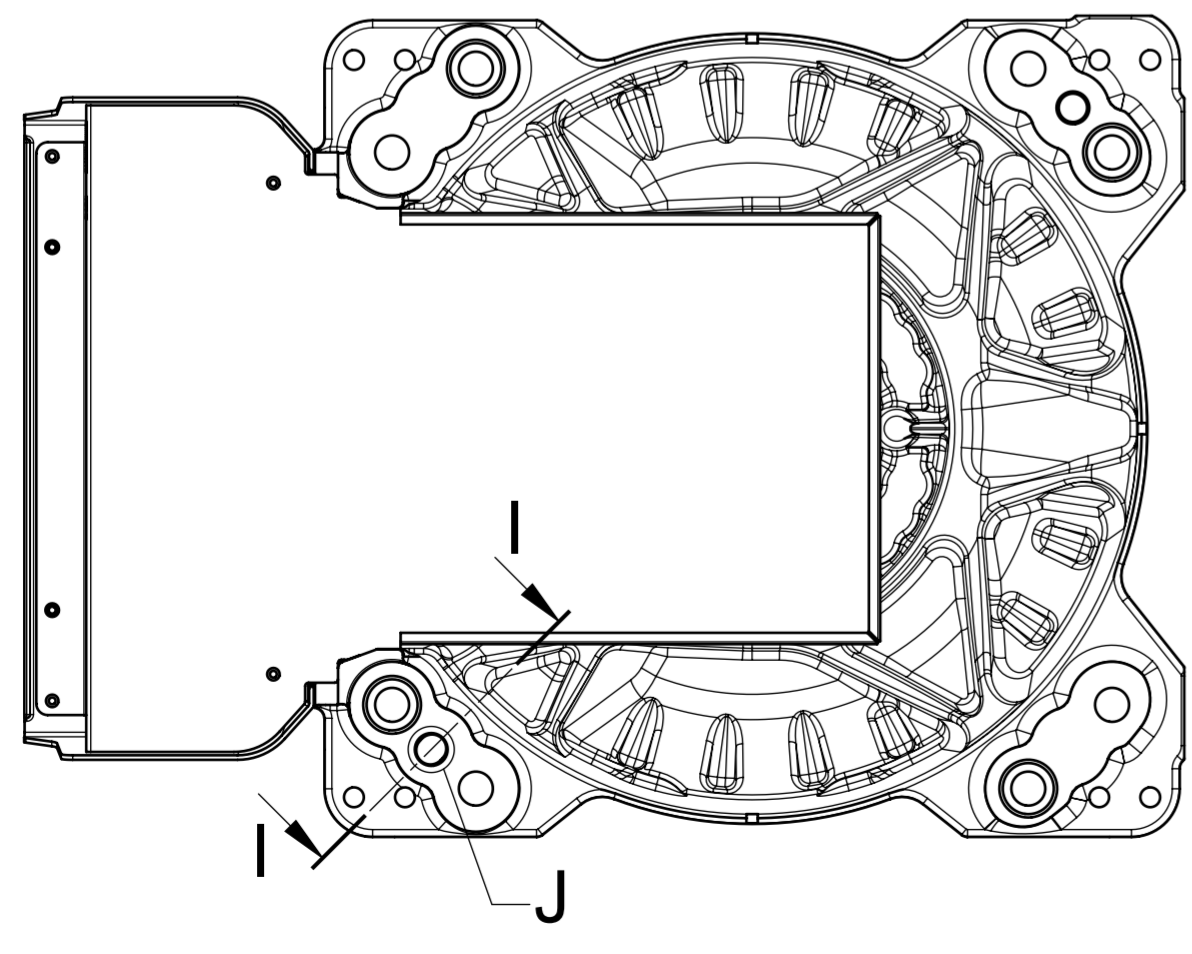
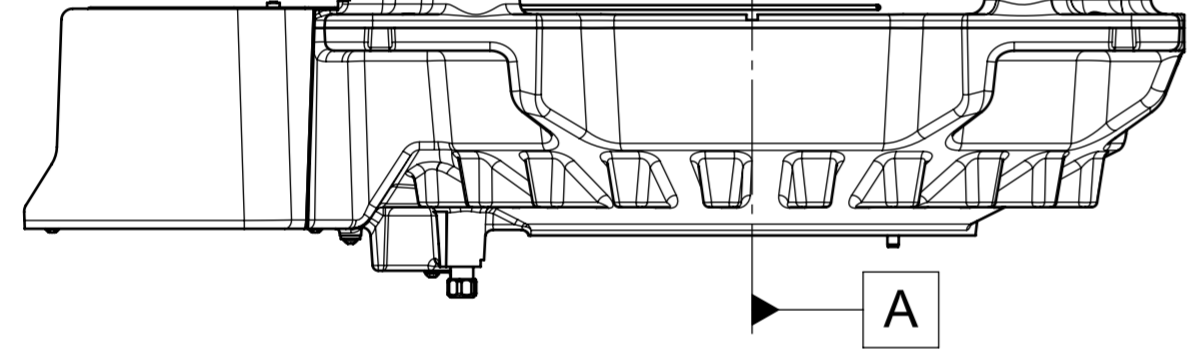
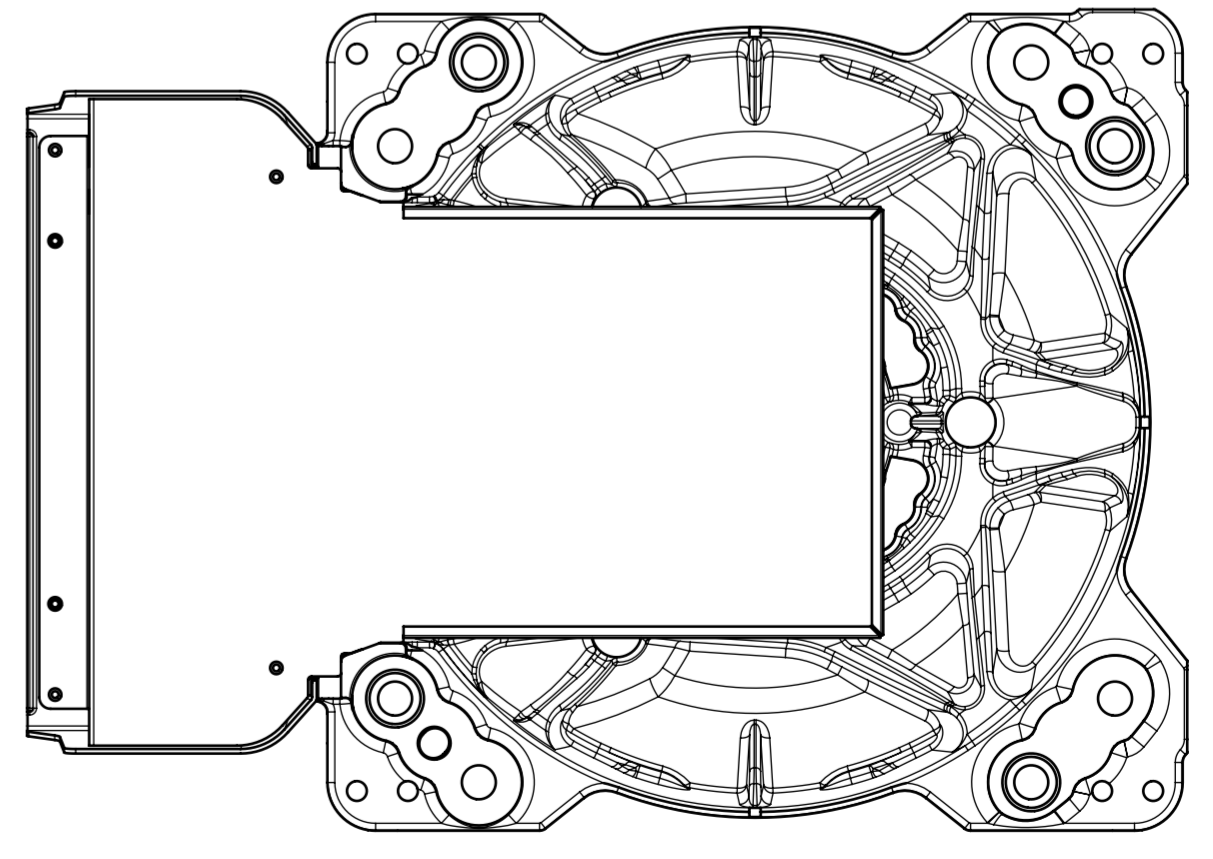
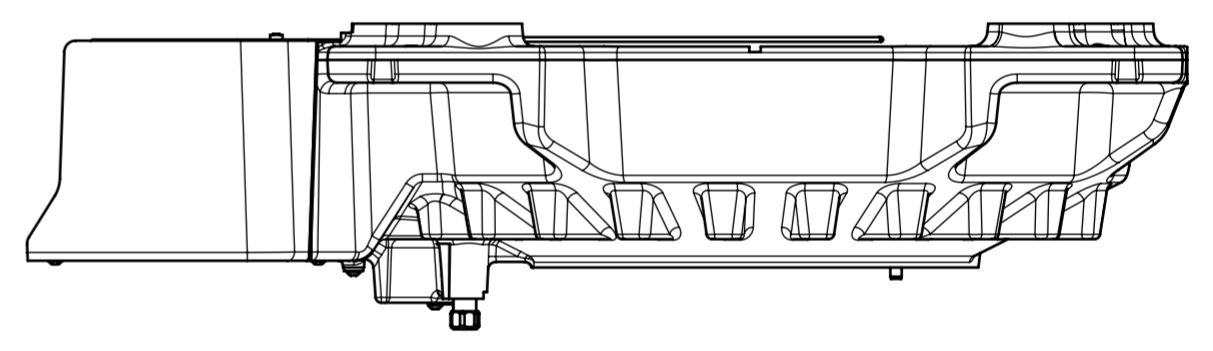
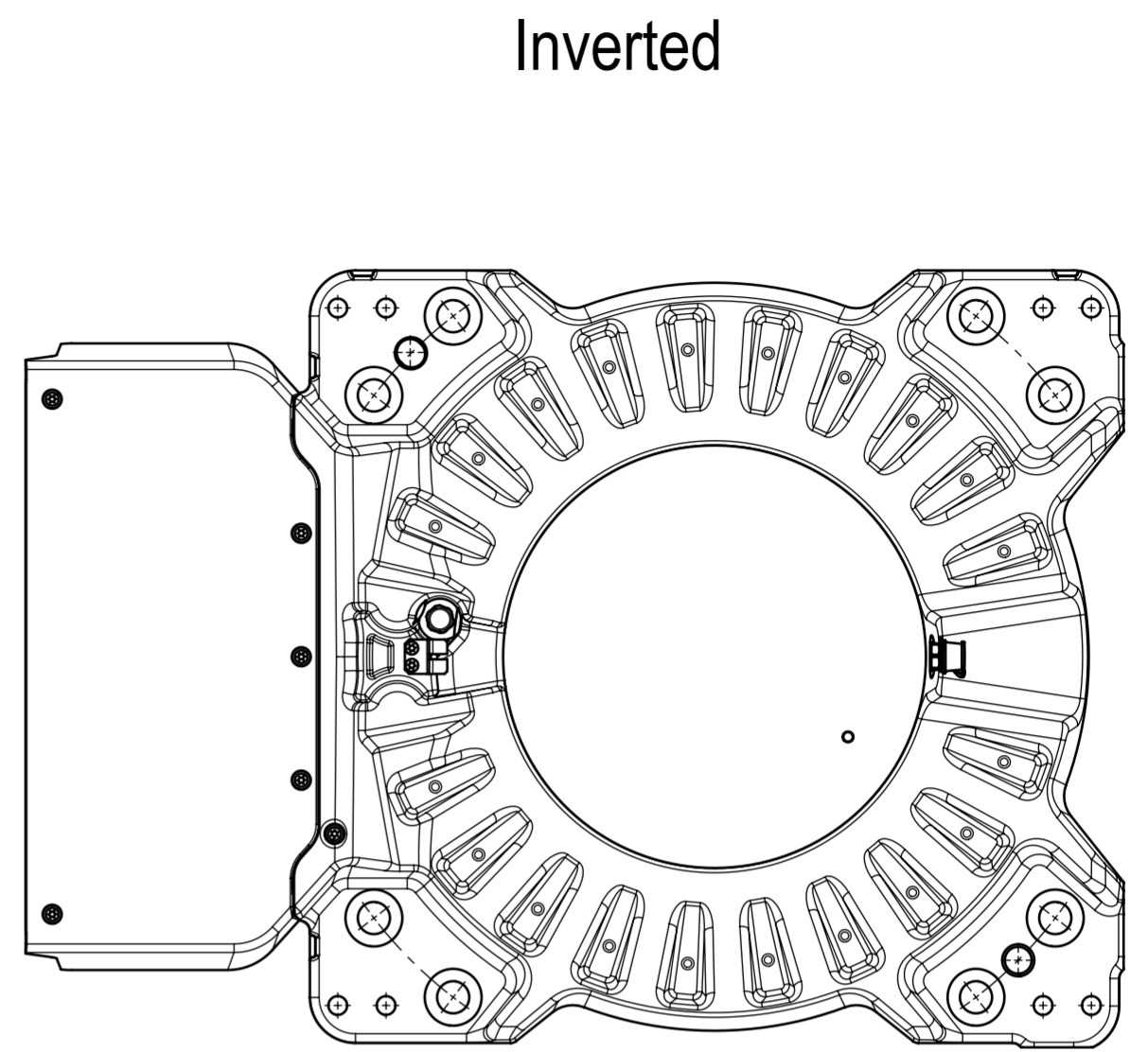
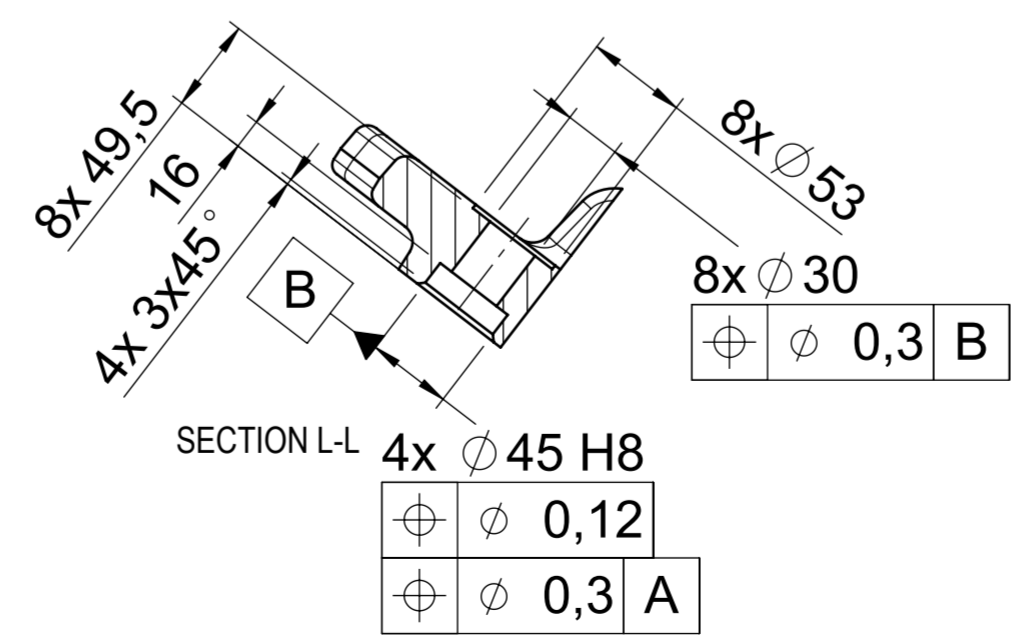
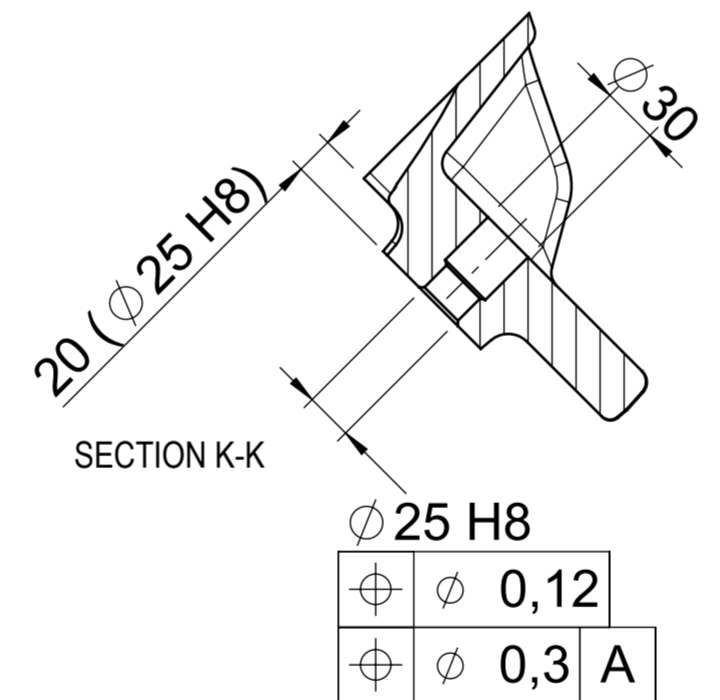
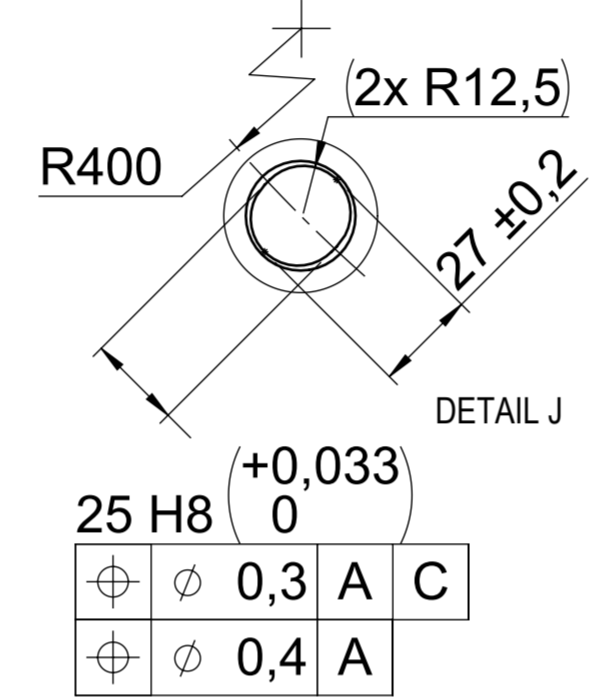
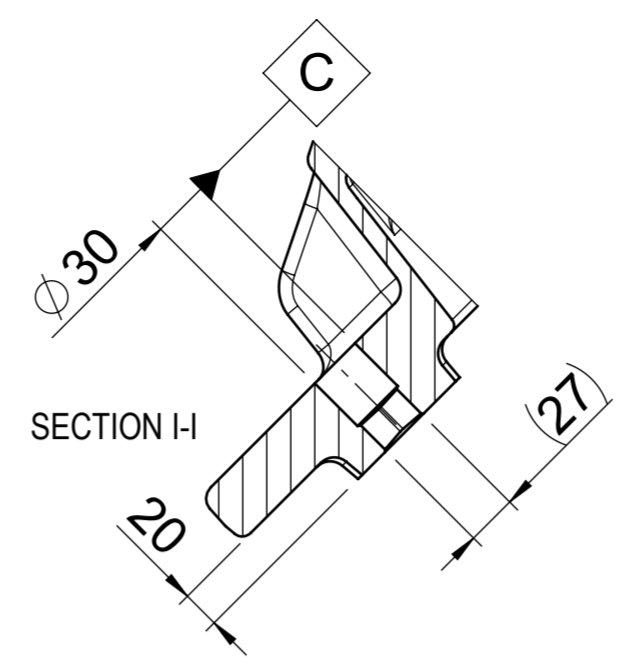
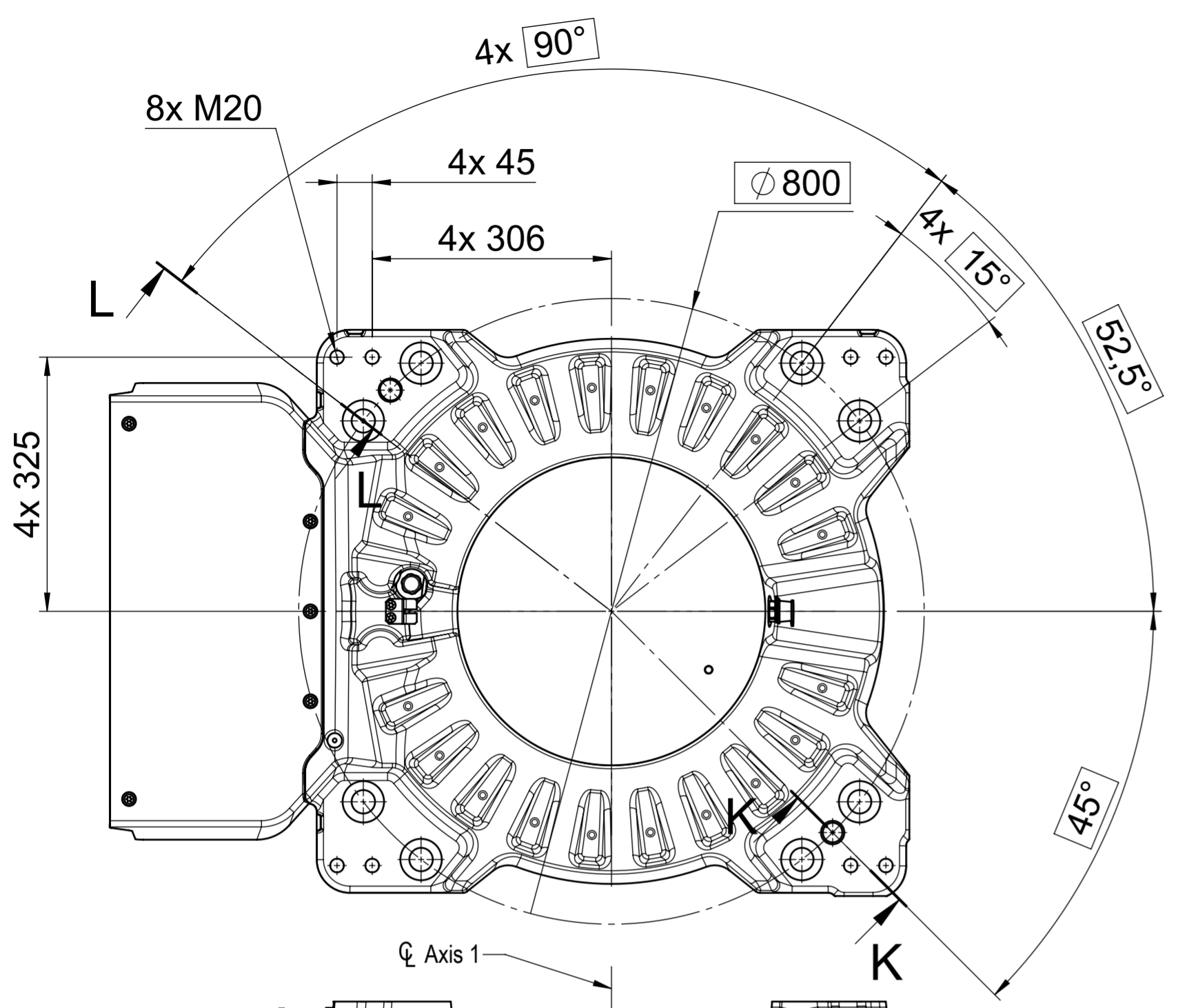
Variant	Sheet
110/2.3	1-2, 5-7
90/2.3 LID	1-2, 5-7
90/2.7	3-7
70/2.7 LID	3-7

Latest Revision

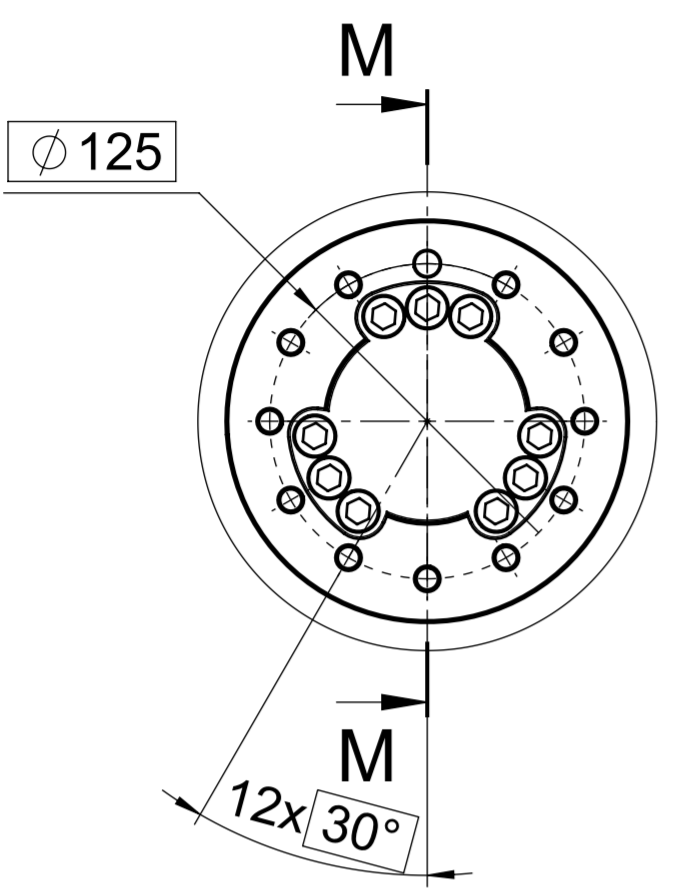
Prepared	Responsible Department	Description	SWD Drawing	
Approved	Security level	Main dimensions IRB 5710	Sheet 5	
Status	ECO number	Huvudmått IRB 5710	No. of sh. 7	
Approved		Document no. 3HAC075062-001	Rev. ind. 05	

We reserve all rights in this document and in the information contained herein. All rights reserved. Disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2024 ABB

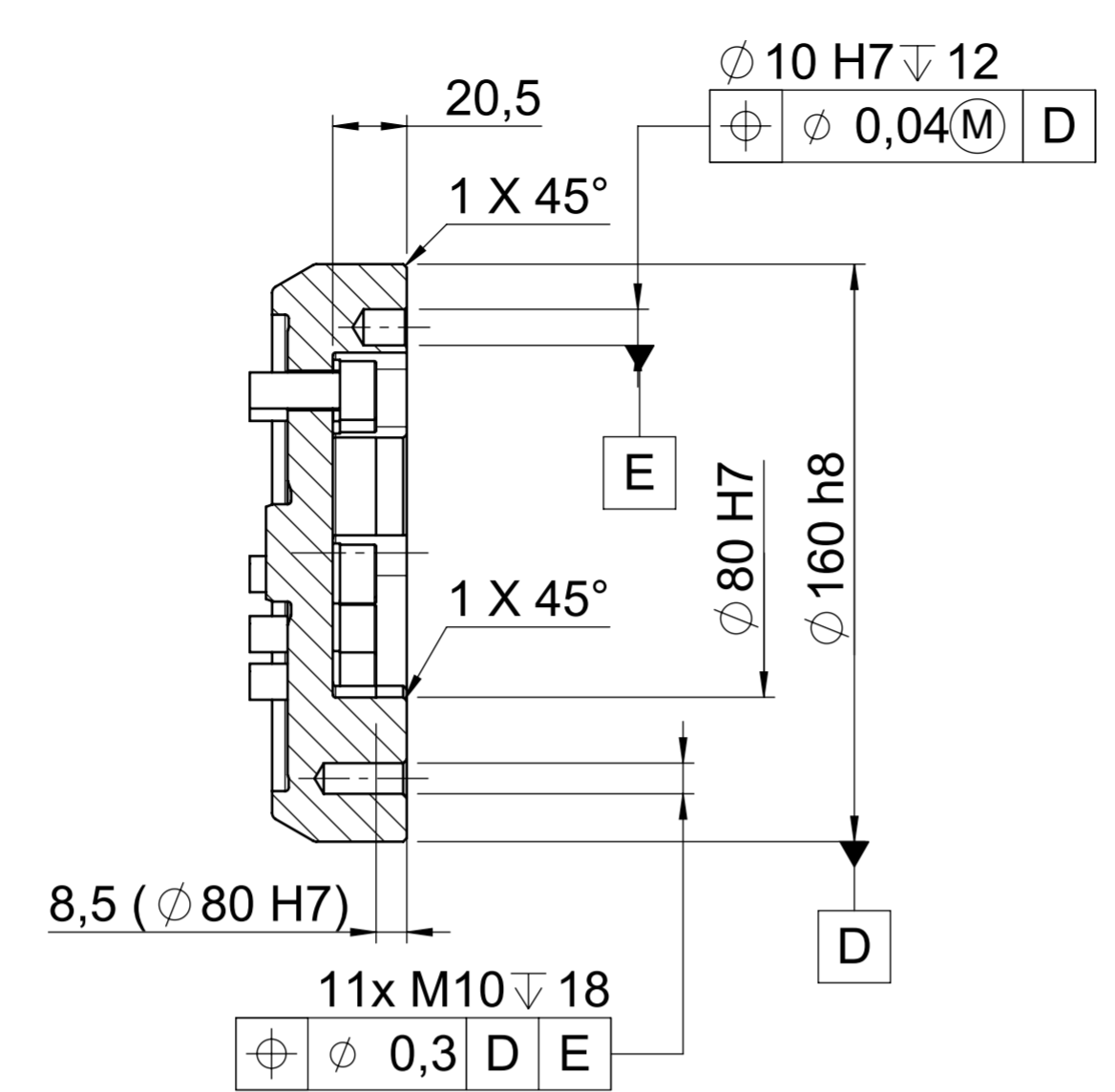
We reserve all rights in this document and in the information contained herein. No part of this document may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of ABB. © Copyright 2024 ABB



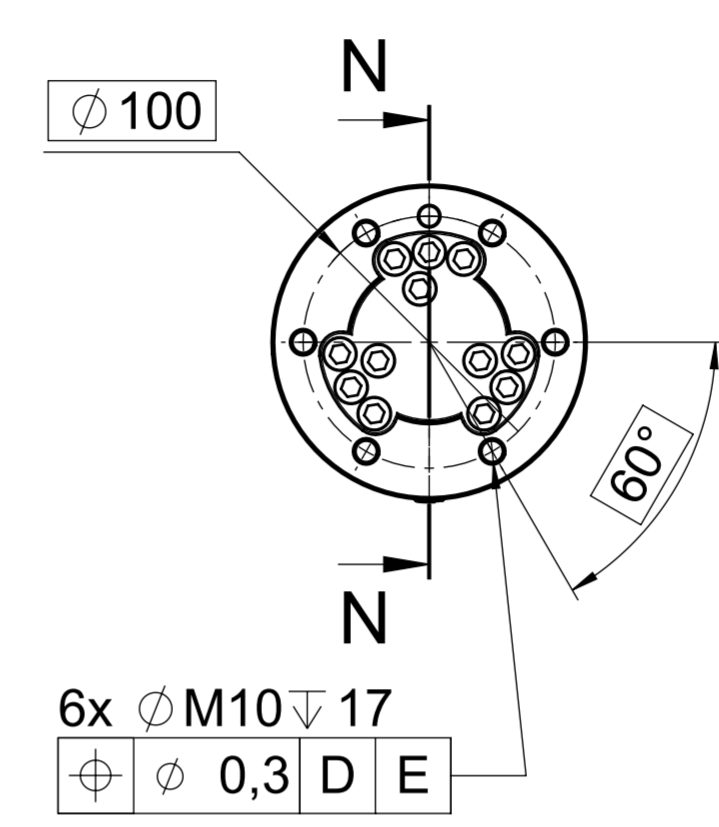
Prepared	Responsible Department	Description	SWD Drawing
Approved	Security level	Main dimensions IRB 5710	Sheet 6
Status	ECO number	Huvudmått IRB 5710	No. of sh. 7
Approved		Document no.	Rev. ind. 05
Latest Revision		3HAC075062-001	



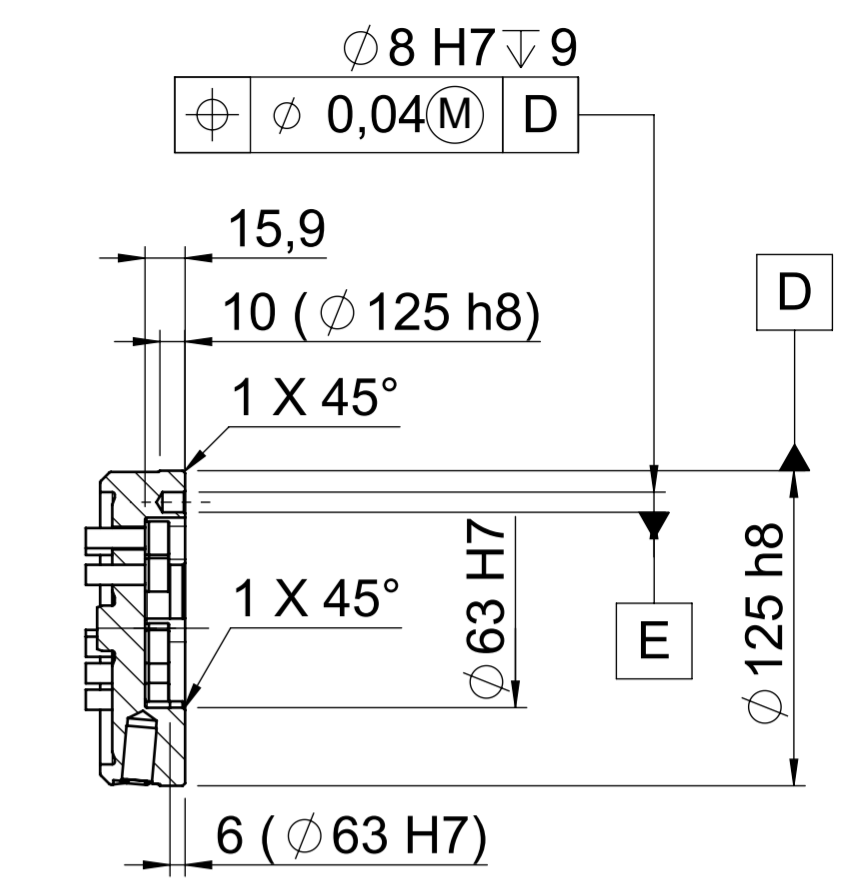
IRB 5710-110/2.3



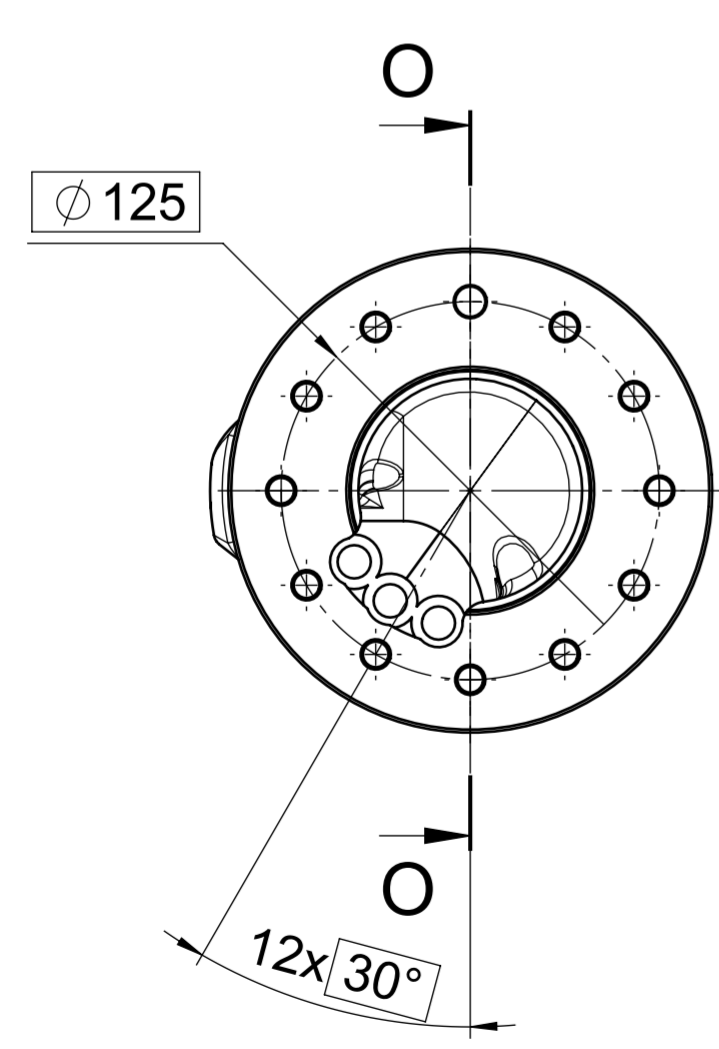
SECTION M-M



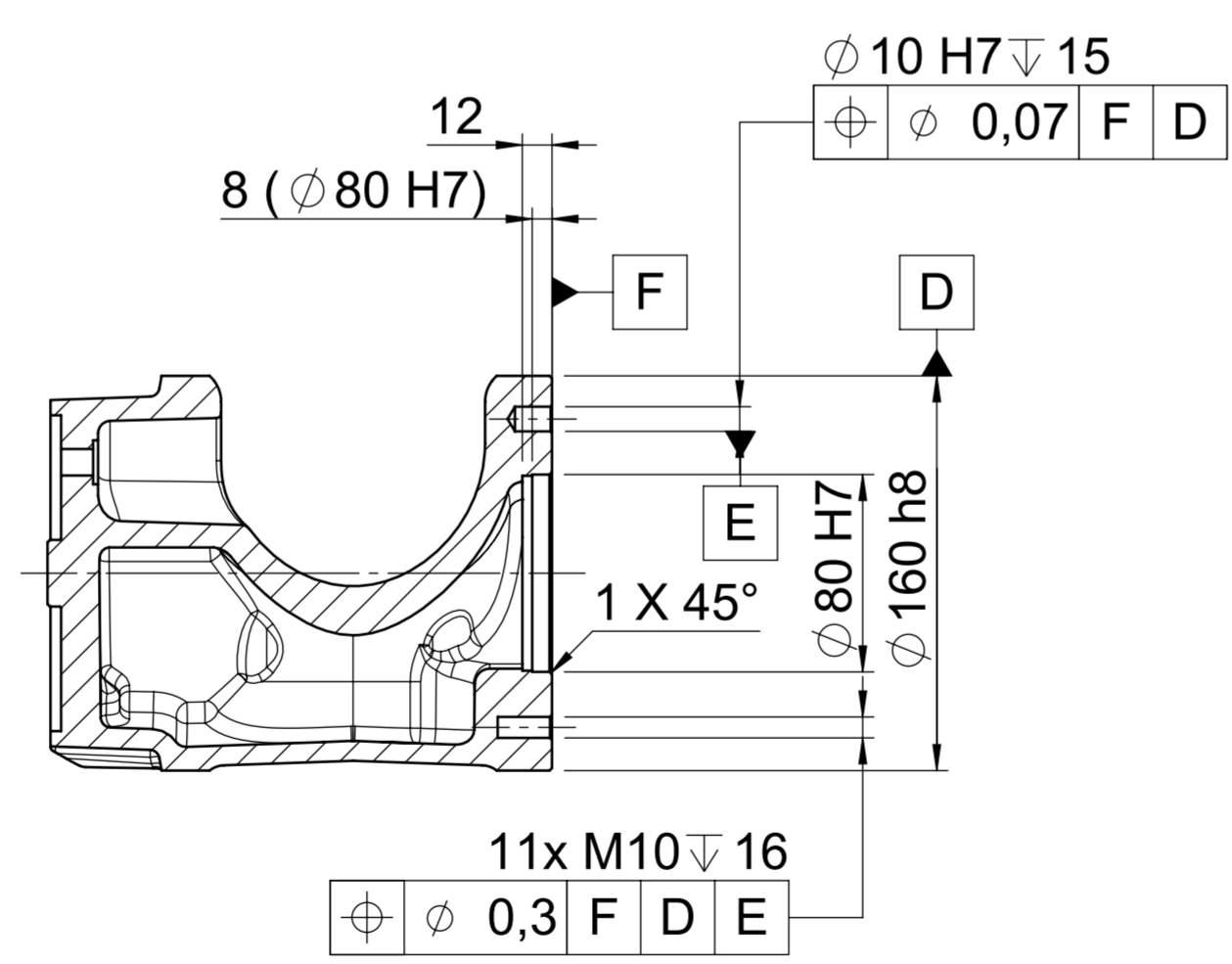
IRB 5710-90/2.7



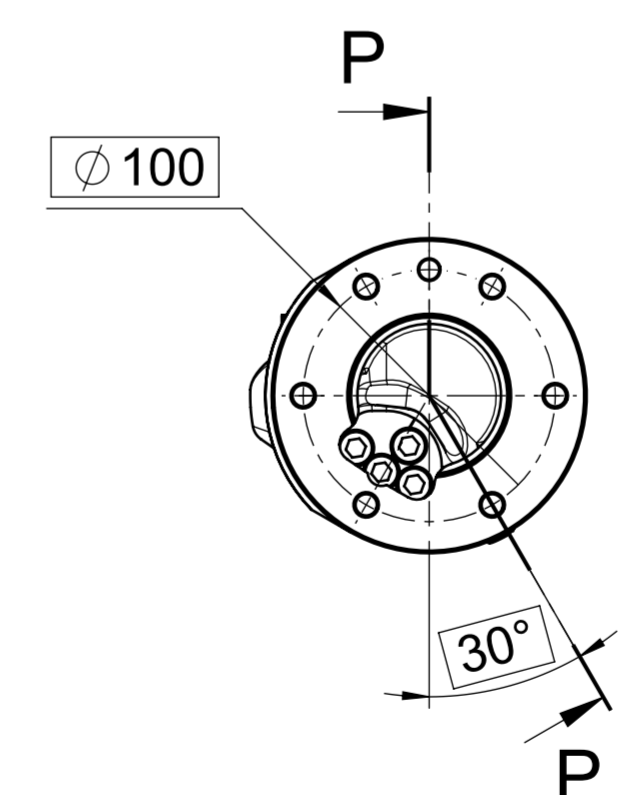
SECTION N-N



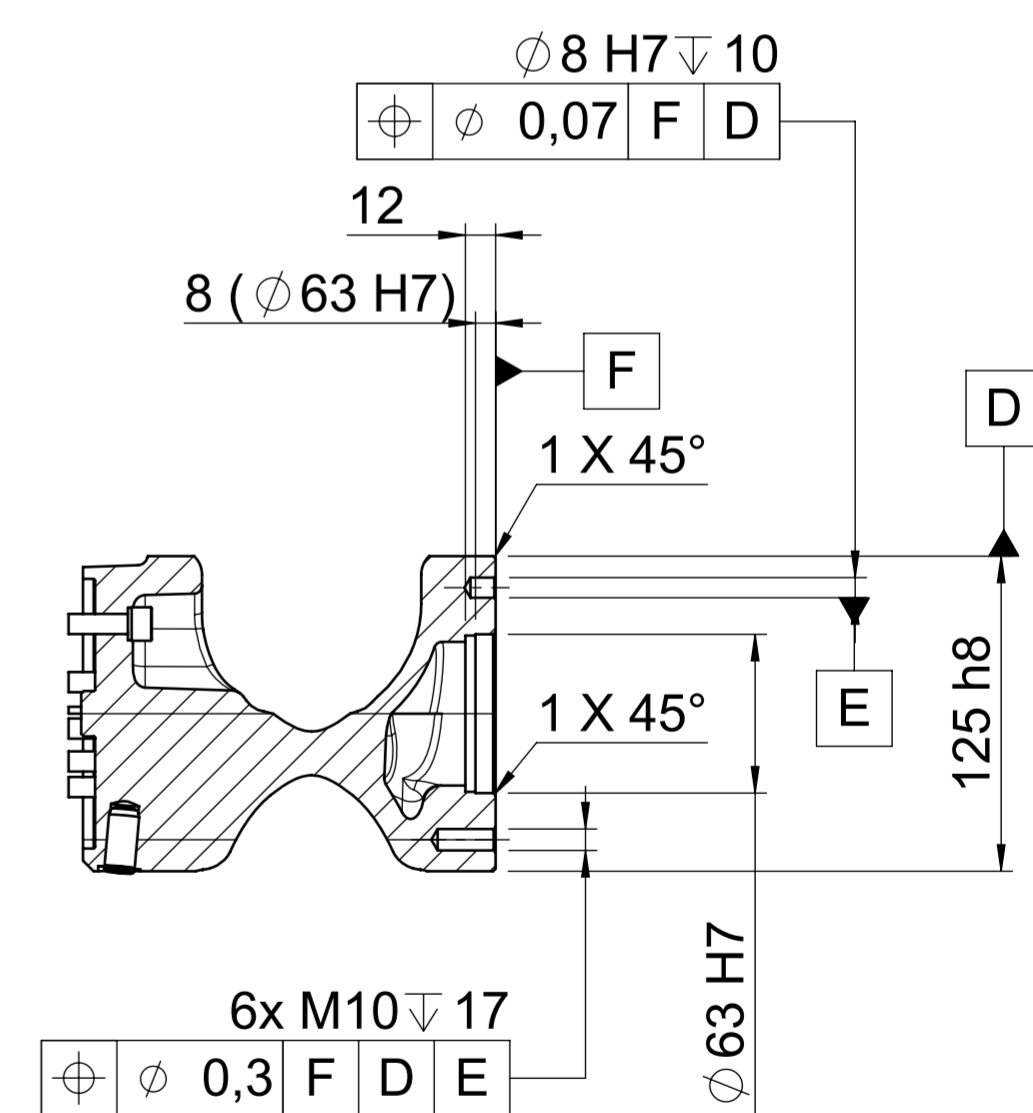
IRB 5710-90/2.3 LID



SECTION O-O



IRB 5710-70/2.7 LID



SECTION P-P

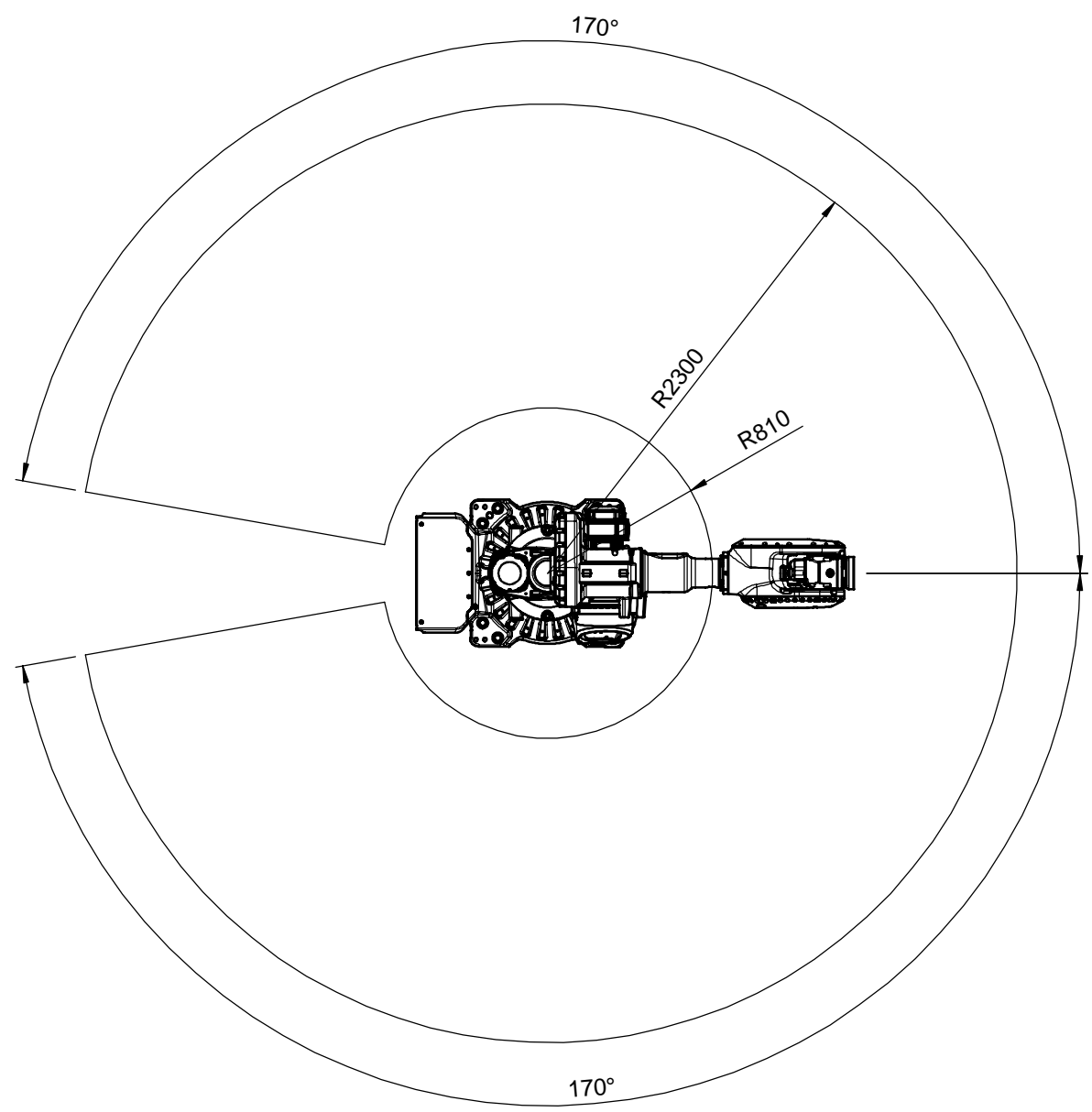
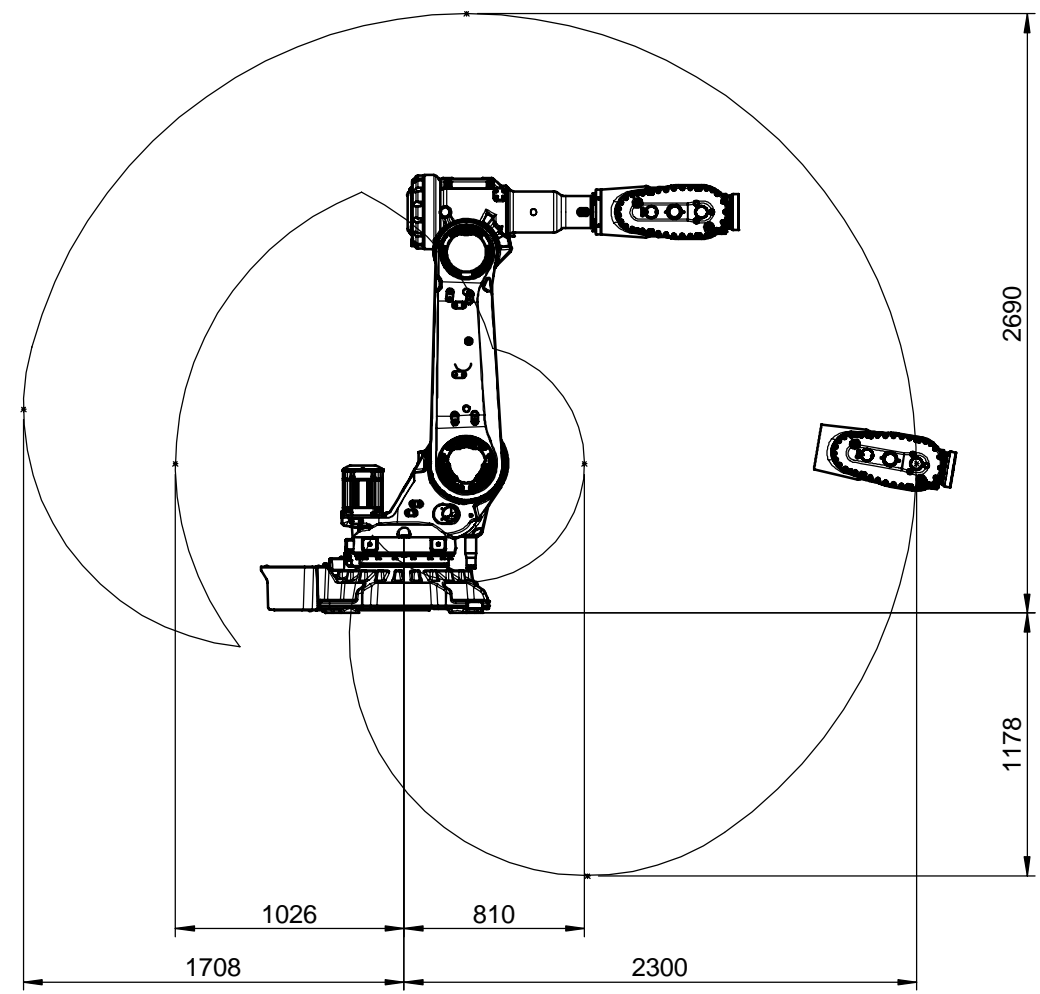
Prepared	Responsible Department	Description	SWD Drawing
Approved	Security level	Main dimensions IRB 5710	Sheet 7
Status	ECO number	Huvudmått IRB 5710	No. of sh. 7
Approved		Document no.	Rev. ind. 05
Latest Revision		3HAC075062-001	

We reserve all rights in this document and in the information contained herein. All rights reserved. Disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2024 ABB

Anexo B

A
B
C
D
E
F

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2020 ABB



IRB 5710-110/2.3

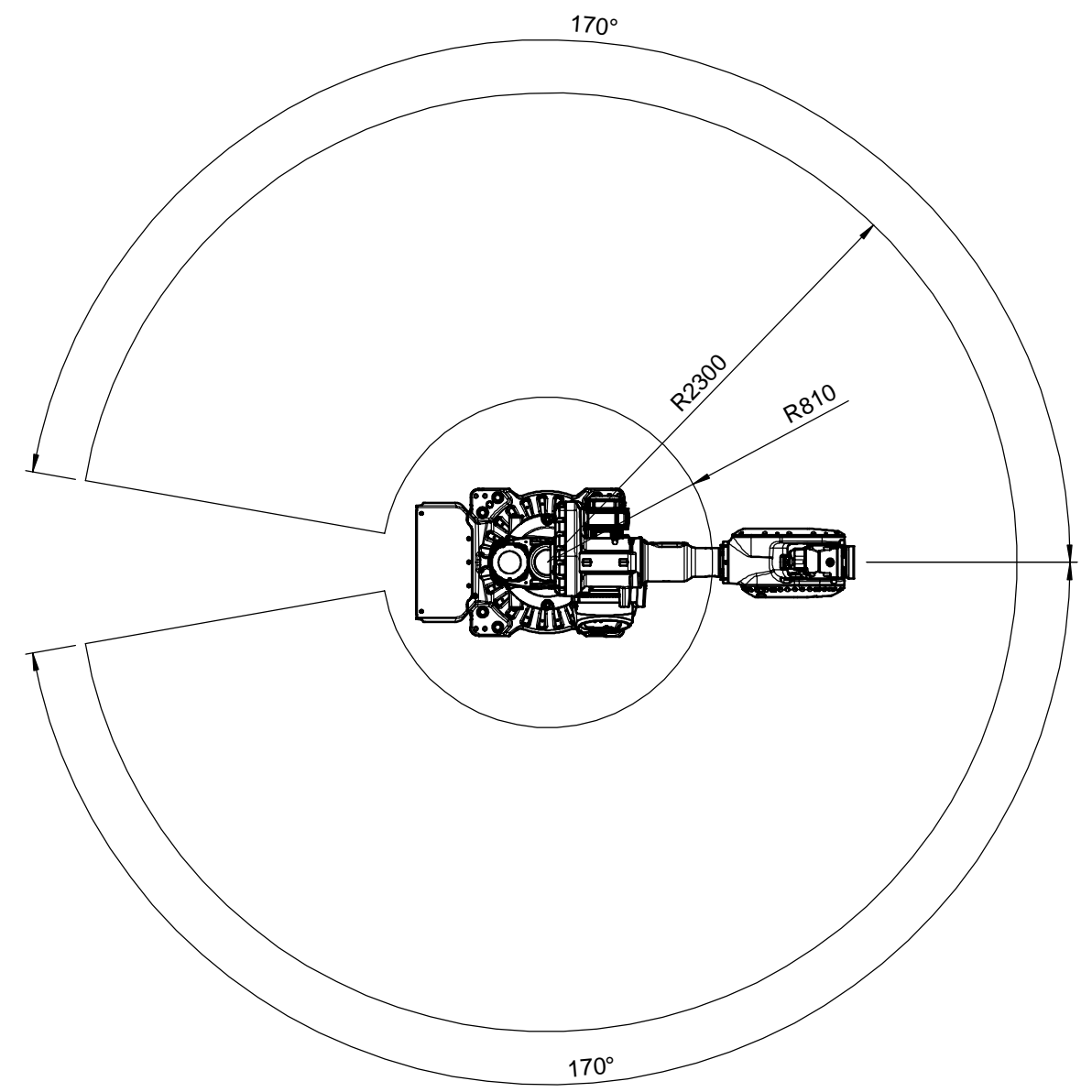
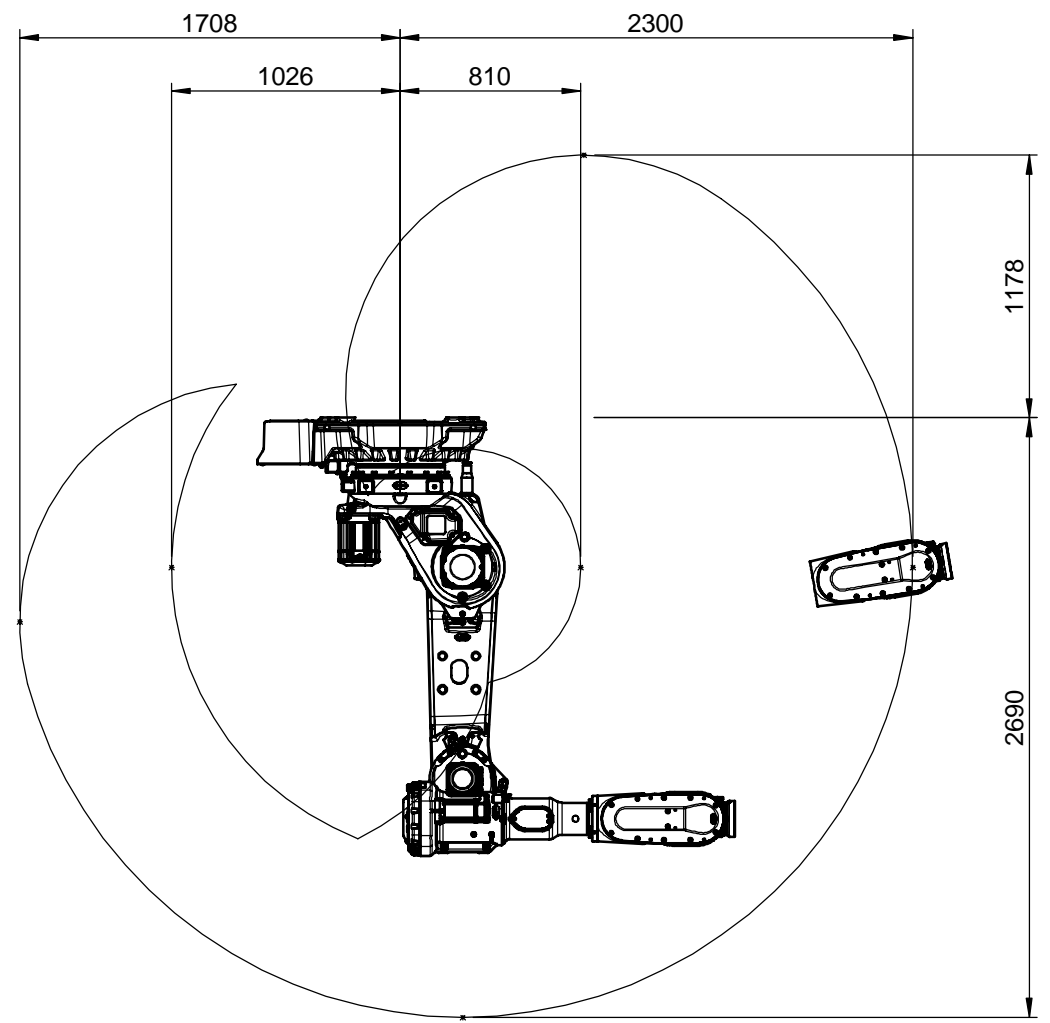
Working range

Ax 1	±170°
Ax 2	+145°/-75°
Ax 3	+70°/-180°
Ax 4	±300°
Ax 5	±130°
Ax 6	±360°

Variant	Sheet
110/2.3	1-2
90/2.3 LID	3-4
90/2.7	5-6
70/2.7 LID	7-8

Prepared	Responsible Department	Description	SWD Drawing
Approved	Take over department	Working area IRB 5710	Sheet 1
Status	ECO number	Arbetsområde IRB 5710	No. of sh. 8
Approved		Document no. 3HAC075062-002	Rev. ind. 01

ABB



We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2020 ABB

Variant	Sheet
110/2.3	1-2
90/2.3 LID	3-4
90/2.7	5-6
70/2.7 LID	7-8

IRB 5710-110/2.3
Working range
 Ax 1 ±170°
 Ax 2 +145°/-75°
 Ax 3 +70°/-180°
 Ax 4 ±300°
 Ax 5 ±130°
 Ax 6 ±360°

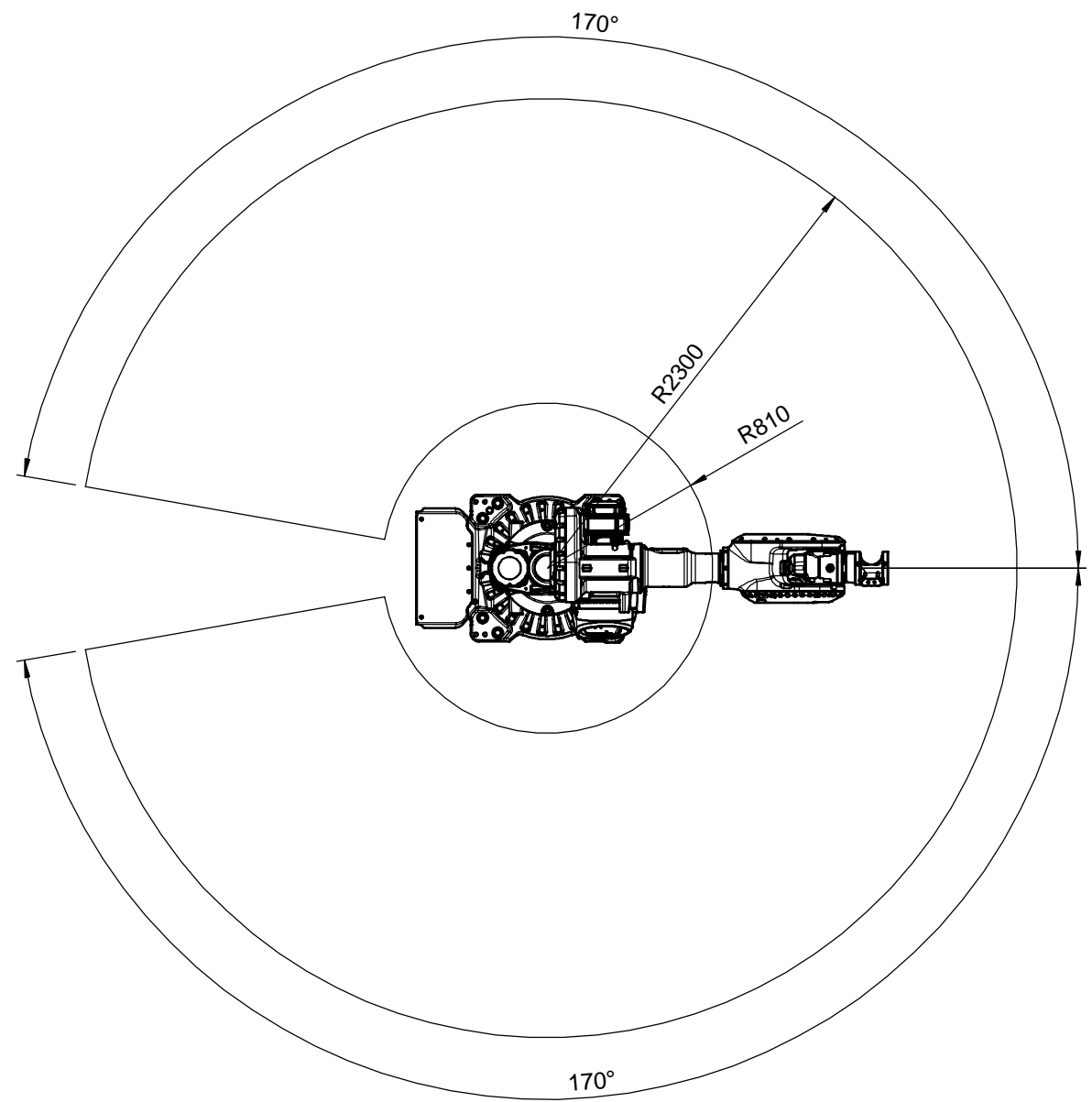
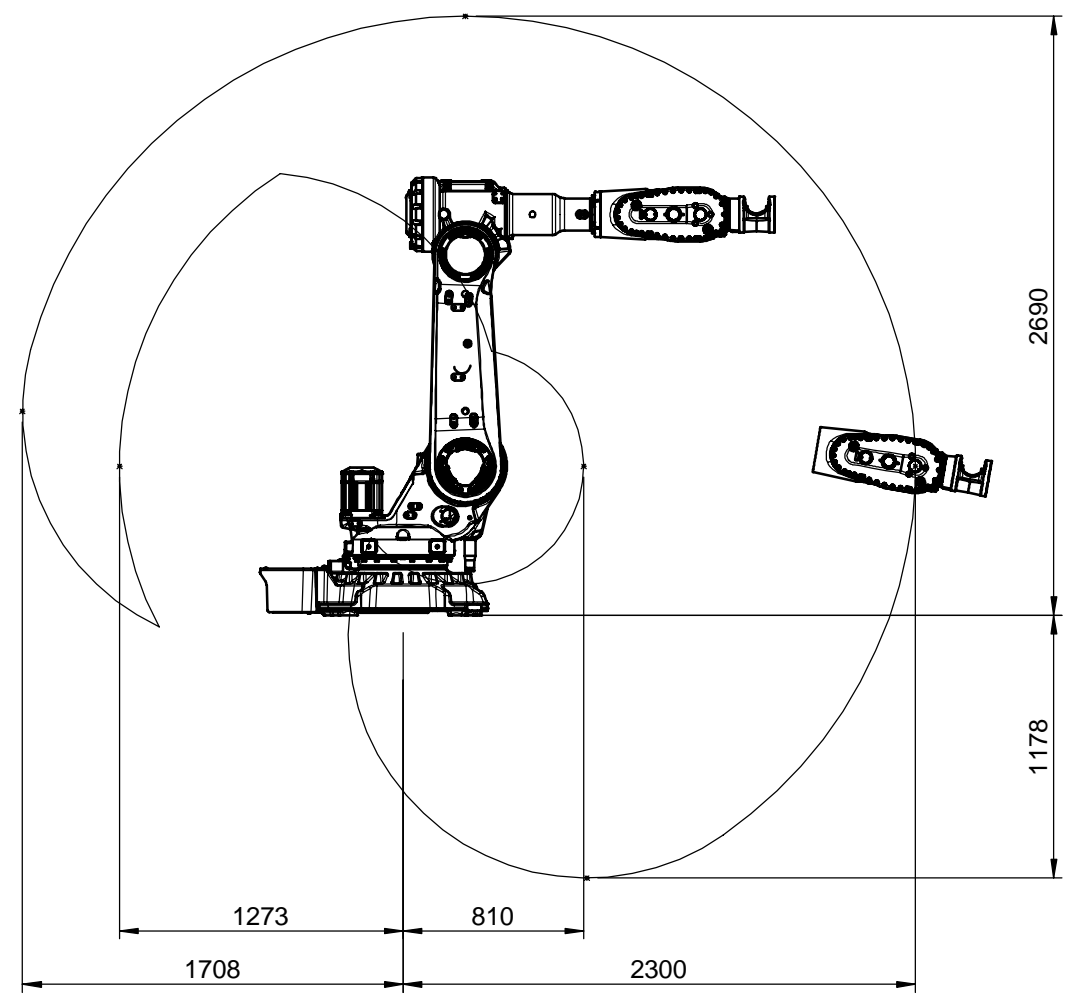
Prepared	Responsible Department	Description
Approved	Take over department	Working area IRB 5710
Status	ECO number	Arbetsområde IRB 5710
Approved		
ABB		Document no. 3HAC075062-002

SWD	Drawing	Sheet
		2
		No. of sh.
		8
		Rev. ind.
		01

Latest Revision

A
B
C
D
E
F

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2020 ABB

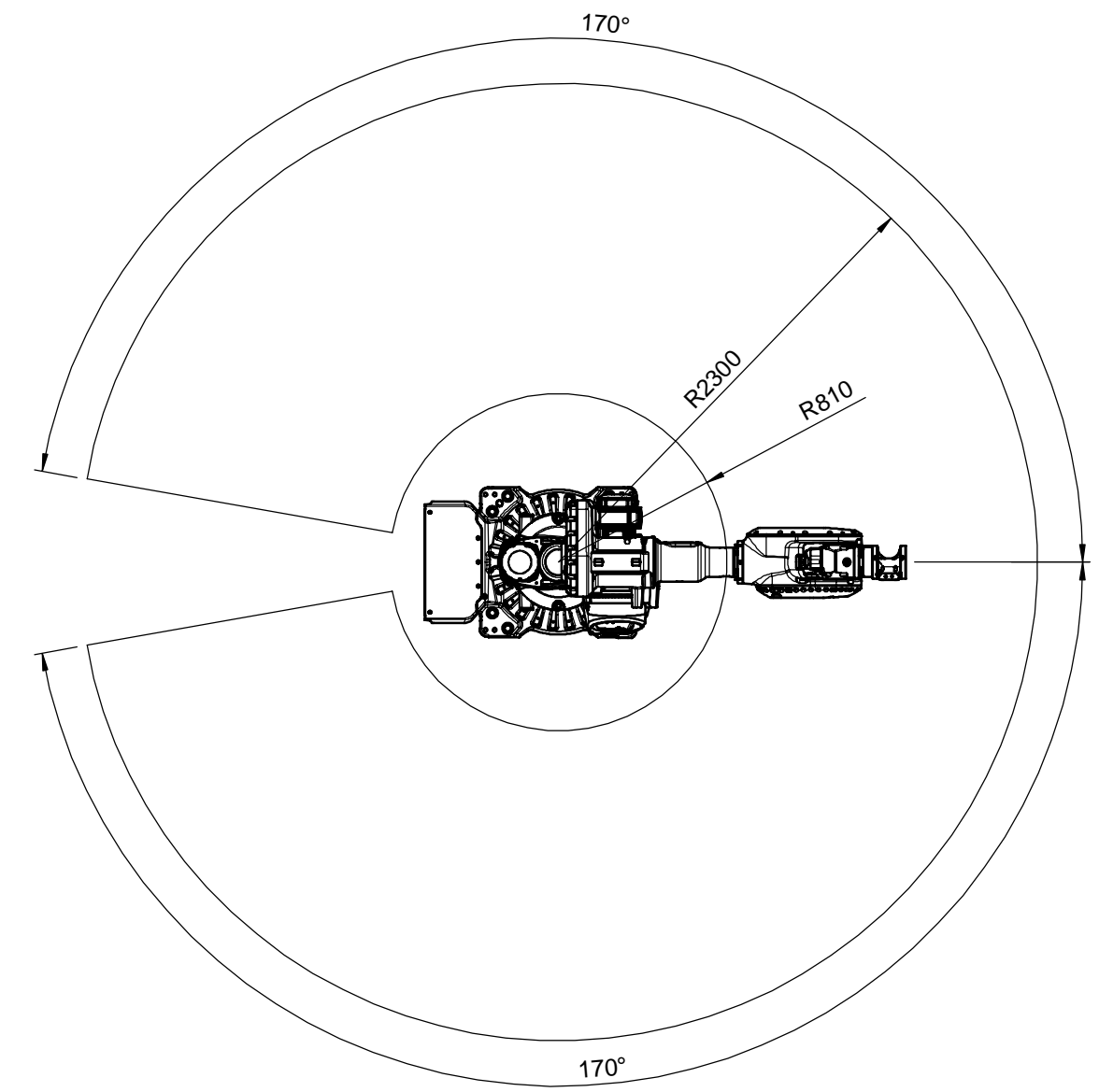
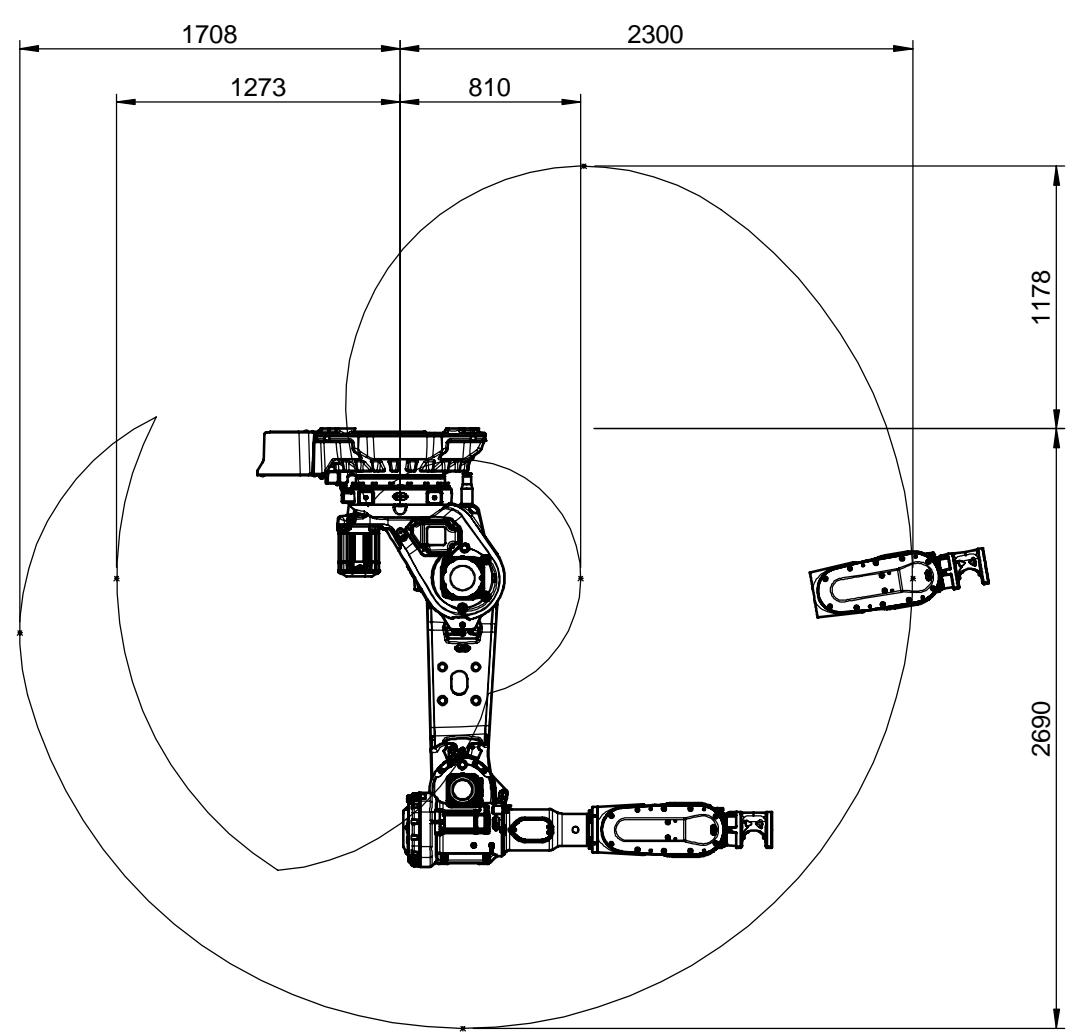


IRB 5710-90/2.3 LID

Working range	
Ax 1	±170°
Ax 2	+145°/-75°
Ax 3	+70°/-160°
Ax 4	±300°
Ax 5	±120°
Ax 6	±200°

Variant	Sheet
110/2.3	1-2
90/2.3 LID	3-4
90/2.7	5-6
70/2.7 LID	7-8

Prepared	Responsible Department	Description	SWD Drawing	
Approved	Take over department			
Status	ECO number	Working area IRB 5710		Sheet
Approved		Arbetsområde IRB 5710		No. of sh.
ABB		Document no.		Rev. ind.
Latest Revision		3HAC075062-002		01



We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2020 ABB

IRB 5710-90/2.3 LID

Working range	
Ax 1	±170°
Ax 2	+145°/-75°
Ax 3	+70°/-160°
Ax 4	±300°
Ax 5	±120°
Ax 6	±200°

Variant	Sheet
110/2.3	1-2
90/2.3 LID	3-4
90/2.7	5-6
70/2.7 LID	7-8

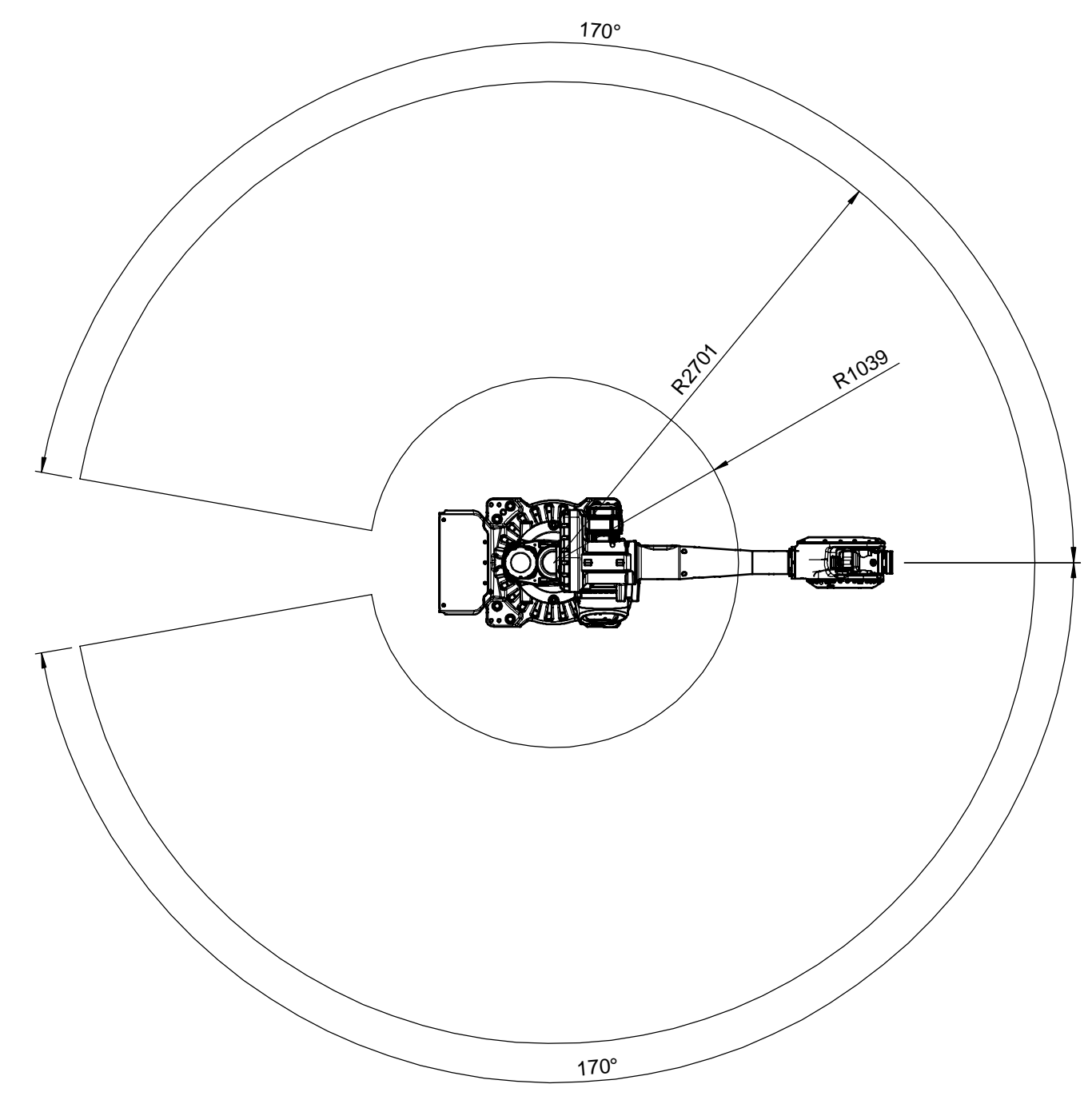
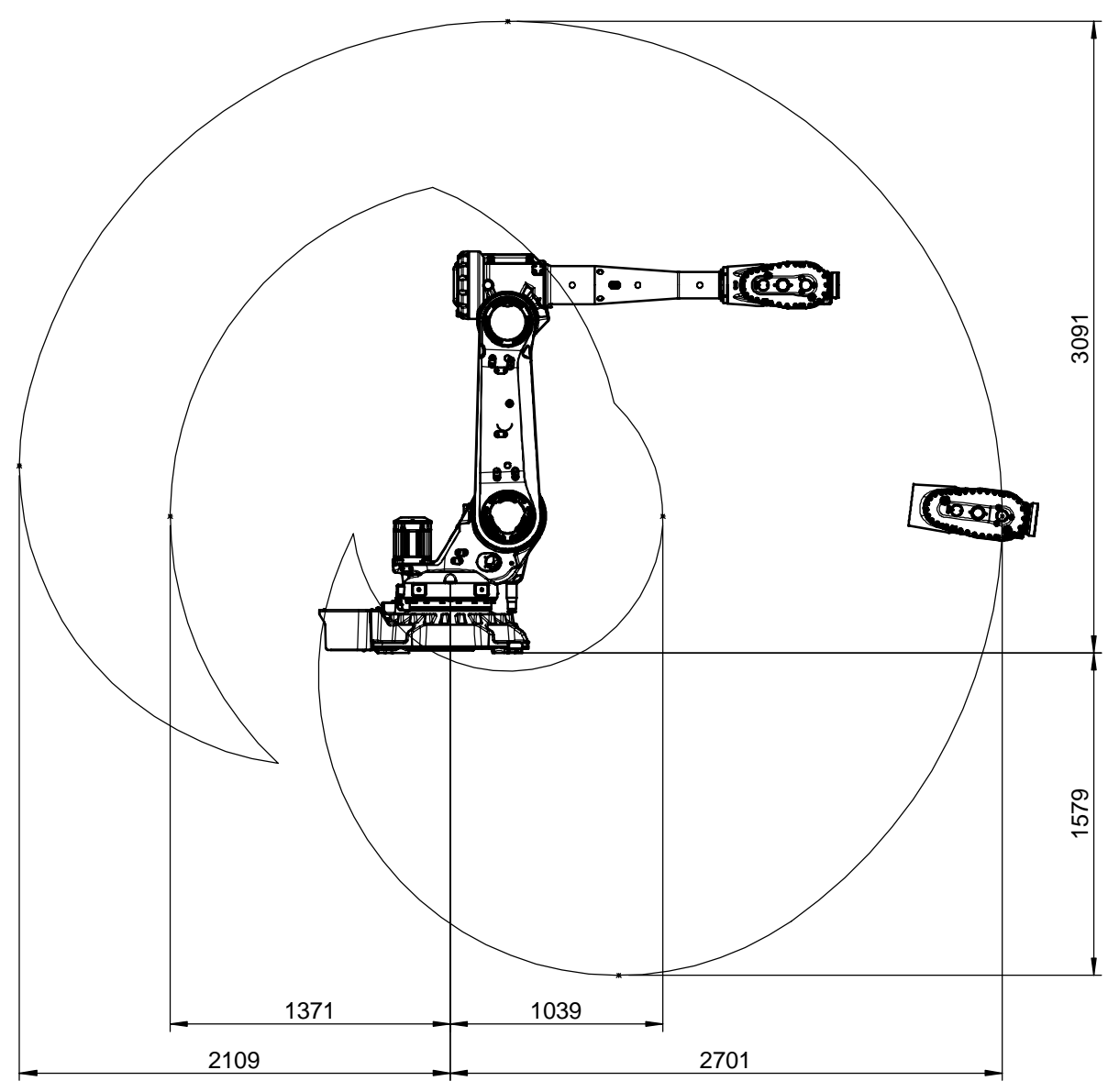
Prepared	Responsible Department	Description	SWD	Drawing	
Approved	Take over department	Working area IRB 5710 Arbetsområde IRB 5710			
Status	ECO number				
Approved		Document no.	3HAC075062-002		Sheet 4 No. of sh. 8 Rev. ind. 01



Latest Revision

A
B
C
D
E
F

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2020 ABB



IRB 5710-90/2.7

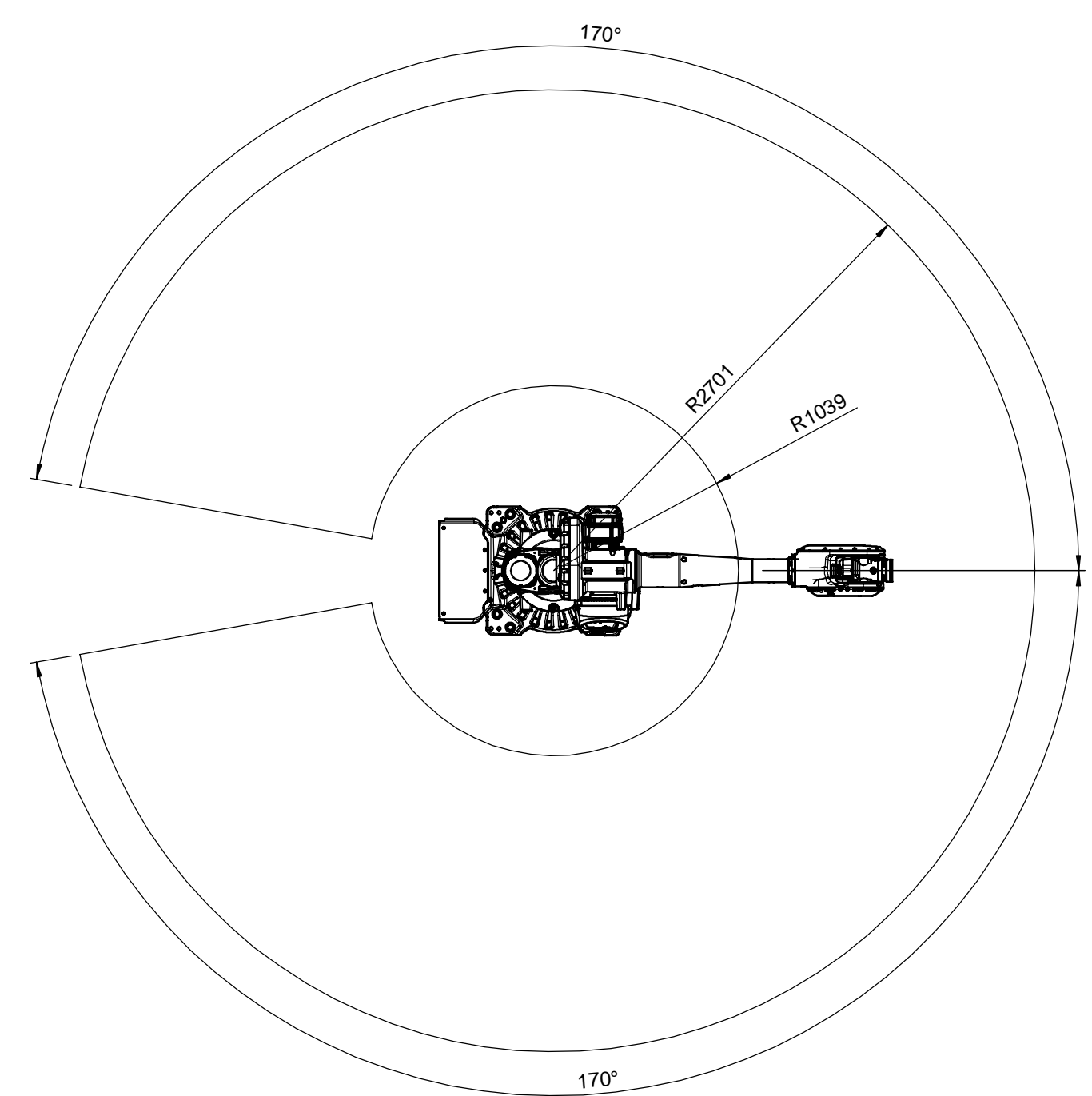
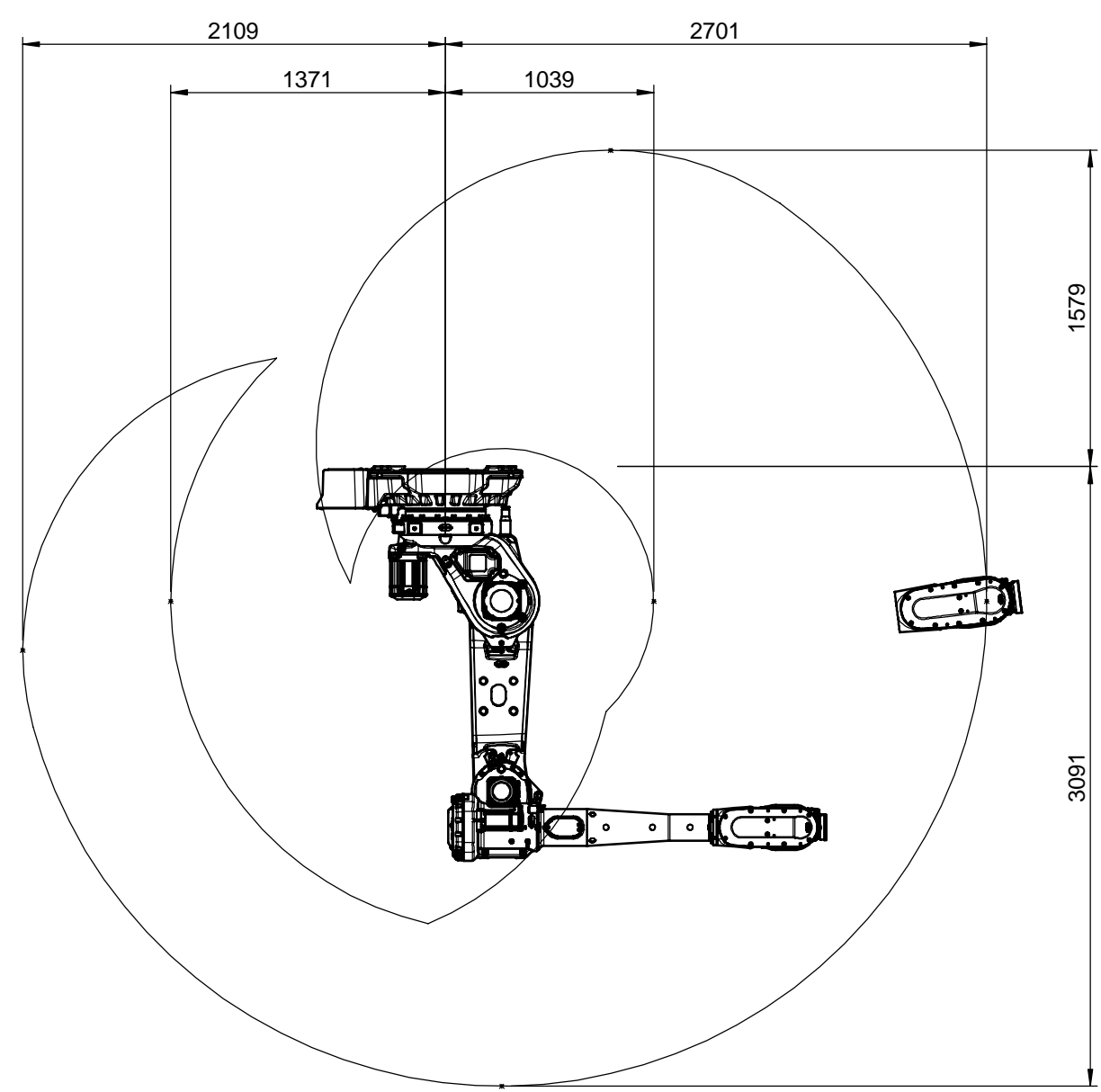
Working range

Ax 1	±170°
Ax 2	+145°/-75°
Ax 3	+70°/-180°
Ax 4	±300°
Ax 5	±130°
Ax 6	±360°

Variant	Sheet
110/2.3	1-2
90/2.3 LID	3-4
90/2.7	5-6
70/2.7 LID	7-8

Prepared	Responsible Department	Description	SWD	Drawing	
Approved	Take over department	Working area IRB 5710			Sheet 5
Status	ECO number	Arbetsområde IRB 5710			No. of sh. 8
Approved		Document no. 3HAC075062-002			Rev. ind. 01

ABB		Document no. 3HAC075062-002	Rev. ind. 01
------------	--	------------------------------------	---------------------



We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2020 ABB

Variant	Sheet
110/2.3	1-2
90/2.3 LID	3-4
90/2.7	5-6
70/2.7 LID	7-8

IRB 5710-90/2.7
Working range
 Ax 1 ±170°
 Ax 2 +145°/-75°
 Ax 3 +70°/-180°
 Ax 4 ±300°
 Ax 5 ±130°
 Ax 6 ±360°

Prepared	Responsible Department	Description
Approved	Take over department	Working area IRB 5710
Status	ECO number	Arbetsområde IRB 5710
Approved		Document no.
ABB		3HAC075062-002

SWD Drawing	Sheet: 6
	No. of sh. 8
	Rev. ind. 01

Latest Revision

A

B

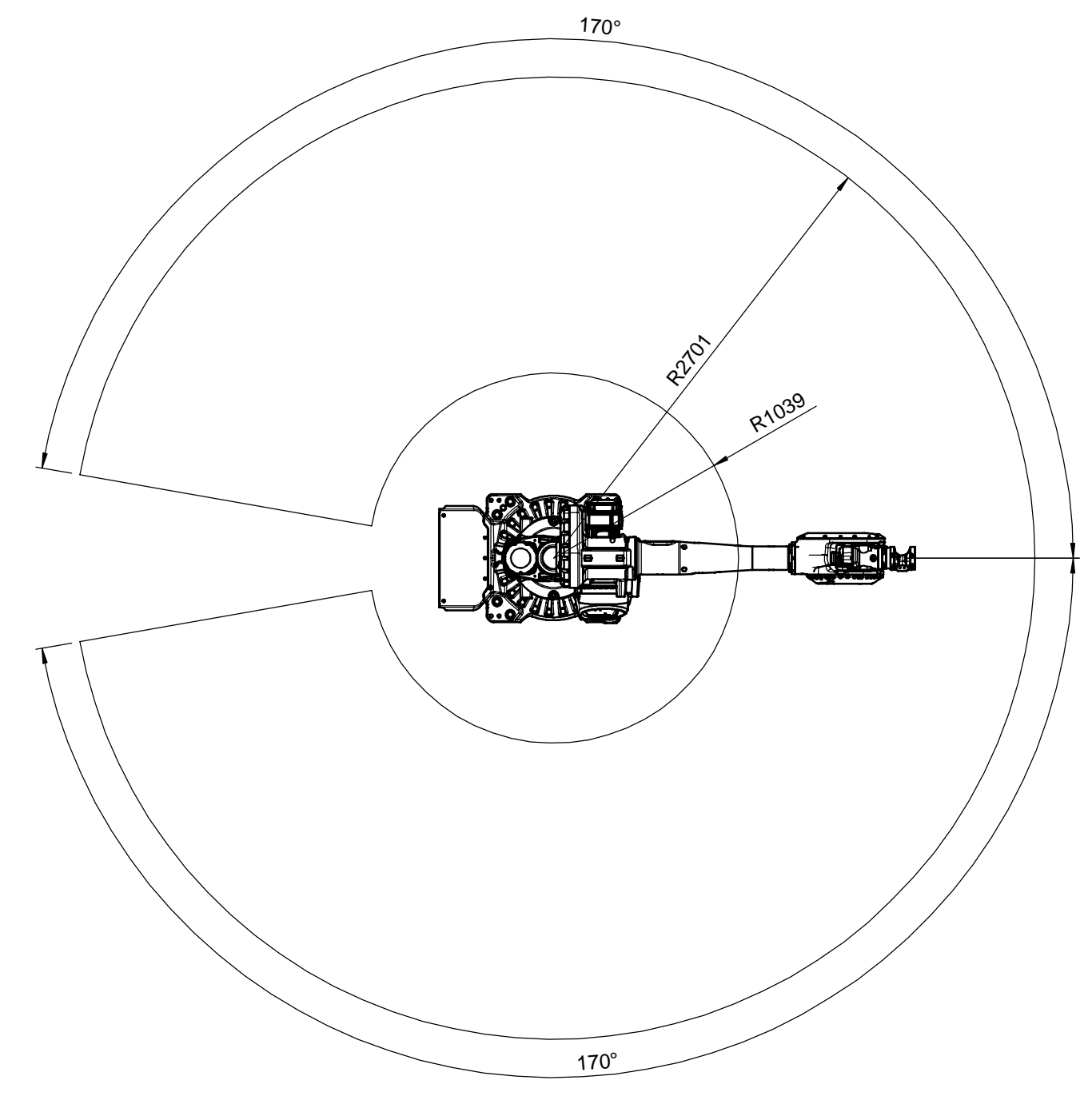
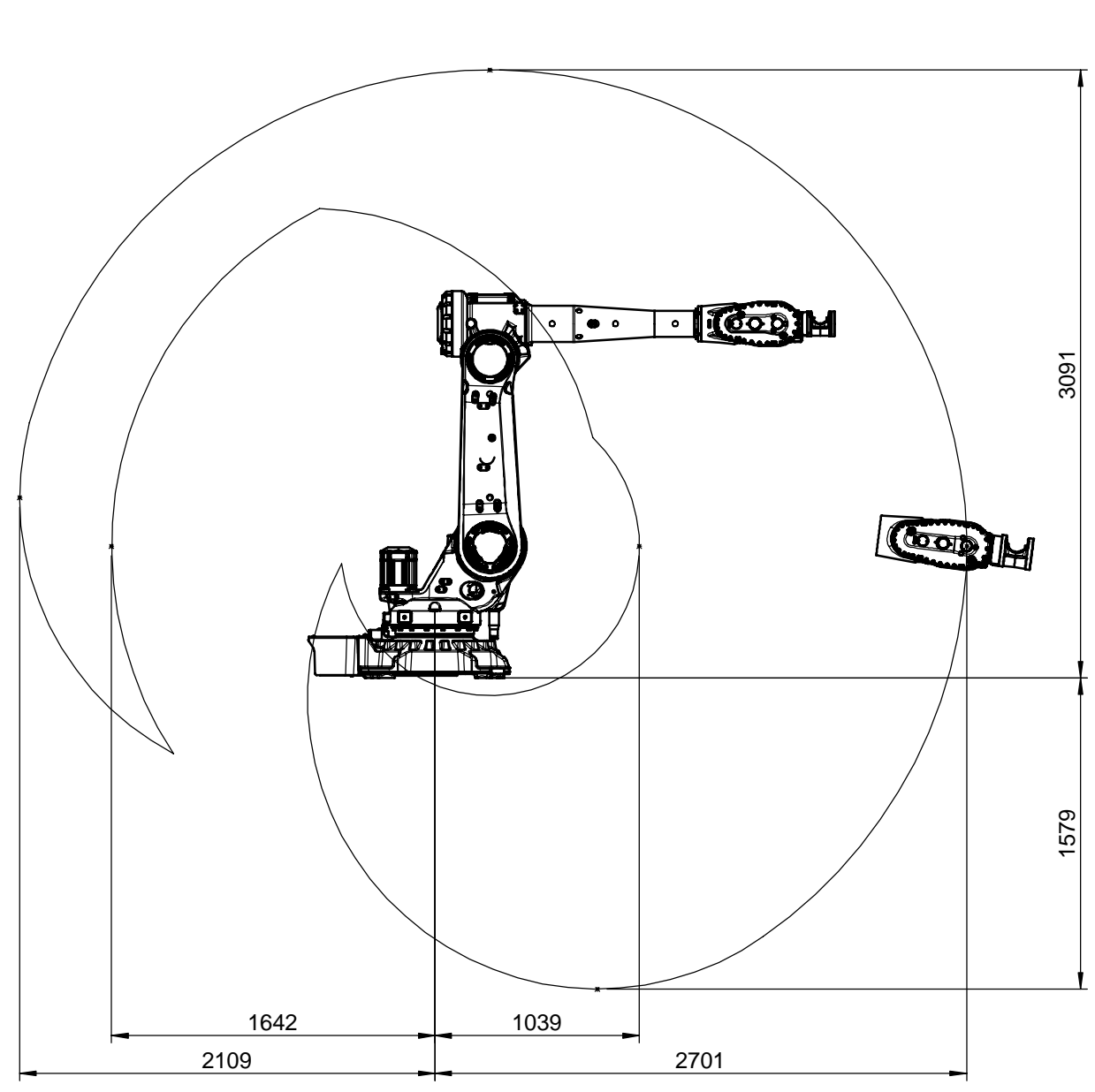
C

D

E

F

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2020 ABB



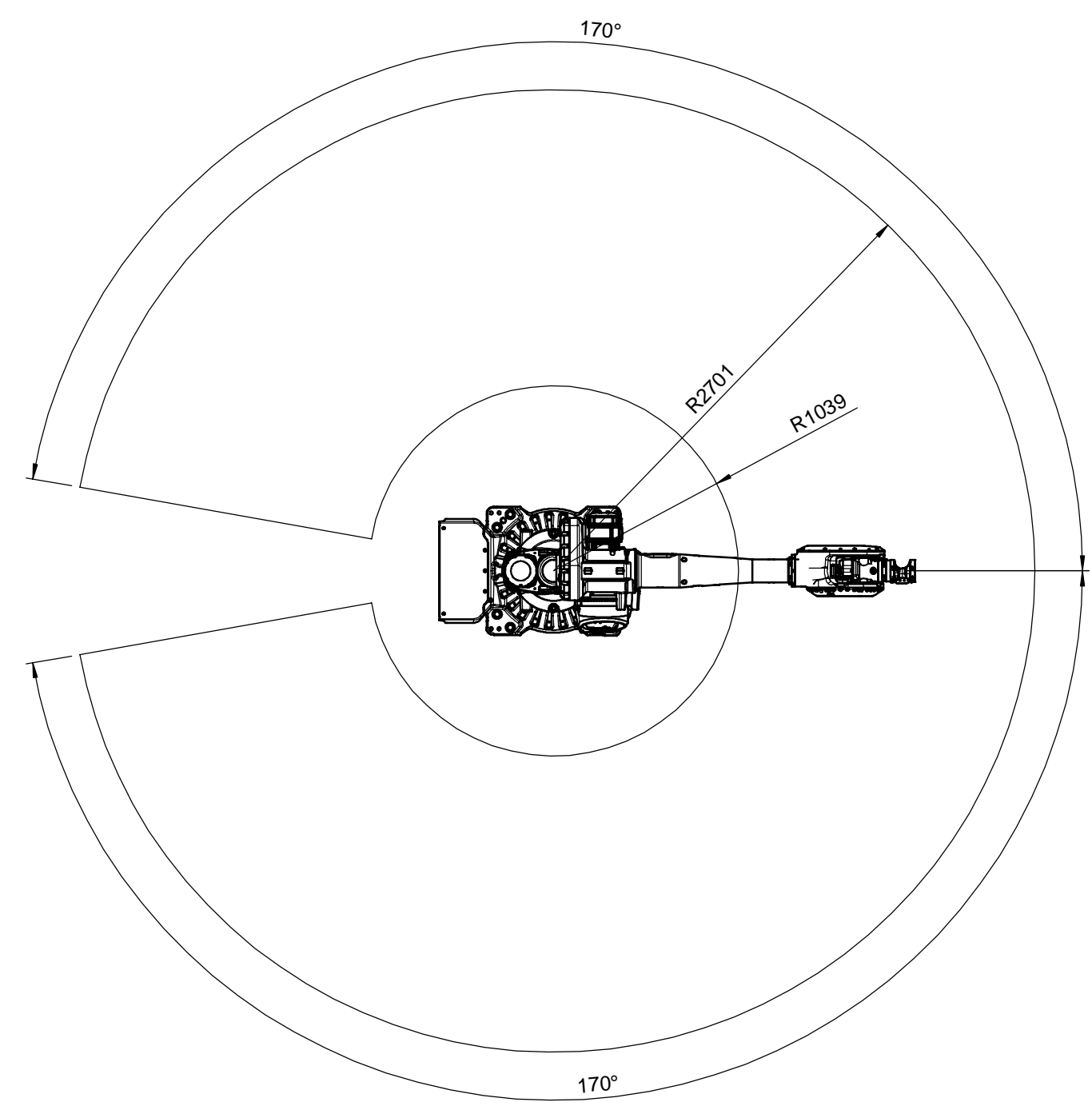
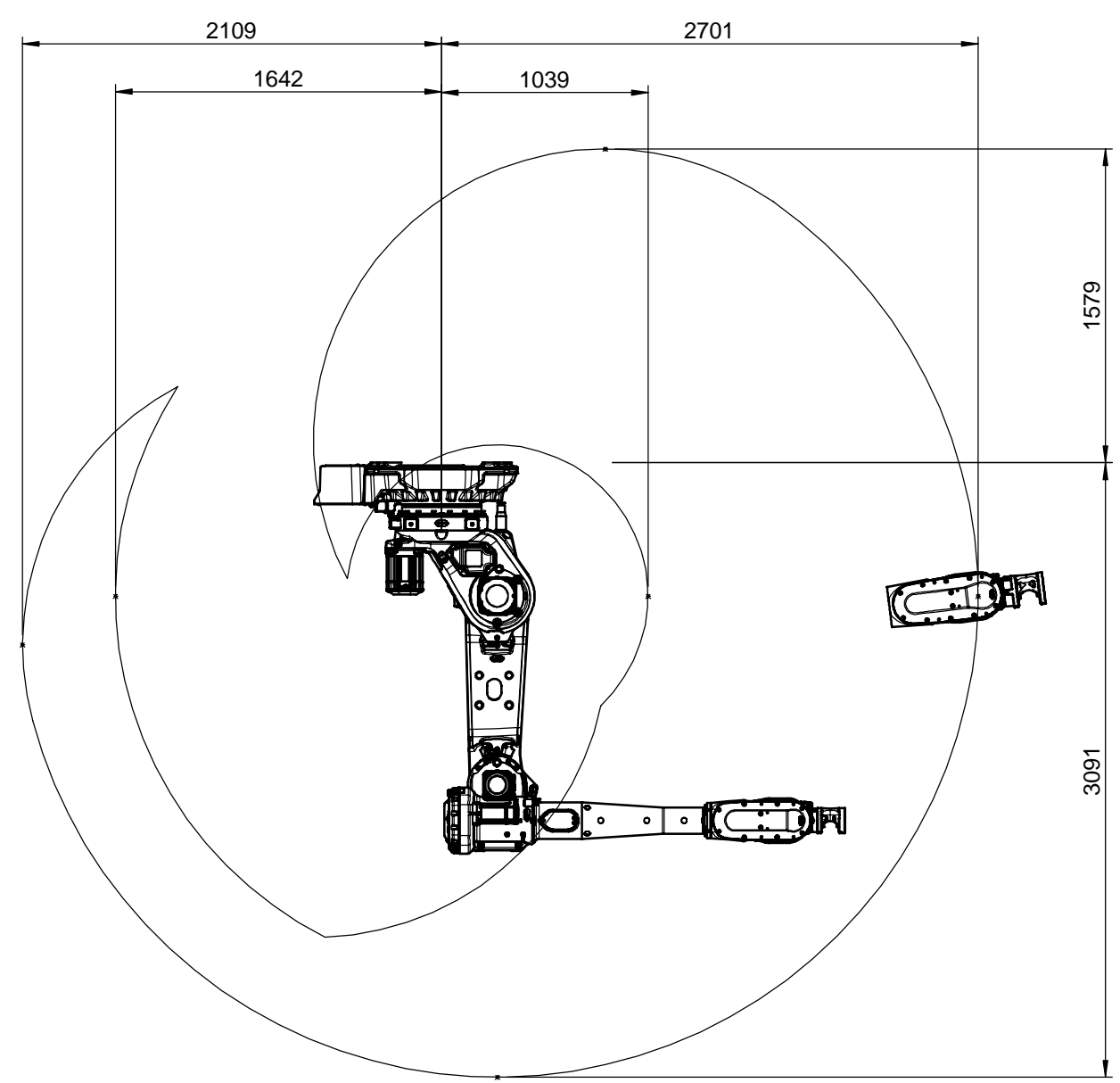
IRB 5710-70/2.7 LID

Working range	
Ax 1	±170°
Ax 2	+145°/-75°
Ax 3	+70°/-160°
Ax 4	±300°
Ax 5	±120°
Ax 6	±200°

Variant	Sheet
110/2.3	1-2
90/2.3 LID	3-4
90/2.7	5-6
70/2.7 LID	7-8

Prepared	Responsible Department	Description	SWD	Drawing	
Approved	Take over department	Working area IRB 5710 Arbetsområde IRB 5710			Sheet 7
Status	ECO number				
Approved		Document no.	3HAC075062-002		Rev. ind. 01
Latest Revision					

ABB		3HAC075062-002		01
------------	--	-----------------------	--	-----------



We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden. © Copyright 2020 ABB

IRB 5710-70/2.7 LID

Working range	
Ax 1	±170°
Ax 2	+145°/-75°
Ax 3	+70°/-160°
Ax 4	±300°
Ax 5	±120°
Ax 6	±200°

Variant	Sheet
110/2.3	1-2
90/2.3 LID	3-4
90/2.7	5-6
70/2.7 LID	7-8

Prepared	Responsible Department	Description	SWD	Drawing	
Approved	Take over department	Working area IRB 5710			Sheet 8
Status	ECO number	Arbetsområde IRB 5710			No. of sh. 8
Approved		Document no. 3HAC075062-002			Rev. ind. 01



Latest Revision


Anexo C

Servomotor EMMB-AS-60-04-K-S30MB

Número de referência: 8097186

FESTO



 General operating condition

Ficha de dados

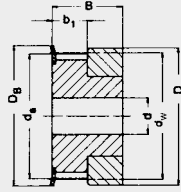
Característica	Valor
Temperatura ambiente	-15 oC ... 40 oC
Observação sobre a temperatura ambiente	Até 60°C com redução dos valores de -1,5% por graus Celsius
Altura de instalação máx.	4000 m
Observação na altura de instalação máx.	Com 1.000 m e superior apenas com redução dos valores em -1,0% por 100 m
Temperatura de armazenamento	-20 oC ... 55 oC
Humidade relativa	0 - 90%
De acordo com a norma	IEC 60034
Classe térmica de acordo com EN 60034-1	F
Temperatura máx. de enrolamento	155 oC
Classe de classificação de acordo com EN 60034-1	S1
Monitorização da temperatura	Transmissão da temperatura do motor digital através do formato Nikon A
Tipo de motor de acordo com EN 60034-7	IM B5 IM V1 IM V3
Posição de montagem	Qualquer um
Nível de proteção	IP65
Observação sobre o nível de proteção	IP40 para eixo do motor sem vedante de veios rotativos IP54 para eixo do motor com vedante de veios rotativos IP65 para a caixa do motor com tecnologia de conexão
Concentricidade, coaxialidade, deslocamento axial de acordo com DIN SPEC 42955	N
Qualidade do balanceador	G 2,5
Tempo útil do armazenamento em condições nominais	20000 h
Desenho da chaveta deslizante	DIN 6885 A 5 x 5 x 16
Ligação elétrica 1, tipo de conexão	Conectores
Ligação elétrica 1, tecnologia de conexão	Diagrama de conexões RE
Conexão elétrica 1, número de pinos/fios	6
Ligação elétrica para entrada 1, padrão de conexão	00995792
Nível de contaminação	2
Observação sobre os materiais	Em conformidade com a RoHS
Classe de resistência à corrosão (CRC)	0 - Sem resistência à corrosão
Em conformidade com LABS	VDMA24364 zona III
Resistência à vibração	Teste à aplicação do transporte com gravidade classe 2 de acordo com FN 942017-4 e EN 60068-2-6

Característica	Valor
Resistência a choques	Teste ao choque com nível de gravidade 2 de acordo com FN 942017-5 e EN 60068-2-27
Certificado	c UL us - Recognized (OL)
Marcação CE (ver declaração de conformidade)	De acordo com a Diretiva EMC da UE De acordo com a Diretiva Baixa Tensão da UE De acordo com a diretiva RoHS da UE
Marcação UKCA (ver declaração de conformidade)	De acordo com as especificações do Reino Unido para EMV De acordo com as especificações da RoHS do Reino Unido de acordo com a normativa do Reino Unido para o material elétrico
Autoridade emissora do certificado	UL E342973
Tensão de funcionamento nominal CC	300 V
Tensão nominal CC	300 V
Tipo de comutação do enrolamento	Estrela interior
Número de pares do polo	3
Torque estático	1.4 Nm
Torque nominal	1.27 Nm
Torque de pico	3.81 Nm
Velocidade de rotação nominal	3000 1/min
Velocidade rotacional máx.	6000 1/min
Velocidade mecânica máx.	10000 1/min
Potência nominal do motor	400 W
Corrente contínua crítica	2.6 A
Corrente nominal do motor	2.4 A
Corrente de pico	7.2 A
Constantes do motor	0.562 Nm/A
Constante de tensão fase-a-fase	34 mVmin
Resistência do enrolamento fase a fase	5.8 Ohm
Indutância de enrolamento fase a fase	11.5 mH
Constante de tempo elétrica	1.98 ms
Flange de medição	255 x 255 x 8 mm, Alumínio
Saída total do momento de inércia	0.425 kgcm ²
Peso do produto	1900 g
Carga permissível do eixo axial	90 N
Carga do eixo radial permissível	180 N
Sensor de posição do rotor	Codificador absoluto, multigiro
Sensor de posição do rotor para designação do fabricante	MAR-MX50AHN00
Sensor de posição do rotor para rotações detetáveis absolutas	65536
Interface do sensor de posição do rotor	Formato A Nikon
Princípio de medição do sensor de posição do rotor	Ótico
Sensor de posição do rotor para tensão operacional CC	5 V
Sensor de posição do rotor para faixa de tensão operacional CC	4.75 V ... 5.25 V
Sensor de posição do rotor, valores de posição por revolução	1048576
Resolução do sensor de posição do rotor	20 bit
Medição do ângulo de precisão do sistema do sensor de posição do rotor	-120 arcsec ... 120 arcsec
Torque de travagem de contenção	1.3 Nm
Tensão operacional travão CC	24 V
Potência consumida pelo travão	7.2 W

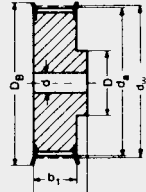
Anexo D

TIMING BELT PULLEYS

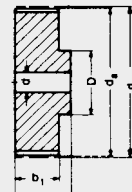
optibelt ZRS HTD TIMING BELT PULLEYS FOR CYLINDRICAL BORES PROFILES 3M AND 5M



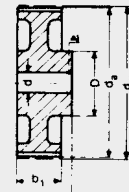
Design 1F



Design 6F



Design 6



Design 6W

Profile 3M – Tooth pitch 3 mm for belt width 15 mm

Designation	Number of teeth	Design	Material	d_w [mm]	d_o [mm]	D_B [mm]	b_1 [mm]	B [mm]	D [mm]	Pilot bore d [mm]	Finished bore d_{max} [mm]	Weight \approx [kg]
10-3M-15	10	1F	Al	9.55	8.79	13.0	17.0	26	13.0	—	3	0.006
12-3M-15	12	1F	Al	11.46	10.70	15.0	17.0	26	15.0	—	5	0.008
14-3M-15	14	1F	Al	13.37	12.61	16.0	17.0	26	16.0	—	6	0.010
15-3M-15	15	1F	Al	14.32	13.56	17.5	17.0	26	17.5	—	6	0.012
16-3M-15	16	6F	Al	15.28	14.52	18.0	19.5	26	10.0	4	7	0.010
18-3M-15	18	6F	Al	17.19	16.43	19.5	19.5	26	11.0	6	8	0.012
20-3M-15	20	6F	Al	19.10	18.34	23.0	19.5	26	13.0	6	9	0.014
21-3M-15	21	6F	Al	20.05	19.29	25.0	19.5	26	14.0	6	9	0.016
22-3M-15	22	6F	Al	21.01	20.25	25.0	19.5	26	14.0	6	9	0.018
24-3M-15	24	6F	Al	22.92	22.16	25.0	19.5	26	14.0	6	9	0.020
26-3M-15	26	6F	Al	24.83	24.07	28.0	19.5	26	16.0	6	11	0.027
28-3M-15	28	6F	Al	26.74	25.98	32.0	19.5	26	18.0	6	12	0.030
30-3M-15	30	6F	Al	28.65	27.89	32.0	19.5	26	20.0	6	14	0.035
32-3M-15	32	6F	Al	30.56	29.80	36.0	19.5	26	22.0	6	15	0.042
36-3M-15	36	6F	Al	34.38	33.62	38.0	20.0	30	26.0	6	16	0.060
40-3M-15	40	6F	Al	38.20	37.44	42.0	20.0	30	28.0	6	18	0.075
44-3M-15	44	6F	Al	42.02	41.26	48.0	20.0	30	33.0	6	20	0.100
48-3M-15	48	6	Al	45.84	45.08	—	20.0	30	33.0	8	20	0.103
60-3M-15	60	6	Al	57.30	56.54	—	20.0	30	33.0	8	20	0.150
72-3M-15	72	6	Al	68.75	67.99	—	20.0	30	33.0	8	20	0.212

Profile 5M – Tooth pitch 5 mm for belt width 9 mm

12-5M-9	12	6F	St	19.10	17.96	23	14.5	20.0	13.0	4	7	0.028
14-5M-9	14	6F	St	22.28	21.14	25	14.5	20.0	14.0	6	8	0.034
15-5M-9	15	6F	St	23.87	22.73	28	14.5	20.0	16.0	6	10	0.042
16-5M-9	16	6F	St	25.46	24.32	28	14.5	20.0	16.5	6	10	0.050
18-5M-9	18	6F	St	28.65	27.51	32	14.5	20.0	20.0	6	12	0.070
20-5M-9	20	6F	St	31.83	30.69	36	14.5	22.5	23.0	6	14	0.094
21-5M-9	21	6F	St	33.42	32.28	38	14.5	22.5	24.0	6	14	0.110
22-5M-9	22	6F	St	35.01	33.87	38	14.5	22.5	25.5	6	14	0.118
24-5M-9	24	6F	St	38.20	37.06	42	14.5	22.5	27.0	6	16	0.145
26-5M-9	26	6F	St	41.38	40.24	44	14.5	22.5	30.0	6	18	0.170
28-5M-9	28	6F	St	44.56	43.42	48	14.5	22.5	30.5	6	18	0.200
30-5M-9	30	6F	St	47.75	46.61	51	14.5	22.5	35.0	6	20	0.236
32-5M-9	32	6F	St	50.93	49.79	54	14.5	22.5	38.0	8	22	0.270
36-5M-9	36	6F	St	57.30	56.16	60	14.5	22.5	38.0	8	22	0.324
40-5M-9	40	6F	St	63.66	62.52	71	14.5	22.5	38.0	8	22	0.400
44-5M-9	44	6W	Al	70.03	68.89	—	14.5	25.5	38.0	8	22	0.170
48-5M-9	48	6W	Al	76.39	75.25	—	14.5	25.5	45.0	8	25	0.182
60-5M-9	60	6W	Al	95.49	94.35	—	14.5	25.5	45.0	8	25	0.230
72-5M-9	72	6W	Al	114.59	113.45	—	14.5	25.5	45.0	8	25	0.270

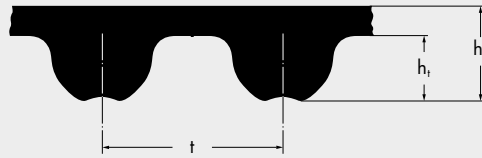
Al = Aluminium St = Steel Subject to changes due to production.

Anexo E

PRODUCT DESCRIPTION

optibelt **OMEGA HP** TIMING BELTS

STANDARD PRODUCT RANGE



Profile	3M HP
t [mm]	3.0
h _s [mm]	2.3
h _t [mm]	1.1

optibelt OMEGA 3M HP								
Belt designation	Pitch length [mm]	Number of teeth	Belt designation	Pitch length [mm]	Number of teeth	Belt designation	Pitch length [mm]	Number of teeth
111 3MHP•	111.00	37	294 3MHP•	294.00	98	600 3MHP•	600.00	200
129 3MHP•	129.00	43	300 3MHP	300.00	100	606 3MHP•	606.00	202
141 3MHP•	141.00	47	312 3MHP	312.00	104	615 3MHP•	615.00	205
144 3MHP	144.00	48	315 3MHP•	315.00	105	633 3MHP•	633.00	211
150 3MHP•	150.00	50	318 3MHP	318.00	106	669 3MHP	669.00	223
159 3MHP•	159.00	53	330 3MHP	330.00	110	675 3MHP•	675.00	225
165 3MHP•	165.00	55	333 3MHP•	333.00	111	711 3MHP•	711.00	237
168 3MHP•	168.00	56	339 3MHP•	339.00	113	738 3MHP•	738.00	246
171 3MHP•	171.00	57	345 3MHP•	345.00	115	804 3MHP•	804.00	268
174 3MHP	174.00	58	357 3MHP	357.00	119	816 3MHP•	816.00	272
177 3MHP	177.00	59	363 3MHP	363.00	121	843 3MHP•	843.00	281
180 3MHP•	180.00	60	366 3MHP•	366.00	122	882 3MHP•	882.00	294
183 3MHP•	183.00	61	384 3MHP	384.00	128	888 3MHP•	888.00	296
186 3MHP•	186.00	62	390 3MHP•	390.00	130	1062 3MHP•	1062.00	354
192 3MHP•	192.00	64	420 3MHP	420.00	140	1569 3MHP•	1569.00	523
195 3MHP•	195.00	65	426 3MHP•	426.00	142	1587 3MHP•	1587.00	529
201 3MHP	201.00	67	435 3MHP•	435.00	145	1692 3MHP•	1692.00	564
204 3MHP•	204.00	68	447 3MHP	447.00	149			
207 3MHP	207.00	69	462 3MHP•	462.00	154			
210 3MHP	210.00	70	474 3MHP	474.00	158			
213 3MHP•	213.00	71	480 3MHP•	480.00	160			
219 3MHP•	219.00	73	486 3MHP•	486.00	162			
225 3MHP	225.00	75	495 3MHP•	495.00	165			
237 3MHP	237.00	79	501 3MHP	501.00	167			
240 3MHP	240.00	80	513 3MHP	513.00	171			
246 3MHP•	246.00	82	519 3MHP•	519.00	173			
249 3MHP•	249.00	83	522 3MHP•	522.00	174			
252 3MHP•	252.00	84	525 3MHP•	525.00	175			
255 3MHP	255.00	85	531 3MHP•	531.00	177			
267 3MHP•	267.00	89	537 3MHP•	537.00	179			
276 3MHP	276.00	92	558 3MHP•	558.00	186			
282 3MHP•	282.00	94	564 3MHP•	564.00	188			
285 3MHP	285.00	95	570 3MHP•	570.00	190			
288 3MHP•	288.00	96	582 3MHP•	582.00	194			
291 3MHP•	291.00	97	597 3MHP	597.00	199			

Standard width: 6 mm, 9 mm, 15 mm
 (Further sizes and special width ranges on request) • Not available ex stock

Order example:

TIMING BELTS: optibelt OMEGA HP 225 3M HP 9

225 = 225 mm pitch length
 3M HP = profile and design
 9 = 9 mm belt width

Anexo F



Descrição

Material:

Fundição de bronze Rg7.

Versão:

Superfície sem tratamento.

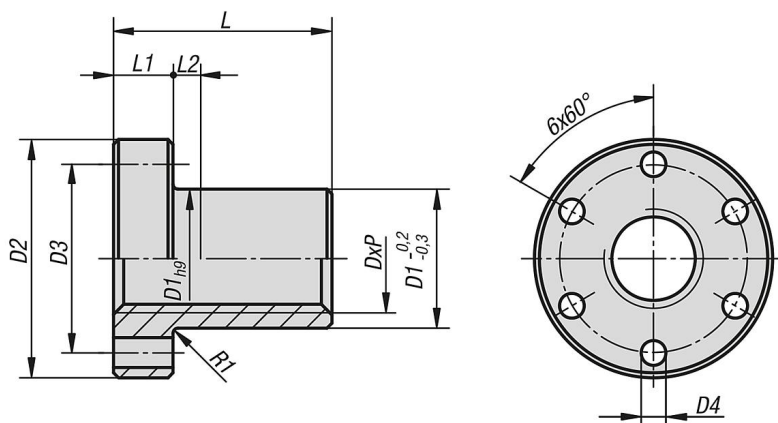
Indicação:

Rosca trapezoidal ISO com base na DIN 103.

Para unidades de acionamentos com baixa e média velocidades. Na falta de lubrificante, as porcas roscadas trapezoidais fundidas em bronze apresentam boas propriedades de funcionamento de emergência sobre fusos de aço.

Classe de tolerância 7H.

Desenhos

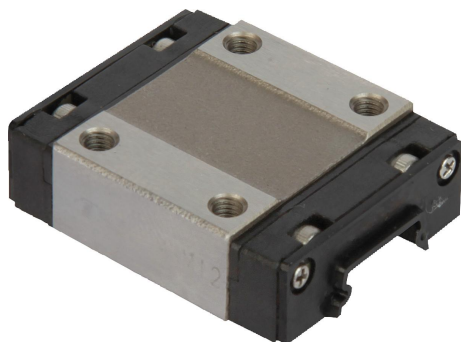


Visão geral dos artigos

Código do artigo	Versão 1	DxP	D1	D2	D3	D4	L	L1	L2
24005-100213	rosca direita	Tr 10x2	25	42	34	5	25	10	6
24005-100313	rosca direita	Tr 10x3	25	42	34	5	15	10	5
24005-120313	rosca direita	Tr 12x3	28	48	38	6	18	12	6
24005-140313	rosca direita	Tr 14x3	28	48	38	6	35	12	8
24005-160413	rosca direita	Tr 16x4	28	48	38	6	24	12	8
24005-180413	rosca direita	Tr 18x4	28	48	38	6	35	12	12
24005-200413	rosca direita	Tr 20x4	32	55	45	7	30	12	8
24005-240513	rosca direita	Tr 24x5	32	55	45	7	36	12	8
24005-260513	rosca direita	Tr 26x5	38	62	50	7	39	14	8
24005-280513	rosca direita	Tr 28x5	38	62	50	6,5	46	14	15
24005-300613	rosca direita	Tr 30x6	38	62	50	7	45	14	8
24005-320613	rosca direita	Tr 32x6	45	70	58	6,5	54	16	6
24005-360613	rosca direita	Tr 36x6	45	70	58	6,5	54	16	15
24005-400713	rosca direita	Tr 40x7	63	95	78	8,5	66	16	20
24005-440713	rosca direita	Tr 44x7	63	95	78	8,5	66	16	20
24005-500813	rosca direita	Tr 50x8	72	110	90	10,5	75	18	20
24005-100223	rosca esquerda	Tr 10x2	25	42	34	5	15	10	5
24005-120323	rosca esquerda	Tr 12x3	28	48	38	6	18	12	6
24005-140323	rosca esquerda	Tr 14x3	28	48	38	6	35	12	8
24005-160423	rosca esquerda	Tr 16x4	28	48	38	6	24	12	8
24005-180423	rosca esquerda	Tr 18x4	28	48	38	6	35	12	12

Anexo G

Descrição do artigo/Imagens dos produtos



Descrição

Material:

Corpo em aço inoxidável 1.4034.
Esferas em aço inoxidável 1.4034.
Peça de desvio em plástico.

Versão:

Superfície sem tratamento.

Indicação:

Carro guia padrão em miniatura com guia de esferas recirculantes, conforme precisão N, sem pré-carga (Z0).
Com vedação de fechamento bilateral. Sistema de esferas recirculantes com 4 pontos de contato, mesmo ângulo de carga e 2 esferas circulantes por carro deslizante. Este sistema permite suportar cargas de todas as direções.

Aceleração máx: 80 m/s^2 .

Velocidade máx. de deslocamento: 3 m/s.

Temperatura de aplicação: -20 °C até $+80 \text{ °C}$.

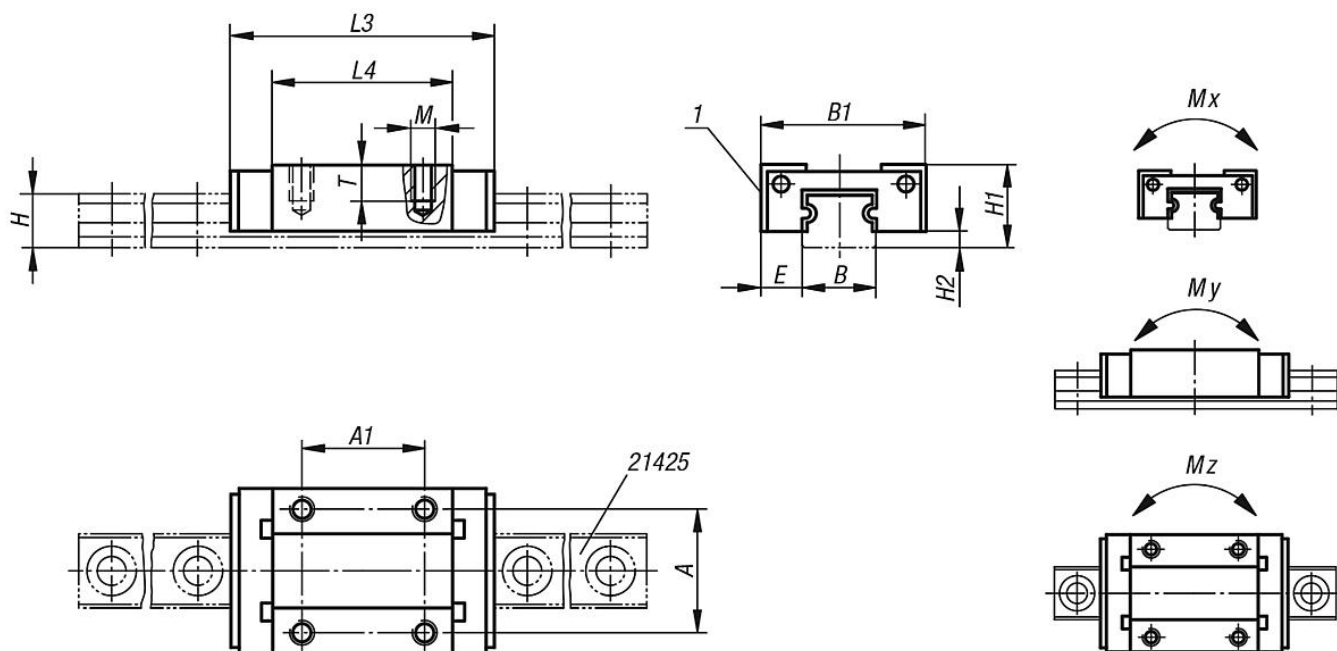
Atenção:

Utilize sempre os trilhos de montagem incluídos no fornecimento, caso contrário, a fixação da esfera no carro deslizante não poderá ser garantida.

Indicação de desenho:

1) Borda de batente retificada

Desenhos



Visão geral dos artigos

Código do artigo	Versão	Tamanho	Mx Nm	My Nm	Mz Nm	Capacidade de carga dinâmica N	Capacidade de carga estática N	A	A1	B	B1	E	H	H1	H2	L3	L4	M	T
21420-07102301	Padrão	7	5,1	2,55	2,55	880	1370	12	8	7	17	5	4,7	8	1,5	23,5	13,5	M2	2,5
21420-09103101	Padrão	9	10,4	5,1	5,1	1470	2250	15	10	9	20	5,5	5,5	10	2,2	31	20	M3	3
21420-12103501	Padrão	12	14,7	8,04	8,72	2665	4020	20	15	12	27	7,5	7,5	13	3	35	20,8	M3	3,5
21420-15104301	Padrão	15	30,2	16,5	17,9	4410	6570	25	20	15	32	8,5	9,5	16	4	43	25,7	M3	4

Anexo H

Descrição do artigo/Imagens dos produtos



Descrição

Material:

Aço inoxidável 1.4034.

Versão:

Com superfície sem tratamento,
Endurecida 52 HRC.

Indicação:

Trilhos guias perfilados aparafusáveis pelo lado superior. Eles se encontram disponíveis em quatro tamanhos na versão em miniatura, sobre os quais podem ser montados um ou mais carros guia.

Sistema de esferas recirculantes com 4 pontos de contato, mesmo ângulo de carga e 2 esferas circulantes por carro deslizante. Este sistema permite suportar cargas de todas as direções.

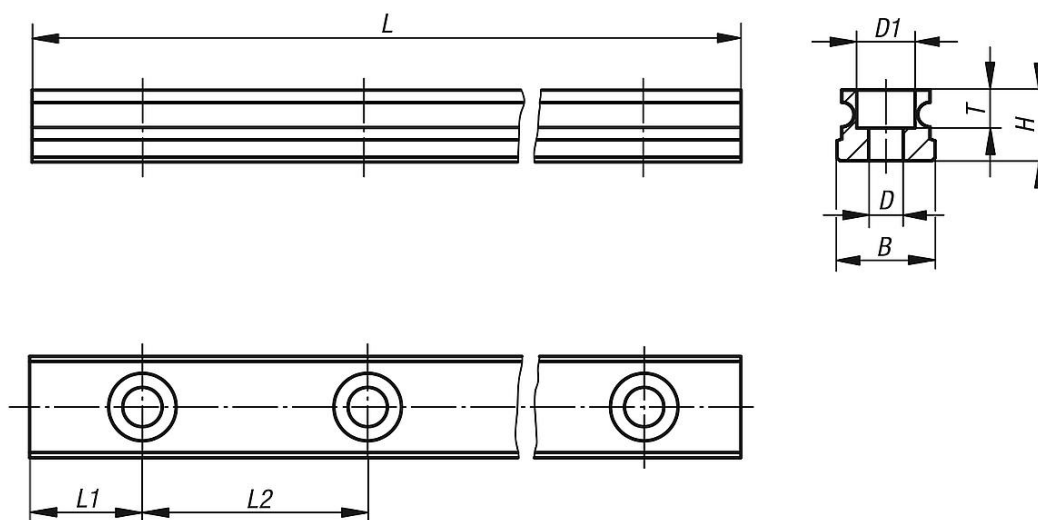
Aceleração máx: 80 m/s².

Velocidade máx. de deslocamento: 3 m/s.

Temperatura de aplicação: -20 °C até +80 °C.

Os trilhos podem ser combinados.

Desenhos

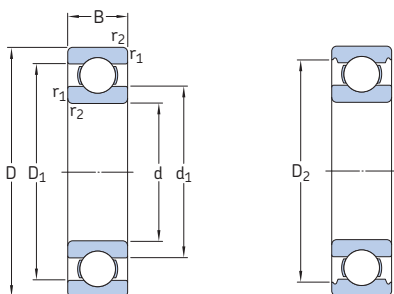


Visão geral dos artigos

Código do artigo	Tamanho	D	D1	H	L máx.	L1	L2	B	T
21425-0705X0240	7	2,4	4,2	4,7	240	7,5	15	7	2,3
21425-0907X0495	9	3,5	6	5,5	495	7,5	20	9	3,3
21425-1210X0570	12	3,5	6	7,5	570	10	25	12	4,5
21425-1515X0790	15	3,5	6	9,5	790	15	40	15	4,5

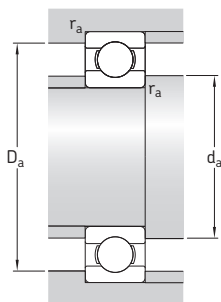
Anexo I

1.1 Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas d de 3 a 10 mm



Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga P_u	Classificações de velocidade		Massa	Designação
d	D	B	dinâmica C	estática C_0		Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	r/min		kg	-
3	10	4	0,54	0,18	0,007	130 000	80 000	0,0015	623
4	9	2,5	0,423	0,116	0,005	140 000	85 000	0,0007	618/4
	11	4	0,624	0,18	0,008	130 000	80 000	0,0017	619/4
	12	4	0,806	0,28	0,012	120 000	75 000	0,0021	604
	13	5	0,936	0,29	0,012	110 000	67 000	0,0031	624
	16	5	1,11	0,38	0,016	95 000	60 000	0,0054	634
5	11	3	0,468	0,143	0,006	120 000	75 000	0,0012	618/5
	13	4	0,884	0,335	0,014	110 000	70 000	0,0025	619/5
	16	5	1,14	0,38	0,016	95 000	60 000	0,005	* 625
	19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	50 000	0,0085	* 635
6	13	3,5	0,715	0,224	0,01	110 000	67 000	0,002	618/6
	15	5	0,884	0,27	0,011	100 000	63 000	0,0039	619/6
	19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	50 000	0,0081	* 626
7	14	3,5	0,78	0,26	0,011	100 000	63 000	0,0022	618/7
	17	5	1,06	0,375	0,016	90 000	56 000	0,0049	619/7
	19	6	2,34	0,95	0,04	85 000	53 000	0,0076	* 607
	22	7	3,45	1,37	0,057	70 000	45 000	0,012	* 627
8	16	4	0,819	0,3	0,012	90 000	56 000	0,003	618/8
	19	6	1,46	0,465	0,02	85 000	53 000	0,0071	619/8
	22	7	3,45	1,37	0,057	75 000	48 000	0,012	* 608
	24	8	3,9	1,66	0,071	63 000	40 000	0,018	* 628
9	17	4	0,871	0,34	0,014	85 000	53 000	0,0034	618/9
	20	6	2,34	0,98	0,043	80 000	50 000	0,0076	619/9
	24	7	3,9	1,66	0,071	70 000	43 000	0,014	* 609
	26	8	4,75	1,96	0,083	60 000	38 000	0,02	* 629
10	19	5	1,72	0,83	0,036	80 000	48 000	0,0053	61800
	22	6	2,7	1,27	0,054	70 000	45 000	0,01	61900
	26	8	4,75	1,96	0,083	67 000	40 000	0,019	* 6000
	28	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,024	16100
	30	9	5,4	2,36	0,1	56 000	36 000	0,031	* 6200
	35	11	8,52	3,4	0,143	50 000	32 000	0,053	* 6300

* Rolamento SKF Explorer



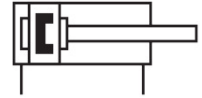
Dimensões					Dimensões de encosto e raio			Fatores de cálculo	
d	d ₁	D ₁	D ₂	r _{1,2} min.	d _a min.	D _a máx.	r _a máx.	k _r	f ₀
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	-
3	5,2	7,5	8,2	0,15	4,2	8,8	0,1	0,025	7,5
4	5,2	7,5	-	0,1	4,6	8,4	0,1	0,015	6,5
	6,1	9	9,9	0,15	4,8	10,2	0,1	0,02	6,4
	6,1	9,9	-	0,2	5,4	10,6	0,2	0,025	10
	6,7	10,3	11,2	0,2	5,8	11,2	0,2	0,025	10
	8,4	12	13,3	0,3	6,4	13,6	0,3	0,03	8,4
5	6,8	9,2	-	0,15	5,8	10,2	0,1	0,015	7,1
	7,5	10,5	11,2	0,2	6,4	11,6	0,2	0,02	11
	8,4	12	13,3	0,3	7,4	13,6	0,3	0,025	8,4
	11,1	15,2	16,5	0,3	7,4	16,6	0,3	0,03	13
6	8	11	-	0,15	6,8	12,2	0,1	0,015	7
	8,2	11,7	13	0,2	7,4	13,6	0,2	0,02	6,8
	11,1	15,2	16,5	0,3	8,4	16,6	0,3	0,025	13
7	9	12	-	0,15	7,8	13,2	0,1	0,015	7,2
	10,4	13,6	14,3	0,3	9	15	0,3	0,02	7,3
	11,1	15,2	16,5	0,3	9	17	0,3	0,025	13
	12,1	17,6	19,2	0,3	9,4	19,6	0,3	0,025	12
8	10,5	13,5	-	0,2	9,4	14,6	0,2	0,015	7,5
	10,5	15,5	16,7	0,3	10	17	0,3	0,02	6,6
	12,1	17,6	19,2	0,3	10	20	0,3	0,025	12
	14,4	19,8	21,2	0,3	10,4	21,6	0,3	0,025	13
9	11,5	14,5	-	0,2	10,4	15,6	0,2	0,015	7,7
	11,6	16,2	17,5	0,3	11	18	0,3	0,02	12
	14,4	19,8	21,2	0,3	11	22	0,3	0,025	13
	14,8	21,2	22,6	0,3	11,4	23,6	0,3	0,025	12
10	12,7	16,3	-	0,3	12	17	0,3	0,015	15
	13,9	18,2	-	0,3	12	20	0,3	0,02	14
	14,8	21,2	22,6	0,3	12	24	0,3	0,025	12
	17	23,2	24,8	0,3	14,2	23,8	0,3	0,025	13
	17	23,2	24,8	0,6	14,2	25,8	0,6	0,025	13
	17,5	26,9	28,7	0,6	14,2	30,8	0,6	0,03	11

Anexo J

Cilindro compacto ADN-S-25-40-I-P-A

Número de referência: 8076348

FESTO



General operating condition

Ficha de dados

Característica	Valor
Curso	40 mm
Diâmetro do pistão	25 mm
Amortecimento	Anéis/placas de amortecimento elástico em ambas as extremidades
Posição de montagem	Qualquer um
Modo de funcionamento	Dupla ação
Extremidade da biela	Rosca fêmea
Construção	Pistão Biela
Detecção de posição	Através do sensor de proximidade
Símbolo	00991217
Variantes	Haste em uma extremidade
Pressão operacional	0.06 MPa ... 1 MPa
Pressão operacional	0.6 bar ... 10 bar
Meio de funcionamento	Ar comprimido de acordo com ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre o meio operacional/controlo	A operação lubrificada é possível (no caso em que a operação lubrificada será sempre obrigatória)
Classe de resistência à corrosão (CRC)	1 - Baixa resistência à corrosão
Em conformidade com LABS	VDMA24364-B2-L
Classe de sala limpa	Classe 6 de acordo com a norma ISO 14644-1
Temperatura ambiente	0 oC ... 60 oC
Energia de impacto nas posições finais	0.3 J
Força teórica em 6 bar, retração	247 N
Força teórica em 6 bar, avanço	295 N
Carga de movimento em curso de 0 mm	25 g
Mobilidade de carga adicional por curso de 10 mm	6 g
Peso básico com curso de 0 mm	88 g
Peso adicional por curso de 10 mm	30 g
Tipo de montagem	Alternativa: Pelo orifício de passagem Com rosca fêmea Através dos acessórios
Conexão pneumática	M5
Observação sobre os materiais	Em conformidade com a RoHS
Material da tampa	Liga de alumínio anodizado forjada
Material de vedações dinâmicas	NBR TPE-U(PU)
Material da caixa	Liga de alumínio anodizado forjada

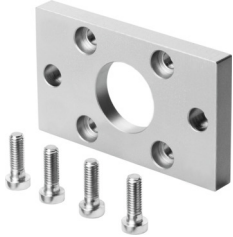
Característica	Valor
Material da biela	Aço inoxidável de liga alta


Anexo K

Montagem por flange FNC-25

Número de referência: 537248

FESTO



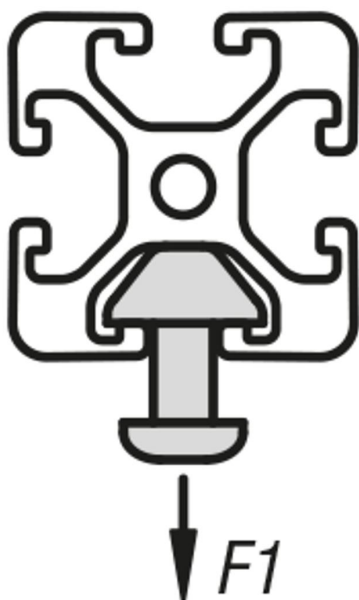
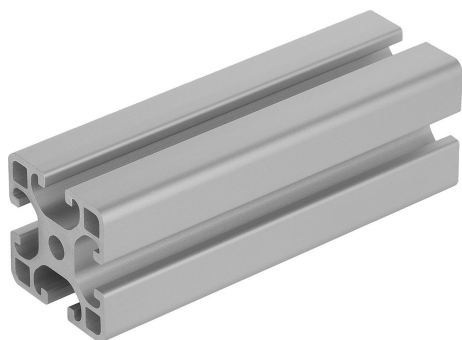
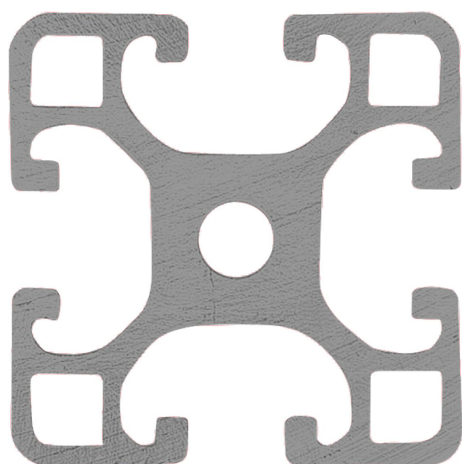
 [General operating condition](#)

Ficha de dados

Característica	Valor
Tamanho	25
De acordo com a norma	ISO 21287
Classe de resistência à corrosão (CRC)	1 - Baixa resistência à corrosão
Em conformidade com LABS	VDMA24364-B2-L
Temperatura ambiente	-40 oC ... 150 oC
Peso do produto	165 g
Observação sobre os materiais	Em conformidade com a RoHS
Material de montagem	Aço Galvanizado
Material dos parafusos	Aço Galvanizado

Anexo L

Descrição do artigo/Imagens dos produtos



Descrição

Material:

Alumínio EN AW-6063 T66 (AlMgSi0,5 F25).

Versão:

endurecido termicamente, anodizado em cores naturais.

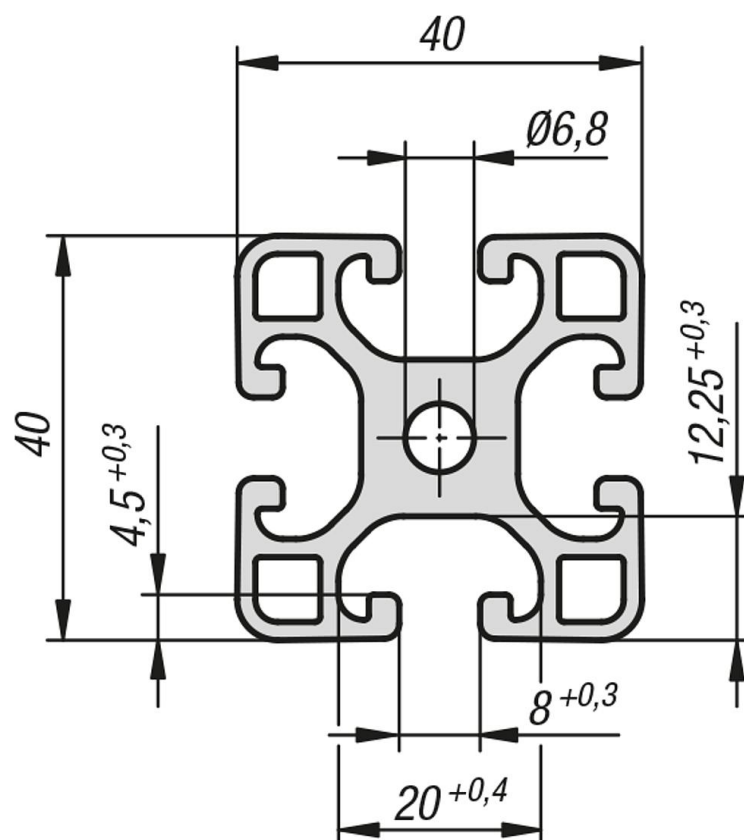
Indicação:

Perfil em alumínio na versão leve para construções com peso otimizado.

Sob consulta:

Corte em meia esquadria 15°, 30° e 45°.

Desenhos



Visão geral dos artigos

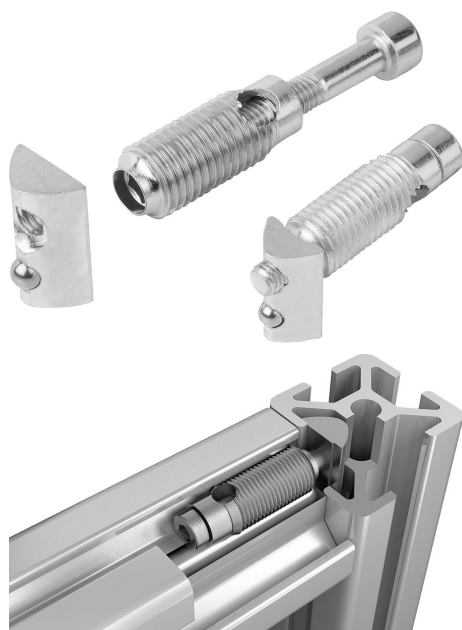
Código do artigo	Largura de ranhura	Perfil	L	Ix cm ⁴	Iy cm ⁴	Wx cm ³	Wy cm ³	Superfície do perfil cm ²	F1 máx. kN	Peso aprox. kg/m
10045-084040X1000	8	40x40	1000	9,1	9,1	4,55	4,55	6,47	2,5	1,75

Indicação(ões) sobre este artigo

Seu comprimento desejado não pôde ser visualizado? Fale conosco! Entre em contato agora mesmo com nossos especialistas. Observe que o comprimento máximo de fornecimento é de 6000 mm. Faça o seu pedido agora clicando aqui.

Anexo M

Descrição do artigo/Imagens dos produtos



Descrição

Material:

Aço.

Versão:

peça zincada.

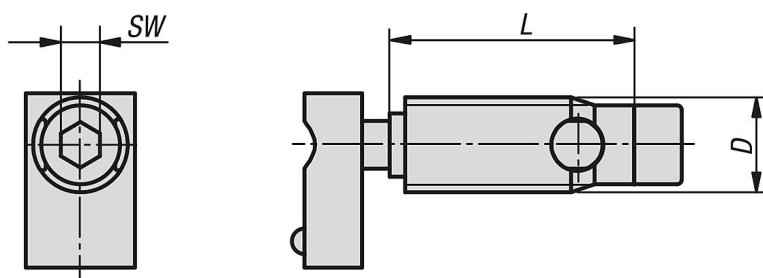
Indicação:

Os conjuntos conectores são indicados para uma conexão de dois perfis de alumínio em ângulo reto. Eles permitem o livre posicionamento dos perfis.

Não é necessária qualquer usinagem do perfil. O conector é parafusado pelo topo na ranhura do perfil (rosca esquerda). O conector é composto por uma rosca autocortante. É recomendada a utilização de lubrificante.

Os conjuntos conectores autocortantes devem ser aplicados em pares, opostos entre si.

Desenhos



Visão geral dos artigos

Código do artigo	Tipo	Largura de ranhura	D	L	SW
10210-06	I	6	10	27	4
10210-08	I	8	12	31	5

Anexo N

Descrição do artigo/Imagens dos produtos



Descrição

Material:

Aço cementado 1.0401 (C15) ou aço inoxidável 1.4301 (fusos giratórios em aço inoxidável 1.4305).

Versão:

Aço laminado, superfície sem tratamento.

Aço inoxidável laminado até Tr 40x7, torcido, superfície sem tratamento.

Indicação:

Fusos de rosca trapezoidal laminados de elevada precisão.

Rosca trapezoidal ISO com base na DIN 103.

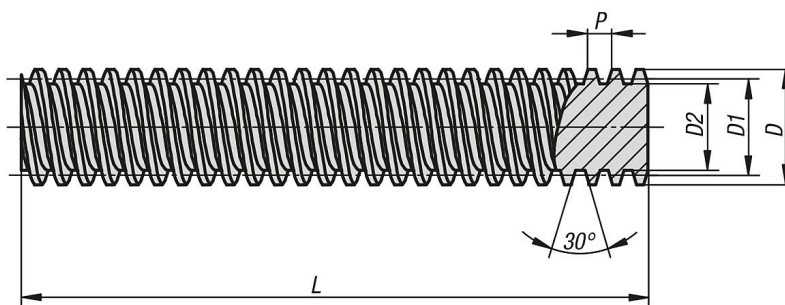
O fuso de rosca trapezoidal é uma rosca de movimentação com uma fricção relativamente grande. É autotravante na área de rosca padrão, dispensando a fixação separada na posição de repouso.

Classe de tolerância 7e

Precisão do ângulo de avanço 0,3 / 300 mm

Comprimento cortado com sobremedida, extremidades sem rebarbas.

Desenhos



Visão geral dos artigos

Código do artigo	Material do corpo básico	Versão 1	DxP	D1 mín.	D1 máx.	D2	L
24000-081511X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 8x1,5	7,013	7,183	5,921	1000
24000-100211X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 10x2	8,739	8,929	7,191	1000
24000-100311X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 10x3	8,191	8,415	5,84	1000
24000-120311X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 12x3	10,191	10,415	7,84	1000
24000-140311X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 14x3	12,191	12,415	10,135	1000
24000-140411X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 14x4	11,640	11,905	8,8	1000
24000-160411X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 16x4	13,640	13,905	10,8	1000
24000-180411X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 18x4	15,640	15,905	12,8	1000
24000-200411X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 20x4	17,640	17,905	14,8	1000
24000-240511X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 24x5	21,094	21,394	17,5	1000
24000-260511X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 26x5	23,094	23,394	19,5	1000
24000-280511X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 28x5	25,049	25,390	21,5	1000
24000-300611X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 30x6	26,547	26,882	21,9	1000
24000-320611X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 32x6	28,547	28,882	23,9	1000
24000-360611X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 36x6	32,547	32,882	27,9	1000
24000-400711X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 40x7	36,020	36,375	30,5	1000
24000-440711X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 44x7	40,020	40,375	34,5	1000
24000-500811X1000	aço cementado	rosca direita enrolado	Tr 50x8	45,468	45,868	39,3	1000
24000-081512X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 8x1,5	7,013	7,183	5,921	1000

Visão geral dos artigos

Código do artigo	Material do corpo básico	Versão 1	DxP	D1 mín.	D1 máx.	D2	L
24000-100212X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 10x2	8,739	8,929	7,191	1000
24000-100312X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 10x3	8,191	8,415	5,84	1000
24000-120312X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 12x3	10,191	10,415	7,84	1000
24000-140312X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 14x3	12,191	12,415	10,135	1000
24000-140412X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 14x4	11,640	11,905	8,8	1000
24000-160412X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 16x4	13,640	13,905	10,8	1000
24000-180412X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 18x4	15,640	15,905	12,8	1000
24000-200412X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 20x4	17,640	17,905	14,8	1000
24000-240512X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 24x5	21,094	21,394	17,5	1000
24000-260512X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 26x5	23,094	23,394	19,5	1000
24000-280512X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 28x5	25,049	25,390	21,5	1000
24000-300612X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 30x6	26,547	26,882	21,9	1000
24000-320612X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 32x6	28,547	28,882	23,9	1000
24000-360612X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 36x6	32,547	32,882	27,9	1000
24000-400712X1000	aço inoxidável	rosca direita enrolado	Tr 40x7	36,020	36,375	30,5	1000
24000-440712X1000	aço inoxidável	rosca direita turbilhonada	Tr 44x7	40,020	40,375	34,5	1000
24000-500812X1000	aço inoxidável	rosca direita turbilhonada	Tr 50x8	45,468	45,868	39,3	1000
24000-081521X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 8x1,5	7,013	7,183	5,921	1000
24000-100221X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 10x2	8,739	8,929	7,191	1000
24000-100321X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 10x3	8,191	8,415	5,84	1000
24000-120321X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 12x3	10,191	10,415	7,84	1000
24000-140321X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 14x3	12,191	12,415	10,135	1000
24000-140421X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 14x4	11,640	11,905	8,8	1000
24000-160421X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 16x4	13,640	13,905	10,8	1000
24000-180421X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 18x4	15,640	15,905	12,8	1000
24000-200421X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 20x4	17,640	17,905	14,8	1000
24000-240521X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 24x5	21,094	21,394	17,5	1000
24000-260521X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 26x5	23,094	23,394	19,5	1000
24000-280521X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 28x5	25,049	25,390	21,5	1000
24000-300621X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 30x6	26,547	26,882	21,9	1000
24000-320621X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 32x6	28,547	28,882	23,9	1000
24000-360621X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 36x6	32,547	32,882	27,9	1000
24000-400721X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 40x7	36,020	36,375	30,5	1000
24000-440721X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 44x7	40,020	40,375	34,5	1000
24000-500821X1000	aço cementado	rosca esquerda laminada	Tr 50x8	45,468	45,868	39,3	1000
24000-081522X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 8x1,5	7,013	7,183	5,921	1000
24000-100222X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 10x2	8,739	8,929	7,191	1000
24000-100322X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 10x3	8,191	8,415	5,84	1000
24000-120322X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 12x3	10,191	10,415	7,84	1000
24000-140322X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 14x3	12,191	12,415	10,135	1000
24000-140422X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 14x4	11,640	11,905	8,8	1000
24000-160422X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 16x4	13,640	13,905	10,8	1000
24000-180422X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 18x4	15,640	15,905	12,8	1000
24000-200422X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 20x4	17,640	17,905	14,8	1000
24000-240522X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 24x5	21,094	21,394	17,5	1000
24000-260522X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 26x5	23,094	23,394	19,5	1000
24000-280522X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 28x5	25,049	25,390	21,5	1000
24000-300622X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 30x6	26,547	26,882	21,9	1000
24000-320622X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 32x6	28,547	28,882	23,9	1000
24000-360622X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 36x6	32,547	32,882	27,9	1000
24000-400722X1000	aço inoxidável	rosca esquerda laminada	Tr 40x7	36,020	36,375	30,5	1000
24000-440722X1000	aço inoxidável	rosca esquerda turbilhonada	Tr 44x7	40,020	40,375	34,5	1000
24000-500822X1000	aço inoxidável	rosca esquerda turbilhonada	Tr 50x8	45,468	45,868	39,3	1000