



**Estudo, otimização e automatização de  
uma linha de pintura de peças injetadas**

José Pedro Lopes

UMinho | 2022



**Universidade do Minho**

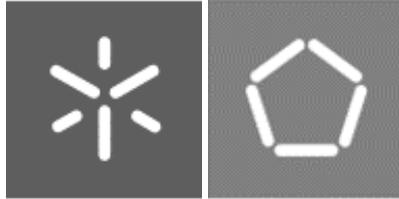
Escola de Engenharia

José Pedro Moura Lopes

**Estudo, otimização e automatização  
de uma linha de pintura de peças  
injetadas**

Outubro de 2022





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

José Pedro Moura Lopes

**Estudo, otimização e automatização  
de uma linha de pintura de peças  
injetadas**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Sistemas Mecatrónicos

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de  
Seabra**

Outubro de 2022

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



**Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgual**  
**CC BY-NC-SA**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer ao professor doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra, orientador da dissertação, por todo o tempo disponibilizado ao longo destes meses de trabalho.

Um agradecimento à empresa Maia & Borges, Lda por proporcionar este tema de dissertação, que permitiu evoluir e consolidar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Agradeço ainda ao senhor Fernando Silvano, gestor de qualidade na empresa, por esclarecer todos os pontos fundamentais para realização do projeto.

Por fim, gostaria agradece à minha família por todos os esforços feitos no decorrer do meu percurso académico, sem eles isto não seria possível.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

A pintura industrial tem evoluído ao longo dos anos desde a pintura manual até aos processos de pintura totalmente automáticos. A automatização dos processos de pintura permite obter uma maior cadência de produção, melhor acabamento e uma pintura idêntica em todas as peças devido ao controlo de parâmetros como o tempo de pintura e a distância da pintura. Algo que não é possível controlar com a pintura manual. Para além destas vantagens, a automatização permite que os operadores não estejam expostos a vapores de tintas prejudiciais para a saúde.

Na empresa Maia & Borges, Lda após injeção do PVC nos moldes resultam pequenas peças que passam para a etapa de pintura. O processo de pintura é exclusivamente manual, ou seja, um conjunto de operadores divididos em duas zonas de pintura, numa primeira fase é pintada a peça na totalidade com a cor pré-definida e, posteriormente, numa outra zona são pintados os pequenos pormenores das peças como os olhos, boca e sombreados. Desta forma, atendendo à necessidade de a empresa aumentar a produção surgiu o tema que intitula esta dissertação. Numa fase inicial, a empresa apenas tem a necessidade de automatizar parte do processo de pintura que corresponde à fase de pintura das peças na totalidade com uma cor.

Para elaboração do projeto, após o enquadramento com a pintura industrial, ou seja, o estudo do tipo de processos e equipamentos utilizados em diversas áreas de pintura, recorreu-se às seguintes etapas, árvores de objetivos, diagrama de funções do produto, especificações do produto, mapa morfológico e, por fim, a avaliação das soluções alternativas para alcançar a melhor solução para a empresa. Com a solução final, elaborou-se a modelação 3D do equipamento anteriormente idealizado expondo todos os pormenores para a obtenção do movimento desejado.

Para obter uma solução completa torna-se necessário a otimização da solução final composta, pelo princípio de funcionamento do equipamento, a escolha dos motores de acionamento dos movimentos, o posicionamento das pistolas para pintura das peças, e elaboração de um programa para PLC em linguagem ladder através do grafcet do funcionamento do equipamento para controlo de todo o equipamento. A principal especificação do projeto é o aumento da cadência de produção (entre 15 e 25%), o que se verifica uma vez que o aumento mínimo da produção é de 20%, não esquecendo a segurança dos operadores.

Por fim, foi elaborado uma síntese de todo o projeto desenvolvido que inclui qual a melhor opção para as necessidades da empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Pintura, Projeto, Modelação 3D, *Grafcet*, *Ladder*,

## ABSTRACT

Industrial painting has evolved over the years from manual painting to fully automatic painting processes. The automation of the painting processes allows for a higher production rate, better finish and an identical painting on all parts due to the control of parameters such as painting time and painting distance. Something you can't control with hand painting. In addition to these advantages, automation allows operators not to be exposed to paint fumes that are harmful to health.

At the company Maia & Borges, Lda, after injecting PVC into the molds, small pieces are produced that pass to the painting stage. The painting process is exclusively manual, that is, a set of operators are divided into two painting areas, in a first phase the piece is fully painted with the pre-defined color and, later, in another area the small details of the parts like the eyes, mouth and shading. In this way, given the need of the company to increase production, the theme that entitles this dissertation emerged. In an initial phase, the company only needs to automate part of the painting process that corresponds to the total painting phase of the pieces.

For the elaboration of the project, after framing with industrial painting, that is, the study of the type of processes and equipment used in different areas of painting, the following steps were used, objective trees, diagram of product functions, specifications of the product, morphological map and, finally, the evaluation of alternative solutions to reach the best solution for the company. With the final solution, a 3D modelling of the previously idealized equipment was elaborated, exposing all the details to obtain the desired movement.

In order to obtain a complete solution, it is necessary to optimize the final solution, based on the operating principle of the equipment, the choice of motors to drive the movements, the positioning of the spray guns for painting the parts, and the elaboration of a program for PLC in ladder through *grafcet* of the equipment operation to control all the equipment. The main specification of the project is the increase in the production rate (between 15 and 25%), which is verified because there is a minimum increase in production of 20%, not forgetting the safety of the operators.

Finally, a summary of the entire project developed was prepared, which included the best option for the company's needs.

KEYWORDS: Painting, Project, 3D Modelling, *Grafcet*, *Ladder*

# ÍNDICE

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	v
Abstract .....	vi
Índice.....	vii
Índice de figuras.....	x
Índice de tabelas.....	xiii
Índice de equações .....	xiv
Índice de abreviaturas, siglas e acrónimos .....	xiv
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivo.....	1
1.3. Estrutura da dissertação .....	2
2. A empresa.....	3
2.1. Contextualização histórica.....	3
2.2. Processo de fabrico .....	5
2.3. Objetivos .....	7
3. Fundamentação teórica.....	8
3.1. Estado de arte .....	8
3.2. Pintura industrial .....	12
3.2.1. Processo de pintura .....	12
3.2.1.1. Preparação da superfície.....	12
3.2.1.2. Aplicação da tinta de fundo .....	13
3.2.1.3. Aplicação da tinta de acabamento .....	13
3.2.1.4. Secagem.....	13
3.2.2. Tipos de tinta .....	13
3.2.2.1. Tintas à base de água .....	14
3.2.2.2. Tintas à base de óleo .....	14
3.2.3. Métodos de pintura .....	15
3.2.3.1. Desvantagens do método de pintura por spray .....	20
3.2.4. Pistola convencional.....	20
3.2.4.1. Constituição de uma pistola convencional.....	20
3.2.4.2. Características do bico de fluido e da agulha .....	21
3.2.4.3. Características do bico de ar .....	23
3.2.5. Parâmetros que influenciam a eficiência da transferência .....	25

3.3.	Automação Industrial.....	27
3.3.1.	Principais componentes .....	28
3.3.1.1.	Sensores.....	28
3.3.1.2.	Controladores .....	29
3.3.1.3.	Atuadores .....	29
3.3.2.	Etapas para automatização do processo de pintura.....	29
3.3.2.1.	Fixação de peças .....	30
3.3.2.2.	Transporte de peças .....	32
3.3.2.3.	Equipamento de pintura .....	33
3.3.2.4.	Manuseamento do equipamento de pintura.....	37
3.3.2.5.	Eliminação de vapores .....	41
3.3.3.	Exemplos de processos de pintura automáticos .....	45
4.	Caso de estudo.....	48
4.1.	Processo de pintura detalhado.....	48
4.2.	Desenvolvimento de soluções .....	51
4.2.1.	Árvore de objetivos .....	51
4.2.2.	Diagrama de funções do produto.....	53
4.2.3.	Especificações do produto .....	55
4.2.4.	Mapa Morfológico.....	56
4.2.5.	Avaliação das soluções alternativas.....	64
4.3.	Modelação 3D da solução final .....	67
4.3.1.	Estrutura de suporte.....	67
4.3.2.	Componente para fixação da peça.....	69
4.3.3.	Componentes para movimento da peça.....	70
4.3.3.1.	Dimensionamento da correia.....	70
4.3.3.2.	Dimensionamento da corrente.....	71
4.3.3.3.	Dimensionamento do conjunto de peças para o movimento de rotação da peça.....	74
4.3.3.4.	Dimensionamento dos rolamentos.....	74
4.3.3.5.	Conjunto final para movimentos .....	76
4.3.4.	Suporte da pistola de pintura.....	76
4.3.5.	Solução final completa .....	78
4.4.	Otimização da solução final .....	79
4.4.1.	Princípio de funcionamento .....	79
4.4.2.	Motores de acionamento dos movimentos .....	80
4.4.2.1.	Tipos de motores elétricos.....	80
4.4.2.2.	Dimensionamento motor da corrente.....	81

4.4.2.3.	Dimensionamento motor da correia.....	83
4.4.3.	Posicionamento das pistolas.....	84
4.4.4.	<i>Graficet</i> do funcionamento do equipamento.....	86
4.4.5.	Programação em linguagem <i>Ladder</i> .....	89
4.4.5.1.	Diagrama de <i>Ladder</i> .....	89
4.4.5.2.	Programação no software CX-Programmer.....	92
4.5.	Especificações Solução final .....	95
5.	Conclusões.....	97
	Referências Bibliográficas.....	99
	Apêndice I – Desenhos Técnicos dos componentes modelados.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de bonecos produzidos pela Maia & Borges, Lda (Maia & Borges, 2021). .....	3
Figura 2 - Fluxograma do processo de fabrico da empresa Maia & Borges, Lda. ....	5
Figura 3 - Exemplo de pintura egípcia (Tintas & Pintura, s.d.) .....	8
Figura 4 - Pistola de pintura manual (spraytools, s.d.) .....	10
Figura 5 - Primeiro robô industrial, Unimate (Nof, 1999). ....	11
Figura 6 - Exemplo de braço robótico em processo de pintura (FANUC, s.d.) .....	11
Figura 7 - Exemplo de trincha (Casa Natural, s.d.).....	15
Figura 8 - Exemplo de rolo (Robbialac, s.d.) .....	16
Figura 9 - Exemplo de pincel (Agora, s.d.) .....	16
Figura 10 - Exemplo de pistola convencional (adaptado de (Sintra, 2017)).....	16
Figura 11 - Pistola convencional com depósito não acoplado (adaptado de (Sintra, 2017)). ....	17
Figura 12 - Como utilizar corretamente a pistola (adaptado de (Sintra, 2017)).....	17
Figura 13 - Exemplo de pintura com pistola de pulverização sem ar (adaptado de (Sintra, 2017)).....	18
Figura 14 - Método pintura de pistola convencional vs electroestática (adaptado de (Carvalho, 2013)). ....	19
Figura 15 - Esquema do método de pintura por imersão em tinta eletrocondutora (adaptado de (Sintra, 2017)). .....	19
Figura 16 - Eficiência dos diferentes métodos de pintura (adaptado de (Tricou & Knasiak, 2005)).....	19
Figura 17 - Principais componentes de uma pistola convencional (adaptado de (Micheli, 2003)). ....	21
Figura 18 - Tipo de bico de ar normalmente utilizado (adaptada de (Carvalho, 2013)). ....	23
Figura 19 - Influência da abertura da válvula no padrão do spray (adaptado de (Micheli, 2003)). ....	23
Figura 20 - Bico de ar: sifão vs alimentado por pressão (adaptado de (Micheli, 2003)). ....	24
Figura 21 - Evolução do padrão com a abertura do bico de ar (adaptado de (Micheli, 2003)).....	24
Figura 22 - Parâmetros que influenciam a eficiência de transferência (adaptado de (Plesniak, Sojka, & Singh, 2004)). ....	26
Figura 23 - Efeito da distância pistola-superfície na eficiência de transferência (adaptado de (Plesniak, Sojka, & Singh, 2004)).....	26
Figura 24 - Método de fixação de garrafas numa linha de pintura automática (Mali, 2019). ....	30
Figura 25 - Esquema ilustrativo do suporte utilizado na pintura de copos.....	31
Figura 26 - Painel transportado sem fixação (adaptado de (UNESA Máquinas, s.d.)). ....	31
Figura 27 - Exemplo de utilização de calhas de guiamento para pintura de perfis (adaptado de (Gaidzinski, s.d.)). .....	31
Figura 28 - Exemplo de transportador por tapete (MKM, s.d.).....	32
Figura 29 - Exemplo de transportador de corrente (ACCI, s.d.) .....	32

Figura 30 - Exemplo de transportador de corrente invertido (ACCI, s.d.).	33
Figura 31 - Operador manuseando pistola de pintura manual (Cores, 2020).	33
Figura 32 - Exemplo de pistola de pintura para linha automática (Kremlin, s.d.).	33
Figura 33 - Componentes de uma pistola de pintura automática (SAGOLA, 2020).	34
Figura 34 - Robô cartesiano: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).	37
Figura 35 - Pórtico utilizado em instalações de pintura (Rudzuan, et al., 2019).	38
Figura 36 - Robô cilíndrico: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).	38
Figura 37 - Robô esférico: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).	39
Figura 38 - Robô de braço articulado: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).	39
Figura 39 - Robô SCARA: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (adaptado de (Anjos, 2018)).	40
Figura 40 - Robô Paralelo: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).	40
Figura 41 - Exemplo de instalação de ventilação local exaustora (adaptada de (Oliveira)).	42
Figura 42 - Exemplo de uma cabine de pintura com cortina de água (Milaré, s.d.).	44
Figura 43 - Desenho de uma cabine de pintura com cortina de água (adaptado de (Milaré, s.d.)).	44
Figura 44 - Equipamento de pintura automático para portas e painéis (adaptado de (Gaidzinski, s.d.)).	45
Figura 45 - Máquina de pintura de perfis (adaptado de (Gaidzinski, s.d.)).	46
Figura 46 - Máquina de pintura automática de topos (adaptado de (UNESA Máquinas, s.d.)).	47
Figura 47 - Máquina de pintura automática de copos (adaptado de (ELSISAN, s.d.)).	47
Figura 48 - Peça antes de pintar (à esquerda) e peça após pintura (à direita).	48
Figura 49 - Pintura do pormenor da cauda da peça.	49
Figura 50 - Peça com a boca e olhos pintados.	49
Figura 51 - Pormenores pintados em amarelo.	49
Figura 52 - Árvore de objetivos para equipamento de pintura automatizado.	53
Figura 53 - Diagrama de análise de funções para função principal pintar automaticamente.	54
Figura 54 - Solução 1.1: Equipamento com movimento contínuo por corrente e pistolas fixas.	59
Figura 55 - Solução 1.2: Pintura com pistolas fixas nos dois lados da peça.	60
Figura 56 - Solução 1.3: Solução com movimento de translação da pistola(s).	60
Figura 57 - Solução 2.1: Equipamento com movimento contínuo por corrente invertida e pistolas fixas.	61
Figura 58 - Solução 2.2: Pintura com pistolas fixas nos dois lados da peça.	61
Figura 59 - Solução 2.3: Solução com movimento de translação da pistola(s).	62
Figura 60 - Solução 3.1: Equipamento de pintura com tapete rolante e pistolas fixas.	62
Figura 61 - Solução 3.2: Equipamento de pintura com tapete rolante e pistolas com movimento de translação.	63
Figura 62 - Árvore de objetivos com os pesos relativos.	65
Figura 63 - Estrutura metálica.	67
Figura 64 - Estrutura final com todos os componentes.	68

Figura 65 - Vista explodida da estrutura de suporte. ....	68
Figura 66 - Componente responsável pela fixação da peça. ....	69
Figura 67 - Desenho 2D do componente de fixação da peça. ....	69
Figura 68 - Seleção da correia e polias. ....	70
Figura 69 - Modelação 3D da correia. ....	71
Figura 70 - Vista explodida da montagem da polia no eixo móvel. ....	71
Figura 71 - Seleção da corrente e rodas dentadas. ....	72
Figura 72 - Modelação da corrente e das rodas dentadas. ....	72
Figura 73 - Vista explodida da montagem da roda dentada no eixo móvel. ....	73
Figura 74 – Estrutura com apoios das polias e rodas dentadas. ....	73
Figura 75 - Alteração nos elos da corrente. ....	74
Figura 76 - Vista explodida e identificação dos componentes. ....	74
Figura 77 - Montagem dos componentes que criam o movimento das peças. ....	76
Figura 78 - Suporte ajustável para a pistola. ....	76
Figura 79 - Vista explodida, fixação das hastes na haste principal. ....	77
Figura 80 - Implementação de duas pistolas na mesma haste (à esquerda) e implementação de outra haste (à direita). ....	77
Figura 81 - Estrutura final com base de fixação da pistola. ....	78
Figura 82 - Equipamento modelado. ....	78
Figura 83 - Equipamento adaptado a sistema de exaustão. ....	79
Figura 84 – Funcionamento do equipamento. ....	80
Figura 85 - Esquema de funcionamento. ....	83
Figura 86 - Esquema de posicionamento de pistolas para peça. ....	85
Figura 87 - Exemplo de possível utilização de uma pistola. ....	85
Figura 88 - Esquema de funcionamento com os componentes. ....	86
Figura 89 - <i>Grafcet</i> para pintura de uma peça. ....	87
Figura 90 - <i>Grafcet</i> para pintura de duas peças em simultâneo. ....	88
Figura 91 - Diagrama de <i>Ladder</i> , condições de transposição das transições. ....	90
Figura 92 - Diagrama de <i>Ladder</i> , ativação das etapas. ....	91
Figura 93 - Diagrama de <i>Ladder</i> , ativação de componentes. ....	92
Figura 94 - Programação das equações de condição de transposição de transições. ....	92
Figura 95 - Programação da ativação e desativação das etapas ( <i>Set/Reset</i> ). ....	93
Figura 96 - Programação das ações por etapa. ....	94

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre diâmetro do bico de fluido, viscosidade e materiais (adaptado de (Micheli, 2003)).	22
Tabela 2 - Padrões de pintura errados, as suas causas e possíveis correções (adaptado de (Micheli, 2003)).	25
Tabela 3 - Pistolas da marca Sagola, tipo de aplicação, setor de aplicação e detalhes técnicos (adaptado de (SAGOLA, 2020)).	35
Tabela 4 - Pistolas marca Dürr, pressões máximas, tamanho dos bicos e campo de aplicação (adaptado de (Durr, 2021)).	35
Tabela 5 - Tipos de bicos da marca Dürr (adaptado de (Durr, 2021)).	36
Tabela 6 - Diferentes geometrias de captadores (adaptado de (Oliveira)).	42
Tabela 7 - Exemplo de peças pintadas numa fase inicial numa só cor.	50
Tabela 8 - Detalhes técnicos do processo de pintura.	50
Tabela 9 - Número de peças pintadas por unidade de tempo.	51
Tabela 10 - Lista de objetivos.	52
Tabela 11 - Reorganização da lista de objetivos por categoria.	52
Tabela 12 - Lista de especificações exigidas e desejadas.	55
Tabela 13 - Mapa morfológico de possíveis soluções.	57
Tabela 14 - Formas possíveis de fixar a peça para cada solução final.	63
Tabela 15 - Atribuição de valores para cada solução por objetivo.	66
Tabela 16 - Capacidade dos diferentes tipos de rolamentos suportarem as cargas (Gomes & Dourado, 2019).	75
Tabela 17 - Especificações desejadas para o motor de acionamento da corrente.	82
Tabela 18 - Especificações desejadas para o motor de acionamento da correia.	84
Tabela 19 - Análise do cumprimento de especificações.	96

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Fórmula para o cálculo da velocidade.....	82
Equação 2 - Fórmula velocidade linear pela velocidade angular.....	82
Equação 3 - Fórmula para cálculo da potência.....	82
Equação 4 – Fórmula de cálculo do perímetro de uma circunferência.....	83
Equação 5 - Condição de transposição.....	89
Equação 6 - Equação de atividade da etapa.....	90

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
3D	Tridimensional
HVLP	<i>High Volume Low Pressure</i> , Elevado Volume Baixa Pressão
PVA	<i>Polyvinyl acetate</i> , Poliacetato de vinila
PVC	<i>Polyvinyl chloride</i> , Policloreto de polivinila ou policloreto de vinil
PLC	<i>Programmable logic controller</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SCARA	<i>Selective Compliant Automatic Robot Arm</i>
UV	Ultravioleta

## **1. INTRODUÇÃO**

A presente dissertação tem como objetivo expor todo o trabalho realizado para o cumprimento do tema que intitula a dissertação, “Estudo, otimização e automatização de uma linha de pintura de peças injetadas”. O tema surgiu em parceria com a empresa Maia & Borges, Lda. devido à necessidade de aumentar a produção da empresa. Para além desta necessidade surge o custo associado uma vez que uns dos objetivos secundários é encontrar uma boa solução com o menor custo possível.

Assim, com esta dissertação espera-se atingir o objetivo proposto pela empresa e ser capaz de apresentar um possível equipamento capaz de satisfazer as necessidades da empresa e que cumpra todos os requisitos pré-estabelecidos.

### **1.1. ENQUADRAMENTO**

A automatização dos processos industriais tem vindo a evoluir constantemente provocando nas empresas a necessidade de acompanharem essa evolução com a automatização dos seus processos de fabrico. A automatização dos processos permite o aumento da produção e diminuição do custo de produção associado à mão de obra. Porém o processo de automatização apresenta um investimento inicial relativamente elevado. Permite ainda melhorar as condições de trabalho dos trabalhadores uma vez que muitas vezes se encontram expostos a ambientes perigosos e explosivos.

Como todas as empresas, a empresa Maia & Borges, Lda, que se encontra em expansão, pretende implementar um equipamento automatizado de pintura capaz de aumentar a produção anual, dando saída a um maior número de encomendas.

### **1.2. OBJETIVO**

O principal objetivo desta dissertação é encontrar a solução automatizada mais viável para as necessidades da empresa. Os tipos de peças pintadas pela empresa apresentam uma geometria complexa e variável (figuras em PVC como animais e desenhos animados) tornando o processo de automatização complexo pois pretende-se que o equipamento consiga pintar a peça na sua totalidade ou perto da sua totalidade, sendo depois apenas necessário realizar alguns retoques em zonas que não sejam alcançáveis. No mercado existe uma vasta gama de componentes/equipamentos de automatização que podem ser adaptados às peças produzidas pela empresa, mas surge a necessidade

de saber qual o tipo de equipamento escolher e que adaptações são necessárias para implementação no processo produtivo da empresa.

Desta forma, no decorrer da dissertação é abordado todos os pontos fundamentais para se encontrar uma solução capaz de satisfazer as necessidades da empresa.

### **1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação divide-se em seis capítulos organizados de forma lógica e consoante a ordem com que o projeto foi desenvolvido. Assim, a dissertação inicia-se pelo capítulo 1 que é dedicado à introdução do trabalho elaborado, realizando-se uma pequena introdução do tema da dissertação, descrição do objetivo da dissertação e a estrutura da dissertação. De seguida no capítulo 2 é apresentada a empresa Maia & Borges, Lda. Neste capítulo é dado a conhecer a empresa em questão, iniciando por uma contextualização histórica, o processo de fabrico adotado pela empresa e os objetivos da empresa para o futuro.

No capítulo 3 realiza-se a fundamentação teórica, iniciando pelo estado de arte relativamente à evolução da pintura e automação. Mencionado a utilização da tinta e o seu método de aplicação durante a evolução do Homem. Seguidamente, são expostos todos os pontos fundamentais para compreensão da pintura industrial e da automação industrial, ou seja, para encontrar uma boa solução torna-se necessário conhecer o mundo da pintura antes de procurar qualquer tipo de solução. Assim, é abordado em dois subcapítulos a pintura industrial (processos de pintura, tipos de tintas, métodos de pintura, pistola de pintura convencional, parâmetros que influenciam a eficiência da transferência de tinta) e a automação industrial (principais componentes, etapas para automatização do processo de pintura e exemplos de processos de pintura automáticos). Seguidamente, no capítulo 4 é abordado o caso de estudo em particular. Neste capítulo são abordados os pontos fundamentais no desenvolvimento de projeto para encontrar uma possível solução. Divide-se em 5 subcapítulos a saber, processo de pintura detalhado, desenvolvimento de soluções, modelação 3D da solução final, otimização da solução final e especificações da solução final.

Em suma, o capítulo cinco destina-se às conclusões finais sobre todo o trabalho exposto nos capítulos anteriores.

## 2. A EMPRESA

No presente capítulo serão abordados os pontos fundamentais sobre a empresa, ou seja, um conjunto de informações por forma a compreender melhor a empresa. Assim, inicialmente será realizada uma contextualização histórica, mencionado a evolução da empresa no decorrer dos anos bem como o número de funcionários e objetivos a nível de certificação, seguidamente será apresentado o processo de fabrico adotado pela empresa e, por fim, os objetivos da empresa para a produção.

### 2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

A Maia & Borges, Lda. destaca-se como sendo a única empresa portuguesa na produção de figuras em PVC pintadas com alta qualidade, pintura à pistola e tampografia, tendo sido fundada em 18 de junho de 1976. A empresa apresenta um pendor familiar no ambiente de trabalho como na sua história, tendo sido fundada pelo sócio fundador Victor Maia e ter sido sucedido pela sua filha e genro em 2013, que apresentavam já funções na empresa em tempos anteriores (Maia & Borges, 2021).

A produção da empresa é, essencialmente, o mercado externo estando 99% da produção direcionada para a Alemanha, França, Espanha, Dubai e Estados Unidos. Como grande parte dos bonecos (figura 1) chegam a casa dos portugueses por revendedores estrangeiros, o reconhecimento crescente é mais significativo no estrangeiro do que em Portugal, mas permite à Maia & Borges continuar a renovar, aperfeiçoar e crescer. O sucesso da empresa assenta na exigência constante de qualidade e seriedade na atividade permitindo obter sempre os melhores produtos. A produção realizada na empresa inicia-se num protótipo, passa pelo molde, injeção de plástico, pintura, embalagem e expedição, estando todo o projeto ao cuidado da empresa e dessa forma garantir a qualidade desejada (Maia & Borges, 2021).



Figura 1 - Exemplo de bonecos produzidos pela Maia & Borges, Lda (Maia & Borges, 2021).

Por forma a garantir independência total foi criada, em 2009, a Nimaia para assegurar a autonomia da M&B, ou seja, deixou de depender de qualquer produtor externo. Em 2020, com o intuito de aumentar a sua produção, inaugurou uma segunda base de trabalho na Guarda (Maia & Borges, 2021).

A nível estrutural a empresa apresenta um total de 265 funcionários distribuídos pelas três empresas, 125 funcionários na Maia & Borges, Lda do Porto, 20 funcionários na Nimaia também no Porto e, por fim, 120 funcionários nas instalações mais recentes na Guarda. Para além dos funcionários a empresa conta com equipamentos para desenvolver as seguintes tarefas, impressão 3D, injeção PVC (6 máquinas), fundição de moldes (casting e CNC), pintura à pistola (82 cabines), pintura à mão (18 mesas), tampografia (3 máquinas tampoprint), montagem e embalamento (Maia & Borges, 2021).

Em agosto de 2019 a empresa *“submeteu-se a uma auditoria de responsabilidade social na qual analisam a participação e proteção de trabalhadores, os direitos de liberdade de associação e negociação coletiva, a não discriminação, a renumeração justa, os horários dignos de trabalho, a segurança e saúde no trabalho, o trabalho precário, o trabalho forçado, a proteção do ambiente e o comportamento ético da empresa.”* (Maia & Borges, 2021). Obtendo o nível “A-Very Good” não sendo necessário ser seguida pela auditoria. Como se trata de uma empresa de brinquedos que grande parte do público-alvo são as crianças todos os produtos utilizados não são tóxicos e o seu formato e tamanho estão dentro da norma EN71 da segurança dos brinquedos.

Concluindo, a empresa encontra-se a trabalhar para obter o certificado ISO 9001 e, posteriormente, a certificação ISO 14001. Para além destas certificações a empresa está a empenhar-se para cumprir os Critérios de Sustentabilidade (ESG) lançados pela ONU.

## 2.2. PROCESSO DE FABRICO

Por forma a entender qual a melhor solução para a empresa torna-se necessário estudar todo o processo de transformação da matéria-prima desde o seu estado bruto até à fase final de embalagem das peças utilizado pela empresa. De tal forma, na figura 2 é apresentado o fluxograma de todo o processo de fabrico das peças.

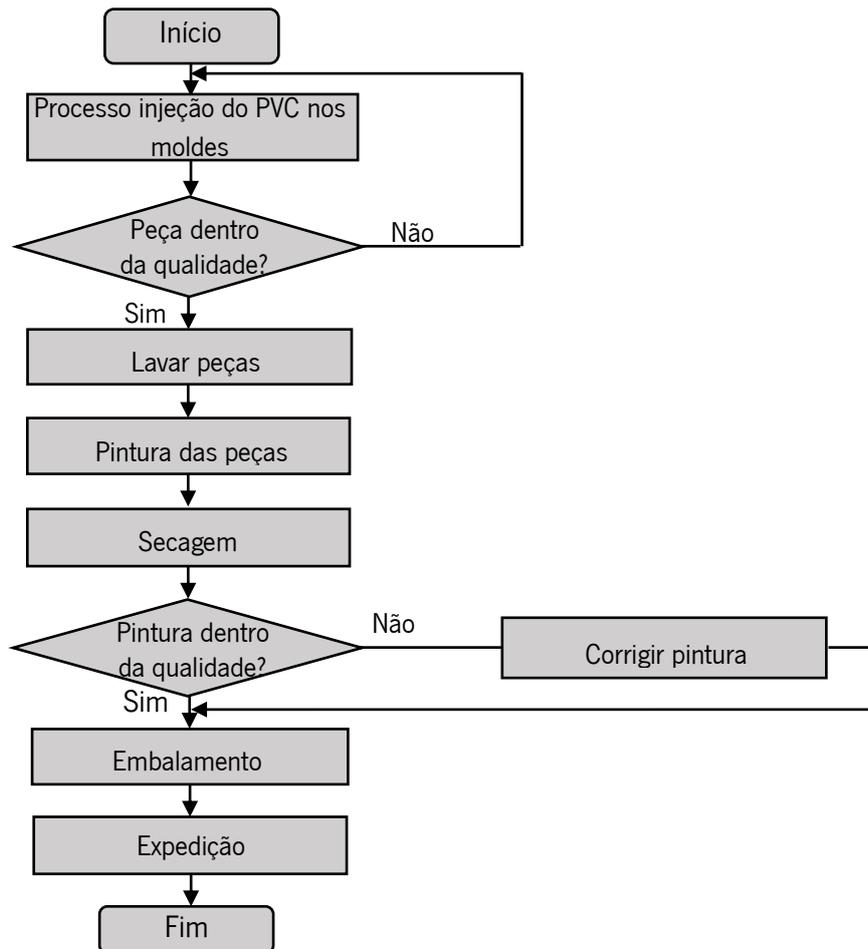


Figura 2 - Fluxograma do processo de fabrico da empresa Maia & Borges, Lda.

Como observado no fluxograma anterior pode-se então referir os seguintes processos e sua explicação.

1. Processo injeção do PVC nos moldes: como o nome indica nesta primeira etapa ocorre a injeção do PVC nos moldes correspondentes à peça que se encontra em produção;
2. Lavagem da peça: após ser aceite no controlo de qualidade ocorre a lavagem das peças que vêm do setor de injeção. Esta operação é necessária uma vez que as peças retiradas dos moldes apresentam uma superfície gordurosa, não sendo viável aplicar a tinta nessas condições, e para retirar possíveis aparas.

3. Pintura das peças: pintura das peças num processo manual. Primeiramente ocorre pintura das maiores superfícies numa só cor com uma pistola convencional e, seguidamente, pintura dos pequenos pormenores com recurso ao pincel.
4. Secagem: dá-se a secagem das peças à temperatura ambiente.
5. Corrigir pintura: Esta etapa verifica-se caso a pintura não respeite os parâmetros estabelecidos e aceites pelo cliente.
6. Embalamento: peças chegam a esta fase do processo após verificada a qualidade de pintura e possível correção da pintura. Ocorre então o embalamento das peças consoante as exigências do cliente.
7. Expedição: envio das peças devidamente embaladas e identificadas para o cliente.

Nos dois pontos de decisão da qualidade do produto até o momento, ou seja, um controlo da qualidade da peça após injeção e um controlo da qualidade da pintura das peças pode ocorrer duas situações distintas que levam a procedimentos diferentes. Caso a qualidade se verifique o processo de produção decorre normalmente, se a qualidade não se verificar na injeção as peças são rejeitadas voltando para o início do processo e se a qualidade de pintura não se verifique, as peças para retocar os erros de pintura. O material utilizado para o fabrico das peças na empresa é o PVC, ou seja, um policloreto de vinil que apresenta uma excelente relação custo-benefício em relação a outros materiais como a madeira, metais e cerâmicas. Para além da sua boa relação custo-benefício apresenta boas características como resistência química e excelente acabamento (Júnior & Holanda, 2011). Para a pintura das peças de PVC são utilizadas as tintas à base de água e à base de diluente.

### **2.3. OBJETIVOS**

O objetivo principal da empresa passa pelo aumento da produção, especificamente, o aumento para o dobro da produção anual (cinco milhões para dez milhões). Desta forma, surge a necessidade de automatizar o processo de fabrico da empresa.

Numa fase inicial de automatização, a empresa necessita de automatizar alguns setores do processo de fabrico, mas utilizando a solução exata para as suas necessidades. Alguns dos objetivos da empresa para aumentar o número de peças produzidas são:

- Automatização de parte do processo de pintura: implementação de uma solução robótica que realize a pintura das maiores áreas das peças, deixando os pormenores para pintura manual;
- Solução de secagem: implementação de zonas de secagem entre setores de pintura de pormenores, ou seja, como cada setor é responsável pela pintura de um pormenor surge a necessidade de quando a peça chegar ao setor seguinte já esteja completamente seca;
- Solução de embalagem: encontrar uma solução robotizada capaz de acelerar o processo de embalagem.

Os três tópicos mencionados anteriormente são a prioridade da empresa no momento atual pois a implementação das três soluções permitirá obter um aumento significativo da produção. Sendo o objetivo da empresa aumentar a produção no dobro, ou seja, produção anual de 10 milhões de peças.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados todos os pontos necessários para uma melhor compreensão do problema em caso de estudo. Primeiramente, um estado de arte relativo à evolução da pintura na civilização humana passando a uma definição do que é a pintura industrial bem como os pontos fundamentais para compreensão de todo o processo. Numa segunda etapa será abordada a automação industrial, descrevendo os elementos necessários e processos automáticos de pintura existentes no mercado.

#### 3.1. ESTADO DE ARTE

É de conhecimento geral que a pintura acompanha a evolução do Homem no mundo podendo ser definida como o processo de aplicação de pigmentos a uma superfície sob forma sólida ou líquida.

Recuando no tempo até os primórdios do nosso planeta, observa-se a utilização e fascínio existente na pintura. Iniciando na pré-história, verifica-se a existência de pinturas em cavernas com gordura animal, terras com forte pigmentação e sangue. Sensivelmente na mesma altura verifica-se o desenvolvimento de lacas por parte do povo asiático e, na Índia, o uso da secreção de insetos para o fabrico de verniz. Estes dois povos introduziam assim no mundo o revestimento de materiais com uma tinta capaz de aumentar a durabilidade dos objetos produzidos por eles tais como, lanças e superfícies de madeira. O povo egípcio também se destacou no uso da pintura como é possível observar através dos monumentos construídos e no exemplo de pintura na figura 3. Antes do século XIX a única forma de pintura era a óleo e a forma como revestiam as casas com cal queimada ou pigmentos presentes na natureza (Tintas & Pintura, s.d.). Observa-se ainda uma vertente da pintura, a pintura facial utilizada por muitos povos para intimidação, camuflagem ou identificação de tribos.



Figura 3 - Exemplo de pintura egípcia (Tintas & Pintura, s.d.)

Desde os 500 a.C. que a pintura vem evoluindo com o aparecimento de novas cores, aparecendo em 1870 as primeiras fábricas de produção de tintas laváveis com o recurso ao ferro e pigmentos à base de zinco, sendo comercializada com o nome “Charlton White”. Em paralelo a esta produção de tinta, produziam também emulsões com fórmulas semelhantes e com menor recurso dos óleos. Foi, em 1880, que se iniciou a sua exportação para toda a parte do mundo em latas (Tintas & Pintura, s.d.).

Em 1960, após este processo mais caseiro e demorado de produção de tintas ter sobrevivido à segunda guerra mundial, surgiu a industrialização do processo de produção de tintas plásticas ainda utilizadas nos dias de hoje. Com a Revolução Industrial e aliada ao sucesso automóvel tornou-se cada vez mais eficaz o processo de produção de tintas e tipos de tintas uma vez que surgiu a necessidade de criar tintas capazes de oferecer mais propriedades às superfícies do que apenas cor. Surge então, as tintas capazes de oferecer características como, antiderrapante, anticorrosivas, isolantes e condutoras. (Tintas & Pintura, s.d.).

Como referido anteriormente, o avanço tecnológico permitiu o fabrico de tintas cada vez mais eficientes e com características que nunca se pensou ser possível implementar. Com a evolução das tintas verificou-se uma evolução do processo utilizado na indústria para a pintura de diversos objetos desde pequenas peças aos meios de transporte como automóveis, aviões ou navios. O método de aplicação da tinta nas superfícies evoluiu também permitindo às empresas obterem melhores performances e resultados.

Inicialmente, num passado longínquo, observa-se um processo de aplicação de tinta pouco usual nos dias de hoje, aplicação de tinta com as próprias mãos. Com o passar do tempo e o melhoramento das tintas presentes no mercado surgiram também ferramentas que permitiram aplicar as tintas. Primeiramente, as peças fabricadas na indústria eram pintadas com o recurso a pincéis. Este tipo de processo tornava o processo lento e verificava-se um grande desperdício de tinta.

Com o avanço tecnológico começaram a surgir equipamentos para realização da pintura. Assim, em 1887, Binks criou a primeira pistola de pintura que consistia numa bomba operada manualmente com um bico pulverizador responsável por dispersar a tinta. A automatização do processo de pulverização iniciou com a tentativa do Dr. DeVilbiss em criar um pulverizado de medicamento para o tratamento de dores de garganta dos seus pacientes. O método consistia em usar um conjunto de tubos, um recipiente e um pequeno objeto de borracha para criar pressão e vácuo. Desta forma, criava um conjunto de gotículas de medicamento para aplicação nas áreas afetadas. Mais tarde, em 1907, o filho de Dr. DeVilbiss (Thomas), melhorando a invenção do pai e aplicando na pintura, criou a primeira pistola manual de pintura em que fez passar ar comprimido através de um tubo que envolvia a tinta da lata, aplicando desta forma a tinta na superfície (Paint Spray Pro, s.d.). Desde então tem-se vindo a desenvolver pistolas

de pintura de forma a melhorar e otimizar o processo de deposição de tinta nas superfícies. Na figura 4 está representada uma pistola convencional para pintura manual.



Figura 4 - Pistola de pintura manual (spraytools, s.d.)

Nos dias de hoje pode-se verificar a existência de várias formas de pintura desde a forma mais manual, presente ainda no artesanato e pequenas indústrias que não se encontram desenvolvidas tecnologicamente, e automaticamente, auxiliando as empresas na otimização dos seus processos de pintura melhorando as suas produções e diminuindo o risco a que os trabalhadores são expostos.

Com a evolução tecnológica surgiu a necessidade de substituir o trabalho humano pela máquina, verificando-se após o desenvolvimento da máquina a vapor, em 1769 (desenvolvida por James Watt), uma elevada progressão na área de automação de processos industriais. Durante muito tempo e até meados do século XX realizava-se a produção em massa na indústria através de um processo automático desenvolvido por Henry Ford que consistia em máquinas desenvolvidas para conseguir uma produção em série. Tal feito permitia obter uma elevada produtividade, volume e quantidade de produtos fabricados (Anjos, 2018).

Em 1956 o inventor George C. Devol, através da tecnologia existente até ao momento, desenvolveu um robô, um manipulador programável patenteado em 1961 com o número 2 988 237. No ano de 1961 surge o primeiro robô industrial, uma máquina de fundição sob pressão, denominado por Unimate e representado na figura 5. Este robô, instalado na General Motors, apresentava como função mover peças fundidas e embalar (Nof, 1999) .

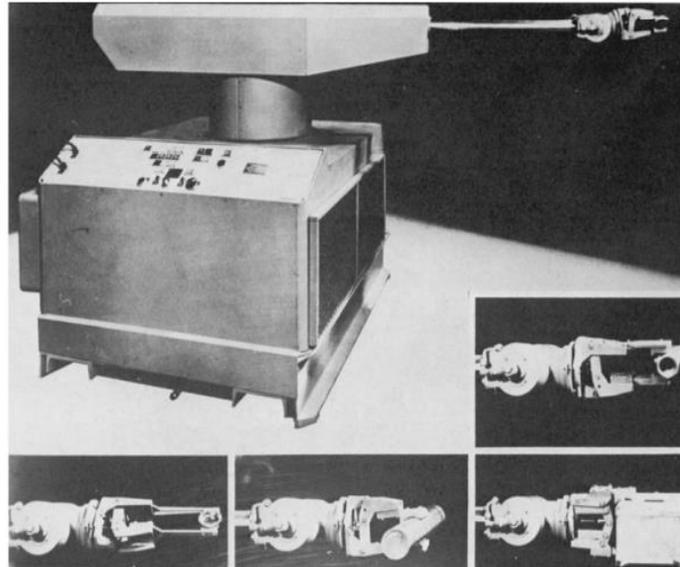


Figura 5 - Primeiro robô industrial, Unimate (Nof, 1999).

Nos últimos anos tem-se verificado um crescente da aplicação de robôs na indústria devido às necessidades do mercado. A robotização de processos industriais permite obter um processo de produção com menores custos apesar de requerer um elevado investimento inicial, melhora as condições de trabalho, melhora a qualidade dos produtos e permite a realização de funções que o humano não consegue realizar.

A par do desenvolvimento tecnológico também se verifica uma evolução na indústria da pintura. Os processos de pintura automatizados podem apresentar diferentes níveis de complexidade, desde a utilização das pistolas automáticas de pintura fixas em pontos estratégicos de forma a alcançar toda a superfície da peça que é transportada através de um componente responsável por tal até à presença de braços robóticos (exemplo na figura 6) altamente programados que fazem uma trajetória em torno da peça por forma a cobrir com tinta toda a superfície.



Figura 6 - Exemplo de braço robótico em processo de pintura (FANUC, s.d.).

## **3.2. PINTURA INDUSTRIAL**

Pintura industrial pode ser definida, de forma geral, como o processo aplicado com a finalidade de proteção anticorrosiva (Mekal). Porém, poderá ser utilizada para outras finalidades como:

- Colorir peças;
- Impermeabilização;
- Controlo da rugosidade;
- Condução elétrica;
- Absorção de calor;

O processo de pintura industrial não se define apenas pela simples deposição de tinta nas superfícies, sendo em contrapartida um processo bastante delicado e que necessita de especial atenção em alguns pontos para que se obtenha uma boa pintura. Alguns dos aspetos importantes para realizar uma boa pintura são, escolha correta do método de aplicação/pintura e produtos adequados.

### **3.2.1. PROCESSO DE PINTURA**

Para que um processo de pintura seja bem implementado é necessário perceber a relação entre a tinta e a superfície sobre a qual se irá depositar, ou seja, é necessário considerar a espessura, cor, acabamento desejado, durabilidade e, não menos importante, o custo. Desta forma, o processo de pintura divide-se em três etapas que são, preparação da superfície, aplicação da tinta de fundo, aplicação da tinta de acabamento e secagem (Kunzler, 2019).

#### **3.2.1.1. PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE**

Apesar de não se tratar da aplicação de tinta, a preparação da superfície é uma etapa extremamente importante para que a deposição da tinta ocorra de forma correta pois garante que a superfície está limpa e cria o perfil de rugosidade necessário para uma boa aplicação da tinta. Para realizar uma boa limpeza da superfície pode-se recorrer a alguns métodos comumente utilizados pelas empresas que são:

- Utilização de solventes e detergentes que permitem retirar possíveis restos das peças e mesmo gorduras que acumulam por causa do manuseamento das mesmas;
- Utilização do jateamento abrasivo para remoção de óxidos e sobras de soldas. Este processo consiste na projeção de pequenas partículas, por exemplo a areia, óxido de

alumínio ou carboneto de silício, com o auxílio de ar comprimido sobre as superfícies a tratar (Loxam Degraus, 2020).

Após limpeza da superfície de pintura pode ainda realizar-se a fosfatização para melhorar a aderência da tinta na superfície e proteger da corrosão (Kunzler, 2019). Concluindo, o processo de preparação da superfície deve ser implementado no momento posterior à conceção da peça e antes de iniciar a pintura.

#### 3.2.1.2. APLICAÇÃO DA TINTA DE FUNDO

A aplicação da tinta de fundo consiste em aplicar uma tinta capaz de fortalecer a superfície para que quando aplicada a tinta de acabamento exista uma boa aderência da tinta. Para além desta funcionalidade tem como função proteger a superfície contra a corrosão.

#### 3.2.1.3. APLICAÇÃO DA TINTA DE ACABAMENTO

A tinta de acabamento fornece às peças a sua cor final, ou seja, é nesta fase que é implementada a cor para a peça definida previamente pela empresa. É de salientar que nesta fase é necessário ter em consideração alguns pontos fundamentais para uma boa pintura tais como, o número de vezes que se irá pintar a superfície, o tempo de espera entre cada demão de tinta, a temperatura e a espessura que se espera obter no final (Kunzler, 2019). Todos estes parâmetros são definidos pela empresa numa fase primária de projeto e muitas vezes por experimentação.

#### 3.2.1.4. SECAGEM

A secagem define-se como o tempo necessário para que a tinta aplicada já não absorva qualquer partícula de pó e não ocorra qualquer tipo de alteração da superfície quando manuseada (Kunzler, 2019). Deste modo, numa linha de pintura normalmente verifica-se dois tempos de secagem, um quando aplicada a tinta de fundo sendo necessário esperar a secagem para aplicação da tinta de acabamento e outro tempo de espera para secar a tinta após aplicada a tinta de acabamento. Após verificadas estas duas etapas a peça pode proceder o seu caminho no processo de transformação.

### 3.2.2. TIPOS DE TINTA

Na indústria é frequente a utilização de dois tipos de tinta, tintas à base de água e tintas à base de óleo ou solventes. As tintas à base de água, como o próprio nome indica, têm como principal solvente a água sendo cerca de 15% da composição formada por solventes orgânicos, os solventes normalmente presentes são os oxigenados. As tintas à base de óleo apresentam solventes orgânicos em cerca de 75%

da sua composição sendo fabricadas com óleos vegetais e os solventes mais comuns são hidrocarbonetos derivados do petróleo (Analytics Brasil, 2019).

Todos os tipos de tinta apresentam na sua composição quatro constituintes principais que são (Kopeliovich, 2014):

- Resina – responsável pela conexão de todos os componentes e adesão à superfície a pintar;
- Aditivos – alteram as propriedades da tinta;
- Pigmentos – responsável por conferir cor e opacidade à mistura;
- Solventes – representa o meio de dispersão dos constituintes mencionados anteriormente.

#### 3.2.2.1. TINTAS À BASE DE ÁGUA

Como mencionado anteriormente este tipo de tintas apresentam uma grande percentagem de água na sua composição. Dentro deste tipo de tinta pode-se realizar uma nova divisão em acrílicas e em polímero PVA (poliacetato de vinila). As tintas acrílicas apresentam resinas acrílicas na sua fórmula apresentando assim um elevado grau de impermeabilidade e, por isso, o seu uso é maioritariamente utilizado em superfícies externas ou equipamentos que estarão em condições climáticas desfavoráveis. Por outro lado, as tintas PVA apresentam características como variedade de cor, retenção do brilho, menor resistência ao surgimento de fissuras e à radiação UV. Algumas vantagens das tintas à base de água são (Polito, 2006):

- Não é inflamável;
- Superfície pode ser lavada com água posteriormente;
- Maior resistência ao desgaste;
- Libertação de menos cheiro.

#### 3.2.2.2. TINTAS À BASE DE ÓLEO

As tintas à base de óleo apresentam uma grande capacidade de cobertura e adesão à superfície em que é aplicada. Esta tinta pode ser aplicada tanto para superfícies externas como internas, mas quando aplicada em superfícies externas não oferece uma boa resistência danificando-se facilmente e, quando

aplicada em superfícies internas poderá ocorrer o surgimento de uma tonalidade amarela e escamar. As principais vantagens deste tipo de tinta são (Polito, 2006):

- Melhor cobertura para as mesmas demãos;
- Melhor aderência em superfícies que não estão totalmente limpas;
- Após secagem apresenta maior resistência.

### 3.2.3. MÉTODOS DE PINTURA

Os métodos de pintura, tal como todos os setores na indústria, têm sofrido alterações ao longo do tempo e evoluindo. De tal forma, existe variados métodos de pintura como o recurso à trincha, rolo, pistola de ar comprimido, pistola de pulverização sem ar (air less), pistola electrostática e a imersão em tinta eletrocondutora. É de salientar que o método de pintura a adotar depende de vários fatores tais como, tipo de tinta e quantidade, o nível de acabamento desejado e o local de aplicação (exterior ou interior).

Assim sendo, iniciando pelo método que utiliza a trincha (figura 7), depara-se um processo de execução simples que permite obter um bom espalhamento de tinta nas superfícies, pouco desperdício de tinta e é um processo relativamente barato. Em contrapartida, este processo não apresenta uma espessura da camada de tinta uniforme ao longo de toda a superfície (Sintra, 2017).



Figura 7 - Exemplo de trincha (Casa Natural, s.d.).

A utilização do rolo (figura 8) apresenta características semelhantes à utilização de trincha, apresentando ainda uma distribuição de tinta mais uniforme pela superfície obtendo-se uma camada com uma espessura um pouco mais uniforme. Estes dois processos revelam dificuldades na pintura de cantos pelo que é necessário recorrer a um pincel menor, representado na figura 9.



Figura 8 - Exemplo de rolo (Robbialac, s.d.)



Figura 9 - Exemplo de pincel (Agora, s.d.).

Um dos métodos de pintura com recurso à pistola é o método da pistola a ar comprimido que consiste numa interação entre o ar comprimido e a tinta, ou seja, existe uma atomização das partículas de tinta provocada pela presença do ar comprimido (Carvalho, 2013). De tal forma a pistola apresenta um pequeno depósito no topo ou na parte inferior, como se observa na figura 10, onde armazena a tinta e é conectada a uma mangueira de ar comprimido, quando é pressionado o gatilho da pistola a passagem do ar ocorre projetando a tinta na superfície.



Figura 10 - -Exemplo de pistola convencional (adaptado de (Sintra, 2017)).

Para além destes pequenos depósitos é possível ter uma pistola sem um depósito acoplado (representado na figura 11) sendo a tinta transportada para a pistola através de uma mangueira, tal como o ar é transportado. Este último tipo permite a utilização de um maior depósito uma vez que não é o trabalhador que o sustenta.



Figura 11 -Pistola convencional com depósito não acoplado (adaptado de (Sintra, 2017)).

As principais características deste tipo de pistolas são, a elevada produtividade, espessura da pintura uniforme pela superfície e perda excessiva de tinta. Para uma correta utilização é necessária uma diluição correta da tinta, selecionar o tipo de bico da pistola correto e verificar a pressão. Na figura 12 é apresentado a forma correta de manuseamento da pistola (Sintra, 2017).

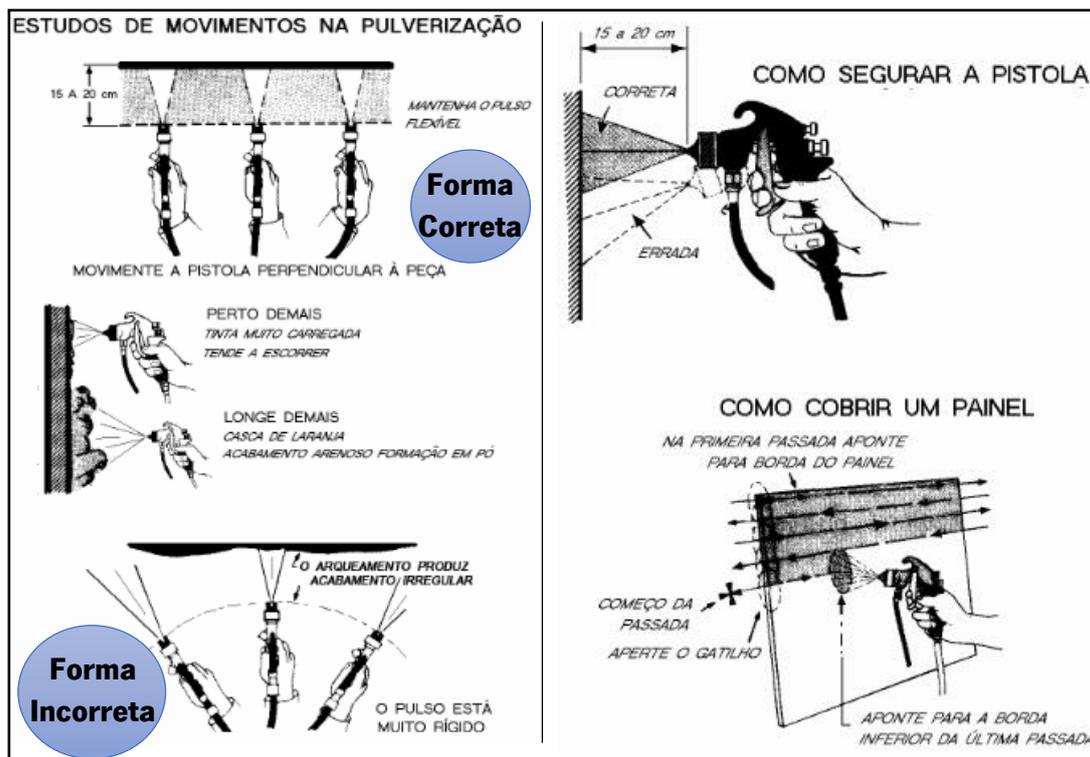


Figura 12 - Como utilizar corretamente a pistola (adaptado de (Sintra, 2017)).

Outro método é o HVLP (*High Volume Low Pressure*) que apresenta um funcionamento muito semelhante ao método com a pistola convencional sendo característico a utilização de volumes de fluido elevados e

baixas pressões do ar comprimido. Com este método diminui-se os problemas relacionados com as elevadas pressões, mas tem-se de utilizar maiores diâmetros para o bico do fluido (Carvalho, 2013).

Nas pinturas com recurso à pistola de pulverização sem ar (figura 13), a pistola encontra-se conectada a uma bomba alternativa multiplicadora que proporciona a pulverização de tinta a elevadas pressões (200 a 350 bar). Normalmente, as bombas são alimentadas por motores elétricos, a ar comprimido (pneumático) ou hidráulicos. O recurso a esta alternativa permite obter uma elevada produtividade, películas espessas e uniformes, redução do número de demãos e redução das perdas de tinta. Porém apresenta um elevado custo de instalação e requer mão de obra qualificada devido às elevadas pressões.



Figura 13 - Exemplo de pintura com pistola de pulverização sem ar (adaptado de (Sintra, 2017)).

O método da pistola electrostática consiste em aplicar cargas elétricas opostas à tinta e à superfície em que se irá depositar a tinta. Carregando eletricamente as partículas de tinta com a mesma carga irá ocorrer uma distribuição uniforme devido a estas se repelirem. Ao sair da pistola como têm carga oposta à do objeto irá haver uma atração depositando-se dessa forma a tinta. As principais vantagens deste método são a alta produtividade, película uniforme, pouco desperdício de tinta e alcançar zonas de difícil acesso. Em contrapartida este método está limitado a peças de pequena/média dimensão e apresenta um valor de instalação e tintas elevado (Sintra, 2017). Na figura 14 está presente o efeito da utilização de cargas elétricas comparado com o método convencional.

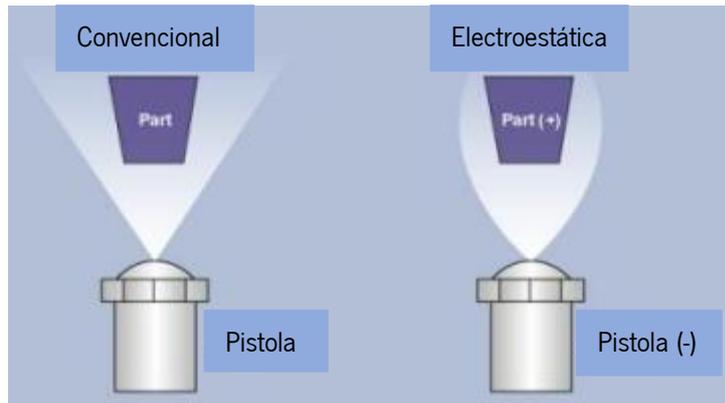


Figura 14 - Método pintura de pistola convencional vs electrostática (adaptado de (Carvalho, 2013)).

Por último, o método de imersão em tinta eletrocondutora (exemplo ilustrado na figura 15) que apresenta características idênticas ao método anteriormente apresentado, mas neste método não se utiliza uma pistola para deposição da tinta e recorre-se à imersão da peça no depósito de tinta. Como apresentam carga elétrica diferente a peça atrai as partículas de tinta e ocorre a deposição da tinta nas superfícies. Neste método é de destacar a elevada produtividade, a baixa perda de tinta e criação de uma espessura uniforme sobre a superfície (Sintra, 2017).

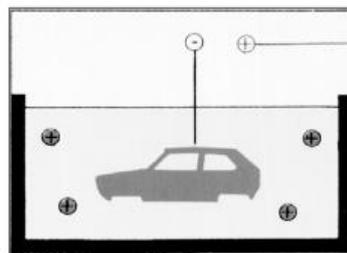


Figura 15 - Esquema do método de pintura por imersão em tinta eletrocondutora (adaptado de (Sintra, 2017)).

Em jeito de conclusão, está presente na figura 16 a eficiência de cada método na deposição de tinta nas superfícies, podendo concluir que, globalmente, os métodos electrostáticos são os que apresentam maior eficiência.

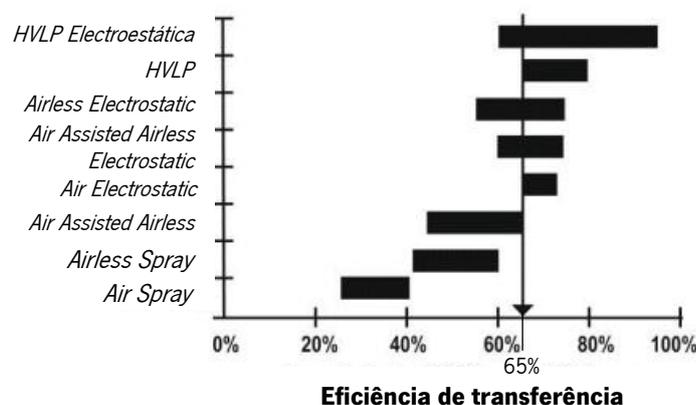


Figura 16 - Eficiência dos diferentes métodos de pintura (adaptado de (Tricou & Knasiak, 2005)).

### 3.2.3.1. DESVANTAGENS DO MÉTODO DE PINTURA POR SPRAY

Os processos de pintura por spray, mencionados anteriormente, quando realizados por um operador de forma manual, ou seja, o operador é responsável pelo manuseamento da pistola para cobrir toda a superfície o que poderá acarretar algumas consequências para a saúde do operador. Desta forma, algumas das desvantagens do processo manual de pintura por spray são:

- Contaminação do ar, apesar da utilização de sistemas de ventilação, cortinas de água, roupas e máscaras de proteção, verifica-se a presença de partículas no meio envolvente;
- Ruído, associado ao funcionamento das pistolas;
- Perigo de explosão uma vez que a maioria das tintas apresentam propriedades explosivas;
- Ambiente com potencial cancerígeno, utilização de produtos com propriedades que prejudicam a saúde do operador.

Devido aos fatores expostos anteriormente tem-se verificado cada vez mais a automatização dos processos industriais de pintura por forma a diminuir o risco associado (Abreu, 2001/2002).

### 3.2.4. PISTOLA CONVENCIONAL

De seguida são apresentados em subcapítulos os elementos que constituem uma pistola convencional de pintura, as características do bico de fluido e da agulha e, por fim, as características do bico de ar.

#### 3.2.4.1. CONSTITUIÇÃO DE UMA PISTOLA CONVENCIONAL

Uma pistola convencional de pintura é constituída essencialmente por dez partes como se pode observar na figura 17. O primeiro componente é o bico de ar (A) que tem como função dar velocidade ao fluido (tinta) para que chegue à superfície a pintar. O bico de fluido (B) permite a regulação de fluido, em muitos casos é auxiliado por um difusor de ar que ajuda a endireitar o fluxo de fluido. A agulha (C) permite a passagem do fluido, ou seja, dependendo do posicionamento da agulha no furo do bico há ou não passagem de fluido. O componente D, controlo de fluxo de ar, como o próprio nome indica tem como função o controlo do fluxo de ar permitindo regular a largura de pulverização. Um conjunto mecânico acionado por uma mola (E) mantém a pressão mecânica quando o gatilho é libertado. Uma zona de apoio da mão (F) desenvolvida conforme a ergonomia da mão humana promove um equilíbrio adequado e um ótimo centro de gravidade, sendo as passagens de ar usinadas neste corpo. Denominado por G temos a típica conexão com a fonte de ar comprimido que apresentam, normalmente, um diâmetro igual 6.35mm e usadas com mangueiras com diâmetro igual a 15.88mm.

O gatilho (H) controla o fluxo de ar e fluido no bico de ar e bico de fluido, respetivamente. A válvula de ar (I) controla a quantidade de ar que circula no interior da pistola. A entrada de fluido (J) representa a ligação entre o copo armazenador de fluido ou a mangueira de pressão do fluido, tendo de diâmetro, geralmente, 15,88 mm. Esta entrada apresenta maior valor de diâmetro do que a entrada de ar (G) para que não ocorra a troca de mangueiras acidentalmente (Micheli, 2003).

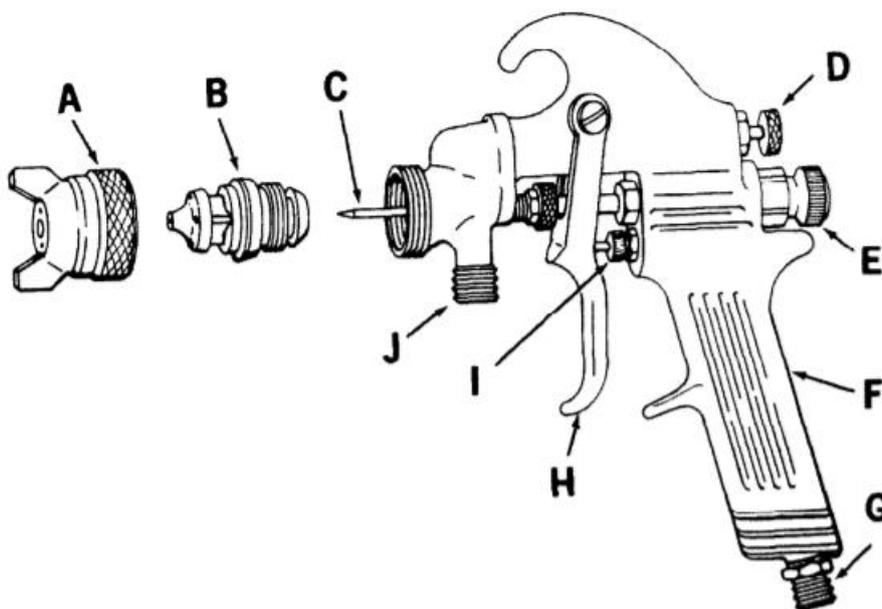


Figura 17 - Principais componentes de uma pistola convencional (adaptado de (Micheli, 2003)).

#### 3.2.4.2. CARACTERÍSTICAS DO BICO DE FLUÍDO E DA AGULHA

É possível definir três grandes funções do bico de fluido como, controlar o fluxo de fluido, a direção do fluido e suportar a agulha que controla o movimento de tinta. O tamanho do orifício presente no bico de fluido é definido tendo em consideração três pontos cruciais, a viscosidade da tinta utilizada uma vez que tintas com maior viscosidade apresentam maior resistência ao movimento pelo que é necessário o bico apresentar um orifício de maior diâmetro, o outro ponto foca-se no tipo de material utilizado, ou seja, quando é necessário a utilização de tintas corrosivas ou abrasivas é necessário que o material, em particular da agulha, seja um aço inoxidável de série 300 ou 400 (Micheli, 2003). Na tabela 1 está presente a relação entre o diâmetro do bico de fluido com a viscosidade e materiais.

Tabela 1 - Relação entre diâmetro do bico de fluido, viscosidade e materiais (adaptado de (Micheli, 2003)).

<b>Intervalo de diâmetros do bico de fluido (mm)</b>	<b>Intervalo de viscosidade (Zahn 2<sup>1</sup>)</b>	<b>Material equivalente</b>
0,5588 – 0,7112	Muito fina (14-16 sec, Zahn 2)	Acetona
1,016 – 1,3208	Fina (16-20 sec, Zahn 2)	Água
1,4986 – 1,778	Média (20-60 sec, Zahn 2)	SAE óleo n.10
2,1844 – 2,794	Larga (>60 sec, Zahn 2)	SAE óleo n.50
3,175 – 12,7	Muito larga	Vaselina / produtos alimentares

Em alguns casos, as agulhas apresentam uma ponta de nylon ou delrin (polioximetileno) fechando a passagem de forma mais eficaz evitando vazamento de tinta por pinga. Esta técnica de usar o nylon na agulha também pode ser aplicada no próprio bico de fluido apresentando a mesma característica de funcionamento. Em algumas pistolas verifica-se que a agulha forma um conjunto com o próprio bico de fluido ao invés de ser dois elementos distintos. Quando o fluido utilizado é demasiado abrasivo é necessário utilizar um carboneto de tungstênio para a agulha ou encaixe da agulha no bico de fluido. Por vezes, torna-se necessário proceder ao ajuste da agulha para compensar o desgaste que se verifica devido ao uso de substâncias corrosivas (Micheli, 2003).

Por fim, o último ponto de relevância é a taxa de fluido máxima desejada, ou seja, dependendo da taxa de deposição desejada esse ponto irá interferir na escolha do diâmetro do bico de fluido sendo que para uma maior deposição é utilizada um maior diâmetro (Micheli, 2003).

<sup>1</sup> Valores da viscosidade medidos com copo de Zahn 2, consiste no tempo necessário para a tinta escoar do copo de Zahn 2 (volume igual a 44ml) por um orifício de 2,74mm no fundo do copo.

### 3.2.4.3. CARACTERÍSTICAS DO BICO DE AR

Pode-se definir o bico de ar (representado na figura 18) como a zona onde ocorre a primeira atomização, ou seja, é neste momento que o *fan*, leque formado à saída da pistola, ganha a forma elítica.

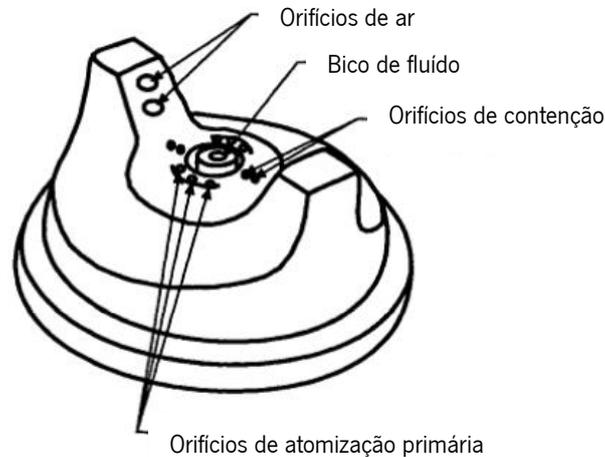


Figura 18 - Tipo de bico de ar normalmente utilizado (adaptada de (Carvalho, 2013)).

Observando a imagem anterior verificamos a existência de dois orifícios de contenção que se encontram alinhados com os orifícios de ar e o bico de fluido, estando também posicionados numa zona inferior. Estes dois orifícios têm dois propósitos, manter o padrão de pulverização e manter os “chifres” limpos. A presença dos “chifres” no bico de ar cria uma corrente de ar que dá forma ao *fan*, sem a presença destas portas de ar o padrão de pintura seria circular ao invés de elítico. A regulação de ar no bico de ar proporciona o tamanho do padrão de pintura que é conseguido através de uma válvula que se encontra, geralmente, no topo da pistola. Quando se encontra totalmente aberta cria o padrão de pintura mais largo possível e quando está fechada o padrão de pintura apresentará uma forma circular correspondendo ao menor tamanho do padrão de pintura. Este efeito da válvula pode ser observado na figura 19 (Micheli, 2003).

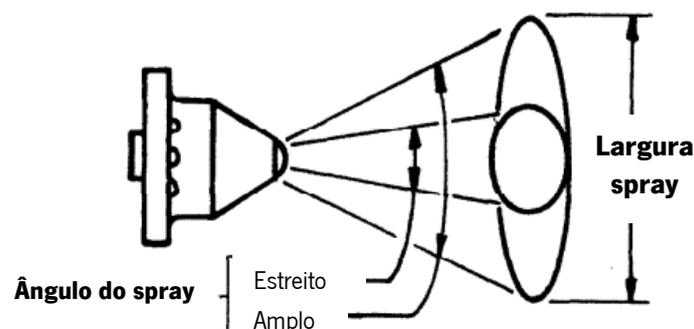


Figura 19 - Influência da abertura da válvula no padrão do spray (adaptado de (Micheli, 2003)).

Os bicos de ar externos, que fazem a mistura do ar com o fluido, podem ser de dois tipos sifão ou de alimentação por pressão (esquema representado na figura 20). Pode-se distinguir um bico de ar do tipo de sifão quando no bico de ar existe uma inserção do bico de fluido criando uma saliência. Neste tipo de bico, o ar de atomização tende a criar um vácuo ao passar pela ponta do bico de fluido extraíndo assim o fluido para fora do copo. Nos bicos de ar alimentados por pressão existe uma tendência para anular a contrapressão que o fluido promove quando a atomização de ar é aplicada, tornando difícil a obtenção de um fluxo de fluido preciso (Micheli, 2003).

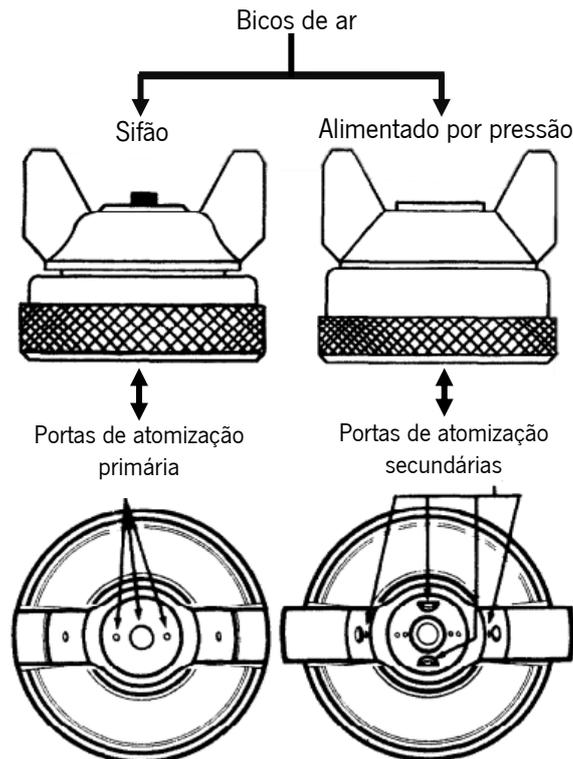


Figura 20 - Bico de ar: sifão vs alimentado por pressão (adaptado de (Micheli, 2003)).

A regulação do ar no bico proporciona diferente geometria ao leque criado, desde um círculo quando se encontra fechado até à forma elítica quando aberto como exemplificado na figura 21. Assumindo que a pressão do ar e a quantidade de fluido permanece constante ao longo do tempo conclui-se que com o aumento da área do padrão menor será a espessura uma vez que apresenta a mesma taxa de deposição para diferentes áreas, o que se visualiza na figura seguinte (Micheli, 2003).

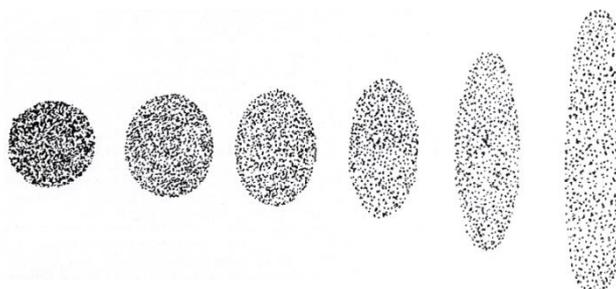
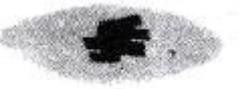
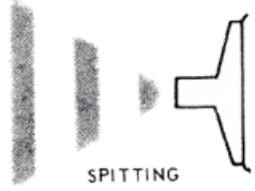


Figura 21 - Evolução do padrão com a abertura do bico de ar (adaptado de (Micheli, 2003)).

Na tabela 2 são apresentados alguns padrões de pintura incorretos bem como as suas causas e possíveis correções.

Tabela 2 - Padrões de pintura errados, as suas causas e possíveis correções (adaptado de (Micheli, 2003)).

<b>Padrão</b>	<b>Causa</b>	<b>Correção</b>
	1.Tinta seca numa das laterais do bico.	1.Dissolver a tinta dos orifícios com diluente e não utilizar materiais mais duros que o latão para abrir o orifício.
	1.Fluido acumulado na lateral do bico de fluido; 2.Bico de fluido danificado por causa de queda da pistola.	1.Remover bico de ar e limpar o bico de fluido; 2.Substituir bico de fluido.
	1.Pressão de ar muito alta; 2.Padrão de pulverização muito largo; 3.Pressão do fluido muito baixa.	1.Reduzir pressão de ar; 2.Reduzir largura do fan; 3.Aumentar pressão do fluido.
	1.Pressão de ar muito baixa; 2.Velocidade excessiva do fluido ou muito fluido.	1.Aumentar pressão de ar; 2.Usar orifício do bico do fluido menor ou diminuir pressão do fluido.
	1.Ar que entra no funcionamento de fluido pode ser causado por: 1.1. Bico de fluido solto ou mal encaixado; 1.2. Porca do bico solta; 1.3. Conexão de fluido solta.	1.1.Apertar bico de fluido; 1.2.Apertar a porca do bico; Apertar todas as zonas de fornecimento de tinta;

### 3.2.5. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A EFICIÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA

Para se obter uma superfície com bom acabamento e com todas as características necessárias torna-se necessário controlar alguns parâmetros que influenciam a transferência de tinta desde a pistola até à superfície que se pretende pintar. De tal forma na figura 22 está presente todos os parâmetros que são necessários controlar num processo de pintura.

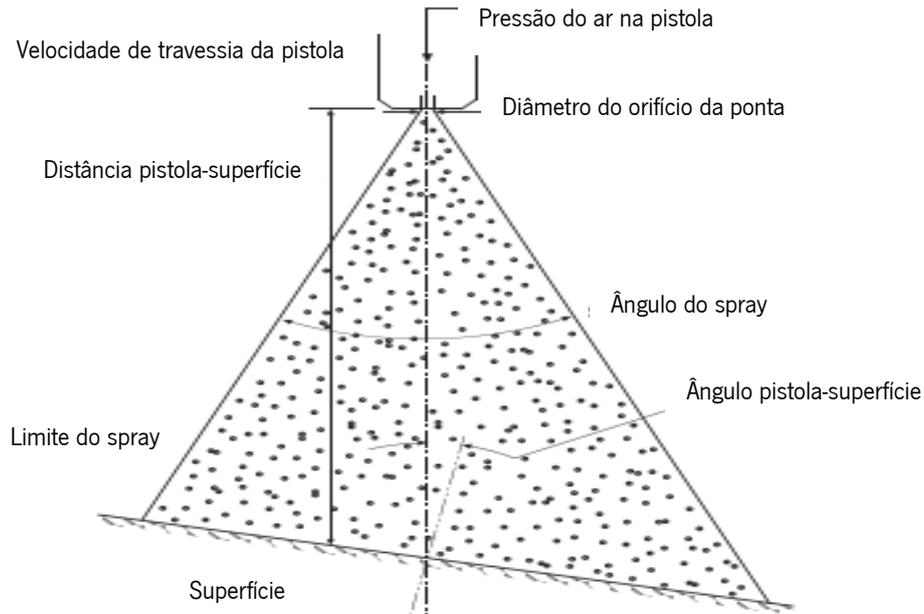


Figura 22 - Parâmetros que influenciam a eficiência de transferência (adaptado de (Plesniak, Sojka, & Singh, 2004)).

A geometria da peça e o tamanho são fatores não controláveis, mas que têm influência na eficiência da transferência, mas parâmetros como a distância pistola-superfície, ângulo e velocidade de spray são controláveis pelo operador. A figura 23 mostra a eficiência de transferência para uma distância pistola-superfície igual a 30 cm e 45 cm.

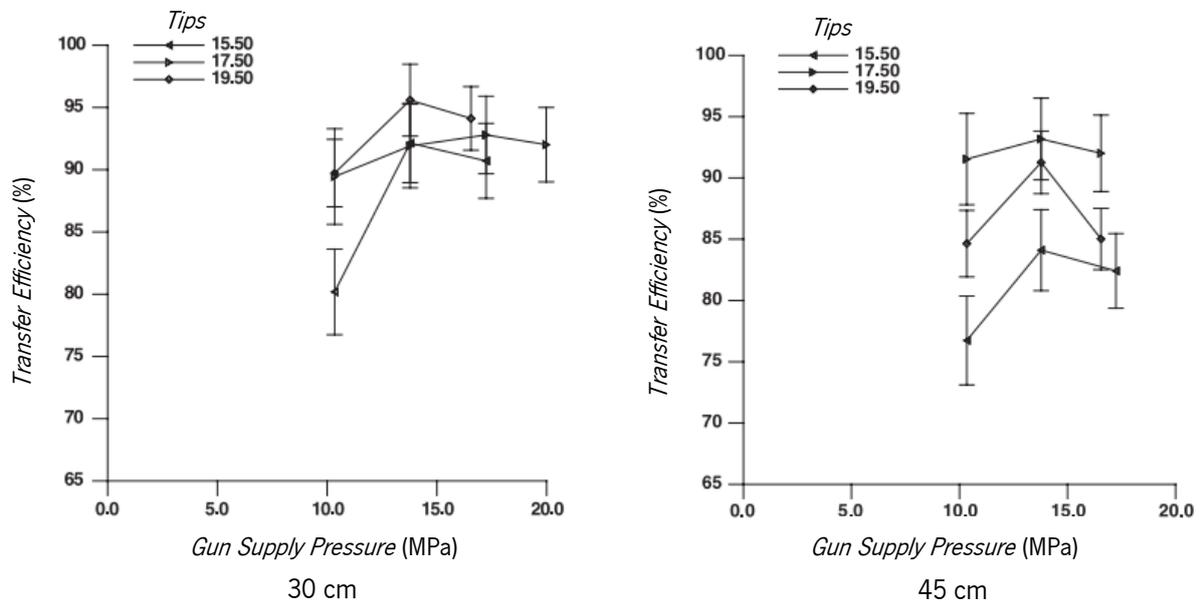


Figura 23 - Efeito da distância pistola-superfície na eficiência de transferência (adaptado de (Plesniak, Sojka, & Singh, 2004)).

Como se pode observar o parâmetro distância pistola-superfície é importante para a eficiência de transferência. Assim sendo, verifica-se uma maior eficiência para uma distância igual a 30cm do que para 45cm. Na figura 23 observa-se a influência da pressão da pistola permitindo concluir que este

parâmetro tem uma influência mista da eficiência, ou seja, verificam-se altos e baixos sem uma relação de proporcionalidade.

Concluindo, existem muitos parâmetros que influenciam a eficiência de transferência e não apresentam nenhum tipo de proporcionalidade entre si, ou seja, não se pode admitir que o aumento constante de um parâmetro irá provocar igualmente um aumento da eficiência. Através da figura 23 conclui-se que o aumento da distância diminui a eficiência, o que é verdade, mas apenas se considerarmos que todos os outros parâmetros permanecem constantes e iguais nos dois ensaios. Caso contrário a alteração de apenas um parâmetro poderia aumentar eficiência para 45 cm distância pistola-superfície e diminuir para 30 cm. Assim sendo, a otimização dos parâmetros para obtenção da melhor eficiência possível esta sujeita à experimentação e adaptação de caso para caso.

### **3.3. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Pode-se definir automação industrial como a substituição do trabalho realizado pelo humano por uma máquina, ou seja, consiste na realização do processo de forma automática podendo existir uma pequena interferência do humano. De tal forma, automação consiste na realização de determinada tarefa recorrendo a um mecanismo de atuação própria que atua durante determinado tempo (Ribeiro M. ). Para realização de um mecanismo automático é necessária uma relação entre três áreas, a mecânica, a informática e a eletrônica. A área da mecânica representa todos os componentes mecânicos que promovem o movimento, a parte informática proporciona o código que permite a criação de rotinas e a parte eletrônica permite a comunicação entre a parte informática e a mecânica.

Atualmente o mercado apresenta várias empresas que se dedicam ao projeto de automatização, ou seja, empresas que estudam o processo a automatizar em diversas empresas e, posteriormente, apresentam uma ou várias soluções para determinada tarefa.

O processo de automatização dos processos produtivos industriais permite obter um conjunto de benefícios. As principais vantagens da automatização de um processo são (Ferreira, 2018):

- Melhorar a produtividade, aumento da produção para o mesmo tempo de produção;
- Redução do custo de produção, com a otimização de todo o processo e redução da mão-de-obra é possível obter menores custos associados à produção;
- Aumento da qualidade do produto, como o trabalho é realizado sempre com as mesmas características consegue-se obter o mesmo nível de qualidade. O que não é possível quando o trabalho é realizado por trabalhadores;

- Melhora as condições de trabalho, trabalhadores deixam de estar expostos a perigos pois ficam com o papel de supervisão;
- Facilidade de trabalho, através da automatização é possível realizar tarefas que o ser humano não seria capaz.

Um processo industrial pode ser automatizado de diversas formas e com diferentes níveis de complexidade dependendo das necessidades das empresas. Resumidamente, um sistema automatizado consiste em duas partes de atuação, a parte operacional e a parte de controlo. A parte de atuação é responsável por proporcionar a tarefa, ou seja, consiste no conjunto de elementos que promovem o movimento e interação direta com o produto. Esta parte engloba equipamentos designados por atuadores como os motores, cilindros pneumáticos/hidráulicos e juntas. A parte de controlo é responsável pela recolha de informação do ambiente em que o sistema está inserido e, posteriormente, analisada por controladores que emitem um sinal com a resposta de atuação (Ferreira, 2018). Assim sendo, para automatizar um processo tem-se um conjunto de elementos que não pode faltar a saber, sensores, controladores e atuadores.

### **3.3.1. PRINCIPAIS COMPONENTES**

Neste subcapítulo são apresentados os componentes essenciais que formam um processo automatizado. Desta forma, é apresentado de seguida uma explicação da função de cada componente e os tipos existentes.

#### **3.3.1.1. SENSORES**

Iniciando pelos sensores, estes elementos são responsáveis por recolher informação do meio em que estão instalados e enviar ao controlador. Existem vários tipos de sensores que se dividem em dois géneros:

- Sensores internos: sensores que recolhem informação sobre o próprio equipamento por exemplo, avaliar a quantidade de carga de baterias. Como sensores internos tem-se taquímetros, giroscópios e entre outros;
- Sensores externos: responsáveis por recolher informação do meio envolvente do sistema automatizado como os sensores de força, temperatura e visão.

### 3.3.1.2. CONTROLADORES

Após a recolha de informação por parte dos sensores é necessário tratar os dados recolhidos e tomar uma decisão. Assim sendo, tem-se os controladores que são dispositivos programados para tomar decisões conforme a informação recolhida pelos sensores e enviar uma resposta para os atuadores. Para além da tomada de decisão os controladores podem apresentar memória para guardar os dados recolhidos.

### 3.3.1.3. ATUADORES

Os atuadores são os elementos responsáveis por promover o movimento dos componentes, ou seja, são componentes que permitem converter a energia elétrica, pneumática ou hidráulica em energia mecânica. A classificação dos atuadores depende do tipo de energia utilizada para proporcionar o movimento. Assim pode-se classificar os atuadores da seguinte forma (Anjos, 2018):

- Atuadores elétricos: motores elétricos ou músculos artificiais. Apresentam como vantagem o baixo custo e alta precisão, mas apenas podem ser utilizados para médias cargas;
- Atuadores hidráulicos: utilização de fluido a elevadas pressões que promovem o movimento sendo, normalmente, utilizados cilindros. Este tipo de atuadores são usados em sistemas com grande capacidade de carga, potência e velocidade. Porém, apresentam um custo elevado e baixa precisão;
- Atuadores pneumáticos: utilização de um gás com elevadas pressões que promovem o movimento, normalmente utilizados cilindros. São aplicados em sistemas com capacidade de baixa carga e velocidades elevadas. Apresentam um custo menor que os hidráulicos e uma baixa precisão.

## 3.3.2. ETAPAS PARA AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA

Um processo automático consiste num conjunto de etapas de transformação de um material de forma automática com recurso aos componentes abordados anteriormente. Os processos semiautomáticos são idênticos aos processos automáticos, mas tem uma pequena interferência do operador em algumas tarefas.

O projeto de automatização de processos depende das tarefas a realizar sendo as mais comuns, na indústria da pintura, fixação das peças, transporte das peças pelas diferentes etapas, equipamento

utilizado para pintura, manuseamento do equipamento de pintura e o método de eliminação de vapores das tintas.

### 3.3.2.1. FIXAÇÃO DE PEÇAS

Por forma a compreender a fixação de peças na indústria é necessário compreender alguns fatores da peça a pintar como:

- Geometria da peça;
- Zona da peça a pintar;
- Tamanho da peça.

Os fatores mencionados anteriormente são importantes pois é necessário compreender como será fixada a peça no equipamento responsável pelo transporte de forma que não ocorra obstrução da pintura e que facilite a introdução/remoção da mesma no equipamento. De seguida são apresentados um conjunto de exemplos da forma como as peças são fixas para que prossigam para pintura. Iniciando por um exemplo de garrafas, figura 24, observa-se que a fixação das garrafas ocorre pela abertura da garrafa sendo introduzidas num varão de metal o que causará alguma instabilidade nas garrafas.



Figura 24 - Método de fixação de garrafas numa linha de pintura automática (Mali, 2019).

Em alguns casos, como a pintura de copos, é utilizado um varão de metal com um topo com o diâmetro aproximado à abertura do copo sendo introduzido no interior do copo e aumentando a estabilidade do copo como se pode observar na figura 25.

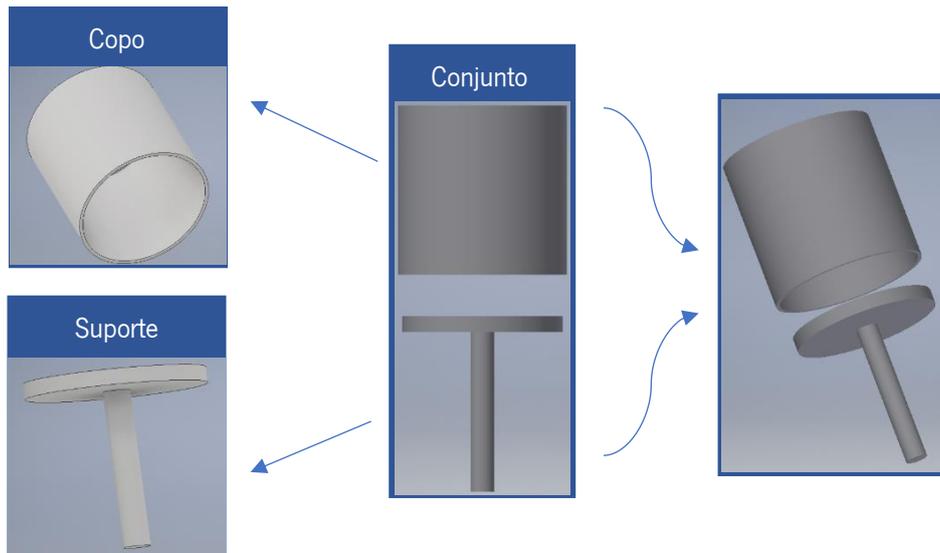


Figura 25 - Esquema ilustrativo do suporte utilizado na pintura de copos.

Quando a peça a pintar apresenta uma geometria simples, por exemplo a pintura de superfícies planas, não é necessário recorrer à fixação da mesma quando o peso seja suficiente. Na figura 26 está presente um exemplo de transporte de painel sem fixação do mesmo, estando apenas apoiado.

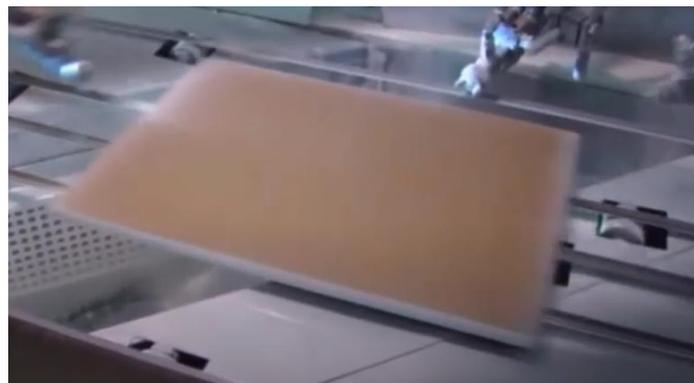


Figura 26 - Painel transportado sem fixação (adaptado de (UNESA Máquinas, s.d.)).

Em algumas situações também se verifica a utilização de calhas de guiamento (figura 27) por forma a garantir que a peça a pintar percorre o caminho correto.



Figura 27 - Exemplo de utilização de calhas de guiamento para pintura de perfis (adaptado de (Gaidzinski, s.d.)).

### 3.3.2.2. TRANSPORTE DE PEÇAS

O transporte de peças na indústria, tal como o método de fixação, depende do tipo de peças e processo a que serão submetidas. Na indústria da pintura pode-se recorrer ao uso de um sistema transportador intermitente em que a peça a pintar é colocada na zona de pintura em uma posição que se mantém constante ao longo do tempo ou um sistema transportador em movimento contínuo, em que as peças percorrem a velocidade constante a zona de pintura. Nos dois sistemas é necessário através de programação sincronizar o elemento transportador com o elemento responsável pela pintura (Abreu, 2001/2002).

Os principais tipos de transportadores utilizados na indústria da pintura são:

- Transportadores por tapete (figura 28) – transportadores simples e fácil aplicação.



Figura 28 - Exemplo de transportador por tapete (MKM, s.d.).

- Transportador por corrente (figura 29) – transporte de peças ocorre devido ao movimento de uma corrente em circuito fechado inserida numa calha guia.



Figura 29 - Exemplo de transportador de corrente (ACCI, s.d.).

Um transportador de corrente pode ainda apresentar uma configuração invertida (figura 30) em que as peças a pintar são penduradas como se pode observar na figura seguinte.



Figura 30 - Exemplo de transportador de corrente invertido (ACCI, s.d.).

### 3.3.2.3. EQUIPAMENTO DE PINTURA

Relativamente ao equipamento de pintura, pode ser utilizado uma pistola de pintura manual quando o seu manuseamento é realizado por um operador responsável pela pintura que controla a trajetória da pistola ao longo das peças a pintar como se pode observar na figura 31.



Figura 31 - Operador manuseando pistola de pintura manual (Cores, 2020).

Em alternativa ao equipamento de pintura mencionado anteriormente podem-se utilizar equipamentos automáticos de pintura (figura 32), ou seja, equipamentos acionados por controladores que permitem a deposição de tinta durante o tempo estritamente necessário e quando a peça se encontra na posição correta.



Figura 32 - Exemplo de pistola de pintura para linha automática (Kremlin, s.d.).

Este tipo de equipamento apresenta diferentes configurações e diferentes tipos de bicos conforme as características das peças a pintar. Por forma a compreender o funcionamento deste tipo de equipamento é apresentado na figura 33 um corte de uma pistola de pintura utilizada em linhas de pintura automáticas, importante referir que o modelo apresentado é apenas um exemplo funcionando os outros modelos deste tipo de pistolas de forma idêntica.

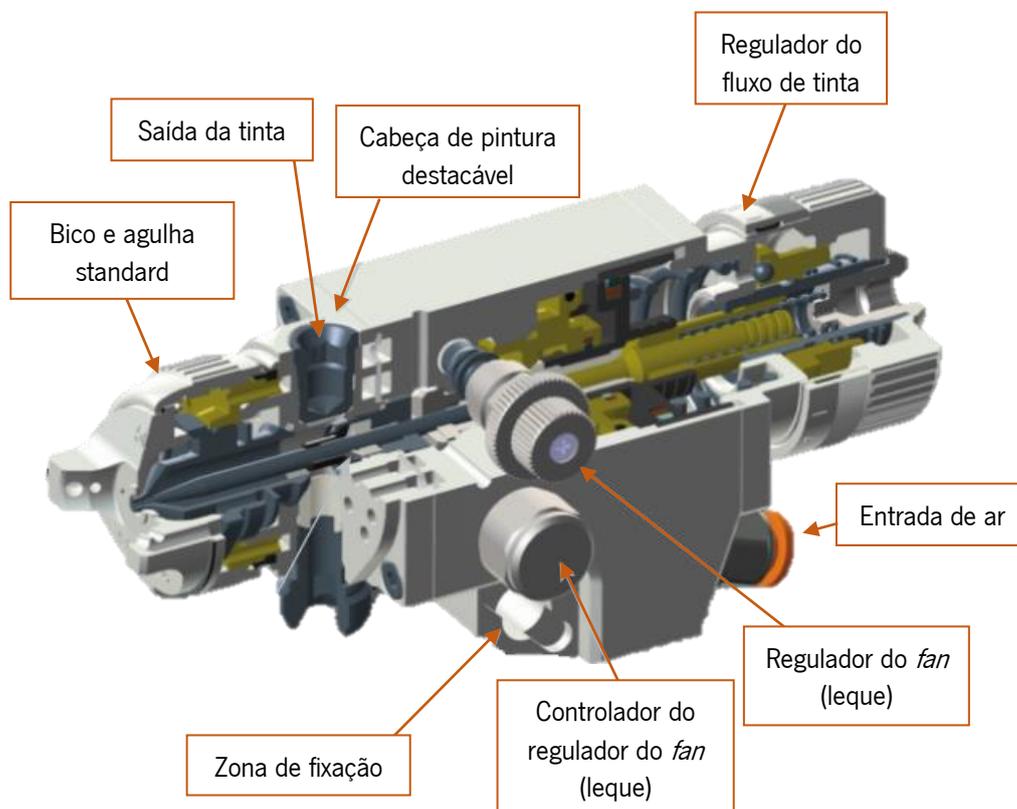


Figura 33 - Componentes de uma pistola de pintura automática (SAGOLA, 2020).

Analisando a figura 33 é importante salientar a funcionalidade do regulador do *fan*, do controlador do regulador do *fan*. O regulador do *fan* é responsável por ajustar o tamanho do leque criado, ou seja, quando maior a abertura maior será a área pintada e, o controlador do regulador do *fan* é responsável por controlar a quantidade e distribuição do ar que permite obter uma perfeita distribuição independentemente da viscosidade do fluido. As pistolas de pintura automática apresentam uma válvula que controla o movimento do ar no seu interior. Uma vez acionada é aberta, primeiramente, a válvula de controlo do ar e, em seguida, é aberta a alimentação da tinta. Quando deixa de ser acionada, primeiro é fechada a alimentação de tinta e depois do ar (WALTER PILOT, 2022). Este equipamento apresenta diferentes configurações conforme o tipo de aplicação desejado e o setor de aplicação, na tabela número 3 está presente diferentes de tipos de pistolas disponibilizado pelo fabricante Sagola e na tabela 4 pelo fabricante Dürr.

Tabela 3 - Pistolas da marca Sagola, tipo de aplicação, setor de aplicação e detalhes técnicos (adaptado de (SAGOLA, 2020)).

<b>Pistola</b>	<b>V4 Range</b>	<b>V5 Range</b>	<b>V6 Range</b>	<b>V7 Range</b>
Tipo de aplicação	- Tarefas com elevada taxa de abertura e fecho; - Velocidades elevadas e bons acabamentos	- Tarefas com elevada taxa de abertura e fecho; - Trabalhos com reduzida névoa de tinta; - Redução no consumo de produtos.	- Tarefas com elevada taxa de abertura e fecho; - Trabalhos com reduzida névoa de tinta; - Redução no consumo de produtos; - Melhor acabamento de qualidade.	- Tarefas com elevada taxa de abertura e fecho; - Trabalhos com reduzida névoa de tinta; - Redução no consumo de produtos; - Pulverização de vernizes e tintas UV.
Setor de aplicação	- Indústria do metal, plástico, automóvel e cerâmicas.	- Indústria do metal, plástico, automóvel, cerâmicas, têxtil e do bronze.	- Indústria do mobiliário, plástico, automóvel, têxtil e do bronze.	- Indústria do mobiliário, plástico, e metal.
Detalhes técnicos	- Dimensões: 164x45x104 mm; - Massa: 785 g; - Consumo de ar: 350-400 L/min.	- Pressão de pulverização: 0,68 bar; - Dimensões: 164x45x104 mm; - Massa: 785 g; - Consumo de ar: 500 – 600 L/min.	- Dimensões: 164x45x104 mm; - Massa: 785g; - Consumo de ar: 380 L/min.	- Pressão de trabalho: 30/150 bar; - Pressão de operação mínima: 3,5 bar; - Dimensões: 164x45x104 mm; - Massa: 945 g; - Consumo de ar: 150 L/min.

Tabela 4 - Pistolas marca Dürr, pressões máximas, tamanho dos bicos e campo de aplicação (adaptado de (Durr, 2021)).

<b>Pistola</b>	<b>EcoGun AS AUTO</b>	<b>EcoGun AS AUTO pro</b>	<b>EcoGun AS AUTO pro HD</b>	<b>EcoGun2 AS AUTO</b>	<b>EcoGun AS AUTO Mini FS</b>	<b>EcoGun AS AUTO Mini RS</b>
Pressão máxima do fluido	6.0 bar	4.0 bar	4.0 bar	20.0 bar	1.5 bar	1.5 bar
Pressão máxima de atomização do ar	6.0 bar	8.0 bar	8.0 bar	10.0 bar	3.0 bar	3.0 bar
Tamanho dos bicos	0.8 / 1.0 / 1.2 / 1.6 / 1.8 / 2.0 / 2.2 mm	0.5 / 0.8 / 1.0 / 1.2 / 1.3 / 1.4 / 1.5 / 1.6 / 1.8 / 2.0 / 2.5 / 3.0 mm	0.5 / 0.8 / 1.0 / 1.2 / 1.5 / 1.8 / 2.0 / 2.5 / 3.0 / 4.5 / 6.0 mm	1.1 / 1.4 mm	0.6 / 0.8 / 1.0 mm	0.6 / 0.8 / 1.0 / 1.2 mm
Campo de aplicação	Aplicação usual de pintura, primários, camadas de base, camadas de topo, camadas de limpeza.	Aplicação usual de pintura, primários, camadas de base, camadas de topo, camadas de limpeza.	- Esmaltes ou outros materiais abrasivos da indústria da cerâmica; - Aplicações especiais para jato de pulverização rotativo.	- Aplicação em robôs.	- Pintura de pequenas áreas; - Marcação de pontos.	- Pintura de pequenas áreas; - Marcação de pontos.

Para além da escolha do tipo de pistola conforme o tipo de aplicação e características necessárias, torna-se necessário conhecer os tipos de bicos existentes bem como as suas características. Desta forma, na tabela 5 é apresentado os diferentes tipos de bicos da marca Dürr e as suas especificações.

Tabela 5 - Tipos de bicos da marca Dürr (adaptado de (Durr, 2021)).

<b>Bico</b>	<b>CF</b>	<b>LF (LVLP)</b>	<b>SF</b>
Pistola compatível	EcoGun AS AUTO pro	EcoGun AS AUTO pro	EcoGun AS AUTO pro
Tamanho	0.5-0.8 / 1.0-1.2 / 1.3-1.6 / 1.8-2.5 mm	0.5-1.2 / 1.3-1.6 / 1.8-2.5 mm	1.0-1.2 mm
Pressão de ar recomendável	2.0-2.5 bar	2.0-2.5 bar	2.0-2.5 bar
Campo de aplicação	Camadas de topo, de base, de primário e UV.	Camadas de topo, de base, de primário e UV.	Camadas de topo e decorativas.
<b>Bico</b>	<b>Circular jet</b>	<b>FLRD</b>	<b>Rotary jet</b>
Pistola compatível	EcoGun AS AUTO pro HD	EcoGun AS AUTO pro HD	EcoGun AS AUTO pro HD
Tamanho	1.8 / 2.0 / 2.5 mm	1.5 / 1.8 / 2.0 / 2.5 / 3.0 mm	1.2 / 1.5 / 2.0 / 2.5 mm
Pressão de ar recomendável	2.0-2.5 bar	2.0-2.5 bar	2.0-2.5 bar
Campo de aplicação	Camadas de topo e de base, camadas decorativas.	Esmaltes cerâmicos, esmaltes.	Esmaltes cerâmicos, esmaltes, materiais com forte adesão.
<b>Bico</b>	<b>PC</b>	<b>HM (HVLP)</b>	<b>PL</b>
Pistola compatível	EcoGun AS AUTO	EcoGun AS AUTO	EcoGun AS AUTO
Tamanho	1.6 / 1.8 / 2.0 / 2.2 mm	1.0 / 1.2 mm	0.8 / 1.0 / 1.2 mm
Pressão de ar recomendável	2.5-3.5 bar	1.8 bar	2.5-3.5 bar
Campo de aplicação	Pintura e primários em geral.	Camadas de topo, substância corrosiva (baixa viscosidade).	Revestimentos de acabamento finos e camadas de limpeza.
<b>Bico</b>	<b>797CS</b>	<b>797CS RP</b>	<b>LM 10</b>
Pistola compatível	EcoGun2 AS AUTO	EcoGun2 AS AUTO	EcoGun AS AUTO Mini FS
Tamanho	1.1 / 1.4 mm	1.1 / 1.4 mm	0.6 / 0.8 / 1.0 mm
Pressão de ar recomendável	4.8 bar	4.8 bar	2.0 bar
Campo de aplicação	Camadas de primário, base, limpeza e topo.	- Camadas de primário, base, limpeza e topo. - Aplicações em robôs.	Vernizes ou tintas com menor viscosidade, atomização fina e revestimento de pequenas áreas.

Como se pode verificar pelas tabelas 4 e 5, que representam os produtos da marca Dürr, existe um conjunto de produtos com diferentes especificações de aplicação. Desta forma, a escolha do tipo de pistola e tipo de bico a utilizar dependerá do tipo de aplicação desejada conforme as especificações do projeto.

#### 3.3.2.4. MANUSEAMENTO DO EQUIPAMENTO DE PINTURA

Tendo definido o tipo de pistola a utilizar pode-se avançar para o manuseamento do equipamento de pintura. Existem três opções para este tipo de tarefa que são, o manuseamento é da responsabilidade do operador que definirá a trajetória e distância da pistola à superfície a pintar, a colocação de pistolas em pontos fixos pintando as peças que são transportadas pela zona de pintura e, por fim, o uso de robôs que movimentarão as pistolas em trajetórias pré-definidas em torno da peça. Assim torna-se importante o estudo do tipo de robôs mais utilizados na indústria.

Os robôs podem ser classificados de três formas, baseado na configuração do braço (cartesiano, cilíndrico, esférico, braço articulado, SCARA ou paralelo), segundo o sistema de tração (pneumático, hidráulico e elétrico) ou pelo tipo de movimento (robô de sequência fixa, controlo ponto a ponto ou controlo de trajetória contínua). De seguida são apresentados os diferentes tipos de robôs com base na configuração do braço:

- Robôs cartesianos: constituídos por três juntas prismáticas realizando três movimentos de translação que correspondem aos eixos cartesianos (figura 34). Este tipo de robô oferece um paralelepípedo como volume de trabalho. Utilizados para tarefas como corte a jato de água, armazenamento e paletização (Ribeiro F. );

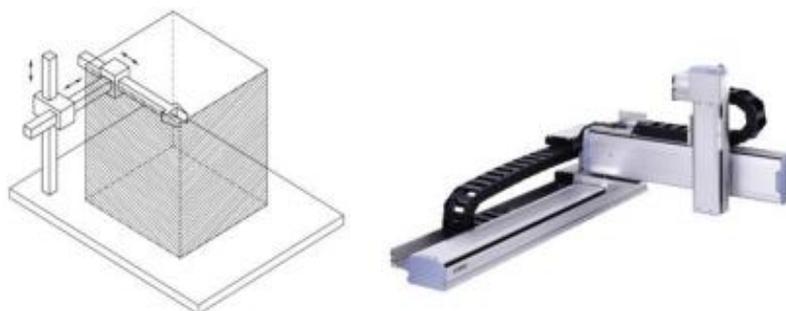


Figura 34 - Robô cartesiano: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).

Na pintura é normal encontrar uma variante deste tipo de robô designado por pórtico, representado na figura 35. Consiste em calhas instaladas paralelamente e que permitem o movimento da pistola sobre a peça, sendo a altura controlada por um controlador PLC que recebe de um sensor devidamente instalado, responsável por medir a altura da peça.

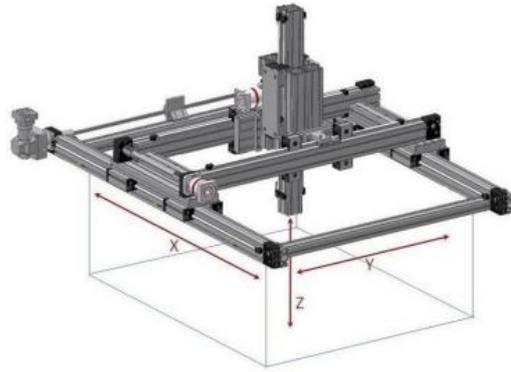


Figura 35 - Pórtico utilizado em instalações de pintura (Rudzuan, et al., 2019).

- Robôs cilíndricos: constituído por uma junta rotacional e duas juntas prismáticas oferecendo um movimento de rotação e dois movimentos de translação. Apresenta uma configuração com uma coluna que permite o movimento cima-baixo, o braço preso à coluna central apresenta movimento radial em relação à coluna e movimento de translação que permite aumentar o alcance radial. A realização dos movimentos mencionados permite obter um volume de trabalho com forma idêntica a um cilindro como se pode observar na figura 36. Robô utilizado nas tarefas de paletização e carregamento/descarregamento (Ribeiro F. );

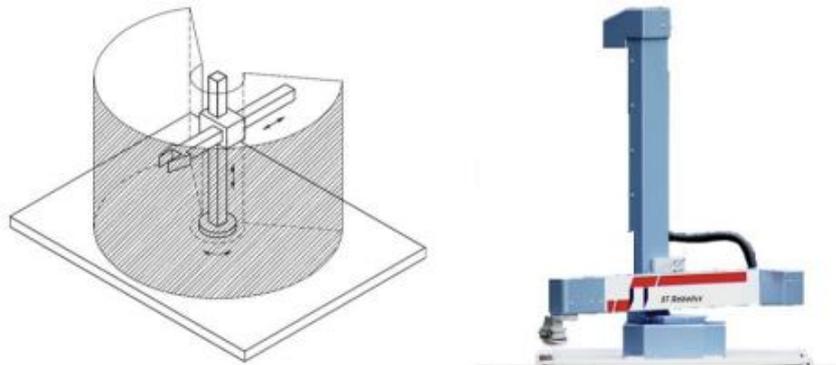


Figura 36 - Robô cilíndrico: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).

- Robôs esféricos: robô constituído por duas juntas rotacionais e uma junta prismática pelo que proporciona dois movimentos rotacionais e um de translação. Os movimentos são conseguidos através de uma base com movimento rotacional em torno do eixo vertical, uma junta rotacional com rotação perpendicular ao eixo vertical e movimento de translação com a extensão do braço. Desta forma, consegue-se obter um volume de trabalho com uma geometria idêntica a uma esfera como exemplificado na figura 37. Os robôs esféricos são utilizados na indústria da fundição, moldagem por injeção, montagem, apoio de máquinas e manuseamento de materiais (Ribeiro F. );

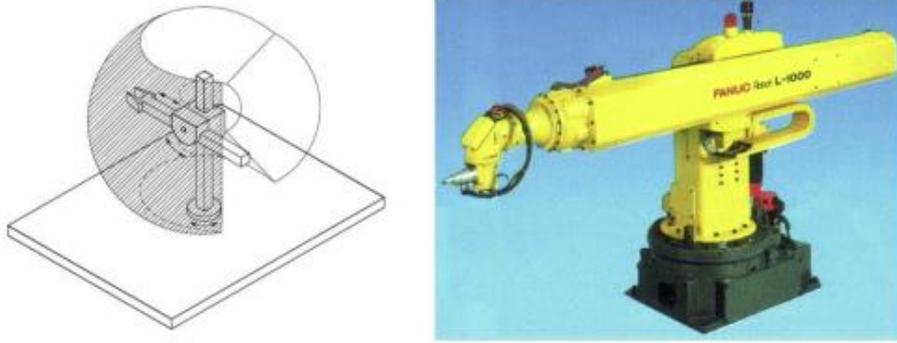


Figura 37 - Robô esférico: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).

- Robôs de braço articulado: os robôs de braço articulado apresentam uma configuração idêntica a um braço humano pelo que apresentam três juntas de rotação. A configuração é composta por uma coluna vertical que roda sobre a base, no topo da coluna outra junta rotacional (articulação de ombro) e, por fim, designada como articulação de cotovelo uma junta rotacional como se pode observar na figura 38. Desta forma, é possível obter um volume de trabalho idêntico ao realizado pelo braço humano. Verifica-se a utilização deste robô em processos de soldadura, corte e pintura (Ribeiro F. ).

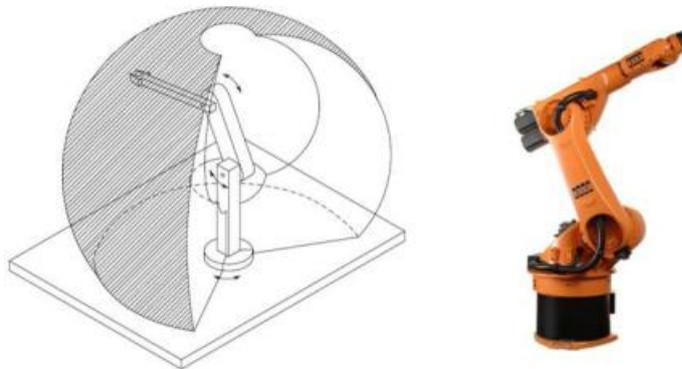


Figura 38 - Robô de braço articulado: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).

- Robôs SCARA: robô SCARA (*Selective Compliant Automatic Robot Arm*) é uma configuração especial do robô de braço articulado pois as juntas rotacionais estão posicionadas em eixos verticais, figura 39. Desta forma, apresentam um total de três juntas rotacionais e uma prismática. Este tipo de robô é utilizado em processos de montagem de produtos com pequenas dimensões, carregamento e paletização (Ribeiro F. ).

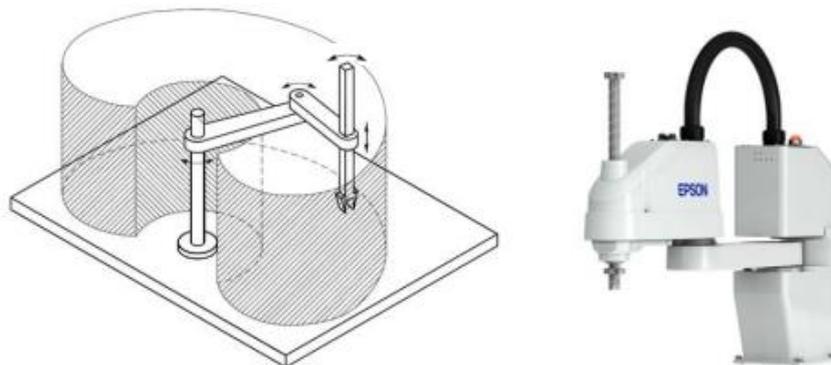


Figura 39 - Robô SCARA: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (adaptado de (Anjos, 2018)).

- Robôs paralelos: também conhecidos por robôs delta, representado na figura 40. São robôs que apresentam duas plataformas, uma fixa, a base, e uma móvel conectadas entre si através de juntas rotativas e prismáticas (Anjos, 2018). Este tipo de robô é, essencialmente, utilizado em tarefas de *pick-and-place*.



Figura 40 - Robô Paralelo: à esquerda o volume de trabalho e à direita a estrutura (Anjos, 2018).

O tipo de robô utilizado no processo automatizado, ou seja, o tipo de anatomia escolhido depende do tipo de aplicação desejada uma vez que se terá diferentes condições de acesso, diferentes tipos de movimento e diferente volume acessível de trabalho.

Para especificar devidamente um robô relativamente às características que apresentam é necessário compreender os conceitos mais importantes (Anjos, 2018):

- Graus de liberdade: representa o número total de movimentos independentes que o robô pode realizar;
- Graus de mobilidade: representa o número de juntas do robô;
- Volume de trabalho: espaço dentro do qual o robô pode movimentar a ferramenta sendo definido através da configuração física do robô, tamanhos dos componentes do corpo, braço e pulso e pelos limites dos movimentos articulares do robô;

- Velocidade de operação: velocidade com que o robô posiciona a ferramenta;
- Capacidade de carga: carga máxima que o robô consegue suportar na sua extremidade sem que a precisão seja afetada. Pode ser classificada como capacidade de carga nominal representando a carga máxima suportada à velocidade máxima sem perda de precisão ou como capacidade de carga máxima que representa a carga máxima a velocidade reduzida sem perda de precisão;
- Resolução: corresponde ao menor incremento do movimento do robô;
- Precisão e exatidão: capacidade de o robô posicionar a sua extremidade num ponto pré-programado;
- Repetibilidade: capacidade do robô se posicionar numa posição repetidamente.

Após as características mencionadas anteriormente resta mencionar o tipo de programação dos robôs. Assim sendo, os robôs podem ser programados por dois métodos (Anjos, 2018):

- Programação online: consiste em movimentar o robô pelos pontos da trajetória requerida. Pode ser realizada de forma manual em que o operador transporta o robô pelas diferentes posições ou feita de forma automática através de uma consola de programação;
- Programação offline: realizada sem a presença do robô sendo feita em softwares de simulação.

#### 3.3.2.5. ELIMINAÇÃO DE VAPORES

Um dos pontos fundamentais na automatização de um processo de pintura é a eliminação de vapores que resultam da pintura. A eliminação de vapores da atmosfera é essencial pois permite a manutenção de um ambiente seguro para os operadores e diminui o risco de explosão. Os dois métodos de eliminação de vapores das tintas são a ventilação e as cortinas de água.

A ventilação do ar pode ser classificada segundo o tipo de finalidade que apresenta. Assim, pode-se classificar da seguinte forma:

- Ventilação para manutenção do conforto térmico: tipo de ventilação utilizada para manter a temperatura ambiente agradável para os trabalhadores;
- Ventilação para manutenção da saúde e segurança: permite manter os níveis de poluentes baixos no ambiente de trabalho;
- Ventilação para conservação de materiais e equipamentos: quando existe necessidade de determinados materiais/equipamentos se manterem a uma temperatura específica para não se danificarem.

Para além da classificação do tipo de ventilação existe tipos de ventilação que são, ventilação natural, ventilação geral e a ventilação local exaustora. A ventilação natural consiste na ventilação do meio

provocada pela diferença de pressão entre a parte interna e externa, através de aberturas como portas e janelas. A ventilação geral consiste no movimento do ar através de ventiladores permitindo o controlo do ambiente, um ventilador pode apresentar a funcionalidade de movimentar ar do exterior para o interior ou do interior para o exterior. Por fim, a ventilação local exaustora permite o movimento do ar do interior para o exterior. A ventilação local exaustora diferencia-se da ventilação geral no local de aplicação, ou seja, enquanto a ventilação geral consiste na ventilação de uma área grande como um armazém, a ventilação local exaustora consiste na ventilação do ar num determinado local dentro de um armazém. O método de ventilação local exaustora é o método mais utilizado na indústria da pintura pois permite a exaustão do ar nas zonas de pintura através de um sistema global como mostra a figura 41 (Oliveira).

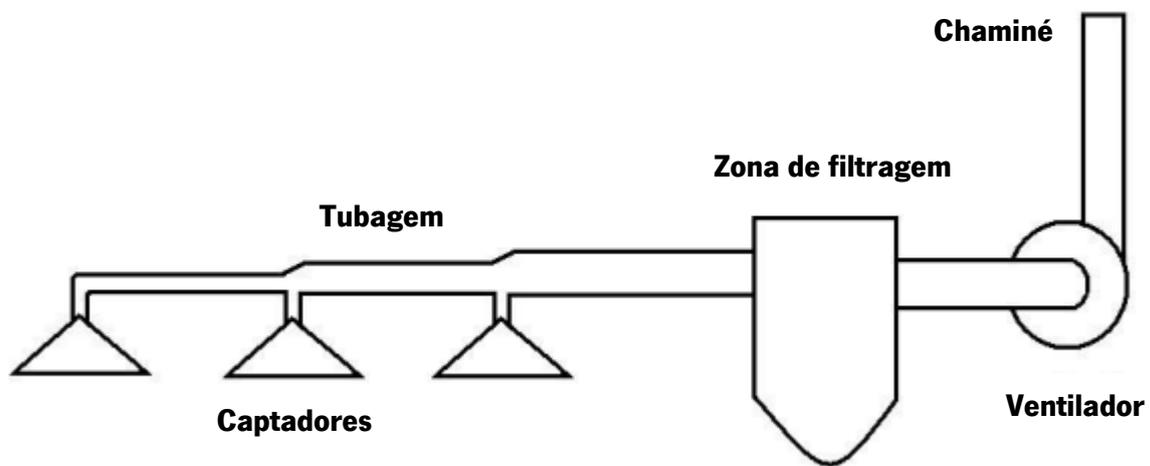


Figura 41 - Exemplo de instalação de ventilação local exaustora (adaptada de (Oliveira)).

Analisando a figura 41, conclui-se a presença de 5 componentes essenciais para o funcionamento da ventilação que são:

- Captadores: elemento responsável pela captura dos poluentes. Estes componentes podem apresentar diferentes geometrias como se pode observar na tabela 6, sendo o tipo de geometria mais utilizado na indústria da pintura a cabine (booth).

Tabela 6 - Diferentes geometrias de captadores (adaptado de (Oliveira)).

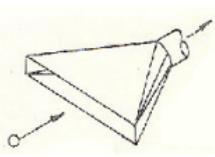
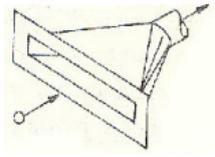
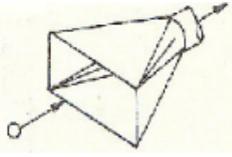
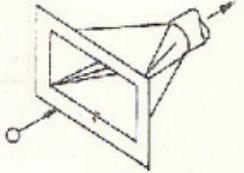
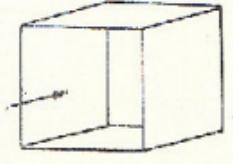
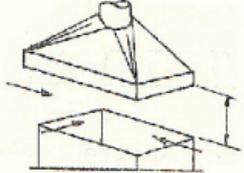
Slot	Flanged Slot	Plain Opening
		

Tabela 6 - Diferentes geometrias de captadores (adaptado de (Oliveira)) (continuação).

Flanged Opening	Booth	Canopy
		

- Tubagem: equipamento responsável por conduzir os gases desde os captadores até à chaminé;
- Zona de filtragem: zona em que ocorre a retenção dos contaminantes por forma a não serem depositados na atmosfera. A filtragem do ar pode ser realizada de três formas, filtragem por impacto inercial, filtragem por intercepção e filtragem por difusão;
- Ventilador: equipamento responsável por imprimir energia ao ar permitindo o movimento dos gases desde a zona dos captadores até à chaminé. Os ventiladores apresentam três tipos que são, os ventiladores axiais que trabalham em condições de baixa ou nenhuma diferença de pressão estática e os ventiladores centrífugos que fornecem pressão estática conforme o caudal de gases movimentado. Para a seleção de um ventilador é necessário considerar um conjunto de condições como, capacidade, pressão estática ou total, tipo de ar que será aspirado e diâmetro e comprimento da tubagem;
- Chaminé: responsável por depositar os gases devidamente tratados na atmosfera (Oliveira).

Desta forma, com todos os componentes mencionados anteriormente, é possível realizar a exaustão de todos os gases prejudiciais para a saúde e para o meio ambiente. A utilização de exaustão do ar no processo de pintura permite a renovação do ar ambiente permitindo um melhoramento da qualidade de acabamento da pintura. Para além do bom acabamento permite obter um melhor ambiente para a saúde do trabalhador, o aumento da produção e preservação da natureza.

O método de cortina de água é outra opção frequentemente utilizada na indústria da pintura a par da ventilação local exaustora. A utilização de uma cabine de pintura com cortina de água consiste na lavagem tripla dos vapores resultantes da pintura e através do sistema de exaustão impede a contaminação do ar (Milaré, s.d.). Na figura 42 está presente um exemplo de uma cabine de pintura com cortina de água.

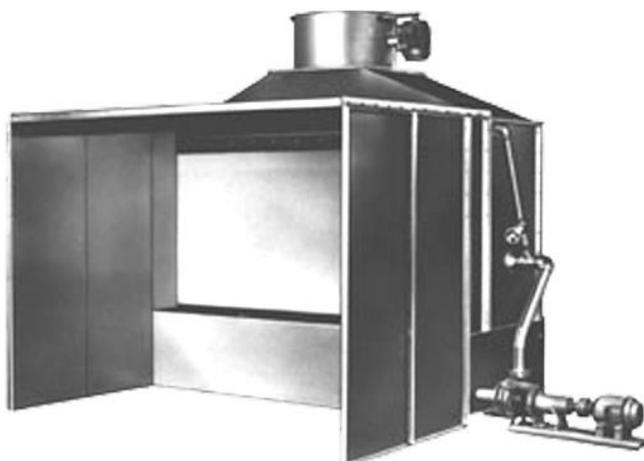


Figura 42 - Exemplo de uma cabine de pintura com cortina de água (Milaré, s.d.).

Por forma a compreender o tipo de equipamento, é apresentado na figura 43 os constituintes de uma cabine de pintura com cortina de água.

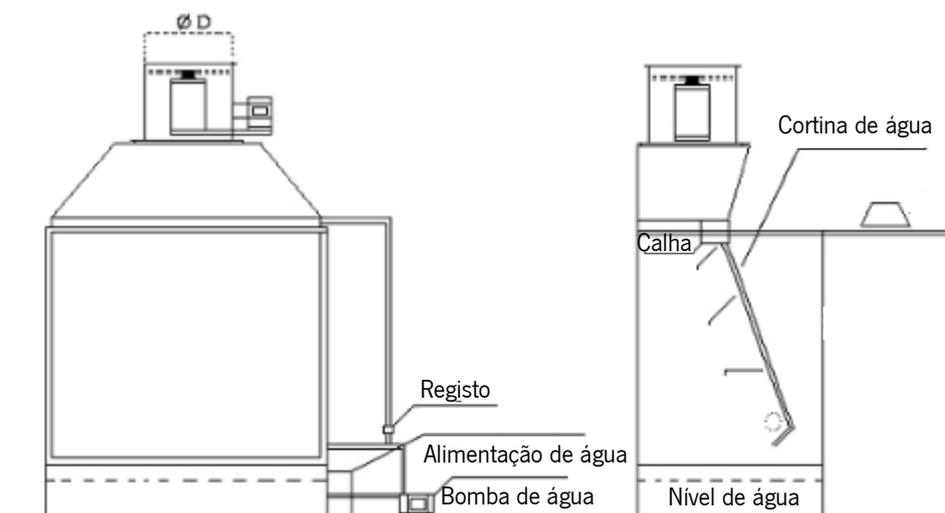


Figura 43 - Desenho de uma cabine de pintura com cortina de água (adaptado de (Milaré, s.d.)).

Analisando a figura 43 destaca-se a presença de um reservatório acumulado de água, uma zona de alimentação de água, uma bomba responsável por bombear a água e uma calha responsável por criar uma inclinação para formação da cortina de água. Este tipo de equipamento oferece as seguintes vantagens (Milaré, s.d.):

- Proteção do operador contra substâncias nocivas para a saúde;
- Eliminação das substâncias poluentes, proteção do meio ambiente;
- Fácil manutenção dos componentes.

### 3.3.3. EXEMPLOS DE PROCESSOS DE PINTURA AUTOMÁTICOS

O processo de automatização de uma linha de pintura revela-se extremamente complexo uma vez que consiste em encontrar a melhor solução conforme o tipo de peça que se deseja pintar. Desta forma, será apresentado de seguida um conjunto de exemplos de processos automáticos de pintura onde se poderá verificar o conjunto de tarefas mencionadas anteriormente, fixação da peça, transporte da peça, equipamento de pintura, manuseamento do equipamento de pintura e eliminação de vapores.

- Máquina de pintura automática para portas e painéis, representado o esquema de funcionamento na figura 44;

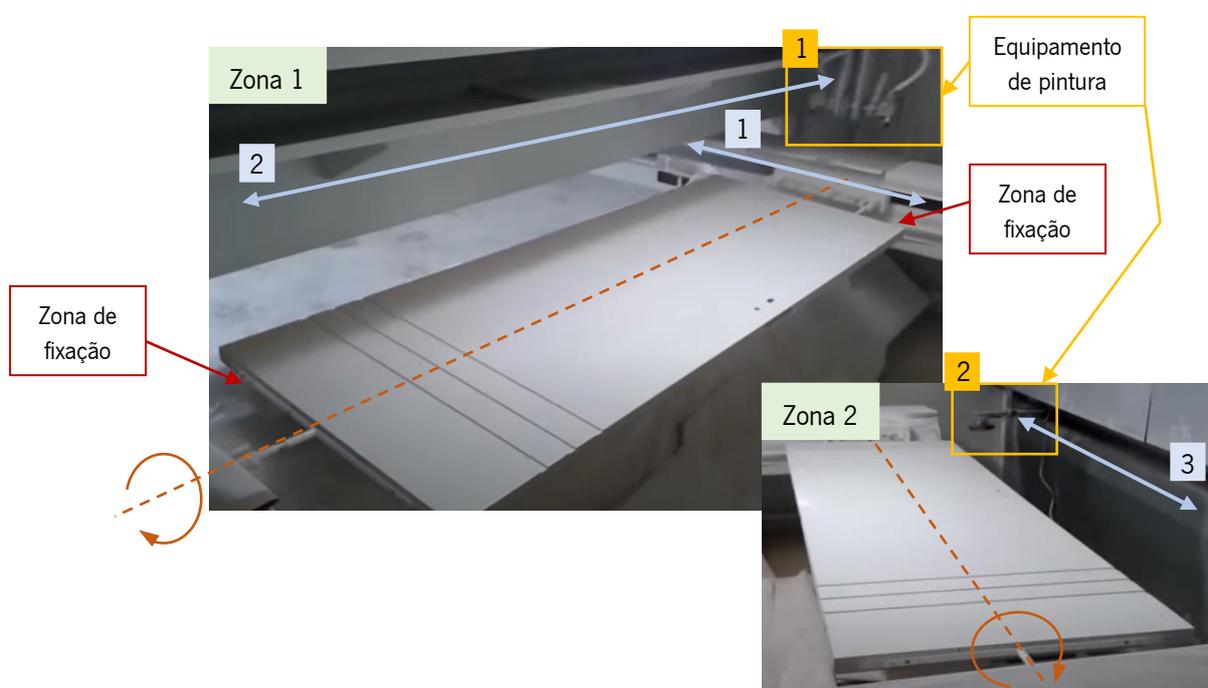


Figura 44 - Equipamento de pintura automático para portas e painéis (adaptado de (Gaidzinski, s.d.)).

Analisando a figura 44 verifica-se a presença de quatro movimentos, três de translação (representados com as setas a cor azul) e um de rotação (representado a cor laranja). A pintura inicia-se com a fixação da porta/painel pelos topos e colocada no eixo representado a cor laranja. Na zona 1 ocorre a pintura da superfície de maior área pelo que se inicia o movimento de translação representado pelo número 1 e, quando chega na zona de pintura, inicia-se o movimento de translação (número 2 na figura) do equipamento de pintura número 1. De seguida ocorre novamente o movimento de translação no eixo representado pelo número 1 transportando a porta para a zona 2 em que ocorrerá a pintura das faixas laterais devido ao movimento de translação do equipamento de pintura 2 no eixo 3. Após pintada uma das faixas ocorre a rotação do painel sendo pintada a faixa do lado contrário ficando a porta voltada para

cima com a superfície maior ainda por pintar. Desta forma, o painel através do movimento de translação no eixo 1 retorna à zona 1 para acabar a pintura.

- Máquina de pintura automática de perfis, representada na figura 45;



Figura 45 - Máquina de pintura de perfis (adaptado de (Gaidzinski, s.d.)).

O equipamento presente na figura 45 consiste num conjunto de 3 fases para elaborar a pintura dos perfis. Inicialmente ocorre na zona de carregamento a introdução de perfis que serão conduzidos por calhas de guiamento até à zona de pintura. Na zona de pintura existe um conjunto de 4 pistolas de pintura automática colocadas em pontos fixos estratégicos, as duas primeiras responsáveis pela pintura das faixas laterais do perfil e as duas últimas responsáveis por pintar o topo do perfil. Por fim, tem-se a zona de descarregamento que é a zona por onde saem os perfis já pintados. De salientar que neste equipamento o único componente com movimento é a peça a pintar e apresenta uma velocidade constante.

- Máquina de pintura automática de topos, na figura 46 está representado o equipamento;

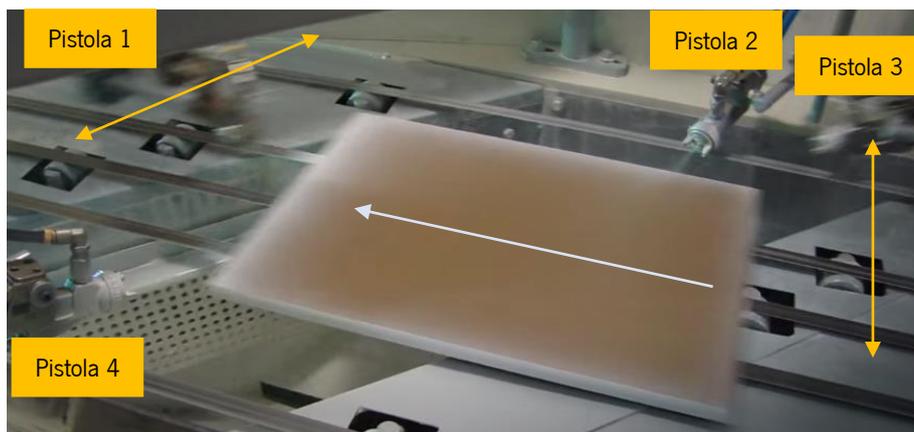


Figura 46 - Máquina de pintura automática de topos (adaptado de (UNESA Máquinas, s.d.)).

Este equipamento apresenta quatro pistolas de pintura, duas fixas e duas com movimento (sentido do movimento representado pelas setas amarelas na figura 46) e três movimentos (movimento de duas pistolas e o movimento da peça) para realização da pintura. Desta forma, a peça é transportada no sentido e direção da seta azul-clara para a zona de pintura, a velocidade constante.

- Máquina de pintura automática de copos, equipamento representado na figura 47;



Figura 47 - Máquina de pintura automática de copos (adaptado de (ELSISAN, s.d.)).

Este equipamento apresenta duas zonas de pintura para realizar a pintura completa dos copos. Na primeira zona tem um robô cartesiano onde estão instaladas 8 pistolas de pintura, estas pistolas acompanham o movimento do copo e realizam ao mesmo tempo um movimento ascendente, iniciando a pintura na abertura do copo e finalizando quando chega ao fundo do copo. Desta forma, o robô permite que as pistolas de pintura realizem um movimento na diagonal, movimento nos dois eixos em simultâneo (eixos representados com setas a cor azul-clara na figura 47). Na segunda zona de pintura ocorre a pintura do fundo dos copos através de um equipamento de pintura que projeta a tinta, equipamento que apresenta movimento no eixo vertical. De salientar que os copos apresentam um movimento rotativo para que ocorra a pintura de toda a superfície do copo.

## 4. CASO DE ESTUDO

No capítulo 4 será demonstrado todo o trabalho realizado para encontrar soluções capazes de satisfazer o objetivo principal, desenvolvimento de um equipamento de pintura automatizado para pintura das peças na sua totalidade. Desta forma, inicialmente é apresentado o processo de pintura detalhado utilizado pela empresa na sua produção seguindo-se o desenvolvimento de soluções, ou seja, procura de soluções recorrendo a métodos de desenvolvimento de projeto. Por fim, será apresentado as soluções encontradas que satisfazem as exigências da empresa.

### 4.1. PROCESSO DE PINTURA DETALHADO

O processo de pintura na empresa consiste num processo totalmente manual dividido num conjunto de passos, sendo pintado em cada passo uma parte da peça. O número máximo de passos de pintura das peças são quatro e depende da complexidade da peça e dos pormenores que cada peça apresente, podendo apresentar um menor número de passos. O conjunto de passos na pintura divide-se entre a zona de pintura com pistola a ar comprimido em cabine, pintando as maiores áreas, e pintura através de pincel para acabamentos e retoques. De seguida, será apresentado um exemplo da pintura de umas das peças fabricadas na empresa no momento:

- 1º Passo: pintura da peça com uma cor uniforme. Neste primeiro passo o operador agarra na peça pela zona em que se sentir mais confortável por exemplo, pela pata ou cabeça. Após a pintura da peça espera a secagem da peça para pintar a zona que agarrou anteriormente. Por forma a melhorar a produção o operador pinta um número de peças seguidas, por exemplo cinco peças. No final da quinta peça pode voltar à primeira para pintar a zona onde agarrou pois já se encontra totalmente seca. Na figura 48 está presente a peça antes de pintar (à esquerda) e depois de ser pintada (à direita), de notar que a peça antes da pintura apresenta uma superfície brilhante;



Figura 48 - Peça antes de pintar (à esquerda) e peça após pintura (à direita).

- 2º Passo: pintura dos primeiros pormenores com a cor verde com recurso à pistola a ar comprimido pois apresenta uma superfície grande. Na figura 49 está presente a peça com o primeiro pormenor pintado.



Figura 49 - Pintura do pormenor da cauda da peça.

- 3º Passo: pintura da boca da peça e olhos, estes pormenores são pintados a pincel devido à pequena área. Na figura 50 está presente a boca do boneco e olhos já na fase final deste passo.



Figura 50 - Peça com a boca e olhos pintados.

- 4º Passo: pintura de pormenores em amarelo na cauda, cabeça e patas. Neste passo os pormenores são pintados com recurso ao pincel. Na figura 51 pode-se observar a pintura dos detalhes em amarelo e, conseqüentemente, a peça finalizada.



Figura 51 - Pormenores pintados em amarelo.

O processo de pintura encontra-se dividido em duas zonas distintas. Os primeiros passos de pintura, ou seja, pintura de maiores superfícies da peça como os dois primeiros passos são pintados em cabine através de pistola a ar comprimido e os últimos dois passos são pintados com um pincel pois são áreas muito pequenas. Na tabela 7 está presente um conjunto de peças pintadas e a respetiva cor de pintura inicial numa fase inicial com uma única cor, zona que se pretende automatizar. Através da tabela pode-se observar a variedade de peças pintadas pela empresa que apresentam geometrias complexas e diferentes de peça para peça.

Tabela 7 - Exemplo de peças pintadas numa fase inicial numa só cor.

<b>Peças pintadas numa fase inicial com uma só cor</b>			
<b>Peça 1</b>	<b>Peça 2</b>	<b>Peça 3</b>	<b>Peça 4</b>
Cor: Cinzento-escuro 	Cor: Cinzento-escuro 	Cor: cinzento 	Cor: Branco 
<b>Peça 5</b>	<b>Peça 6</b>	<b>Peça 7</b>	<b>Peça 8</b>
Cor: Cinzento 	Cor: Castanho-claro 	Cor: Castanho-claro 	Cor: preto 

Torna-se importante mencionar alguns detalhes técnicos da pintura por forma a compreender na totalidade o processo de pintura. Desta forma, está presente na tabela 8 os detalhes técnicos do processo de pintura.

Tabela 8 - Detalhes técnicos do processo de pintura.

<b>Detalhes técnicos</b>		
<b>Tipo de tinta</b>	<b>À base de água</b>	<b>À base de diluente</b>
		80%
<b>Método de pintura</b>	Pistola manual a ar comprimido	
<b>Diâmetro da agulha</b>	<b>Pintura enchimento</b>	<b>Pintura pormenores</b>
	0,8 mm	0,3 mm

Outro ponto fundamental para uma correta interpretação do problema em causa é perceber o número de peças pintadas por unidade de tempo, ou seja, a cadência. Desta forma na tabela 9 está presente o número médio de peças pintadas por unidade de tempo para o primeiro passo da pintura.

Tabela 9 - Número de peças pintadas por unidade de tempo.

<b>Número de peças pintadas</b>		
<b>2 funcionários – Valor médio</b>	5000 peças em 3 a 4 dias	
<b>1 funcionário – Valor médio</b>	<b>Por hora</b>	<b>Por minuto</b>
	≈89 peças	≈1,5 peças

Atualmente, a peça em produção é a peça número 1 ou 2 apresentadas na tabela 7 tendo como objetivo a pintura de 150 e 120 peças pintadas por funcionário por hora, respetivamente. Correspondendo este valor ao primeiro passo da pintura, ou seja, pintura da peça na totalidade.

## **4.2. DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES**

O presente subcapítulo é dedicado à exposição de todo o trabalho realizado para encontrar possíveis soluções capazes de satisfazer as necessidades da empresa. Dessa forma, é apresentado um conjunto de etapas para encontrar soluções, iniciando pela elaboração de uma árvore de objetivos. Numa segunda fase é apresentado o diagrama de funções correspondente ao processo de pintura, ou seja, um diagrama com as diferentes subfunções necessárias para realizar a função global, a pintura. Posto isto, é apresentado o mapa morfológico com as soluções para as diferentes subfunções mencionadas anteriormente. Numa fase final é realizada a escolha da melhor solução através do mapa de objetivos ponderados.

### **4.2.1. ÁRVORE DE OBJETIVOS**

A elaboração de um projeto para a concretização de uma solução é algo que se pode tornar relativamente vago uma vez que existe um elevado número de soluções com capacidade para cumprir a função desejada. Como tal, para conseguir alcançar a solução mais indicada para determinada tarefa pode-se recorrer à elaboração de uma árvore de objetivos que permitirá clarificar os objetivos a alcançar.

O projeto em questão consiste em encontrar/adaptar um equipamento de pintura automatizado simples, fiável e com boa relação custo-benefício, estabelecendo-se assim como o objetivo principal. Desta forma,

inicialmente, é apresentada a lista com os objetivos que permitirão alcançar o objetivo principal mencionado anteriormente, exposto na tabela 10.

Tabela 10 - Lista de objetivos.

<b>Lista de objetivos</b>
Simples
Fiável
Produtivo
Seguro
Boa cadência
Relação custo-benefício
Operação fiável
Boas características operativas
Seguro para o ambiente
Fácil utilização
Fácil manutenção
Processo produção simples
Seguro para o operador
Preço acessível
Baixo custo manutenção
Fácil adaptação a diferentes peças

De seguida, tendo a lista de objetivos, pode-se definir os objetivos por categorias como é apresentado na tabela 11. Define-se um conjunto de objetivos principais sendo os restantes colocados na categoria mais adequada, ou seja, os objetivos secundários que permitirão alcançar os objetivos principais.

Tabela 11 - Reorganização da lista de objetivos por categoria.

<b>Relação Custo-benefício</b>	<b>Simplicidade</b>	<b>Fiabilidade</b>
Produtividade	Processo produção simples	Seguro
Boa cadência	Boas características operativas	Operação fiável
Preço acessível	Fácil utilização	Seguro para o ambiente
Baixo custo manutenção	Fácil manutenção	Seguro para os operadores
Fácil adaptação a diferentes peças		

Tendo os objetivos organizados pelas três categorias, que também são objetivos, pode-se elaborar a árvore de objetivos, ou seja, um diagrama com os diferentes objetivos conectados entre si de forma hierárquica. Assim obtêm-se a seguinte árvore de objetivos representada na figura 52.

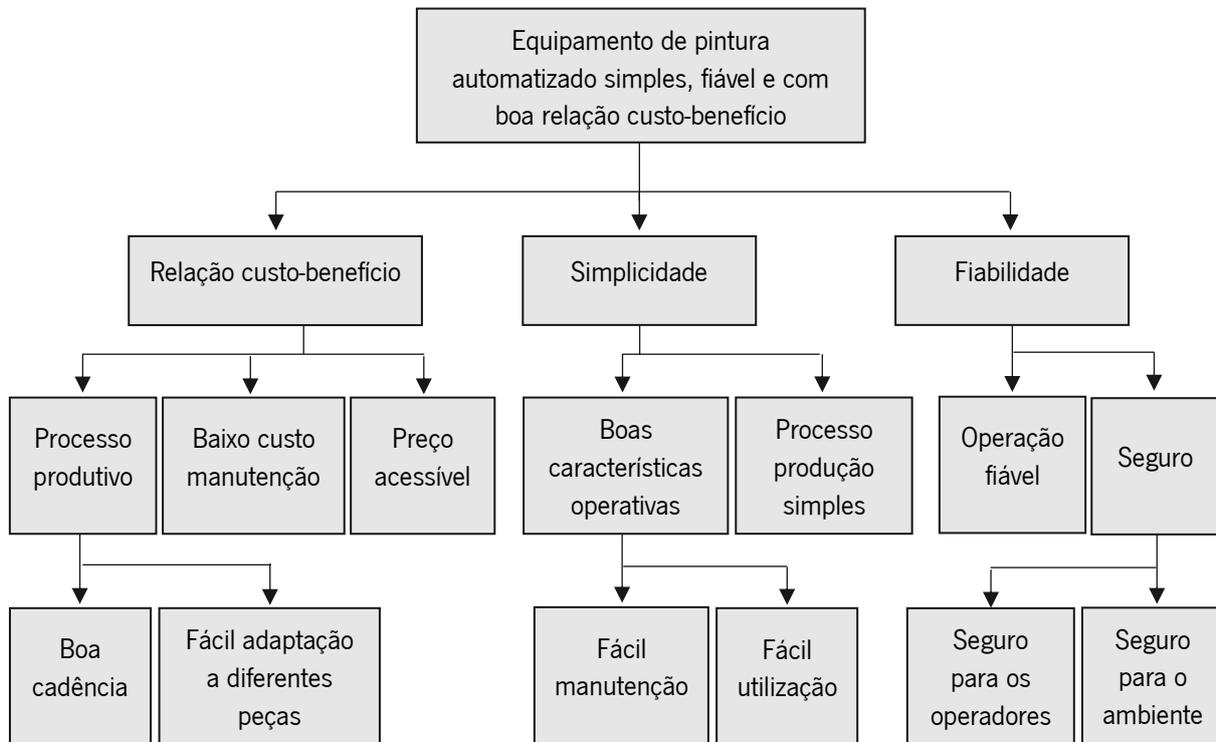


Figura 52 - Árvore de objetivos para equipamento de pintura automatizado.

Ao analisar a figura 52 pode-se realizar a leitura da árvore no sentido descendente ou ascendente. Caso seja analisada no sentido descende, do objetivo principal para objetivos secundários, uma ligação representa “como” o objetivo de maior relevância pode ser atingido. Se a análise for realizada no sentido ascendente, objetivos secundários para o principal, a ligação indica o porquê de utilizar objetivos de menor importância.

#### 4.2.2. DIAGRAMA DE FUNÇÕES DO PRODUTO

Atualmente existem inúmeras soluções no mercado para a automatização de processos industriais. Dentro de um vasto conjunto de soluções tem-se um conjunto de processos completamente automáticos e um conjunto de processos semiautomáticos, isto é, funções desempenhadas automaticamente e funções desempenhadas com o auxílio do trabalhador. Por forma a compreender o processo de pintura foi realizado o diagrama da análise de funções, inicialmente representada apenas a função global (caixa negra) e depois desenvolvido para subfunções e com o limite do sistema, representado na figura 53. No

diagrama é representado as entradas e saídas que representam fluxos de energia, material e sinais elétricos.

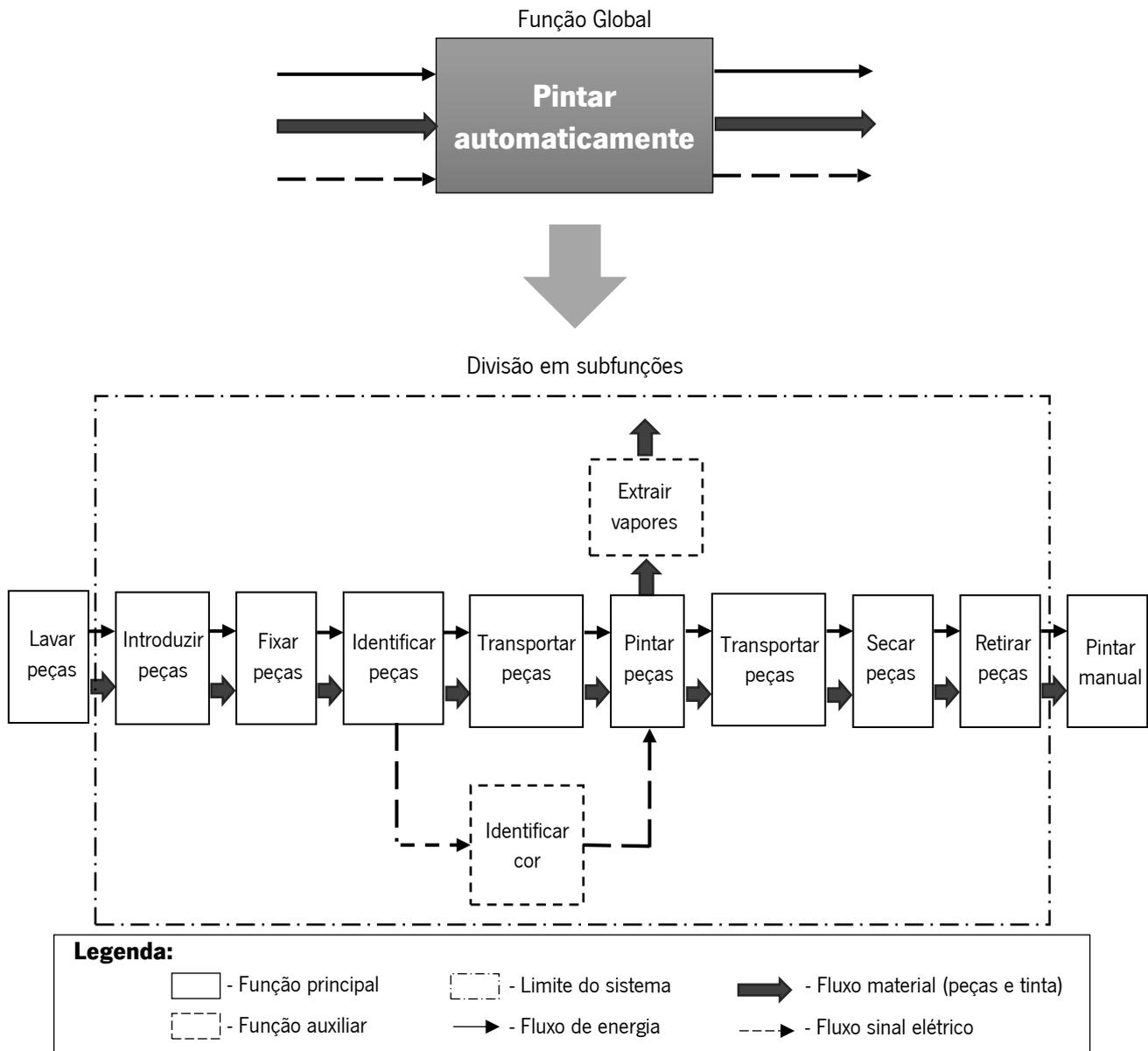


Figura 53 - Diagrama de análise de funções para função principal pintar automaticamente.

Analisando a figura 53 pode-se concluir que a função global de pintura de peças se divide em dez subfunções (oito subfunções principais e duas subfunções auxiliares) delimitadas por pelo retângulo a traço ponto (limite do sistema). Cada subfunção poderá ser descrita da seguinte forma:

- Introduzir peças: função responsável pela introdução das peças que chegam da lavagem na zona de pintura;
- Fixar peças: corresponde ao método utilizado para fixação das peças no equipamento responsável pelo transporte;
- Identificar peças: função de identificação de peças para definição da cor a pintar;

- Transportar peças: função de transporte das peças até à zona de pintura e depois da zona de pintura até à zona de retirar as peças;
- Pintar peças: função de pintura das peças;
- Secar peças: secagem da tinta, zona entre o final da pintura e a zona de retirar as peças;
- Retirar peças: função de retirar peças da zona de pintura;
- Identificar cor: função de identificação de cor, reconhecendo informação da identificação de peças e emitir um sinal para a função de pintura com a cor a pintar.;
- Extração vapores: função de eliminação dos vapores resultantes da pintura

O conjunto de subfunções eleitas resulta da análise detalhada do método de pintura adotado pela empresa, ou seja, após a análise cuidadosa do processo foi definido este conjunto de subfunções para uma possível solução robotizada tendo por base a forma como a pintura ocorre manualmente.

#### 4.2.3. ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

O presente subcapítulo, como o título indica, tem como objetivo estabelecer as especificações do produto, ou seja, as especificações que a empresa pretende para o produto final.

De seguida, é apresentada a lista de especificações, na tabela 12, estabelecida para o produto final bem como a distinção dos atributos. A distinção dos diferentes atributos consiste em definir os atributos que são exigidos, o produto final tem de ter determinada especificação obrigatoriamente, e os atributos que são desejados, atributos que não apresentam um carácter de obrigatoriedade.

Tabela 12 - Lista de especificações exigidas e desejadas.

E (exigido) ou D (desejado)	Especificação
E	1. Produto económico. Produto deverá ser economicamente o mais viável possível, ou seja, produto capaz de satisfazer as necessidades da empresa, mas ao mesmo tempo ser uma solução barata.
E	2. Boa cadência de produção. Produto capaz de superar a produção atual de produção em 15% a 25%.
D	3. Processo de produção simples. O processo de produção ser simples e eficiente. A prioridade é a automatização da pintura podendo funções como introduzir/retirar peças ser realizada por um funcionário.

Tabela 12 - Lista de especificações exigidas e desejadas (continuação)

E (exigido) ou D (desejado)	Especificação
E	<p>4. Processo adaptativo.</p> <p>O produto final deve ser capaz de permitir a utilização de diferentes tipos de tinta e pintar peças de diferentes dimensões e geometrias consoante devida adaptação do processo.</p>
D	<p>5. Manutenção fácil e barata.</p> <p>Produto deve apresentar sistemas e componentes mecânicos de manutenção simplificada e relativamente barata.</p>
E	<p>6. Processo de pintura com ar comprimido.</p> <p>O processo automático de pintura tem que utilizar ar comprimido pois a empresa já tem a instalação de ar nas suas instalações.</p>

Analisando a tabela 12 observa-se um conjunto de especificações para o produto final estabelecidas por parte da empresa, ou seja, o produto final deverá respeitar obrigatoriamente os atributos exigidos e se possível contemplar os objetivos desejados.

#### 4.2.4. MAPA MORFOLÓGICO

O método dos mapas morfológicos permite a criação de soluções para um possível produto final, ou seja, é um método que permite a identificação de novas combinações de diferentes elementos mecânicos que anteriormente ainda não existiam, podendo mesmo não ser possível a combinação. Este método pode ser utilizado também no redesenho e otimização de soluções já existentes.

Tendo as subfunções definidas, bem como a árvore de objetivos e as especificações do produto, pode-se recorrer ao método dos mapas morfológicos para identificar um conjunto de soluções possível para cada subfunção mencionada anteriormente. O conjunto de soluções para a solução final resulta da escolha de uma possível solução, por linha, para cada subfunção. Na tabela 13 está presente o mapa morfológico com possíveis soluções para cada subfunção.

Tabela 13 - Mapa morfológico de possíveis soluções.

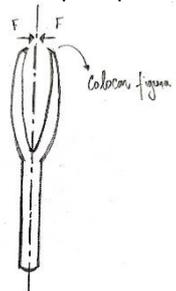
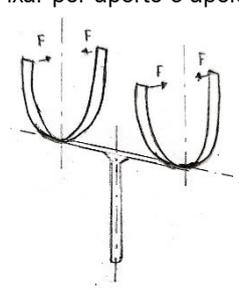
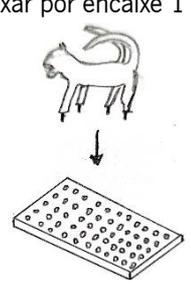
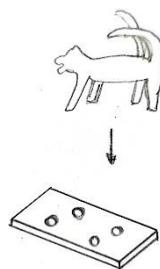
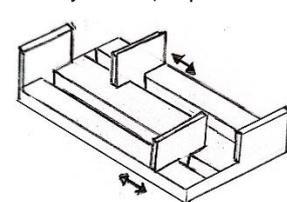
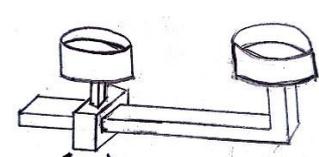
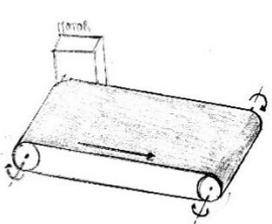
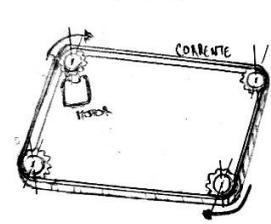
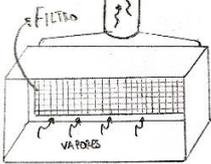
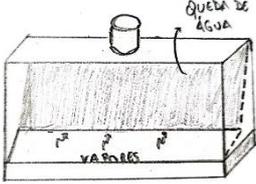
Solução		1	2	3
Subfunção		1	2	3
1	Introduzir peças	Manualmente por parte do operador	_____	_____
2	Fixar peças	1	2	3
		Fixar por aperto	Fixar por aperto e apoio	fixar por encaixe 1
				
		4	5	6
		Fixar por encaixe 2	Fixar com suporte ajustável, 4 patas	Fixar com suporte ajustável, 2 patas
				
7				
	Peça pendurada	_____		
				
3	Transportar peças	Tapete rolante	Corrente	Manualmente por parte do operador
				

Tabela 13 - Mapa morfológico de possíveis soluções (continuação).

Solução		1	2	3
Subfunção				
4	Identificar peças	Sensor ótico	Operador através da visão	_____
5	Identificar cor	Programa informático	Operador define a cor no display	_____
6	Pintar peças	Pistolas fixas	Braço robótico	Pistola com movimento linear
7	Extrair vapores	Cabine ventiladora de extração 	Cabine cortina de água 	_____
8	Secar peças	Processo natural	_____	_____
9	Retirar peças	Manualmente por parte do operador	_____	_____

Através do mapa morfológico apresentado na tabela 13 consegue-se estabelecer uma relação entre as diferentes soluções de cada subfunção que resulta num conjunto de soluções possíveis para o problema, ou seja, cada solução final é formada com uma possível solução de cada subfunção (por exemplo, uma solução possível seria 1-7-2-2-2-1-1-1-1, solução escolhida por ordem das subfunções). Algumas das combinações não são exequíveis pelo que não poderão ser consideradas como uma solução sendo dessa forma descartadas. Analisando o mapa morfológico pode-se selecionar para algumas subfunções a solução ideal que cumpre alguns dos requisitos, de salientar que algumas dessas soluções são consideradas por forma a tornar o produto final mais simples. Desta forma pode-se selecionar para algumas subfunções a solução, sendo que as subfunções que apresentam apenas uma solução a escolha está logicamente feita e, assim, as escolhas são:

- Subfunção – introduzir peças: realizada por um operador na zona destinada;

- Subfunções – identificar peças e cor: operação realizada pelo operador, ou seja, como a empresa pinta uma série de peças com a mesma cor de forma continua pode-se definir a cor e peça antes de se iniciar a pintura;
- Subfunção – extração de vapores: extração realizada por exaustor pois como a empresa já tem a instalação feita apenas necessita de uma adaptação para uma máquina de pintura automática;
- Subfunção – secar peças: as peças são secas à temperatura ambiente pois a empresa apenas tem necessidade de automatizar a pintura;
- Subfunção – retirar peças: tendo em conta a simplicidade desejada para o equipamento final a opção escolhida será retirar manualmente.

A escolha da solução para as subfunções fixar a peça, transportar a peça e pintar a peça não se revela de fácil escolha porque ambas as soluções cumprem o objetivo final desejado. Assim a escolha da solução para a subfunção fixar peça dependerá da solução escolhida para a subfunção transportar peça. Tendo em conta o mencionado anteriormente será apresentado de seguida o esboço de diferentes soluções possíveis.

A solução apresentada na figura 54 é composta por uma corrente que é responsável pelo movimento das peças e pistolas fixas responsáveis pela pintura bem como identificação das diferentes zonas de trabalho. Nesta solução as peças descrevem um movimento em circuito voltando ao ponto de partida e apresentam um movimento de rotação quando entram na zona de pintura.

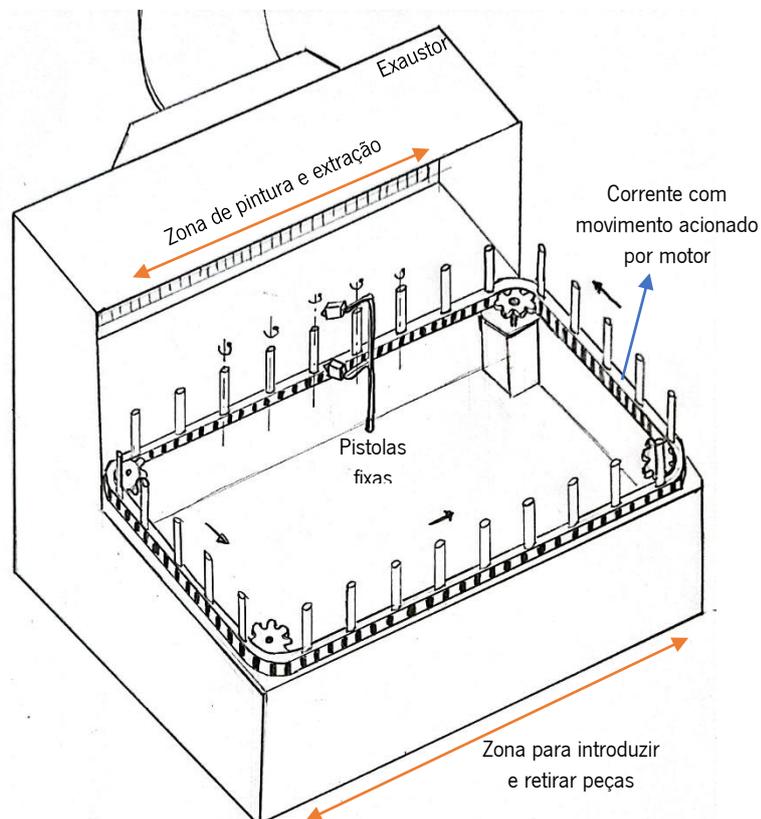


Figura 54 - Solução 1.1: Equipamento com movimento contínuo por corrente e pistolas fixas.

A opção mencionada no esboço da figura 54 pode sofrer algumas alterações e ser utilizada de outras formas. Uma alternativa é a alteração da forma como as figuras são pintadas, ou seja, pode-se recorrer à implementação de pistolas fixas nos dois lados da peça deixando de ser necessário o movimento de rotação da peça. Na figura 55 está presente um esboço de uma vista em corte da solução mencionada anteriormente.

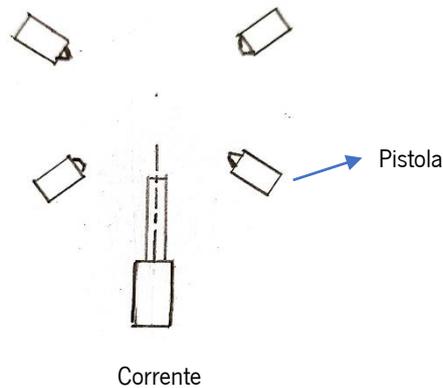


Figura 55 - Solução 1.2: Pintura com pistolas fixas nos dois lados da peça.

Para implementação da solução anterior seria necessário realizar a extração de vapores dos dois lados uma vez que haveria projeção de vapores de tinta para os dois lados. Outra possível solução para a pintura seria a utilização de pistola(s) com movimento de translação mantendo-se o movimento de rotação das peças e a corrente deixaria de ter um movimento contínuo pois teria que parar na zona de pintura pois o movimento seria realizado pela(s) pistola(s). Na figura 56 está presente o esboço da zona de pintura para esta solução.

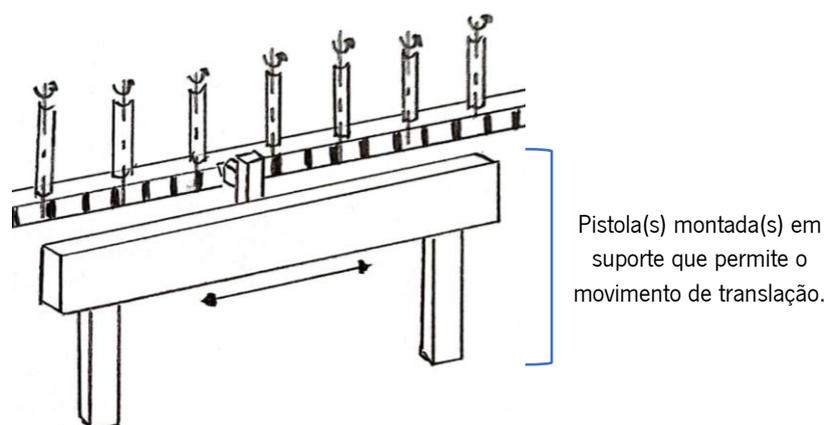


Figura 56 - Solução 1.3: Solução com movimento de translação da pistola(s).

Para além da utilização da corrente da forma mencionada nas soluções anteriores pode-se recorrer à utilização de forma invertida. Nesta solução o princípio de funcionamento é o mesmo sendo utilizado

pistolas fixas e as peças passam com movimento de rotação na zona de pintura para além do movimento imprimido pelo movimento da corrente. Esta solução está presente na figura 57.

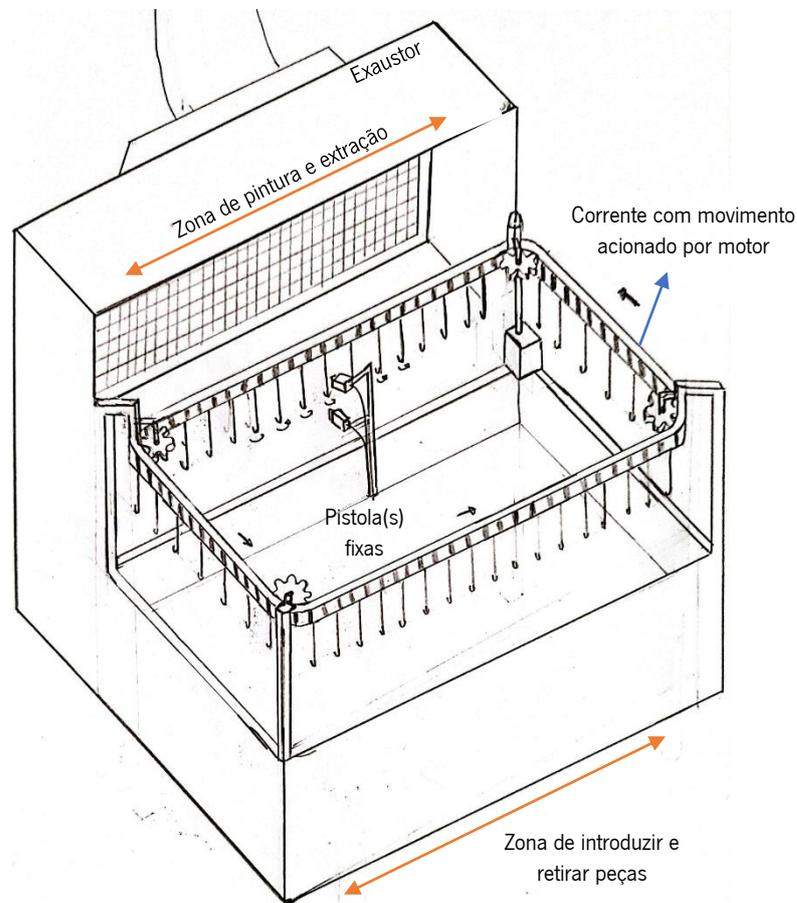


Figura 57 - Solução 2.1: Equipamento com movimento contínuo por corrente invertida e pistolas fixas.

Para esta configuração dos componentes também é possível realizar a alteração da forma como as peças são pintadas. Na figura 58 está presente uma configuração diferente que consiste na utilização de pistolas de pintura dos dois lados bem como deixa de ser necessário o movimento de rotação das peças. Porém é necessário a utilização de sistema de exaustão dos dois lados das peças aquando da pintura.

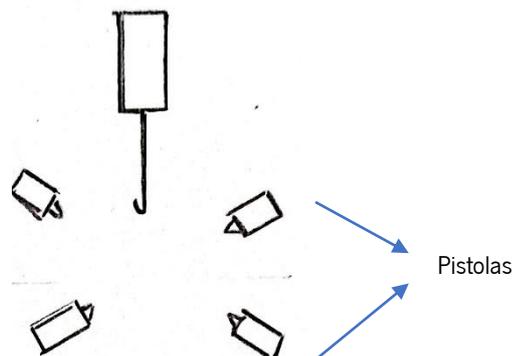


Figura 58 - Solução 2.2: Pintura com pistolas fixas nos dois lados da peça.

A outra alternativa às duas mencionadas anteriormente é a utilização de pistola(s) com movimento de translação e as peças com movimento de rotação, esta solução encontra-se presente na figura 59.

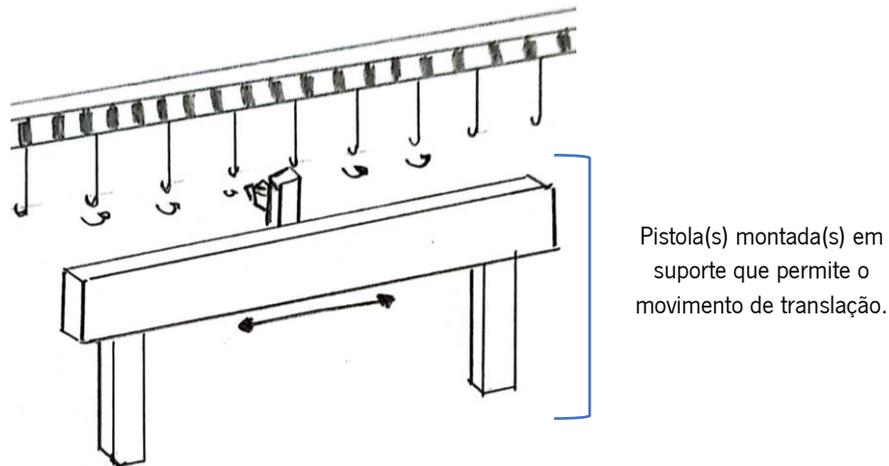


Figura 59 - Solução 2.3: Solução com movimento de translação da pistola(s).

Para além da utilização da corrente para a subfunção de transportar a peça pode ser utilizado o tapete rolante. Desta forma na figura 60 está presente um esboço de uma solução com utilização de tapete rolante. Nesta solução o movimento é promovido pelo tapete sendo, posteriormente, a peça pintada numa zona com pistolas devidamente posicionada.

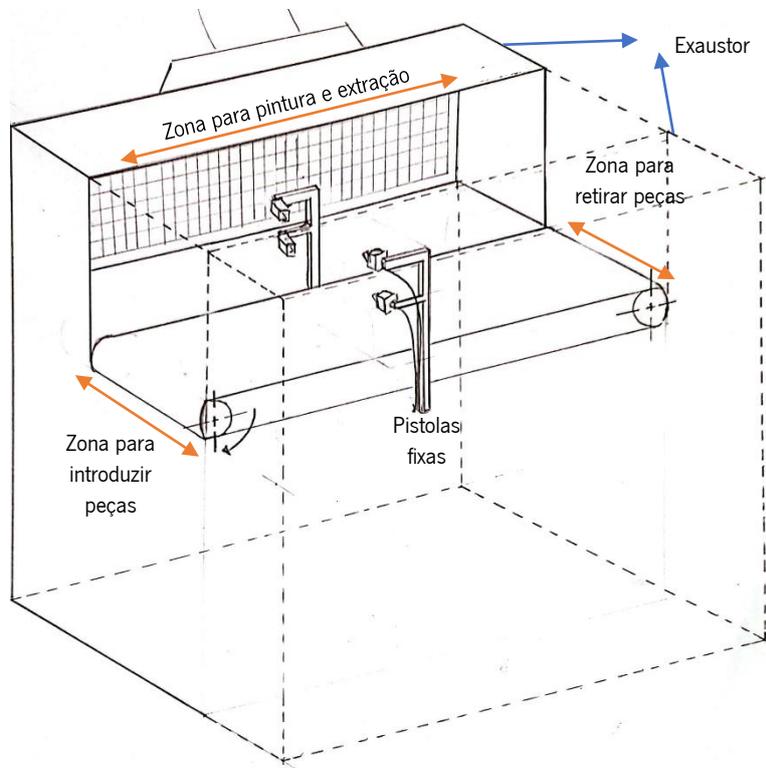


Figura 60 - Solução 3.1: Equipamento de pintura com tapete rolante e pistolas fixas.

Em alternativa à solução apresentada na figura 60 pode-se realizar a pintura de diferente forma utilizando pistolas com movimento de translação que percorrem um conjunto de peças, peças que param por paragem do tapete quando se encontram na zona de pintura. Esta alternativa está representada no esboço presente na figura 61.

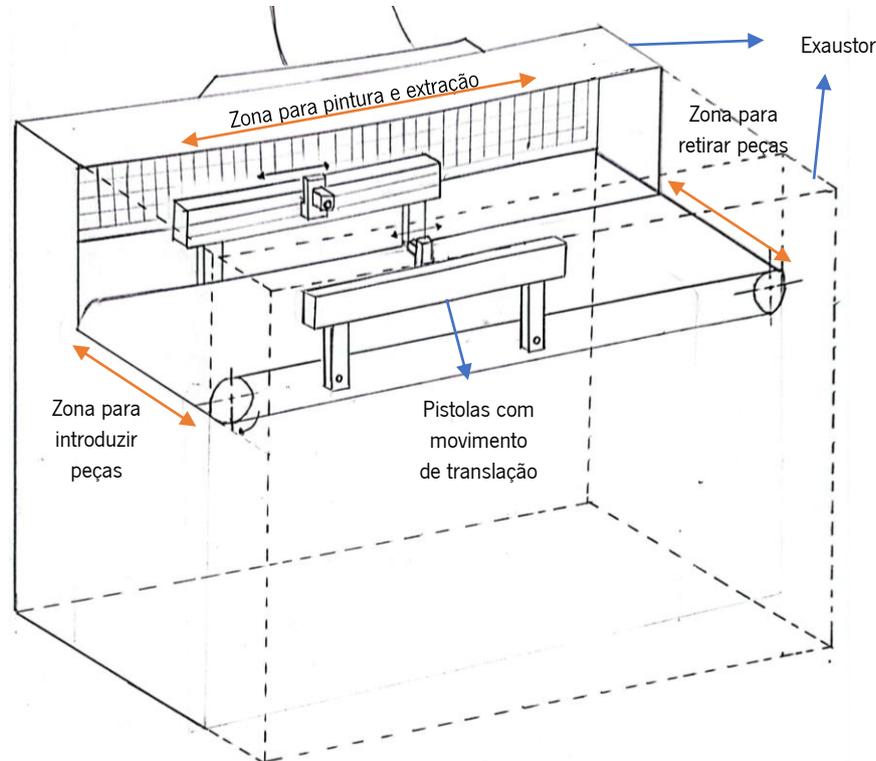


Figura 61 - Solução 3.2: Equipamento de pintura com tapete rolante e pistolas com movimento de translação.

Desta forma, destaca-se um conjunto de 8 possíveis soluções finais. A fixação das peças no componente responsável pelo transporte depende da solução final adotada. Na tabela 14 está presente para cada solução final mencionada anteriormente a melhor solução para fixação das peças tendo em conta a quantidade de material utilizado e a posterior necessidade de retocar a peça no final.

Tabela 14 - Formas possíveis de fixar a peça para cada solução final.

<b>Fixar peça</b>	<b>Número da solução</b>
<b>Solução final</b>	
Solução 1.1.	1- Fixar por aperto ou 2- fixar por aperto e apoio
Solução 1.2.	1- Fixar por aperto ou 2- fixar por aperto e apoio
Solução 1.3.	1- Fixar por aperto ou 2- fixar por aperto e apoio
Solução 2.1.	7- Pendurar

Tabela 14 - Formas possíveis de fixar a peça para cada solução final (continuação).

<b>Fixar peça</b>	<b>Número da solução</b>
<b>Solução final</b>	
Solução 2.2.	7- Pendurar
Solução 2.3.	7- Pendurar
Solução 3.1.	1- Fixar por aperto, 2- fixar por aperto e apoio ou 3- fixar por encaixe
Solução 3.2	1- Fixar por aperto, 2- fixar por aperto e apoio ou 3- fixar por encaixe

Analisando a tabela 14 conclui-se que existe um conjunto de diferentes soluções para as soluções número 1 e para as soluções número 3. Para as soluções 1 qualquer uma das opções revela-se viável tendo em conta que não irá ocupar muita área superficial da peça aquando a pintura podendo numa fase posterior ser retocada rapidamente. Para a solução 3 a opção de fixar por encaixe pode ser descartada uma vez que irá obstruir muita área superficial aquando da pintura e para sua utilização seria necessário alterar o molde utilizado na injeção das figuras, e para a utilização das outras duas soluções seria necessária uma adaptação para realizar o transporte apoiado no tapete. Para a solução final número 2, em qualquer das versões, apenas se tem como opção para fixação a de pendurar.

#### **4.2.5. AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES ALTERNATIVAS**

Como se pode verificar pelo subcapítulo anterior recorreu-se aos mapas morfológicos para encontrar possíveis soluções para o produto final. Neste subcapítulo, avaliação das soluções alternativas, será realizado a avaliação de cada solução consoante os objetivos pré-estabelecidos.

Assim, para proceder à escolha da melhor solução será realizado um procedimento conhecido como o método dos objetivos ponderados que consiste em realizar um conjunto de passos racionais para avaliação das soluções encontradas anteriormente. Como foi realizada a árvore de objetivos anteriormente não é necessário realizar a lista de objetivos nem a ordenação da mesma, podendo ser atribuído pesos relativos a cada objetivo conforme o seu grau de importância. Desta forma, na figura 62 está presente a árvore de objetivos com os respetivos pesos relativos por objetivo, cada objetivo apresenta dois valores para os pesos relativos. O valor da esquerda representa o peso relativo desse objetivo em relação a objetivos do mesmo nível e o valor da direita representa o peso do objetivo em relação ao objetivo global. A soma final dos pesos relativos atribuídos aos diferentes objetivos é igual a 1.

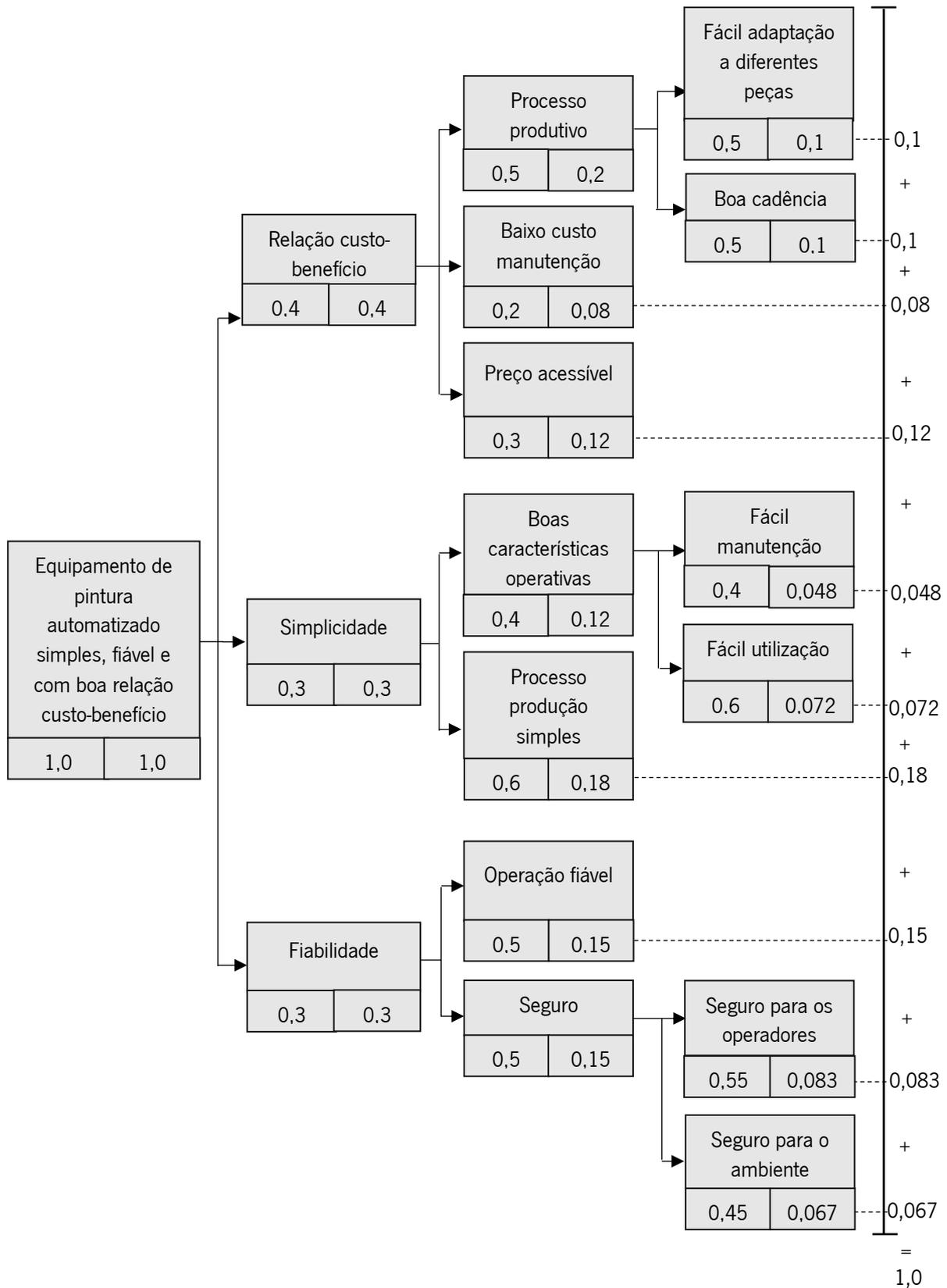


Figura 62 - Árvore de objetivos com os pesos relativos.

Realizada a atribuição dos pesos relativos aos diferentes objetivos, diferenciando-os por grau de importância, pode-se realizar a atribuição de valores de 0 a 10 para cada solução encontrada através dos mapas morfológicos, ou seja, para cada solução é atribuído em cada objetivo um valor consoante o grau de satisfação desse objetivo no equipamento idealizado. O valor 0 representa que o equipamento não respeita o respetivo objetivo e o valor 10 que o equipamento respeita o objetivo. Na tabela 15 está presente a avaliação das diferentes soluções consoante os objetivos.

Tabela 15 - Atribuição de valores para cada solução por objetivo.

<b>Solução</b>									
		<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>	<b>2.2</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>
<b>Objetivo / Peso</b>									
Fácil adaptação a diferentes peças	0,1	9	9	9	10	10	10	8	8
Boa cadência	0,1	9	9	8	9	9	8	7	7
Baixo custo manutenção	0,08	8	7	7	8	7	7	7	7
Preço acessível	0,12	9	7	6	7	7	6	7	6
Fácil manutenção	0,048	9	6	6	9	6	6	6	6
Fácil utilização	0,072	8	8	8	8	8	8	7	7
Processo produção simples	0,18	9	8	7	9	8	7	7	7
Operação fiável	0,15	8	8	8	8	8	8	7	7
Seguro para os operadores	0,083	10	10	10	10	10	10	10	10
Seguro para o ambiente	0,067	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>8,848</b>	<b>8,204</b>	<b>7,804</b>	<b>8,708</b>	<b>8,304</b>	<b>7,904</b>	<b>7,502</b>	<b>7,382</b>

Analisando a tabela 15 conclui-se que as soluções que apresentam o tapete rolante como meio de transporte (solução 3.1 e 3.2) são as menos classificadas, isto porque para a sua utilização seria necessário utilizar um suporte para transportar as peças, ou seja, um suporte capaz de fixar as peças e ao mesmo tempo capaz de ficar apoiado no tapete. Tendo este ponto em consideração as soluções têm menor classificação pois seria necessário um maior investimento inicial e a cadência seria menor pois o processo de introduzir e retirar peças seria mais demorado.

Continuando a análise, observa-se também que dentro das soluções com o mesmo meio de transporte, as soluções que utilizam um maior número de pistolas fixas ou pistolas com movimento de translação e a necessidade de sistema de exaustão dos dois lados apresentam menor classificação pois será necessário um investimento maior e um custo de manutenção maior. Para além disso, será necessária a utilização de sistema de exaustão dos dois lados.

Concluindo, existem duas soluções com classificação próxima, soluções 1.1. e 2.1, que se distinguem pelo método de fixação. A solução 2.1 apresenta um método de fixação mais abrangente, pode ser adaptado facilmente para todas as peças, e depois os retoques da pintura na zona inicialmente fixa será menor. Porém, para a implementação desta solução seria necessário um maior investimento inicial uma vez que seria mais complicado a conexão mecânica entre o componente responsável pela fixação da peça e a corrente utilizada para o movimento e seria necessária uma estrutura mecânica maior para suportar a corrente numa posição mais elevada.

### **4.3. MODELAÇÃO 3D DA SOLUÇÃO FINAL**

No presente capítulo será apresentada a modelação 3D dos componentes que constituem a solução encontrada anteriormente. Iniciando pela estrutura de suporte, seguida da modelação 3D do componente de fixação da peça e componentes que promovem o movimento das peças e, por fim, a modelação do componente responsável pela fixação e posicionamento da(s) pistola(s) de pintura.

#### **4.3.1. ESTRUTURA DE SUPORTE**

A estrutura de suporte é responsável por suportar todos os componentes que constituem o equipamento da totalidade. No caso em questão, a estrutura é responsável por servir de base à instalação da corrente, responsável pelo movimento das peças em circuito fechado, circuito que proporciona a passagem das peças pela zona de pintura. Para além de servir de apoio para a corrente, a estrutura é responsável ainda por servir de suporte para a montagem da correia responsável por imprimir movimento de rotação nas peças quando estão na zona de pintura. Finalmente, a estrutura serve de suporte para dois motores, um responsável por movimentar a corrente e outro responsável por movimentar a peça já na zona de pintura. Na figura 63 pode-se observar a constituição da estrutura metálica modelada que serve de suporte a todos os componentes.

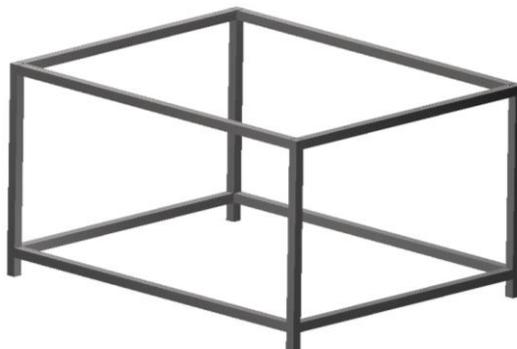


Figura 63 - Estrutura metálica.

Tendo a modelação da estrutura metálica base, pode-se realizar a modelação e montagem das chapas metálicas que constituem a base, o topo e as laterais. De salientar que nas laterais de menor comprimento é instalada uma porta que permite o acesso ao interior da estrutura. Na figura 64 é apresentado a estrutura final com todos os componentes da estrutura.



Figura 64 - Estrutura final com todos os componentes.

Por forma a tornar mais perceptível os componentes que constituem a estrutura são apresentados na figura 65 uma vista explodida da estrutura bem como umas caixas de texto com pequenas notas.

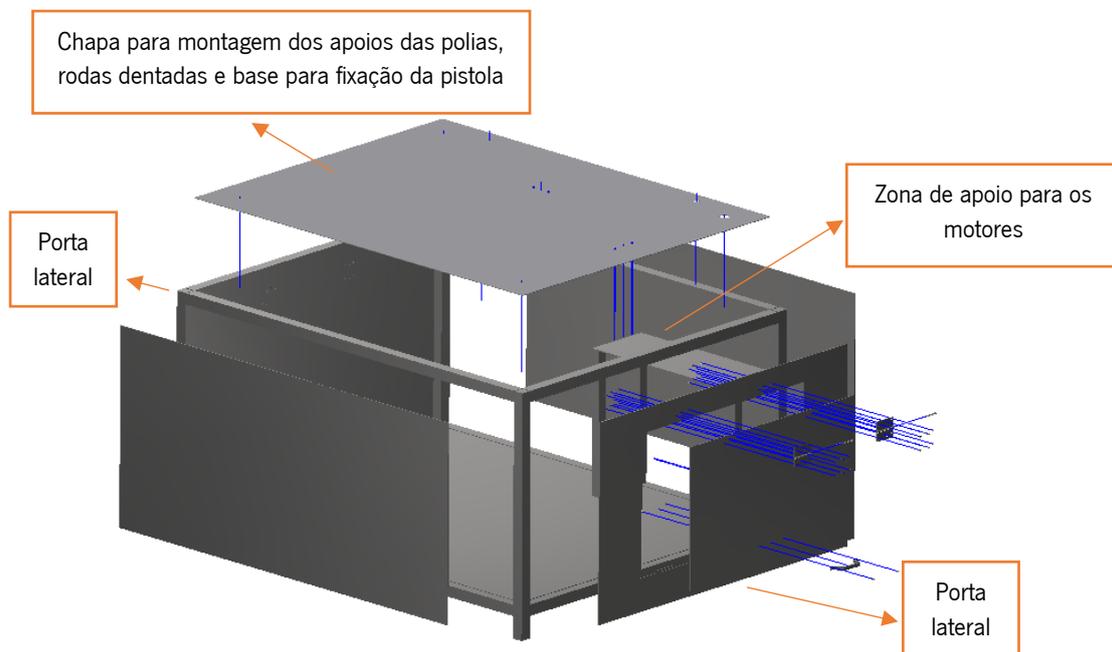


Figura 65 - Vista explodida da estrutura de suporte.

#### 4.3.2. COMPONENTE PARA FIXAÇÃO DA PEÇA

Este componente é responsável pela fixação da peça antes de introduzir a peça na corrente para que ocorra a pintura. O componente consiste em fixação por aperto, ou seja, o componente é introduzido e é fixado devido a uma força de aperto no corpo da peça. Na figura 66 está presente o componente responsável pela fixação da peça e pequenas notas de explicação.

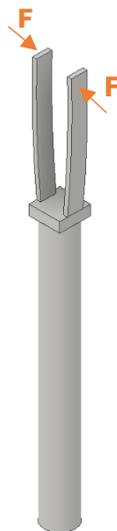


Figura 66 - Componente responsável pela fixação da peça.

Para completar a interpretação do componente é apresentado na figura 67 um desenho técnico com vistas, por forma, a compreender-se a existência de um furo com secção quadrada que servirá para introdução do componente na corrente responsável pelo movimento.

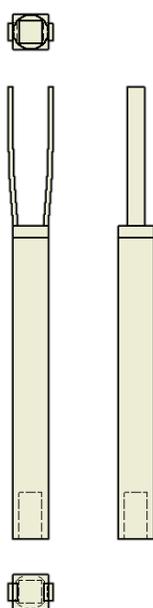


Figura 67 - Desenho 2D do componente de fixação da peça.

### 4.3.3. COMPONENTES PARA MOVIMENTO DA PEÇA

Neste subcapítulo, serão apresentadas as etapas desenvolvidas para a modelação dos componentes necessários para a obtenção dos movimentos desejados, movimento de translação entre as diferentes zonas de operação e movimento de rotação da peça na zona de pintura.

#### 4.3.3.1. DIMENSIONAMENTO DA CORREIA

Para realização dos dois movimentos é necessário a modelação de dois componentes distintos. Para realização do movimento de rotação das peças na zona de pintura, realizou-se o dimensionamento de uma correia através do *software Inventor*. Desta forma, procedeu-se à escolha do tipo de correia e posicionamento das polias à distância desejada como se pode verificar na figura 68. A distância entre a polia 1 e 2 representa a área de pintura das peças, onde o suporte das peças ao entrar em contacto com a correia ganhará movimento de rotação.

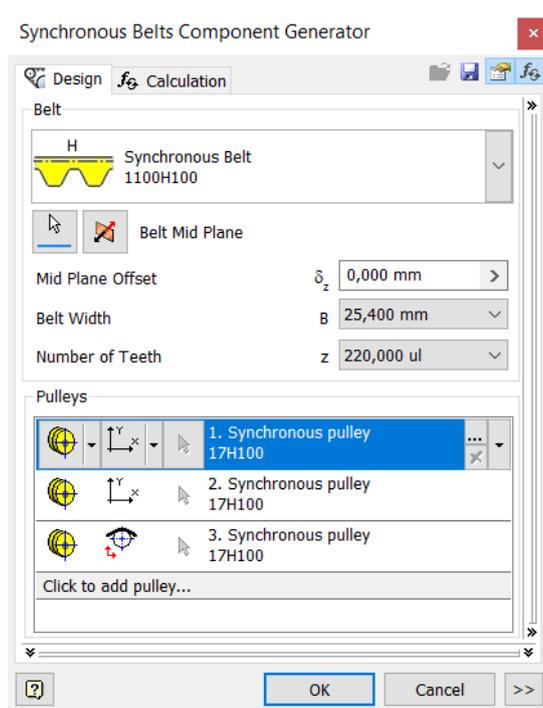


Figura 68 - Seleção da correia e polias.

Como se pode analisar na figura 68, a correia escolhida foi a correia trapezoidal de perfil H, sendo uma correia síncrona com dentes de um lado com um total de 220 dentes e uma largura igual a 25,4 mm. Após realizada a escolha de todos os parâmetros, resultou na correia que se encontra modelada na figura 69.

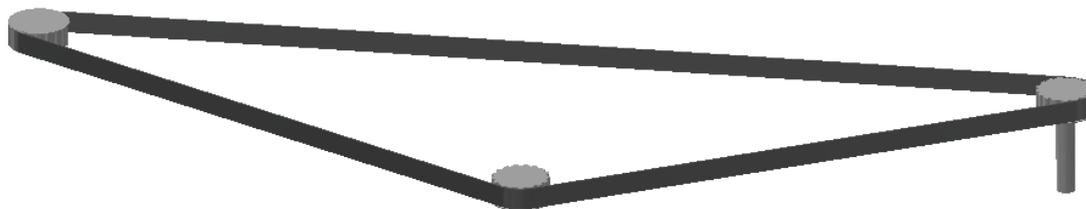


Figura 69 - Modelação 3D da correia.

Desta forma, a modelação resulta numa correia e três polias, duas com eixo fixo e uma com eixo móvel para montagem da correia. Na figura 70 está presente uma vista explodida da montagem da polia no eixo móvel, sendo a montagem dos eixos fixos idêntica. No eixo móvel é montado um rolamento e, posteriormente, a polia é montada no rolamento. Finalmente, o eixo móvel encontra-se numa estrutura que permite o seu movimento linear, sendo fixada a posição final por dois parafusos.

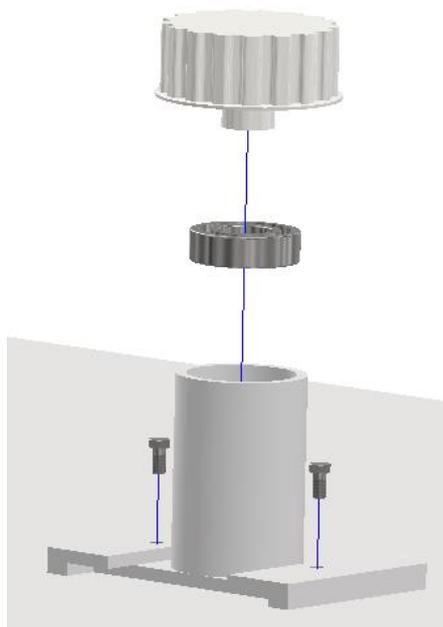


Figura 70 - Vista explodida da montagem da polia no eixo móvel.

Para ligação do eixo do motor à polia motora recorre-se a uma união de veios flexível para o caso de existir desalinhamentos paralelo e/ou axial.

#### 4.3.3.2. DIMENSIONAMENTO DA CORRENTE

Para realização do movimento responsável por fazer a peça mover-se pelas diferentes zonas, zona de carregamento, zona de pintura e zona de descarregamento foi escolhida uma corrente. Desta forma, uma vez mais, recorreu-se ao *software Inventor* para realização do dimensionamento da mesma. Assim na figura 71 está presente os parâmetros escolhidos para dimensionamento da corrente, que faça com que as peças percorram as diferentes zonas.

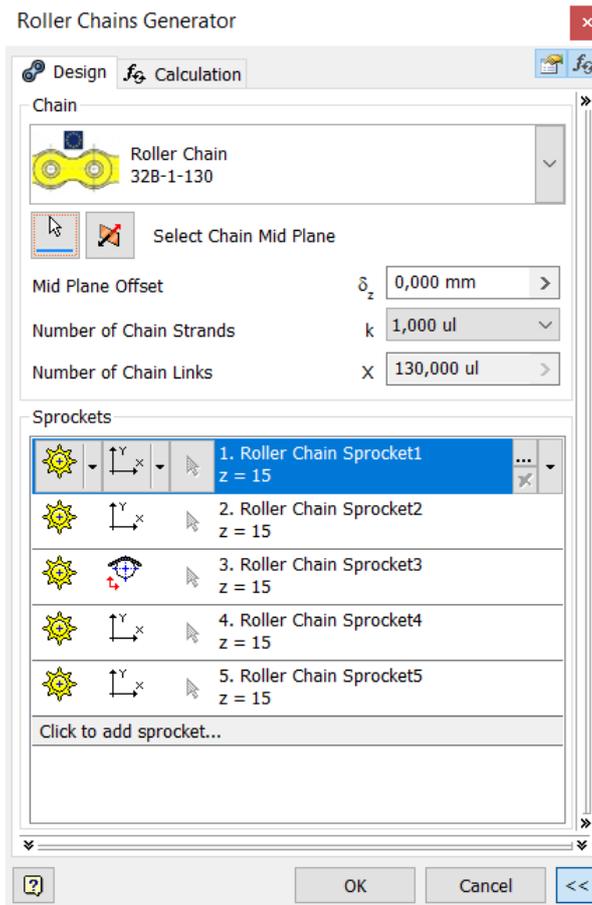


Figura 71 - Seleção da corrente e rodas dentadas.

Analisando a figura 71, a corrente escolhida foi a corrente número 32B-1 segundo a norma ISO 606:2004 com 130 de elos. Com estes elementos definidos e com os elos das correntes modelados, modelou-se a corrente com as respectivas rodas dentadas presentes na figura 72. Sendo quatro rodas dentadas de eixo fixo e uma com eixo móvel para permitir a montagem da corrente.



Figura 72 - Modelação da corrente e das rodas dentadas.

Tal como na correia, para montagem da corrente existe um eixo móvel. Desta forma, tem-se quatro eixos fixos e um eixo móvel. A montagem das rodas dentadas ocorre de forma idêntica à mencionada anteriormente para as polias. Na figura 73 está presente a vista explodida da montagem da roda dentada no eixo móvel, sendo a montagem nos eixos fixos semelhante. De igual forma inicia-se a montagem do rolamento no apoio e, seguidamente, da roda dentada no rolamento. Após montagem da corrente o eixo móvel é fixo por dois parafusos.

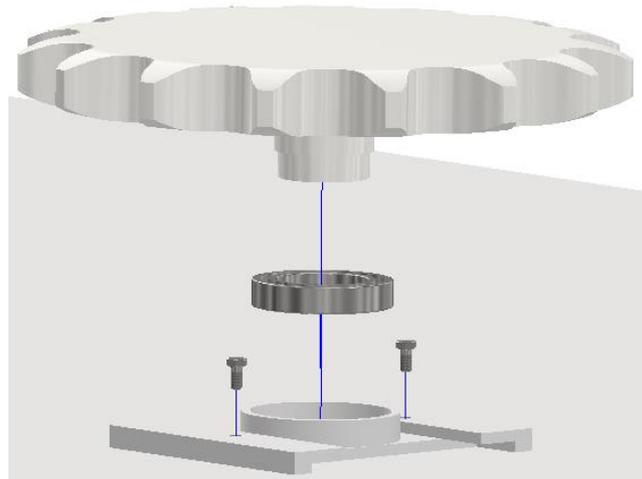


Figura 73 - Vista explodida da montagem da roda dentada no eixo móvel.

Como mencionado para a correia, o mesmo se aplica para a ligação da roda dentada motora ao eixo do motor, ou seja, utilização de uma união de veios flexível para compensar desalinhamentos paralelo e/ou axial.

Na figura 74 pode-se observar o conjunto de apoios, apoios das polias e apoios das rodas dentadas instalados na chapa superior da estrutura.

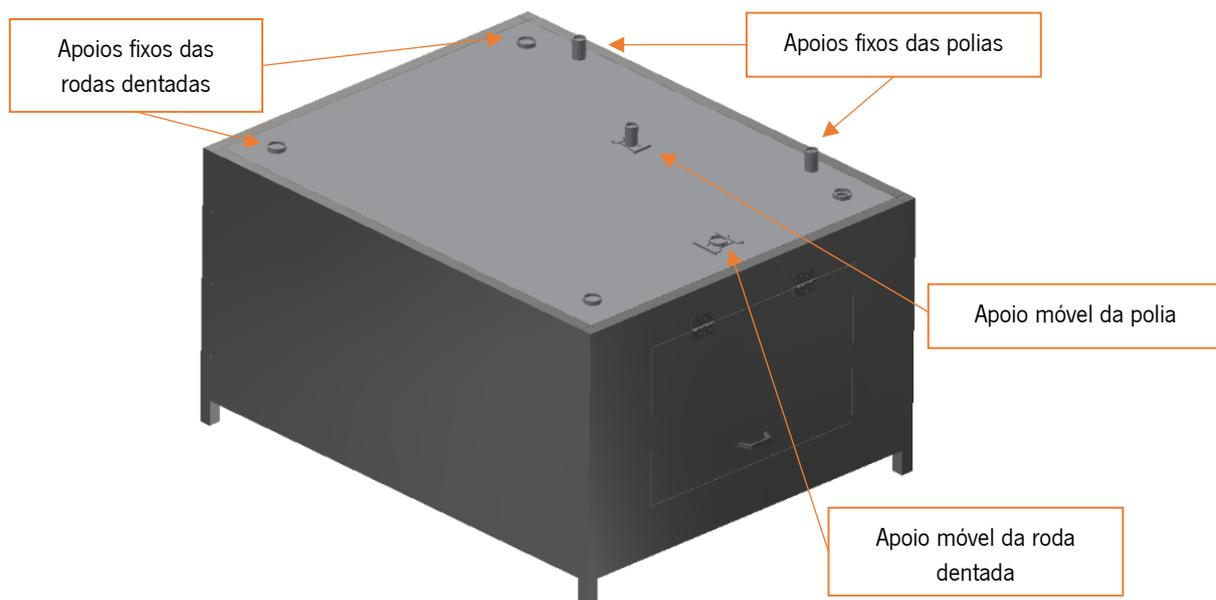


Figura 74 – Estrutura com apoios das polias e rodas dentadas.

#### 4.3.3.3. DIMENSIONAMENTO DO CONJUNTO DE PEÇAS PARA O MOVIMENTO DE ROTAÇÃO DA PEÇA

Com a modelação da correia e da corrente, elementos fundamentais para realização dos movimentos, torna-se necessário proceder a uma alteração nos elos da corrente para que a peça possa ser fixada e, em simultâneo, proporcionar o movimento de rotação quando em contacto com a correia. Assim, procedeu-se a uma alteração nos elos, criação de pequenos pinos, como se pode observar na figura 75.

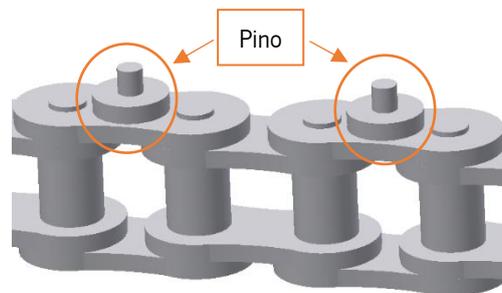


Figura 75 - Alteração nos elos da corrente.

No pino, observável na figura 75, será aplicado um rolamento que permitirá a rotação da peça na zona de pintura, posteriormente será aplicado no rolamento um componente que fará a ligação entre o rolamento e o componente responsável por fixar a peça. Tendo por base a informação mencionada anteriormente, na figura 76 pode-se observar uma vista explodida do conjunto de componentes que permitirão a rotação da peça.

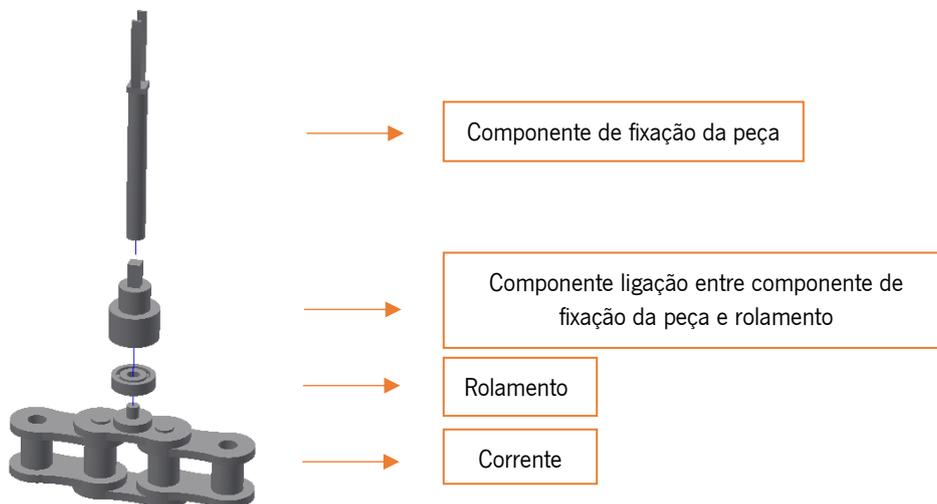


Figura 76 - Vista explodida e identificação dos componentes

#### 4.3.3.4. DIMENSIONAMENTO DOS ROLAMENTOS

Os rolamentos a utilizar no sistema modelado servirão de apoio às rodas dentadas, às polias e do conjunto de fixação das peças. Os rolamentos para as rodas dentadas e polias, estarão sujeitos a cargas axiais e radiais, radiais devido à força que a corrente exercerá na roda dentada e que a correia exercerá na polia e, axiais devido ao peso das rodas dentadas e polias. Assim estarão sujeitos a uma carga

combinada. O mesmo se sucede nos rolamentos que suportam o conjunto de fixação das peças, carga axial devido ao peso do conjunto e da peça e radiais devido à força que a correia imprimirá quando as peças se encontram na zona de pintura. De forma geral pode-se admitir que as cargas a que os rolamentos estarão sujeitos são leves/médias. Na tabela 16 encontra-se uma síntese da capacidade dos diferentes rolamentos suportarem as cargas.

Tabela 16 - Capacidade dos diferentes tipos de rolamentos suportarem as cargas (Gomes & Dourado, 2019).

Tipo de rolamento	Tipo de carga					
	Radial			Axial		
	Leve	Média	Forte	Leve	Média	Forte
Rolamento rígido de esferas, uma carreira		✓		✓		
Rolamento rígido de esferas, duas carreiras		✓			✓	
Rolamento de uma carreira de esferas de contacto angular	✓					✓
Rolamento de esferas de quatro pontos de contacto	✓					✓
Rolamentos de esferas de contacto angular, duas carreiras		✓			✓	
Rolamento autocompensador de esferas	✓			✓		
Rolamento de uma carreira de rolos cilíndricos			✓	✓		
Rolamento de uma carreira de rolos cónicos			✓			✓
Rolamentos de rolos cónicos			✓			✓
Rolamento autocompensador de rolos			✓		✓	
Rolamento axial de esferas de escora simples	Nula				✓	
Rolamento axial autocompensador de rolos	✓					✓

Pela tabela 16 conclui-se que dentro de uma vasta gama de rolamentos existentes e que no projeto em questão as forças são médias/leves um possível rolamento para o problema em questão é o rolamento rígido de esferas, uma carreira.

#### 4.3.3.5. CONJUNTO FINAL PARA MOVIMENTOS

Com estes componentes, é possível proceder à montagem de todos os componentes que promovem os dois movimentos desejados para as peças. Na figura 77 está presente a montagem dos componentes que transmitem o movimento desde o motor até à peça a pintar.

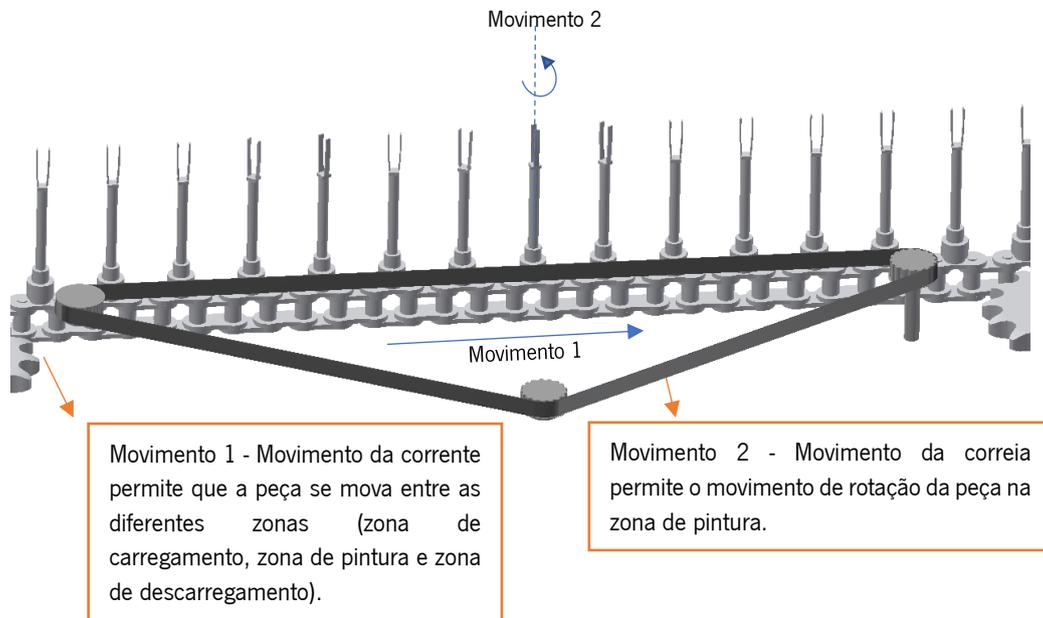


Figura 77 - Montagem dos componentes que criam o movimento das peças.

#### 4.3.4. SUPORTE DA PISTOLA DE PINTURA

O suporte da pistola de pintura consiste num conjunto de componentes que permite estabelecer a posição fixa da pistola para a pintura das peças. Como as peças pintadas não apresentam a mesma geometria torna-se relevante a criação de um suporte capaz de ser ajustável, ou seja, um suporte que permita o posicionamento da pistola em diferentes posições. A pistola montada na última haste apresenta ainda movimento de rotação. Na figura 78 está presente o componente completo para fixação da pistola e as direções possíveis para ajuste.

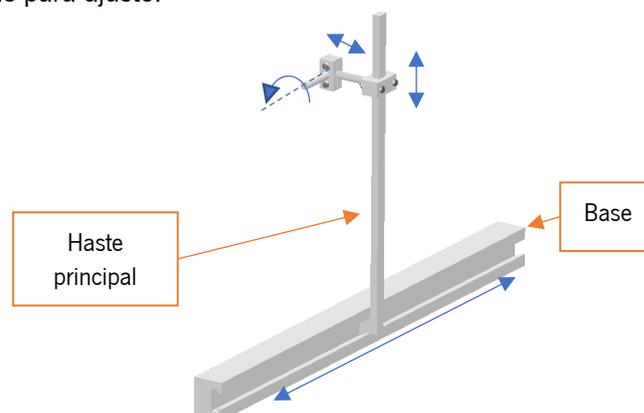


Figura 78 - Suporte ajustável para a pistola.

Para fixação das hastes menores na haste principal é utilizado dois parafusos por haste para o efeito como se pode observar na figura 79, representação de uma vista explodida. As restantes hastes são fixas pelo mesmo método.

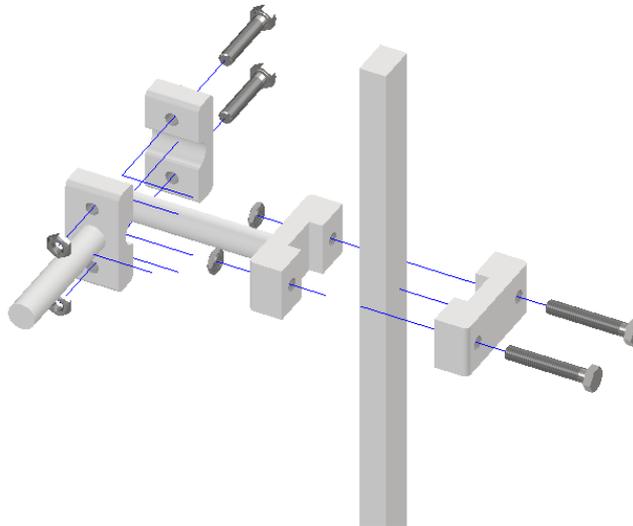


Figura 79 - Vista explodida, fixação das hastes na haste principal.

Para além dos movimentos de ajuste que o suporte permite realizar, é possível a implementação de mais de uma pistola na mesma haste ou posicionar mais um conjunto de pistolas paralelamente como se pode observar na figura 80.

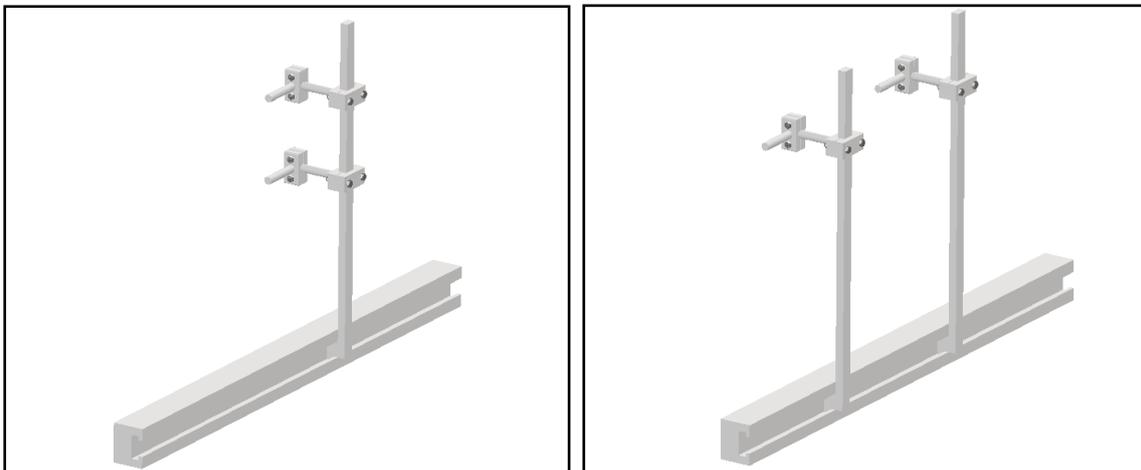


Figura 80 - Implementação de duas pistolas na mesma haste (à esquerda) e implementação de outra haste (à direita).

A instalação deste conjunto de componentes consiste na montagem da base de fixação na chapa superior da estrutura, como se pode verificar na figura 81. Posteriormente a haste principal tem um ajustamento deslizante que permite mudar a sua posição.

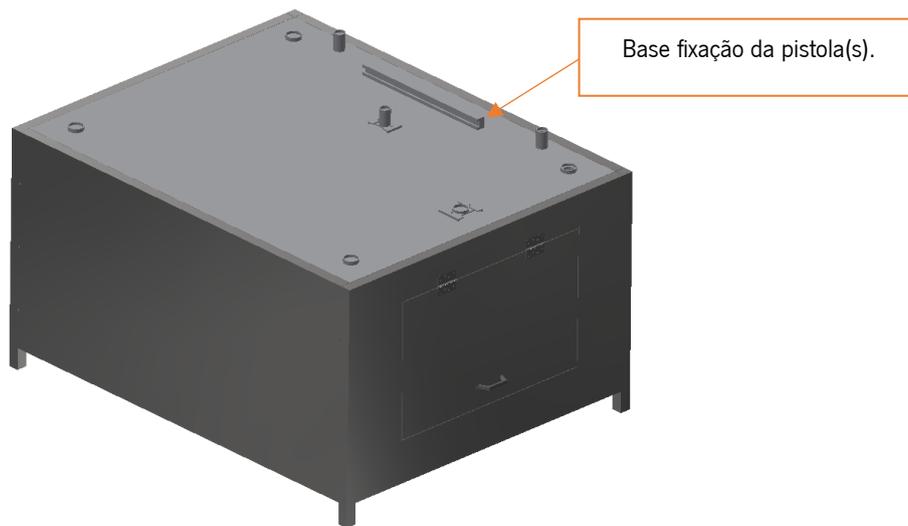


Figura 81 - Estrutura final com base de fixação da pistola.

#### 4.3.5. SOLUÇÃO FINAL COMPLETA

Com todos os componentes modelados pode-se proceder à montagem de todos os componentes. Desta forma, na figura 82 está representada a montagem final de todos os componentes, ou seja, a estrutura, componente de fixação da peça, componentes responsáveis pelos movimentos das peças e componente de fixação da pistola.

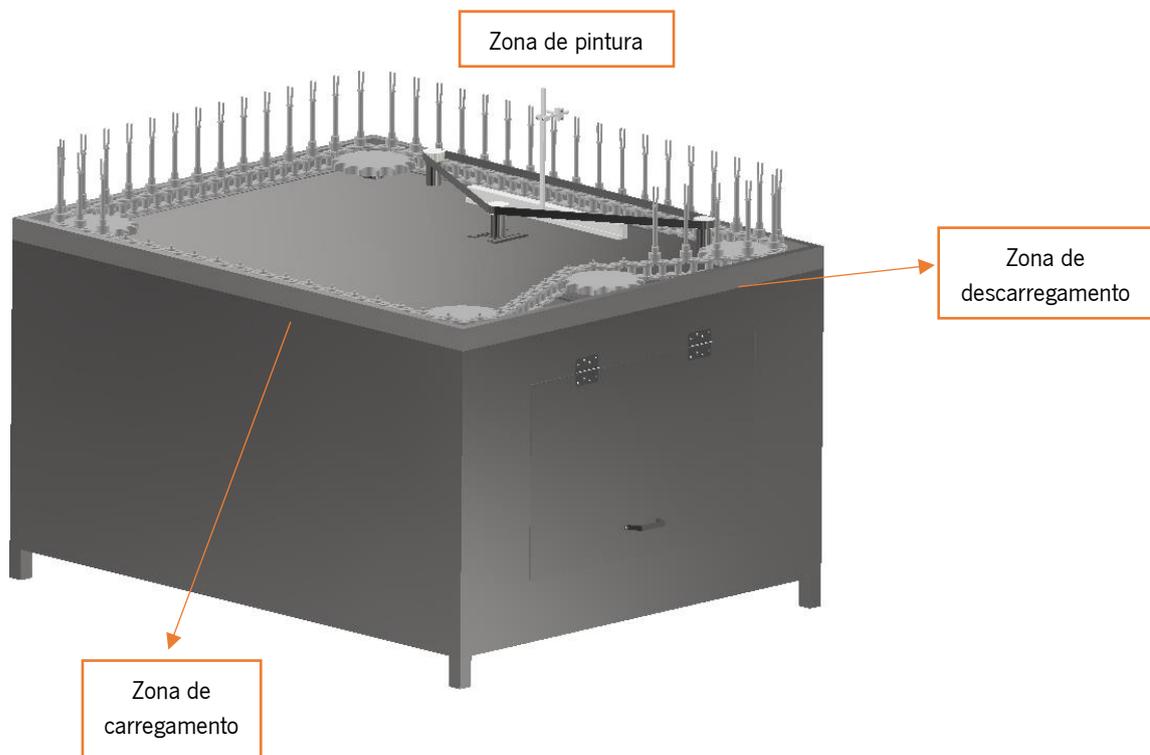


Figura 82 - Equipamento modelado.

Com o equipamento de pintura modelado pode-se realizar a sua adaptação a um exaustor já existente nas instalações da empresa, resultando em algo como representado na figura 83.

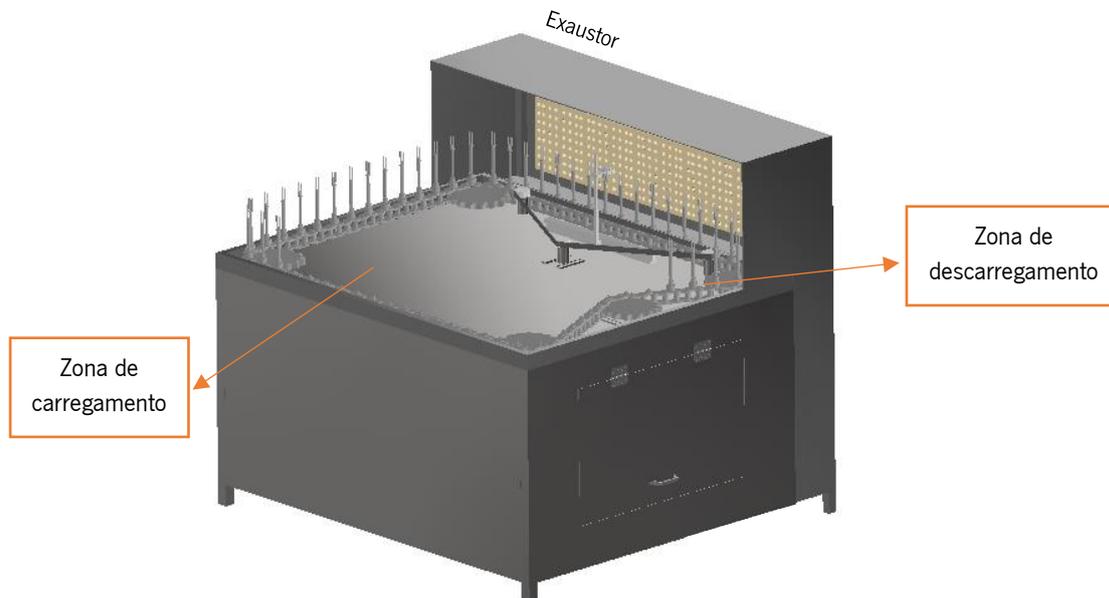


Figura 83 - Equipamento adaptado a sistema de exaustão.

#### 4.4. OTIMIZAÇÃO DA SOLUÇÃO FINAL

No presente subcapítulo, otimização da solução final, serão abordados alguns aspetos fundamentais para complementar a solução final modelada no subcapítulo anterior. Desta forma, inicialmente, será inicialmente realizada uma breve descrição do funcionamento pretendido no equipamento idealizado anteriormente. Posto isto, será abordado o tipo de motores a utilizar para realização dos movimentos e seus ciclos de funcionamento bem como o número e posicionamento de pistolas para pintura das peças. Finalmente, são elaborados o *grafcet* do funcionamento do equipamento e o diagrama de *ladder* para programação de um PLC, responsável por controlar o equipamento.

##### 4.4.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O equipamento modelado anteriormente tem como base de funcionamento dois movimentos gerados por motores que combinados resultam no movimento final desejado para a peça a pintar. O movimento desejado para o equipamento corresponde a um ciclo em que as peças param na zona das pistolas fixas durante um tempo pré-definido e após esse tempo de paragem é acionado novamente o movimento para colocação de novas peças na zona de pintura. Para além deste movimento, durante a passagem das peças pela zona de pintura um outro motor, em funcionamento a velocidade constante, fornecerá através da correia movimento de rotação às peças. Assim permitirá a pintura das peças na sua totalidade.

Na figura 84 está presente o funcionamento do equipamento, que consiste na paragem das peças na zona de pintura durante um determinado tempo. O número de peças pintadas em simultâneo depende da necessidade de produção.

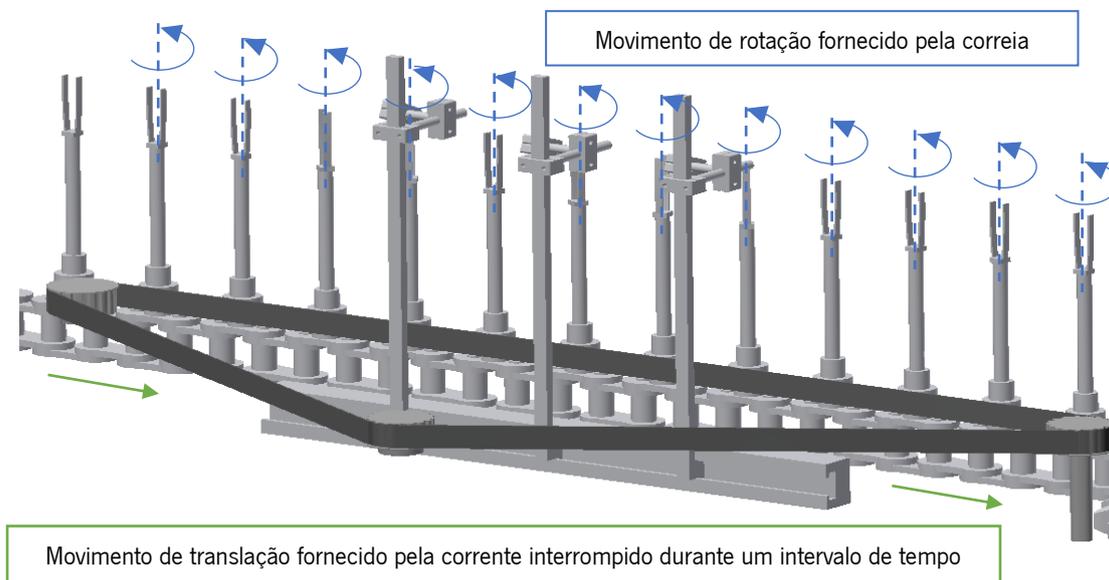


Figura 84 – Funcionamento do equipamento.

Concluindo, o acionamento das pistolas pode ser manual por parte do operador aquando da ativação do equipamento, ou seja, funcionam sempre durante intervalos de tempo ou podem ser ativadas através de um sensor que verifica a existência de peças na zona de pintura.

#### 4.4.2. MOTORES DE ACIONAMENTO DOS MOVIMENTOS

No presente subcapítulo serão abordados os tipos de motores elétricos bem como as suas principais características. Posto isto, será escolhido o motor mais conveniente para o tipo de movimento desejado, movimento promovido pela corrente e pela correia.

##### 4.4.2.1. TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos têm como função transformar a energia elétrica em energia mecânica. Apresentam um princípio de funcionamento baseado na indução eletromagnética que consiste na produção de uma força eletromotriz por variação do fluxo magnético no tempo. Os motores elétricos são constituídos por um estator, que cria o campo eletromagnético, e o rotor, que sujeito ao campo criado gira. Os principais motores elétricos são:

- Motores de corrente contínua: motores alimentados por uma corrente contínua, uma fonte ou um dispositivo que faça a conversão da corrente alternada (rede) em corrente contínua. Apresentam capacidade de velocidade ajustável para grandes intervalos de velocidades, grande

flexibilidade e precisão. Porém só se justifica o investimento neste tipo de motor, motor com instalação e manutenção muito cara, em casos especiais que o justifique (WEG, 2021).

- Motores de corrente alternada: motores mais utilizados devido à utilização de corrente alternada, distribuição da rede elétrica utiliza corrente alternada. Os principais tipos são (WEG, 2021):
  - Motor síncrono: motor com rotação constante independentemente da carga. Este tipo de motor possui apenas uma velocidade e é utilizado para grandes potências;
  - Motor de indução: motor com velocidade de rotação constante, variando ligeiramente com a carga mecânica aplicada no eixo. Este tipo de motor apresenta uma elevada simplicidade, robustez e baixo custo. Pode-se controlar a velocidade com inversores de frequência.
- Motor universal: motor com capacidade de funcionar com corrente contínua ou alternada. Este tipo de motor apresenta dimensões pequenas, um torque de partida elevado e uma velocidade variável (Cravo, s.d.).

Os diferentes motores elétricos apresentam uma vasta gama de aplicação industrial. Verifica-se a aplicação de motores de corrente alternada em compressores, bombas, tapetes rolantes, entre outros. Os motores de corrente contínua são utilizados em equipamentos hospitalares como máquinas de raio x, são ainda utilizados em cadeiras de dentista, cortinas automáticas, entre outros. Como mencionado antes, pode-se verificar a aplicação em situações de grande precisão como o caso dos equipamentos hospitalares (Cravo, s.d.).

Concluindo, a escolha do motor elétrico depende do tipo de aplicação desejado. Alguns dos fatores que influenciam essa escolha são, movimento pretendido, potência, velocidade, condições ambientais a que estará exposto e a eficiência do motor. Resumidamente, quando a aplicação pretendida é uma operação contínua e com pouca variação de velocidade a escolha deverá recair sobre um motor assíncrono (motor com rotação do rotor diferente da rotação do campo magnético do estator), caso seja pretendido uma aplicação para fortes acelerações e desacelerações a escolha deverá ser um motor síncrono. Por fim, se a aplicação desejada exigir um posicionamento de alta precisão a escolha deverá recair sobre um motor de passo (Cravo, s.d.).

#### 4.4.2.2. DIMENSIONAMENTO MOTOR DA CORRENTE

O motor de acionamento da corrente, motor transmite rotação a uma das rodas dentadas, tem de ter a capacidade de colocar novas peças para pintar na zona de pintura num tempo mínimo de 5s. Desta forma, através da equação 1 para o cálculo da velocidade vem:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \text{ (m/s)}$$

Equação 1 - Fórmula para o cálculo da velocidade.

Onde  $\Delta s$  representa o deslocamento e  $\Delta t$  representa o tempo. Assim, para repor novas peças para pintar será necessário um deslocamento aproximado de 1,2 m num tempo mínimo de 5 s, obtendo a velocidade linear igual a 0,24 m/s. A velocidade linear também pode ser obtida pela velocidade angular através da seguinte fórmula:

$$v \text{ (m/s)} = r \times \omega \text{ (rad/s)} = r \times \frac{2\pi}{60} \times N$$

Equação 2 - Fórmula velocidade linear pela velocidade angular.

Onde  $r$  representa o raio da circunferência e  $N$  as rotações por minuto. Assim, tendo o raio da roda dentada e a velocidade linear pode-se calcular as rotações por minuto, obtendo o valor igual a 18,79 rpm, aproximadamente, 20 rpm. Para calcular a potência do motor (em watts), recorre-se à fórmula seguinte.

$$P = F \times V$$

Equação 3 - Fórmula para cálculo da potência.

Onde  $F$  representa a força ( $N$ ) e  $V$  a velocidade ( $m/s$ ). Para cálculo da força, assumindo que, em simultâneo, se encontra no equipamento 20 peças mais o conjunto de peças que permite a fixação e rotação da peça representando uma massa igual a 10 kg mais a massa da corrente que é, aproximadamente, 70 kg (10,5 kg/m) obtém-se uma força/peso igual a 800 N. Desta forma, o motor terá de ter uma força superior a 800 N para que ocorra o movimento. Assim, assumindo uma força igual a 1000 N (para o caso de se encontrar maior número de peças no equipamento e forças de atrito existentes) e velocidade igual a 0,24 m/s obtém-se uma potência aproximada de 250 W.

Desta forma, o motor de acionamento da corrente tem de respeitar as seguintes especificações presentes na tabela 17.

Tabela 17 - Especificações desejadas para o motor de acionamento da corrente.

<b>Especificações desejadas motor da corrente</b>
N(mínimo) = 20 rpm
P = 250 W
Elevada fiabilidade (grande carga horária)
Boa resposta a paragem e arranque

Desta forma, o motor ideal para o movimento da corrente será um motor de passo pois respeita todas as especificações mencionadas na tabela 17.

#### 4.4.2.3. DIMENSIONAMENTO MOTOR DA CORREIA

O tempo de paragem das peças na zona de pintura dependerá da dimensão e geometria da peça que esteja em produção desta forma, será escolhido um tempo de 10 s para realização do dimensionamento. Na figura 85 está presente um esquema representativo do funcionamento.

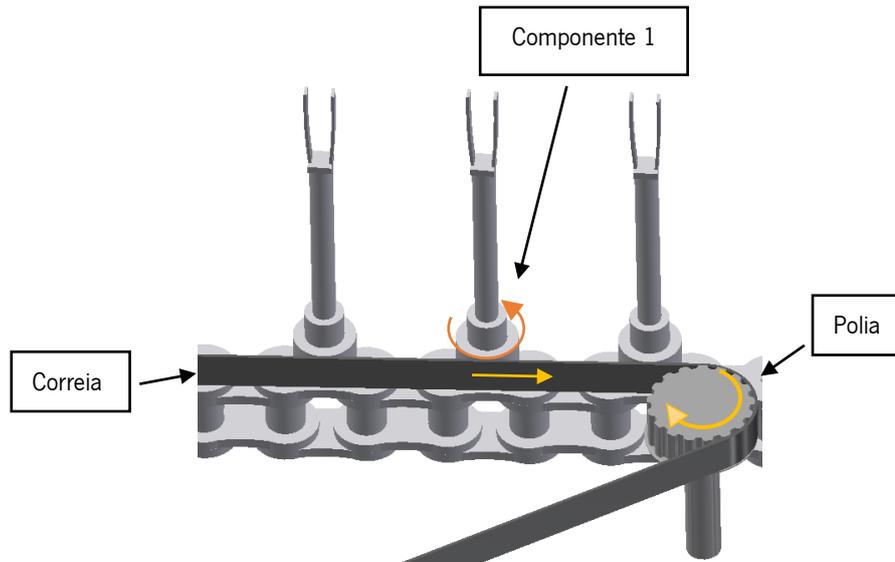


Figura 85 - Esquema de funcionamento.

Assumindo que se pretende que a peça tenha 5 rotações no tempo de 10 s, terá então 0,5 rps (rotações por segundo) o que equivale a 30 rpm. Com o diâmetro do componente 1 (39,6 mm) calcula-se o perímetro pela equação 4.

$$P = 2\pi r$$

Equação 4 – Fórmula de cálculo do perímetro de uma circunferência.

Onde  $r$  representa o raio. Assim o perímetro será igual a 124,41 mm, ou seja, 0,12441 m. Multiplicando por 30 tem-se o valor que a correia terá de percorrer por minuto para que se realizem as 30 rotações por minuto. Desta forma, a velocidade linear será igual a 3,732 m/m, que corresponde 0,0622 m/s. Com a velocidade linear e o raio da polia retira-se o valor de  $N$  para a polia da correia e, conseqüentemente, do motor de acionamento pela equação 2. Desta forma, o valor de rotações por minuto será igual a 17,64 rpm, aproximadamente, 20 rpm.

Nas propriedades da correia no *software Inventor* pode-se retirar que a tensão de trabalho máxima permitida da correia é igual a 600N. Assumindo uma força total igual a 75% da tensão máxima permitida

obtem-se 450N. Tendo a força e a velocidade, calculada anteriormente, pode-se retirar o valor da potência através da fórmula presente na equação 3, obtendo-se uma potência igual a 30W.

Desta forma, na tabela 18 está presente as especificações desejadas para o motor de acionamento da correia.

Tabela 18 - Especificações desejadas para o motor de acionamento da correia.

<b>Especificações desejadas motor da correia</b>
N(mínimo) = 20 rpm
Potência = 30W
Elevada fiabilidade (grande carga horária)

Tendo em consideração as especificações presentes na tabela 18 e as características dos motores elétricos mencionadas no início do presente subcapítulo o motor para acionamento da correia passará por um motor assíncrono.

#### **4.4.3. POSICIONAMENTO DAS PISTOLAS**

Uns dos pontos fundamentais é o posicionamento das pistolas nos suportes de fixação bem como o número de pistolas a utilizar para a pintura das peças. Como já mencionado anteriormente, um dos pontos que torna difícil encontrar a solução para o problema é a complexa geometria. Desta forma, o número de pistolas e o seu posicionamento dependerá da peça que esteja em produção no momento e que dependerá sempre da experimentação pré-produção em série. Através da experimentação será possível estabelecer o número e posicionamento ideal para uma pintura completa e uniforme ou para criação de efeitos na pintura.

Assim, para geometrias complexas será necessário a utilização de duas pistolas, no mínimo, e posicionadas de forma que permitam a pintura da peça. Na figura 86 está presente um esquema do posicionamento de pistolas para pintura de uma das peças.

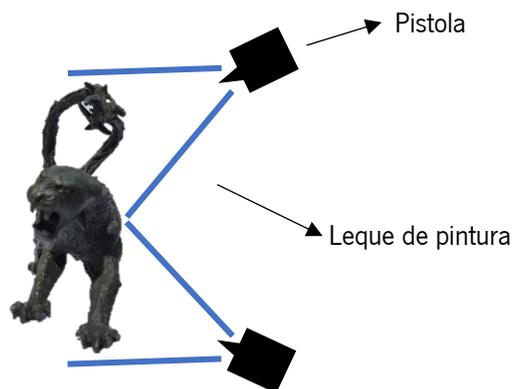


Figura 86 - Esquema de posicionamento de pistolas para peça.

Quando a peça em produção apresentar uma geometria simples e pequenas dimensões poderá recorrer-se apenas a uma pistola para pintura. Na figura 87 pode-se observar a utilização de apenas uma pistola na pintura de uma peça com geometria simples.

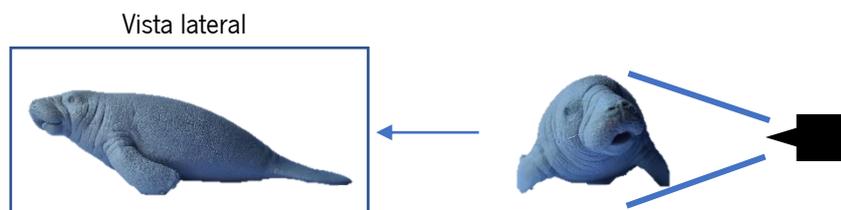


Figura 87 - Exemplo de possível utilização de uma pistola.

O mesmo acontece quando se quiser dar um efeito a uma peça pintando certas zonas com maior preenchimento que em outras zonas. Isto deve-se ao facto de o caudal de pintura ser maior no centro do leque, ou seja, com o aumento da distância ao centro menor é a quantidade de tinta depositada.

#### 4.4.4. GRAFCET DO FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

No presente subcapítulo será apresentado o *Grafcet* que permite descrever o funcionamento do equipamento de forma lógica, ou seja, descrição das ações a ser executadas. Para realizar o *Grafcet* do equipamento é necessária uma descrição detalhada do processo de funcionamento e a identificação de todos os componentes presentes no sistema. Na figura 88 está presente o esquema com os elementos a comandar bem como identificação dos componentes utilizados.

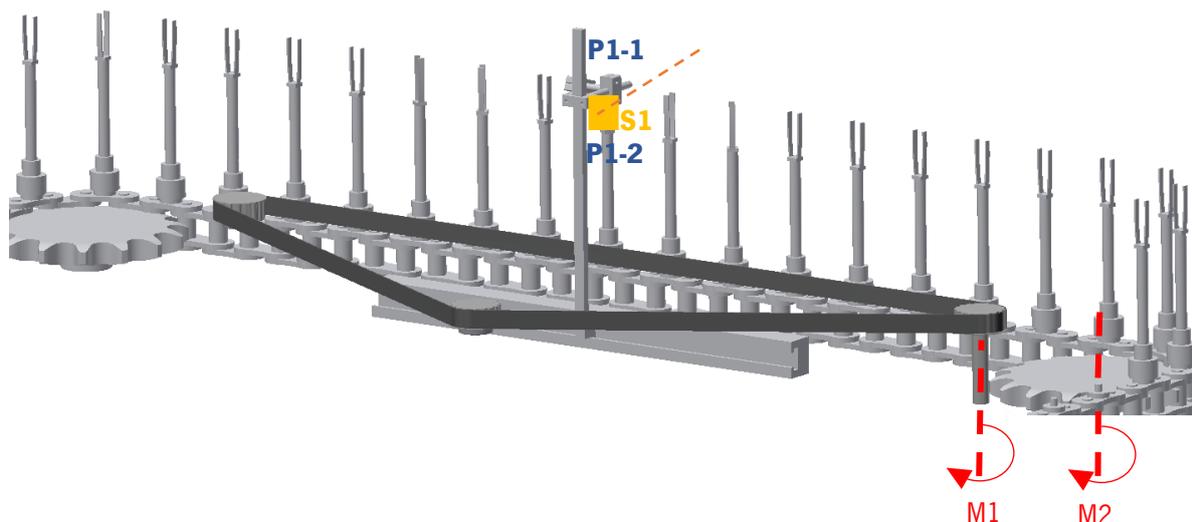


Figura 88 - Esquema de funcionamento com os componentes.

Analisando a figura 88 conclui-se a presença de três componentes essenciais para um correto funcionamento do equipamento. Os componentes e respetiva função são os seguintes:

- M1: Motor responsável por fornecer às peças movimento de rotação na zona de pintura;
- M2: Motor responsável por movimentar a corrente, ou seja, motor responsável por movimentar as peças entre as diferentes zonas;
- S1: Sensor responsável por detetar se a existe alguma peça na zona de pintura;
- P1: pistola(s) de pintura posicionadas nos suportes de fixação;

Para além dos componentes especificados existem botões para start/stop do equipamento e de emergência.

O funcionamento base do equipamento consiste na ativação do motor M1 e do motor M2 aquando dada a iniciação do equipamento. De seguida, um operador vai introduzindo as peças a pintar na zona de carregamento que passarão à zona de pintura e, após pintura passará, para a zona de descarregamento, um operador responsável por retirar as peças já pintadas. O motor M2, programado previamente, irá parar em intervalos de tempo pré-estabelecidos para que ocorra a pintura, ou seja, caso se esteja a pintar 5 peças em simultâneo no final do tempo de pintura irá avançar até colocar novas 5 peças em zona de

pintura. Na zona de pintura cada pistola terá um sensor que deteta a presença das peças na zona de pintura, caso se verifique será ativa a pistola para pintura da peça. Desta forma, cada pistola só irá ser ativa com a presença de peça, permitindo não desperdiçar tinta em caso de falta de peça. Na figura 89 está presente o *Grafcet* de funcionamento do equipamento modelado no *software FluidSim*. De salientar que, no diagrama está presente a ativação da pintura de apenas uma peça, ou seja, neste caso a ativação de duas pistolas para pintura de uma peça (pistola P1-1 e P1-2).

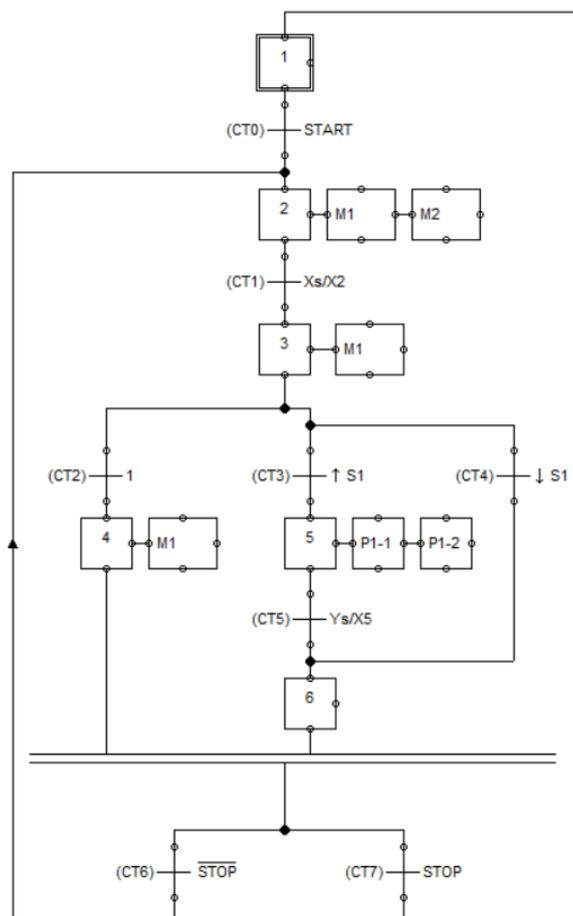


Figura 89 - *Grafcet* para pintura de uma peça.

Analisando o *Grafcet* presente na figura 89 conclui-se a presença de 7 etapas, etapa 1 é a inicial, e 8 transições. Cada etapa é ativada após se verificar a condição de transição, sendo as etapas as seguintes:

- Etapa 1 – Etapa de iniciação;
- Etapa 2 – Etapa responsável por iniciar o movimento dos dois motores. O sistema evolui para esta etapa quando o botão de *start* for pressionado;
- Etapa 3 – Etapa com motor 1 ainda em funcionamento. Motor 2 é desligado após X segundos porque é necessária a paragem das peças na zona de pintura;
- Etapa 4 – Etapa introduzida para manter o motor 1 ativo;

- Etapa 5 – Na etapa 5 ocorre o acionamento das pistolas de pintura P1-1 e P1-2 caso seja detetada uma peça no sensor S1. Caso não se verifique ativação, o sistema evolui para a etapa 6 onde não ocorre a ativação das pistolas;
- Etapa 6 – Etapa em que são desativas as pistolas após o tempo de pintura acabar ou caso não seja ativo o sensor o sistema evolui, diretamente, da etapa 3 para a etapa 6.

Após as etapas 4, 5 e 6, que ocorrem em simultâneo, o sistema pode evoluir em dois sentidos, regressando à etapa 2 quando finalizado o tempo de pintura (Y segundos) acionando novamente o motor 2 para colocar novas peças na zona de pintura ou evolui para a etapa inicial caso seja ativo o botão de *stop*. De salientar que caso o sensor não seja ativo, o sistema evolui sem passar pela etapa 7, ou seja, não há ativação das pistolas.

O número de peças pintadas simultaneamente depende da produção desejada por parte do produtor pelo que, caso necessite pintar um conjunto de peças em simultâneo será necessário remodelar o diagrama da figura 89, acrescentando o número de pistolas desejado.

Na figura 90 está presente o *Grafcet* modelado para pintura de duas peças simultaneamente. Como se pode observar, conclui-se a presença de um novo sensor, para detetar a peça, e de duas pistolas, P2-1 e P2-2.

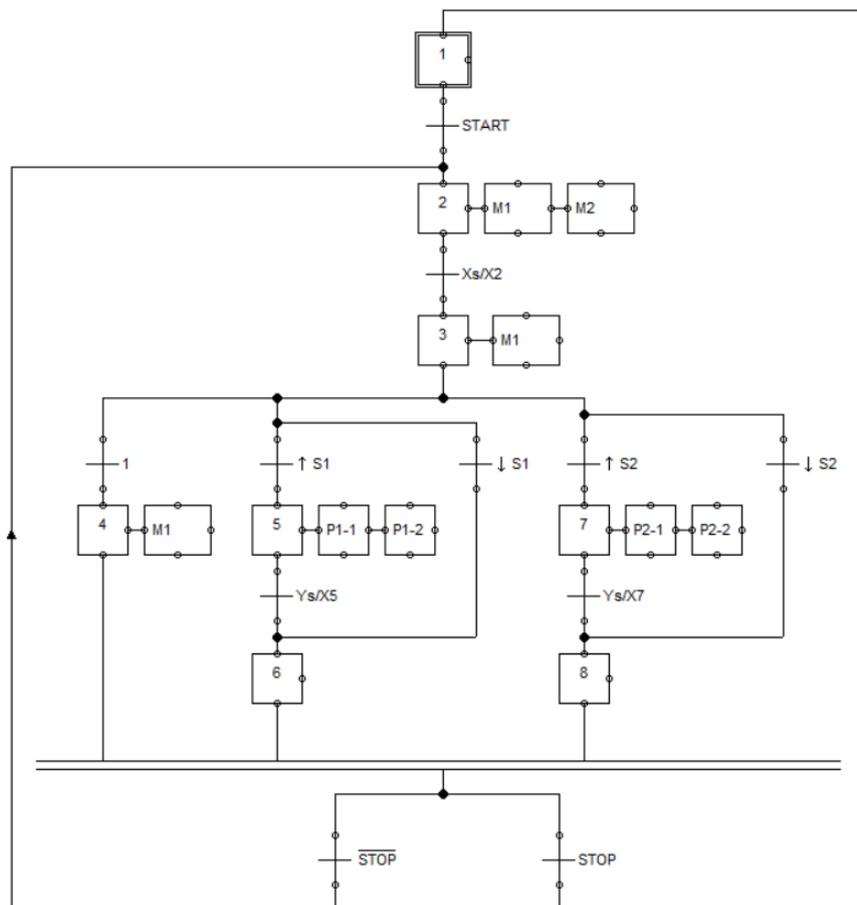


Figura 90 - *Grafcet* para pintura de duas peças em simultâneo.

#### 4.4.5. PROGRAMAÇÃO EM LINGUAGEM LADDER

No presente subcapítulo será elaborado o diagrama de *Ladder* tendo por base o *Grafcet* apresentado na figura 89. Após o diagrama de *Ladder* realizado pode-se realizar a programação na linguagem *Ladder* num *software*, nomeadamente, o *CX-Programmer*.

##### 4.4.5.1. DIAGRAMA DE LADDER

A programação *Ladder* foi criada para permitir o desenvolvimento de programas para PLC (*programmable logic controller*). Desta forma, neste subcapítulo será realizada a conversão do *Grafcet* presente na figura 89 para a linguagem *Ladder*, resultando num programa para controlo de um PLC, responsável pelo controlo de todo o sistema do equipamento. Para tal implementação torna-se necessário, inicialmente elaborar as equações para as condições de transposição das transições do *Grafcet*, dada pela equação 5, a formulação geral:

$$CT(q) = \left( \prod_{j=1}^m XM_j \right) \cdot R(q)$$

Equação 5 - Condição de transposição.

Em que,  $CT(q)$  é uma variável booleana associada a cada transição. Com  $XM_j$  representando a variável booleana da etapa  $M_j$  e  $R(q)$  a recetividade associada à transição  $q$ . Uma transição só pode ser transposta se estiver validade e quando a sua recetividade for verdadeira (Machado, 2003). Para o problema em questão tem-se as seguintes condições de transposição das transições:

- $CT0 = X1. START;$
- $CT1 = X2. Xs/X2;$
- $CT2 = X3.1;$
- $CT3 = X3. \uparrow S1;$
- $CT4 = X3. \downarrow S1;;$
- $CT5 = X5. Ys/X5;$
- $CT6 = X4. X6. NOT(STOP);$
- $CT7 = X4. X6. STOP.$

Após elaboração das equações anteriores, torna-se necessário elaborar as equações para a atividade das etapas que é dada pela formulação geral na equação 6:

$$X_i(t + 1) = \sum_{j=1}^p CT(p_j) + X(t) \cdot \prod_{k=1}^n \overline{CT(n_k)}$$

Equação 6 - Equação de atividade da etapa.

Sendo,  $CT(p_j)$  a condição de transposição da transição ( $P_j$ ),  $p$  a transição anterior à etapa  $i$  e  $n$  a transição posterior à etapa  $i$  (Machado, 2003). Para o problema exposto tem-se as seguintes equações para a atividade de cada etapa:

- $X1(t + 1) = CT6 + CT7 + X1(t) ./ CT0$ ;
- $X2(t + 1) = CT0 + X2(t) ./ CT1$ ;
- $X3(t + 1) = CT1 + X3(t) ./ (CT2 + CT3 + CT4)$ ;
- $X4(t + 1) = CT2 + X4(t) ./ (CT6 + CT7)$ ;
- $X5(t + 1) = CT3 + X5(t) ./ CT5$ ;
- $X6(t + 1) = CT5 + X6(t) ./ (CT6 + CT7)$ .

Na figura 91 está presente o diagrama correspondente às condições de transposição das transições.

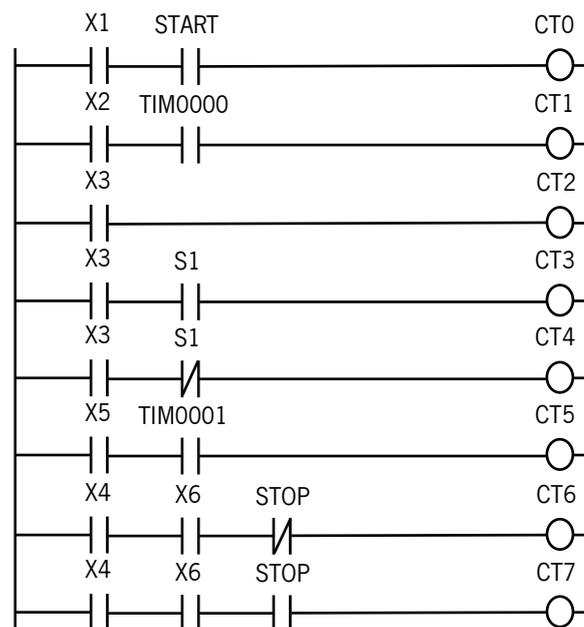


Figura 91 - Diagrama de *Ladder*, condições de transposição das transições.

Após elaborado o diagrama de *Ladder* correspondente às condições de transposição das transições elabora-se o diagrama correspondente à ativação das etapas. Na figura 92 está presente o diagrama de *Ladder* da ativação de etapas.

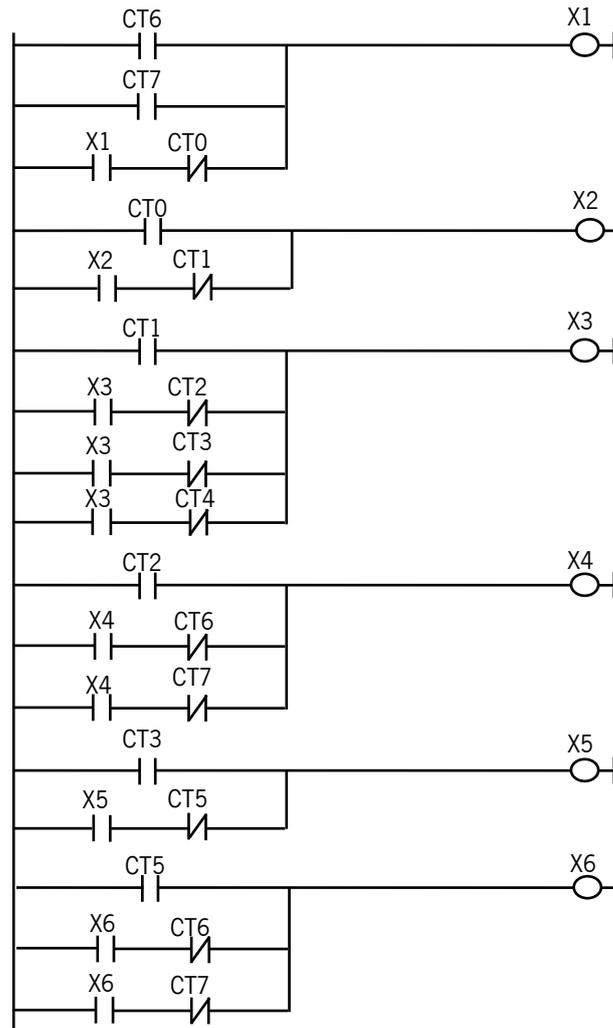


Figura 92 - Diagrama de *Ladder*, ativação das etapas.

Finalmente, procede-se à elaboração do diagrama para as ações em cada etapa, ou seja, os componentes físicos que são ativos em cada etapa do *Grafset*. Assim, na figura 93 está presente o diagrama correspondente à ativação dos componentes em cada etapa.

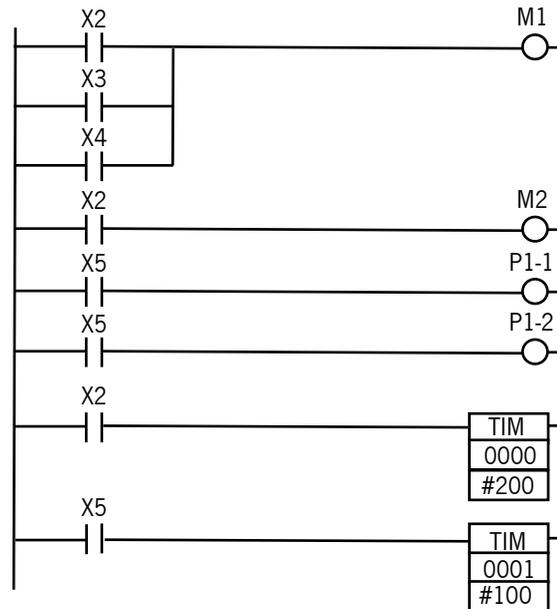


Figura 93 - Diagrama de *Ladder*, ativação de componentes.

#### 4.4.5.2. PROGRAMAÇÃO NO SOFTWARE CX-PROGRAMMER

O *software CX-Programmer* permite a programação de PLCs através da linguagem de programação *Ladder* de uma forma intuitiva. Para implementação do diagrama realizado anteriormente é necessário passar por três etapas que são:

- Programação das equações de condição de transposição de transições como se pode observar na figura 94.

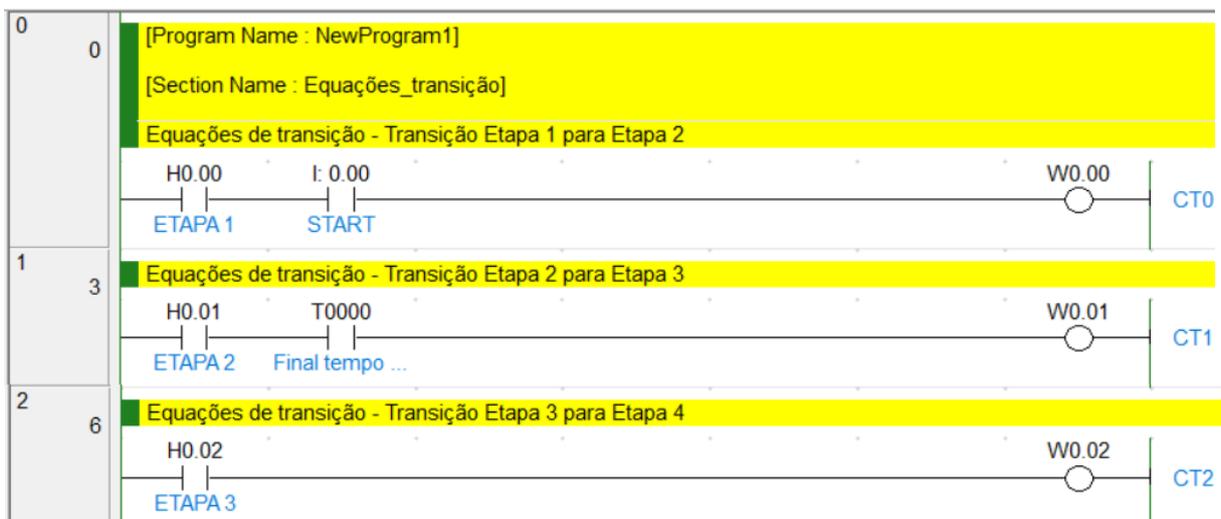


Figura 94 - Programação das equações de condição de transposição de transições.

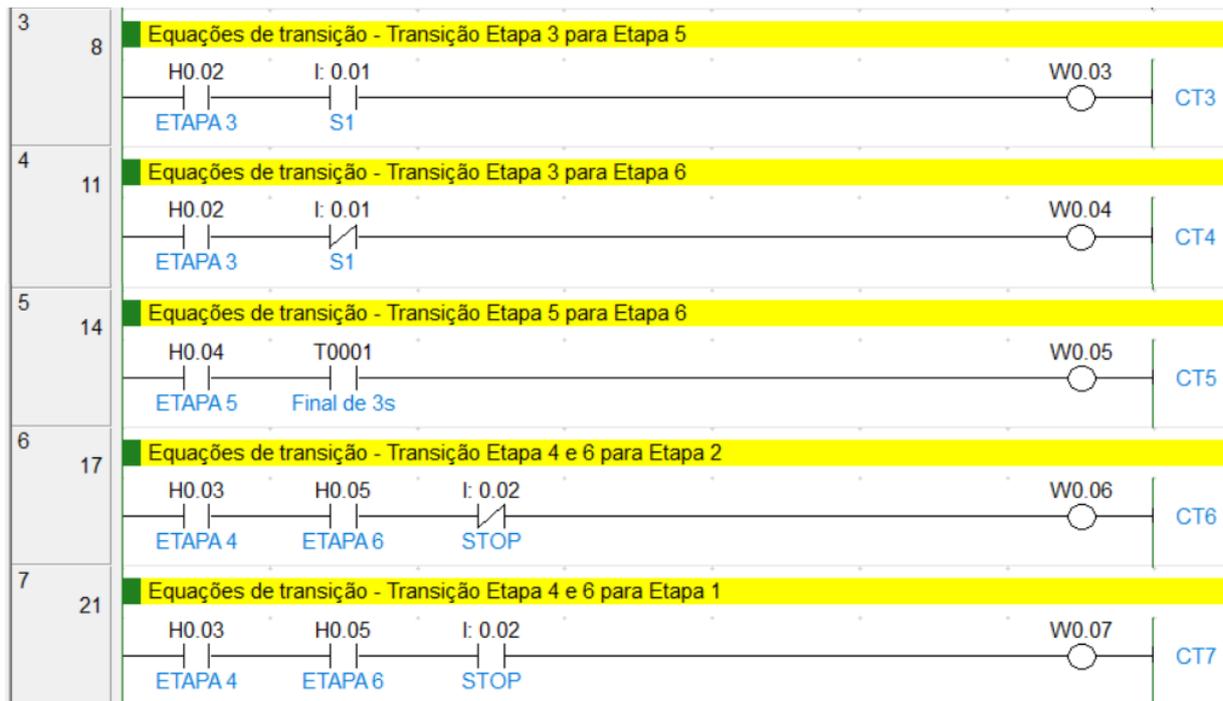


Figura 94 - Programação das equações de condição de transição de transições (continuação).

- Programação da ativação e desativação das etapas, representado na figura 95;

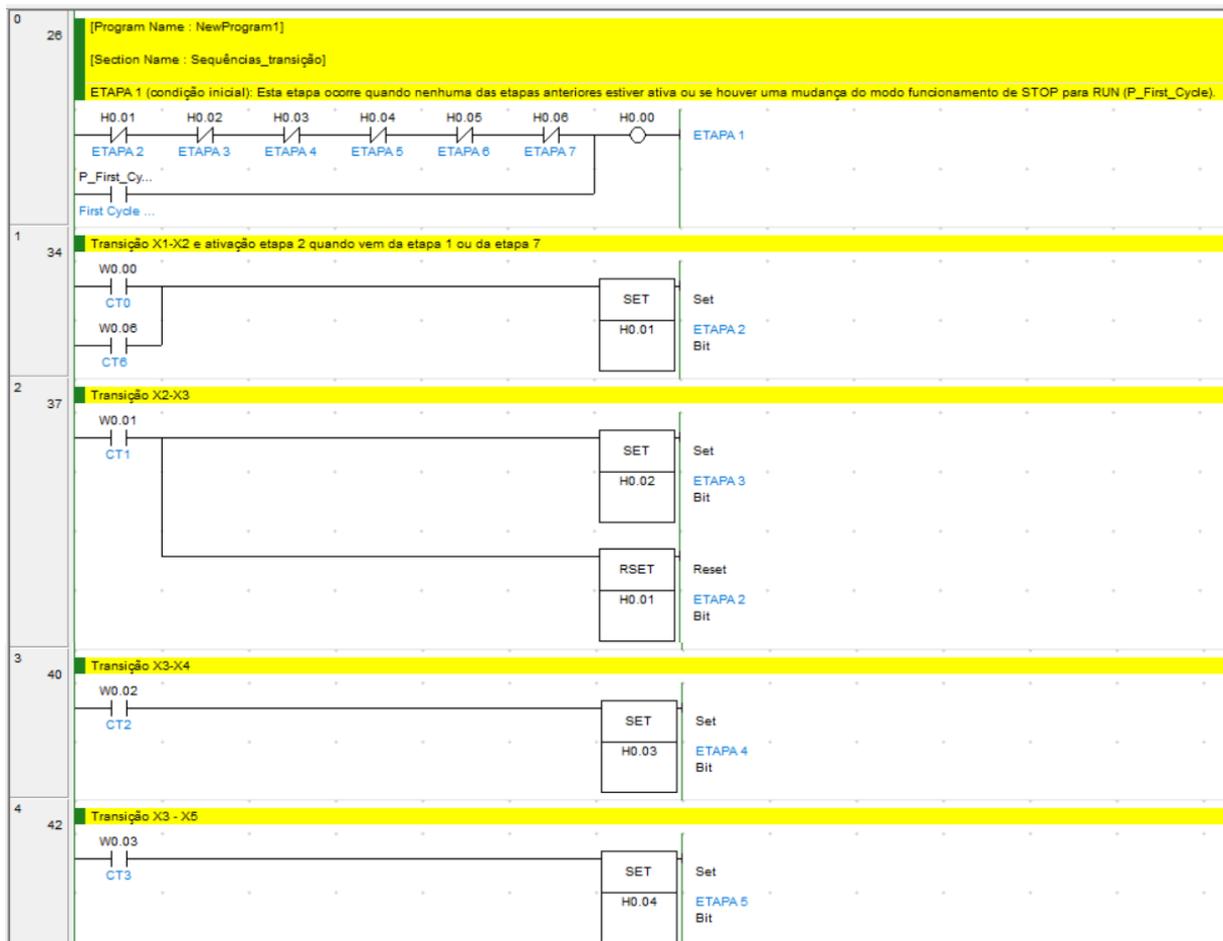


Figura 95 - Programação da ativação e desativação das etapas (Set/Reset).



Figura 95 - Programação da ativação e desativação das etapas (Set/Reset) (continuação).

- Programação das ações por etapa, ou seja, ativação dos componentes físicos em cada etapa. A programação correspondente à ativação dos componentes física está representada na figura 96.

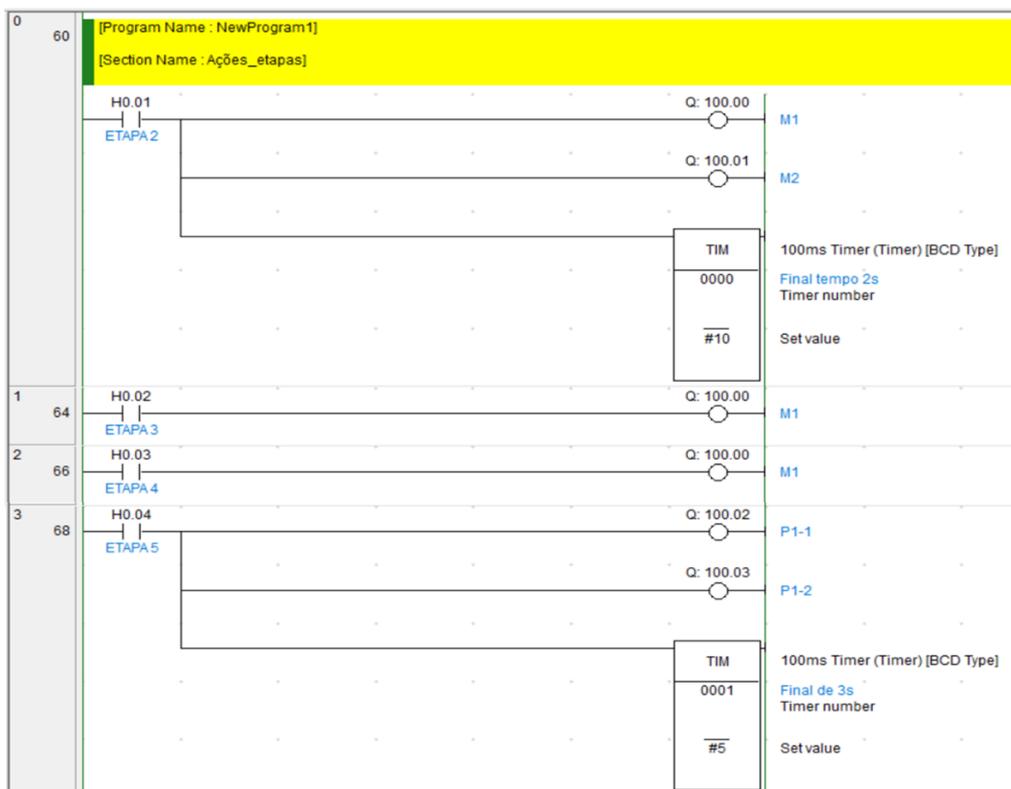


Figura 96 - Programação das ações por etapa.

O *software CX-Programmer* permite a implementação do diagrama elaborado anteriormente através da linguagem de programação *Ladder*. Neste caso, o PLC tem como função controlar o movimento dos motores, ativação das pistolas de pintura, ativação dos temporizadores e ligar/desligar o equipamento. Assim, quando acionado o botão *start* ocorre o acionamento do equipamento e, conseqüentemente, o acionamento dos motores e quando acionado o botão *stop* ocorre o encerramento do equipamento. Para além dos botões, existe dois temporizadores, um que servirá para parar o funcionamento do motor M2 após cumprido o tempo e outro permite desligar as pistolas de pintura após o tempo de pintura acabar. O acionamento das pistolas ocorre quando o sensor detetar figura na zona de pintura.

#### **4.5. ESPECIFICAÇÕES SOLUÇÃO FINAL**

Como observado no início do capítulo 4, nomeadamente no subcapítulo 4.1, dois funcionários demoram entre 3 e 4 dias para realizar a pintura de 5000 peças, ou seja, uma média de 89 peças por hora por funcionário, assumindo que a carga horária diária são 8 horas. O presente valor não alcança o objetivo diário estabelecido pela empresa para as figuras, que para o caso da pantera é 150 peças por hora por funcionário e para o gorila 120 peças por hora por funcionário, dependendo da peça em produção no momento. Desta forma, assumido que as peças pintadas no equipamento estarão em média na zona de pintura 10 segundos e que demore cerca de 5 segundos a reposicionar novas peças na zona de pintura, pode-se concluir que uma pistola terá uma produção de 4 peças por minuto, ou seja, 240 peças por hora. Sendo a produção diária igual a 1920 peças por pistola de pintura pelo que, uma pistola de pintura no equipamento de pintura realizará em 3 dias 5760 peças (assumindo as oito horas diárias de trabalho). Analisando o objetivo para a pintura de panteras por hora por funcionário (150 peças) o equipamento de pintura apresenta a capacidade de pintura de mais 60% do objetivo, por pistola (240 peças). Apresentando para o gorila um aumento de 100%. Caso se verifique a necessidade de um tempo para posicionamento maior de novas peças para pintura o requisito de aumento do número de produção será cumprido (15 a 25%). Caso se verifique um aumento do tempo de posicionamento para 10 segundos a produção por hora será igual a 180 peças por pistola (aumento da produção em 20% para a pantera e 50% para o gorila). De salientar que o tempo de pintura para as peças nunca ultrapassará os 10 segundos.

Na tabela 19 está presente as especificações estabelecidas no subcapítulo 4.2.3. e se o produto final cumpre as especificações.

Tabela 19 - Análise do cumprimento de especificações.

<b>E (exigido) ou D (desejado)</b>	<b>Especificação</b>	<b>Conclusão</b>
E	<p>1. Produto económico. Produto deverá ser economicamente o mais viável possível, ou seja, produto capaz de satisfazer as necessidades da empresa, mas ao mesmo tempo ser uma solução barata.</p>	<p>Cumpre. A solução final dentro da complexidade existente para processos de pintura automática será mais económica para sua instalação.</p>
E	<p>2. Boa cadência de produção. Produto capaz de superar a produção atual de produção em 15% a 25%.</p>	<p>Cumpre. Como mencionado anteriormente é possível um aumento de 20% no mínimo.</p>
D	<p>3. Processo de produção simples. O processo de produção ser simples e eficiente. A prioridade é a automatização da pintura podendo funções como introduzir/retirar peças ser realizada por um funcionário.</p>	<p>Cumpre. A solução final é uma solução capaz de satisfazer as necessidades da empresa com um processo produtivo simples.</p>
E	<p>4. Processo adaptativo. O produto final deve ser capaz de permitir a utilização de diferentes tipos de tinta e pintar peças de diferentes dimensões e geometrias consoante devida adaptação do processo.</p>	<p>Cumpre. O processo permite a pintura de peças com diferentes geometrias sendo necessário a adaptação da peça de fixação da peça e o posicionamento das pistolas.</p>
D	<p>5. Manutenção fácil e barata. Produto deve apresentar sistemas e componentes mecânicos de manutenção simplificada e relativamente barata.</p>	<p>Cumpre. Atendendo à simplicidade dos componentes utilizados a sua manutenção é simples e rápida.</p>
E	<p>6. Processo de pintura com ar comprimido. O processo automático de pintura tem que utilizar ar comprimido pois a empresa já tem a instalação de ar nas suas instalações.</p>	<p>Cumpre. Processo de pintura é o mesmo que o atual sendo apenas necessário a substituição das pistolas manuais por pistolas automáticas.</p>

## 5. CONCLUSÕES

Finalizado o projeto proposto inicialmente, pode-se concluir que todos os objetivos propostos inicialmente foram cumpridos. A complexidade geométrica que as peças apresentam aliada à procura de uma solução com custo reduzido dificultou a procura de uma solução.

A procura de uma solução capaz de satisfazer os dois pontos anteriores torna-se complicada uma vez que quanto mais complexa seja a geometria das peças a pintar maior será a complexidade dos equipamentos utilizados. Dessa forma, a utilização de um sistema automatizado com braços robóticos altamente programados seria a solução ideal pois conseguiria cobrir com tinta toda a superfície das peças. Porém, atendendo ao elevado custo monetário de implementação de tal sistema torna-se necessário a procura e o estudo de novas soluções capazes de fazer o mesmo serviço.

Assim, após realização de um enquadramento teórico da pintura industrial e equipamentos automatizados utilizados na indústria da pintura surgiram algumas soluções. Através de um conjunto de passos a saber, estabelecimento de uma árvore de objetivos, diagrama de funções do produto, especificações do produto por parte do cliente, mapas morfológicos e, por fim, avaliação das soluções alternativas surgiram soluções capazes de satisfazer a necessidade da empresa.

A solução final idealizada e com maior cotação no mapa dos objetivos ponderados foi modelada no software *Inventor*, procedendo-se à modelação dos componentes mecânicos e estruturais, permitindo passar de um esboço para algo concreto. Com a solução final encontrada tornou-se necessário otimizar a solução como a escolha de motores necessários para criação dos movimentos desejados, o posicionamento das pistolas de pintura e a programação de um código para implementação em *PLC*, responsável por controlar todo o equipamento. De salientar que, a pintura de diferentes peças implicará sempre um teste pré-produção por forma a posicionar as pistolas na posição correta bem como o teste do tempo de paragem da peça na zona de pintura.

Por fim, verifica-se que a solução final cumpre os requisitos exigidos e desejados pela empresa. Desta forma, a empresa deveria investir num equipamento existente no mercado com um princípio de funcionamento idêntico, ou seja, a implementação de um equipamento que transporte as peças entre as diferentes zonas de trabalho de forma automática. Tendo esse equipamento apenas seria necessário proceder a um conjunto de adaptações para as peças que tem na sua produção, isto é, utilizar um componente capaz de fixar as peças no meio de transporte, o posicionamento de pistolas em locais previamente estabelecidos e a utilização de um PLC para controlo dos movimentos, ou seja, controlo do tempo de paragem das peças na zona de pintura, do tempo necessário para colocação de novas peças

na zona de pintura e a ativação das pistolas de pintura. Assim, utilizaria a rede de ar comprimido e o sistema de exaustão já instalados na empresa.

Em suma, como em todos os trabalhos mesmo após dados como finalizados, poderá ser alvo de alterações no futuro. Atendendo a que, todo o trabalho realizado e exposto não foi alvo de experimentação, poderá vir a sofrer alterações em alguns dos pontos para uma melhor eficiência do processo produtivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, P. (2001/2002). *Robótica Industrial - Aplicações industriais de robôs*. Porto.
- ACCI. (s.d.). *Transportador aéreo de corrente*. Obtido de <https://www.acciindustrial.com.br/transportador-aereo-corrente>
- Agora, S. (s.d.). *Pincel chato de pintura condor*. Obtido em 03 de 2022, de <https://m.supriagora.com.br/pincel-chato-de-pintura-condor-c456-06-p993238>
- Analytics Brasil. (2019). *Diferenças entre tintas à base de água e tintas à base de óleo*. Obtido em 03 de 2022, de <https://www.analyticsbrasil.com.br/blog/diferencas-entre-tintas-base-de-agua-e-tintas-base-de-oleo/>
- Anjos, R. D. (2018). *Estudo de automatização do processo de pintura de motores na indústria elétrica*. Porto.
- Carvalho, J. (2013). *Definição de condições de pintura de peças para autorrádio*.
- Casa Natural. (s.d.). *Trincha para pintura*. Obtido em 03 de 2022, de <https://casa-natural.com/pt/trincha-para-pintura-cerdas-pretas>
- Cores, B. d. (10 de 09 de 2020). *Pintura eletrostática: o que é, onde fazer e como aplicar*. Obtido em 2022 de 04 de 04, de <https://www.blogdascotes.com.br/2020/09/pintura-eletrorstatica/>
- Cravo, E. (s.d.). *Tipos de motores elétricos: quais são eles e onde aplicá-los?* Obtido em 07 de 2022, de <https://blog.kalatec.com.br/tipos-motores-eletricos/>
- Durr. (2021). *Product catalog 2021 - Spray and fluid handling equipment*.
- ELISAN. (s.d.). *Automated Electostatic Spray Paint Application Line for Glasses*. Obtido em 11 de 04 de 2022, de <https://www.elsisan.com/en/industries/glass-industry/automated-electrostatic-spray-paint-application-line-glasses>
- FANUC. (s.d.). *FANUC Paint Series*. (FANUC) Obtido em 02 de 2022, de <https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%C3%B4s/p%C3%A1gina-filtro-rob%C3%B4s/s%C3%A9rie-de-pintura>
- Ferreira, J. (2018). *Estudo do impacto da automatização do sistema de pintura e despintura de aeronaves*. Lisboa.
- Gaidzinski. (s.d.). *Pintura Automática - IG-P*. Obtido em 11 de 04 de 2022, de <https://www.gaidzinski.com.br/pt-br/pintura/pintura-automatica-ig-p>
- Gaidzinski. (s.d.). *Robô de Pintura Automática para Portas e Painéis - IG-PAP*. Obtido em 11 de 04 de 2022, de <https://www.gaidzinski.com.br/pt-br/pintura/robo-de-pintura-automatica-para-portas-e-paineis-ig-pap>
- Gomes, J., & Dourado, N. (2019). *Rolamentos*.
- Júnior, F., & Holanda, M. (2011). *O PVC: Características técnicas, vantagens e relação com o meio ambiente*. Brasil.
- Kopeliovich, D. D. (25 de 01 de 2014). *Composition of paints*. Obtido em 03 de 2022, de [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=composition\\_of\\_paints](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=composition_of_paints)
- Kremlin, S. (s.d.). *A35 HPA PISTOLA PINTURA AUTOMÁTICA AIRSPRAY*. Obtido em 03 de 2022, de <https://www.sames-kremlin.com/brasil/pt/product-a35-hpa-pistola-de-pintura-automatica.html>

- Kunzler, J. (2019). *Automação do processo de pintura*. Obtido em 03 de 2022, de <http://repositorio.upf.br/bitstream/riupf/1710/1/PF2019Joice%20Marieli%20Kunzler.pdf>
- Loxam Degraus. (29 de 04 de 2020). *Entenda como funciona o jateamento abrasivo e seus equipamentos*. Obtido em 03 de 2022, de <https://www.degraus.com.br/entenda-como-funciona-o-jateamento-abrasivo-e-seus-equipamentos/>
- Machado, J. (2003). *Da Especificação em Grafcet (IEC 60 848) à Implementação em Ladder (IEC 61 131-3)*.
- Maia & Borges, L. (2021). Maia & Borges, Lda. Porto.
- Mali, J. (24 de 03 de 2019). SS Water Bottle automatic spray painting plant. Obtido em 03 de 03 de 2022, de [https://www.youtube.com/watch?v=U8Pu795ER\\_k](https://www.youtube.com/watch?v=U8Pu795ER_k)
- Mekal, G. (s.d.). Obtido em 03 de 2022, de [https://www.grupomekal.com.br/system/filemanager/biblioteca/manual\\_pintura.pdf](https://www.grupomekal.com.br/system/filemanager/biblioteca/manual_pintura.pdf)
- Micheli, P. (2003). Understanding how a spray gun atomizes paint.
- Milaré. (s.d.). *Cabine de Pintura - Cabine com cortina d'água*. Obtido em 09 de 04 de 2022, de <https://milare.com.br/cabine-de-pintura>
- MKM. (s.d.). *Esteiras para linha de produção*. Obtido de <https://www.mkmsp.com.br/esteiras-para-linha-de-producao.php>
- Nof, S. Y. (1999). *Handbook of industrial robotics*. New York: JOHN WILEY & SONS, INC.
- Oliveira, J. (s.d.). *Noções de Ventilação Industrial*.
- Paint Spray Pro. (s.d.). *History of the spary gun*. Obtido em 04 de 2022, de <https://www.paintspraypro.com/a-brief-history-of-the-spray-gun/>
- Plesniak, M., Sojka, P., & Singh, A. (2 de Abril de 2004). Transfer efficiency for airless painting systems. pp. 1-9. Obtido de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11998-004-0008-0.pdf>
- Polito, G. (2006). *Principais sistemas de pinturas e suas patologias*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Ribeiro, F. (s.d.). *Configuração de robôs*.
- Ribeiro, M. (s.d.). *Automação Industrial*. Salvador.
- Robbialac. (s.d.). *Rolo anti-gota*. Obtido em 03 de 2022, de [https://loja.tintasrobbialac.pt/pt/nao-aplicavel/robbialac/rolo-anti-gota\\_p3.html](https://loja.tintasrobbialac.pt/pt/nao-aplicavel/robbialac/rolo-anti-gota_p3.html)
- Rudzuan, Khairunizam, W., Zunaidi, Razlan, Shahrman, Rozman, & Shahrizal. (2019). Development of Automated Spray-painting System for Anti-Static Coating Process. 11.
- SAGOLA. (2020). *Automatic spray guns*.
- Sintra, N. (2017). *A escolha do processo de pintura depende dos fatores*. Obtido em 03 de 2022, de <https://docplayer.com.br/19495271-A-escolha-do-processo-de-pintura-depende-dos-fatores.html>
- spraytools. (s.d.). *Pistola de pintura manual ROX PRESSAO W-71*. Obtido de <https://www.spraytools.com.br/pistola-de-pintura-manual-rox-pressao-w-71-marca-0>
- Tintas & Pintura. (s.d.). *História da Pintura e da Cor*. (Tintas & Pintura) Obtido em 02 de 2022, de <https://tintasepintura.pt/historia-da-pintura-e-da-cor/>

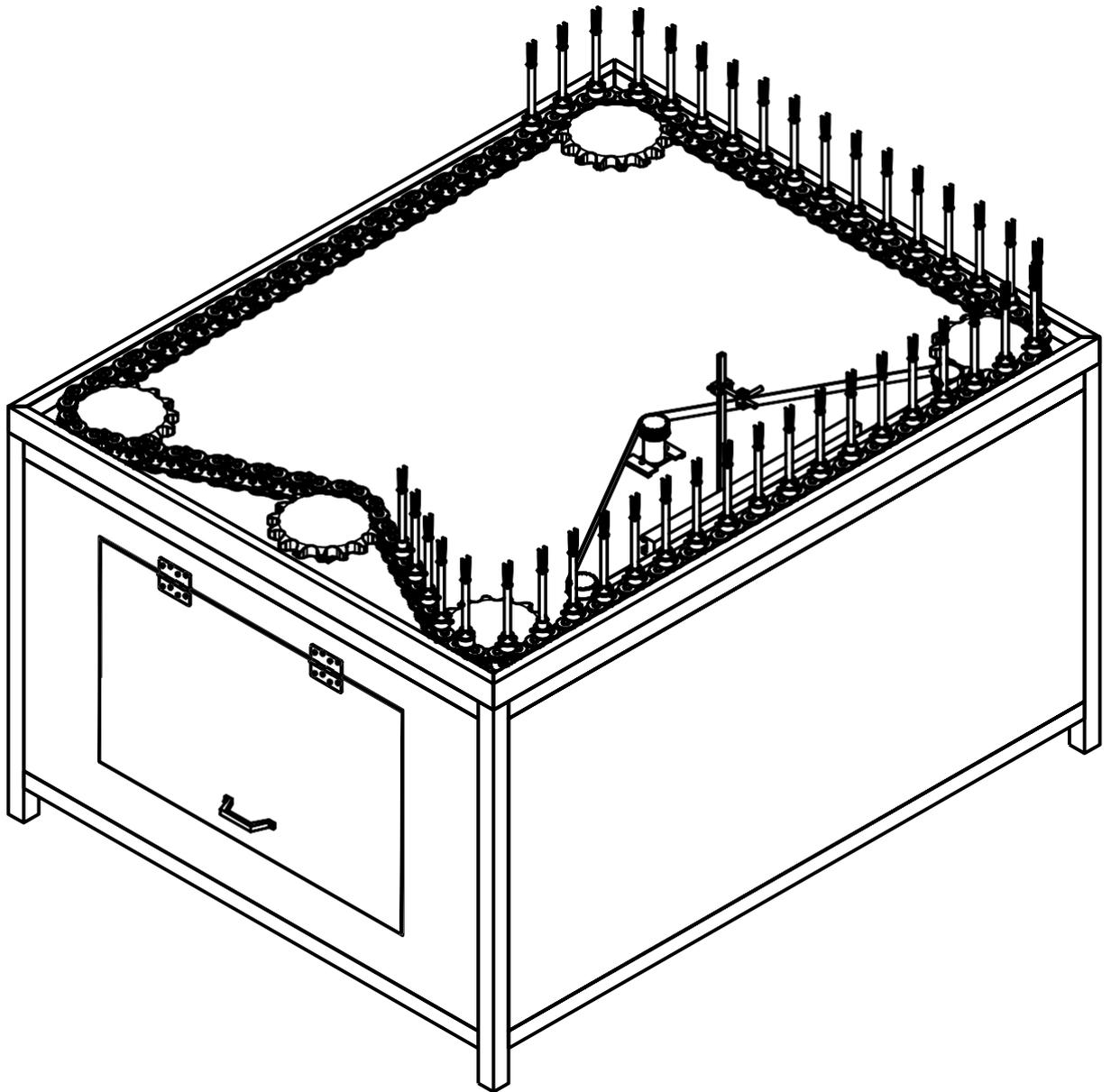
Tricou, C., & Knasiak, K. (05 de 2005). Development of a High Transfer Efficiency Painting Technology Using Effervescent Atomization. p. 24.

UNESA Máquinas. (s.d.). *Pintura Automática Spray - Gold*. Obtido em 11 de 04 de 2022, de <https://www.unesa.com.br/pt-br/maquina/pintura-automatica-spray-gold-53>

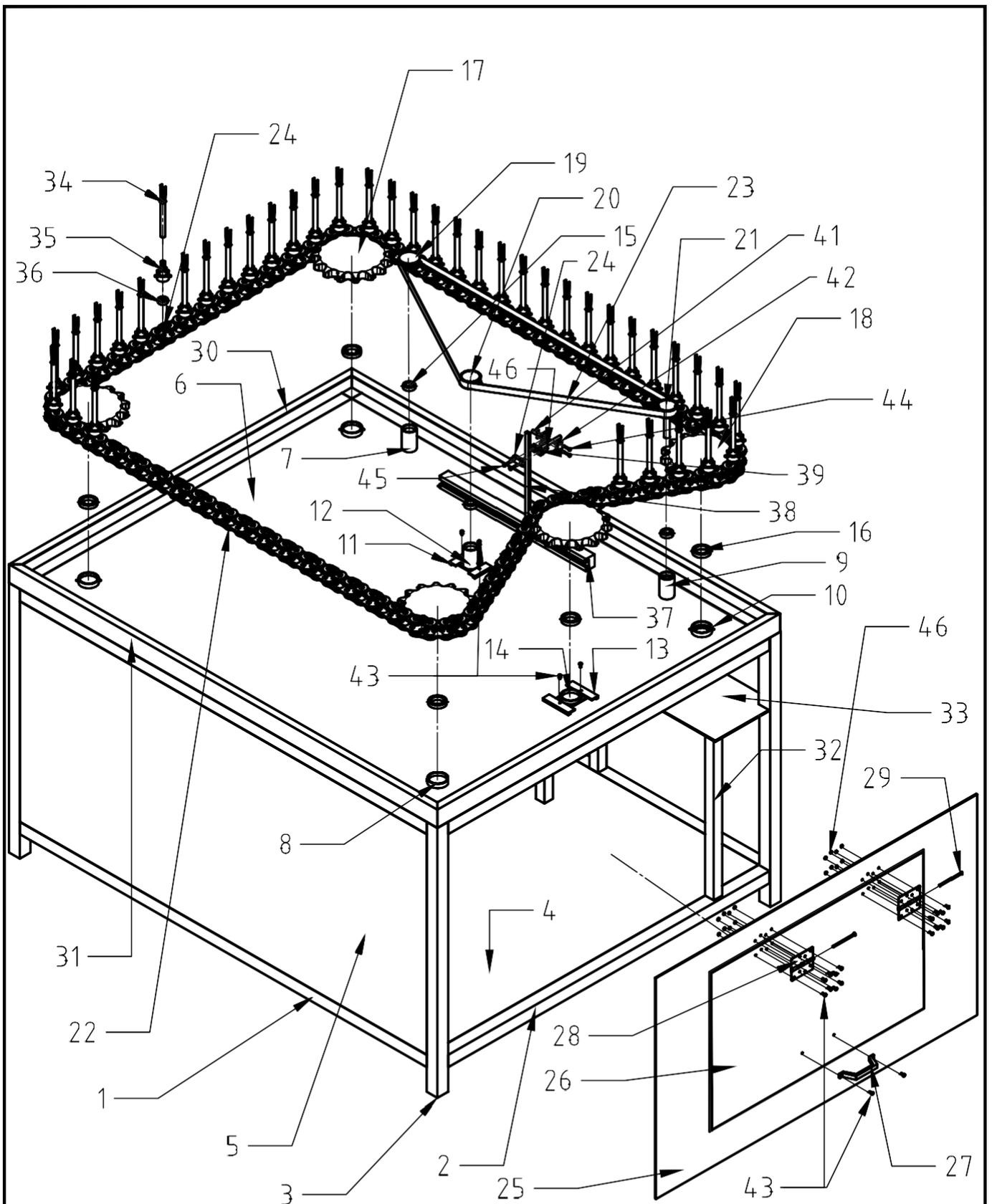
WALTER PILOT. (2022). *Notes and explanations*. Obtido em 04 de 2022, de <https://walther-pilot.de/en/service/notes-and-explanations/>

WEG. (2021). *Guia de Especificação - Motores elétricos*.

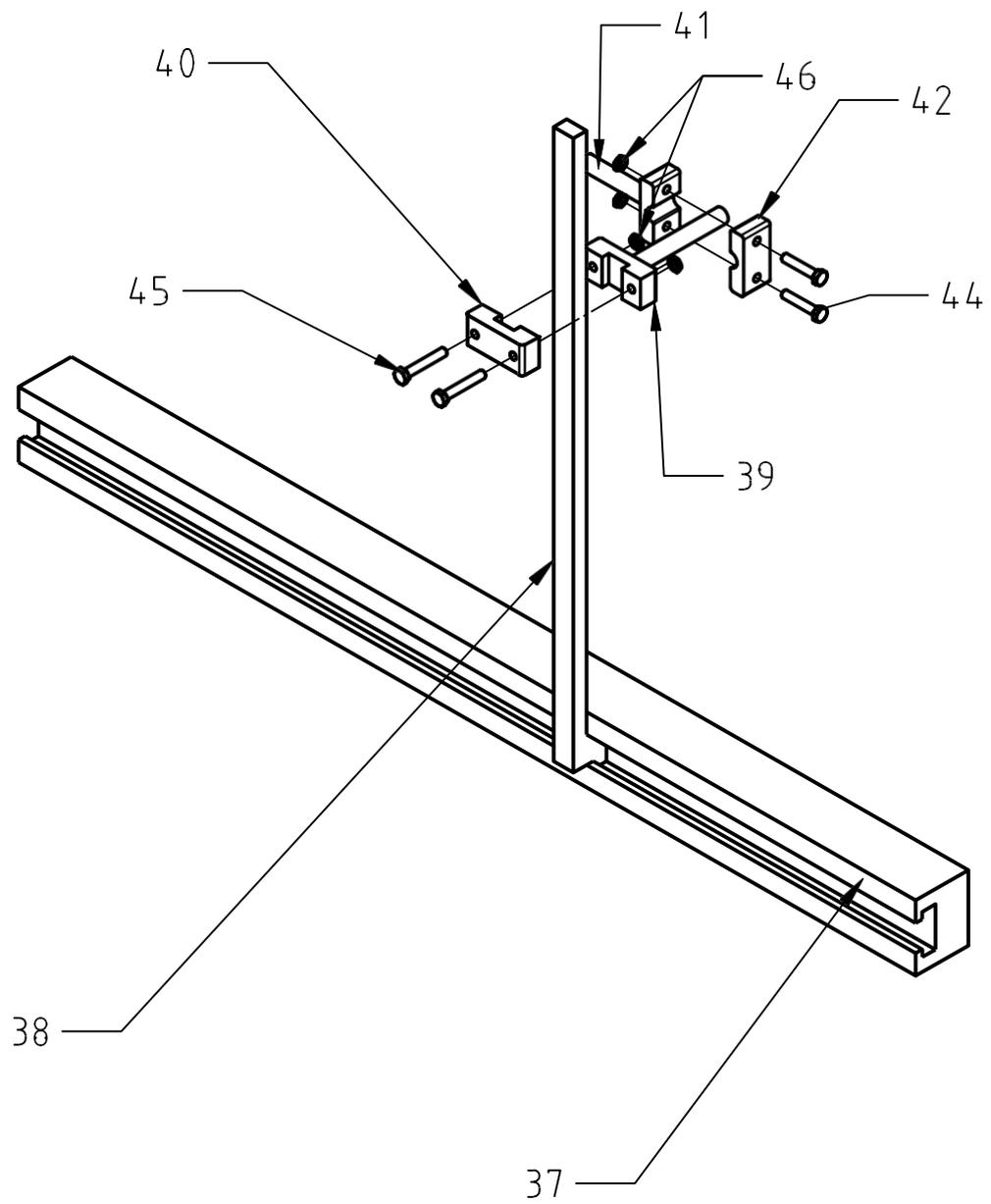
## **APÊNDICE I – DESENHOS TÉCNICOS DOS COMPONENTES MODELADOS**



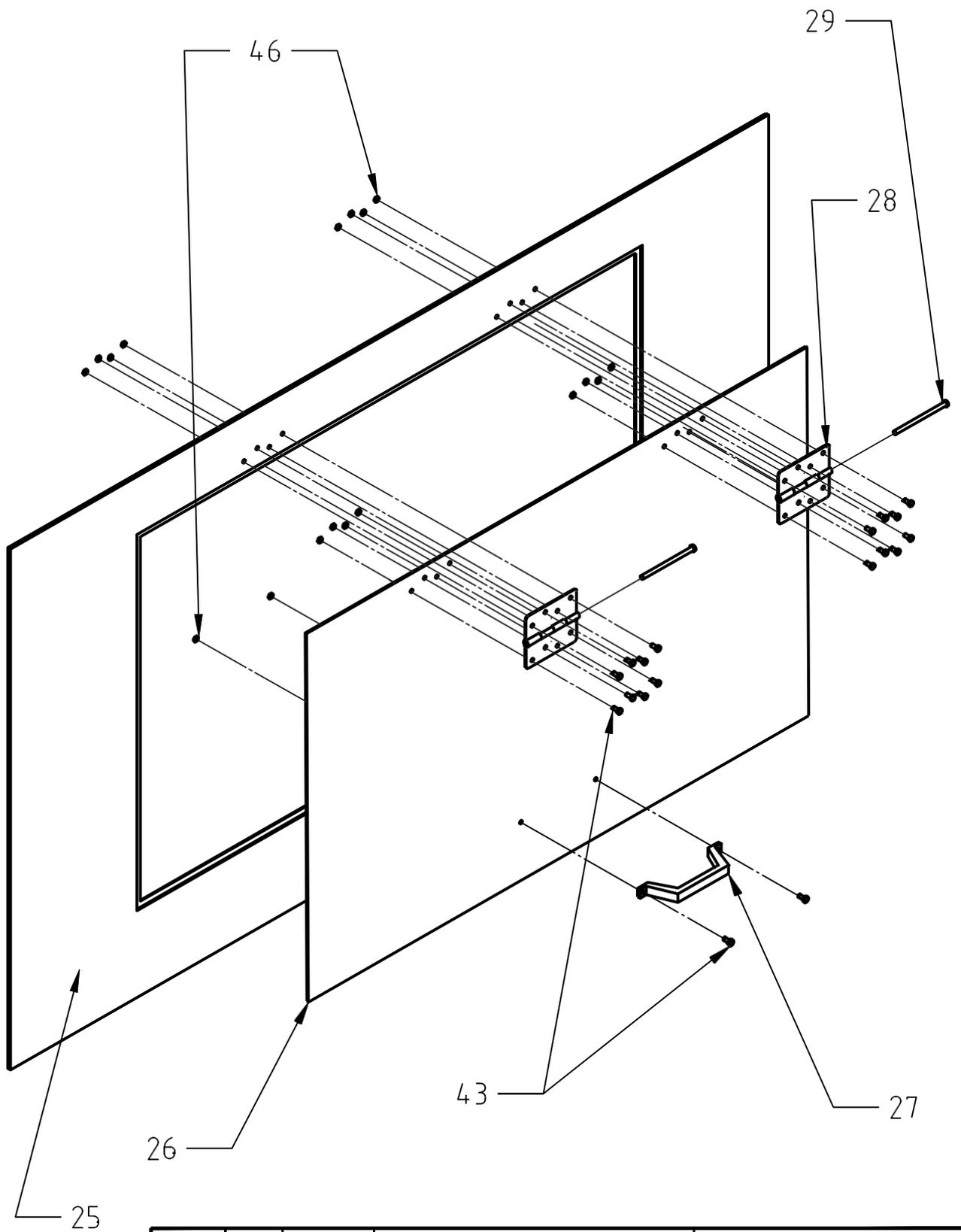
Projec.	17/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I
Desenh.	17/10/2022	José Lopes		
Escala	1 : 16		Equipamento de pintura	
			Substituído por:	
			Substituído por:	



Projec.	17/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I
Desenh.	17/10/2022	José Lopes		
Escala	1:18			
Equipamento de pintura				
Substituído por:				
Substituído por:				



Projec.	17/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	17/10/2022	José Lopes						
Escala	Conjunto fixação da pistola							
1 : 4								
				Substituído por:				
				Substituído por:				

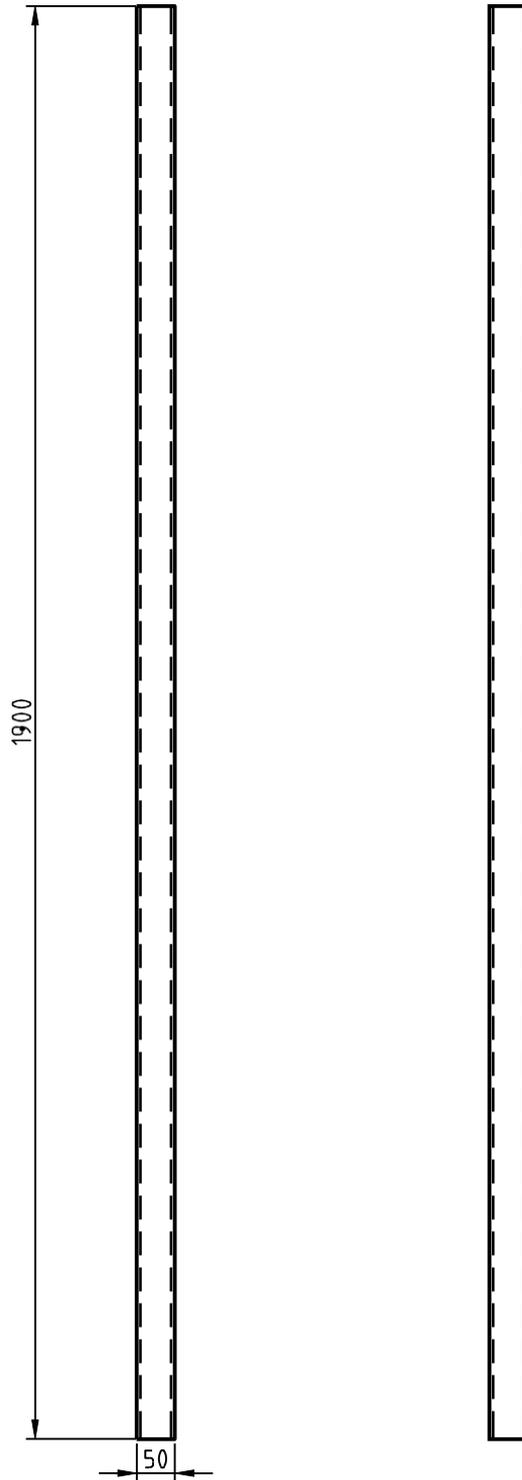
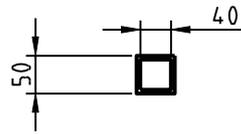


Projec.	17/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	17/10/2022	José Lopes						
Escala	1 : 8			Conjunto da lateral - porta completa				
				Substituído por:				
				Substituído por:				

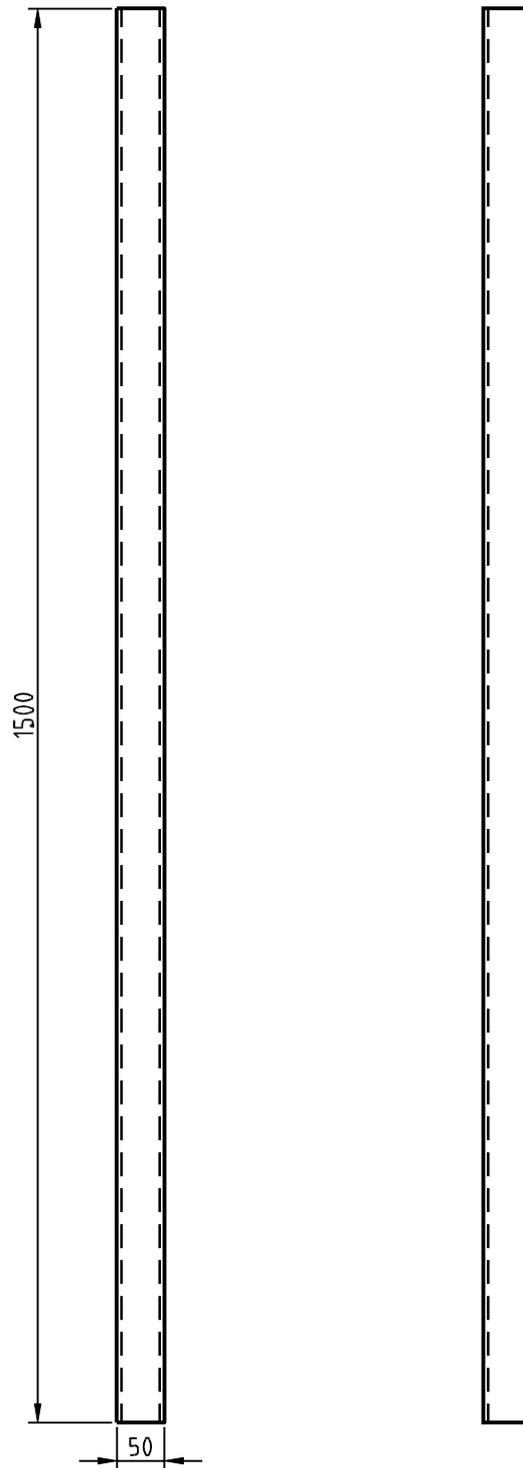
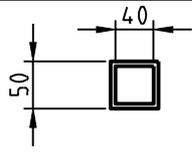
40	Porca Hexagonal	ISO 4035 M5	4,6	
2	Parafuso Hexagonal	ISO 4017 M5x30	4,5	
2	Parafuso Hexagonal	ISO 4017 M5x25	4,4	
40	Parafuso Hexagonal	ISO 4017 M5x10	4,3	
1	Fixador nº2 - conjunto fixação da pistola		4,2	
1	Haste nº2 - conjunto fixação da pistola		4,1	
1	Fixador nº1 - conjunto fixação da pistola		4,0	
1	Haste nº1 - conjunto fixação da pistola		3,9	
1	Haste principal - conjunto fixação da pistola		3,8	
1	Base - conjunto fixação da pistola		3,7	
65	Relamento conjunto fixador da peça	CSN 024640 SKF 6300-RS1	3,6	
65	Suporte do fixador da peça		3,5	
65	Fixador da peça		3,4	
1	Chapa apoio dos motores		3,3	
3	Barra 650x40x40 mm		3,2	
2	Proteção - lado 2000 mm		3,1	
2	Proteção - lado 1600 mm		3,0	
4	Pino		2,9	
8	Dobradiça		2,8	
2	Pega		2,7	
2	Porta		2,6	
2	Chapa 1500x900x3 mm - Lateral		2,5	
65	Alteração chapa dos eixos - corrente		2,4	
1	Correia		2,3	Perfil trapezoidal; largura 25,4 mm; 220 dentes
1	Corrente	ISO 606:2004 32B-1	2,2	
1	Polia - eixo motor		2,1	
1	Polia - eixo meivido 2		2,0	
1	Polia - eixo meivido 1		1,9	
1	Roda dentada - eixo motor		1,8	
4	Roda dentada - eixo meivido		1,7	
5	Relamento apoio da roda dentada	CSN 024640 SKF 61908-RS1	1,6	
3	Relamento apoio da polia	CSN 024640 SKF 6004-RS1	1,5	
1	Apoio móvel da roda dentada - eixo meivido		1,4	
2	Fixador do apoio móvel da roda dentada		1,3	
1	Apoio móvel da polia - eixo meivido		1,2	
2	Fixador do apoio móvel da polia		1,1	
1	Apoio fixo da roda dentada - eixo motor		1,0	
1	Apoio fixo da polia - eixo motor		9	
4	Apoio fixo da roda dentada - eixo meivido		8	
2	Apoio fixo da polia - eixo meivido		7	
1	Chapa 1900x1500x3 mm - Superior		6	
2	Chapa 1900x900x3 mm - Lateral		5	
1	Chapa 1900x1500x3 mm - Base		4	
4	Barra 1100x50x50 mm		3	
4	Barra 1500x50x50 mm		2	
4	Barra 1900x50x50 mm		1	

Nº	DESIGNAÇÃO	Nº DA NORMA	Nº REF.	OBSERVAÇÕES
----	------------	-------------	---------	-------------

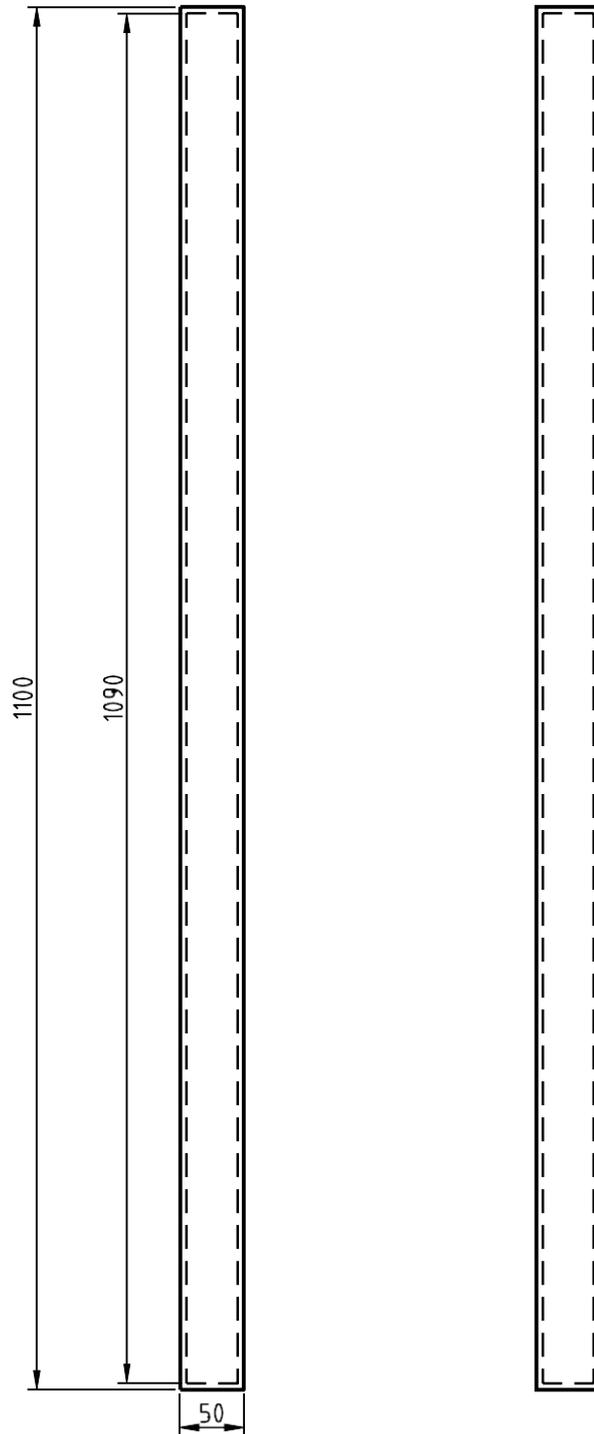
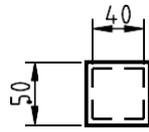
	Projec.	17/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica					
	Desenh.	17/10/2022	José Lopes						
	Escala	Equipamento de pintura - lista de componentes							
				Substituído por:					



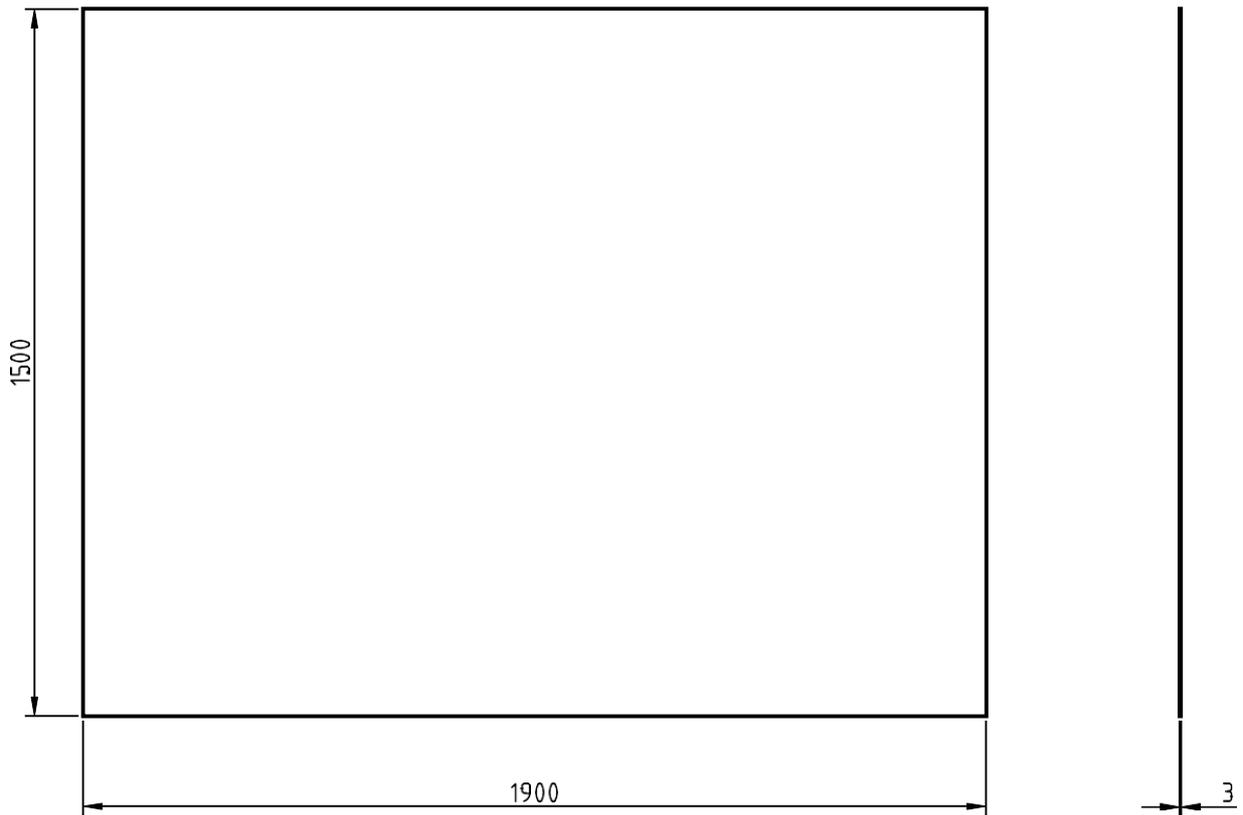
Projec.	20/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	20/09/2022	José Lopes						
Escala	Barra 1900x50x50 mm Estrutura							
1 : 10								
				Substituído por:				
				Substituído por:				



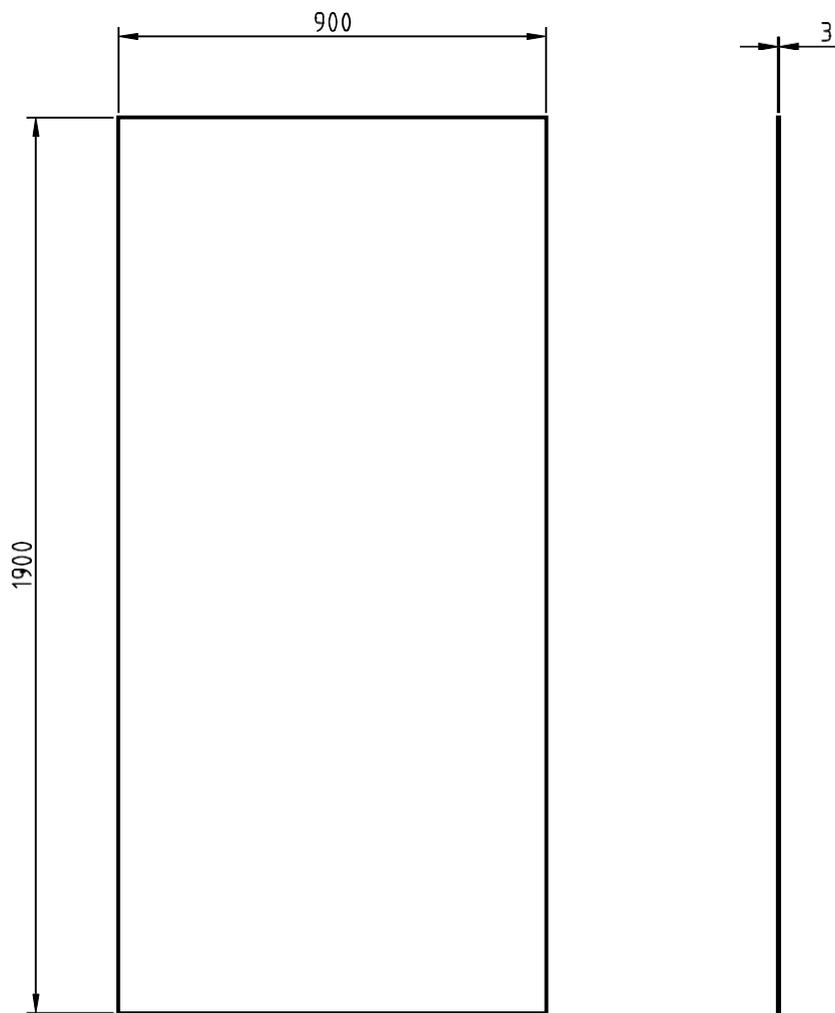
Projec.	20/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	20/09/2022	José Lopes						
Escala	Barra 1500x50x50 mm Estrutura							
1 : 8								
				Substituído por:				
				Substituído por:				



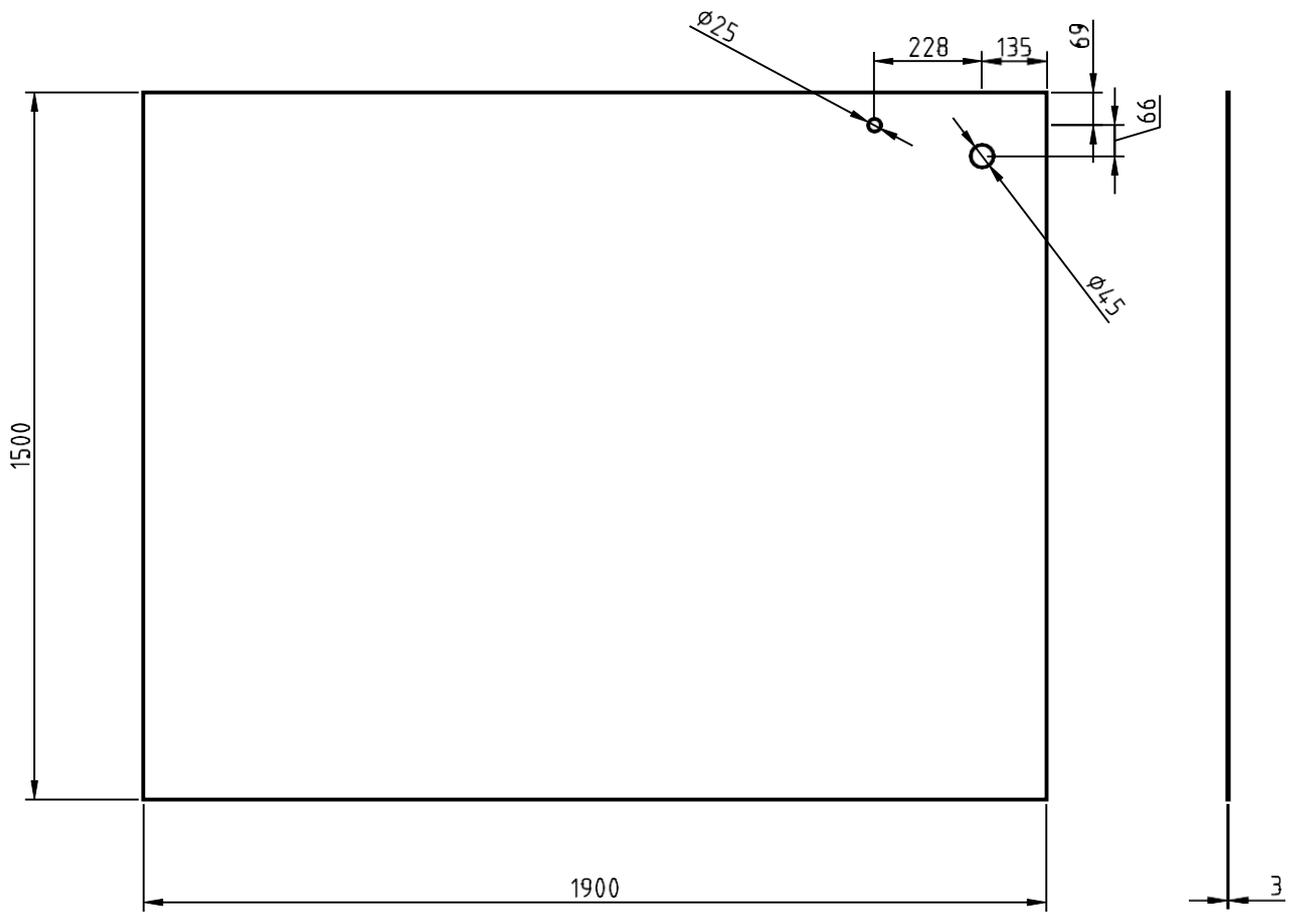
Projec.	20/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I					
Desenh.	20/09/2022	José Lopes							
Escala	Barra 1100x50x50 mm Estrutura								
1 : 6									
				Substituído por:					
				Substituído por:					



Projec.	20/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I					
Desenh.	20/09/2022	José Lopes							
Escala	Chapa 1900x1500x3 mm Base								
1:16									
				Substituído por:					
				Substituído por:					

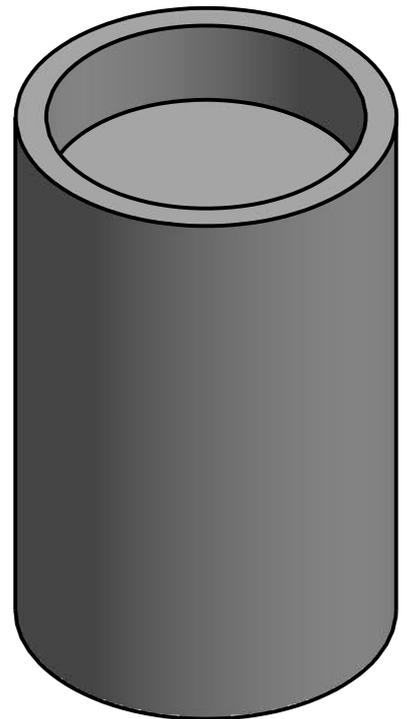
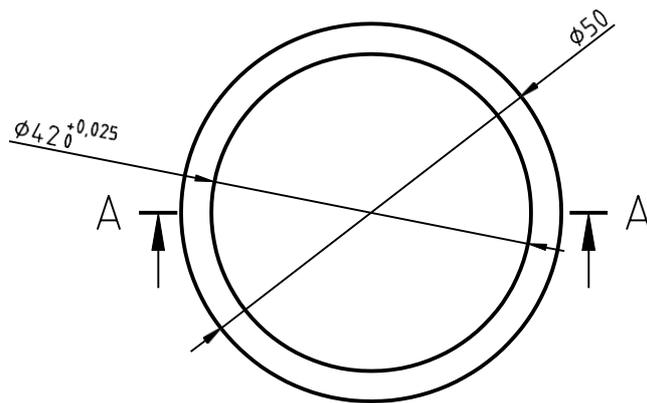
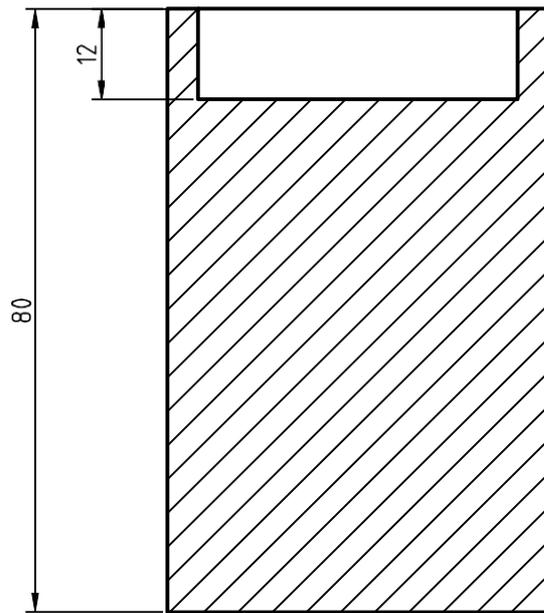


Projec.	30/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	30/09/2022	José Lopes						
Escala	1:16		Chapa 1900x900x3 mm Lateral					
			Substituído por:					
			Substituído por:					



Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	27/09/2022	José Lopes						
Escala	Chapa 1900x1500x3 mm Superior							
1:16								
				Substituído por:				
				Substituído por:				

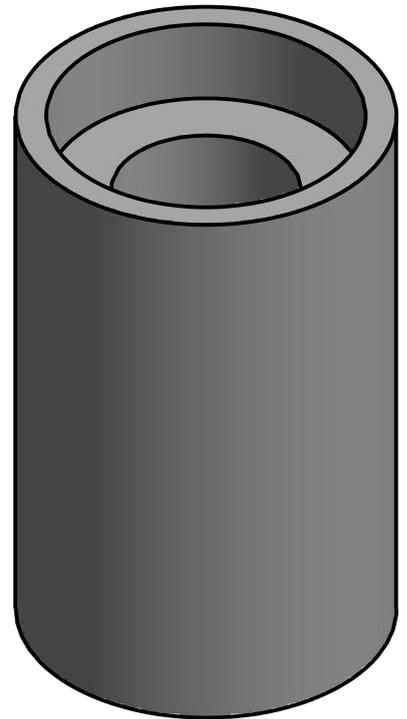
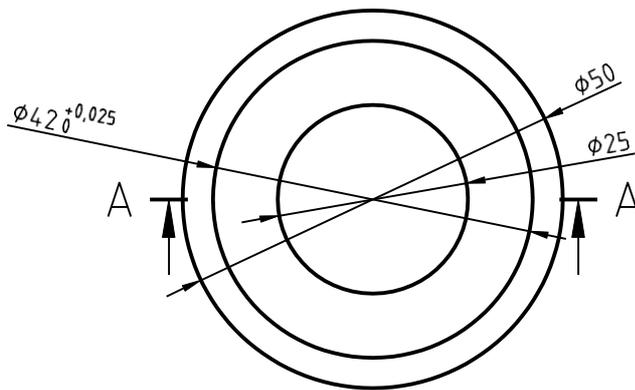
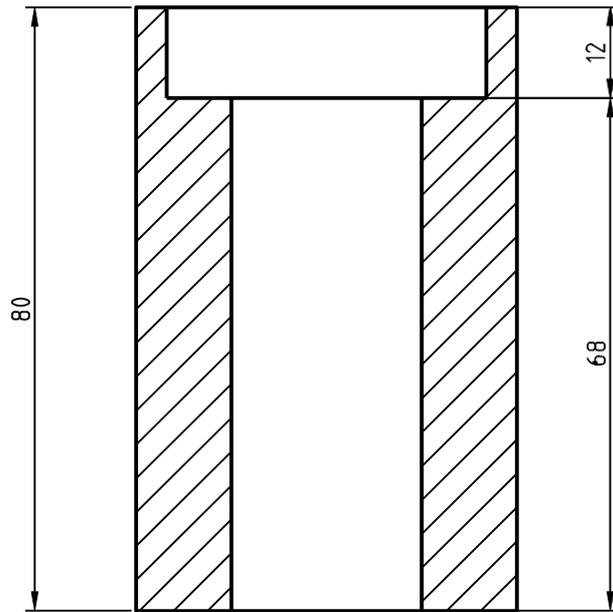
A-A (1:1)



Projec.	11/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	11/10/2022	José Lopes						
Escala	1:1			Apoio fixo da polia - eixo movido				
				Substituído por:				
				Substituído por:				

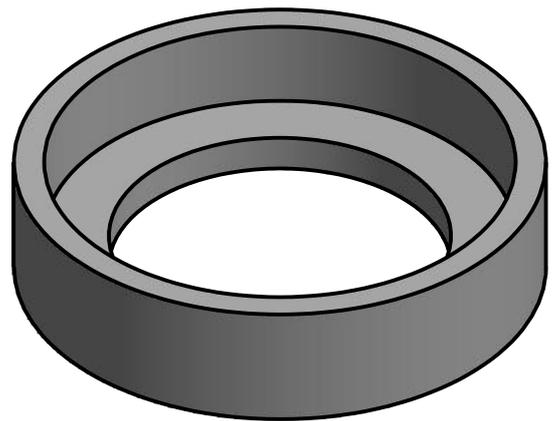
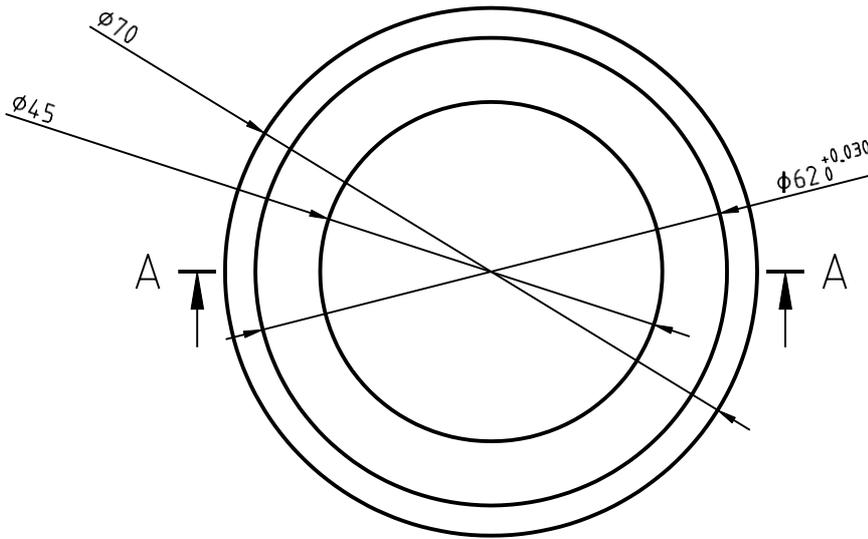
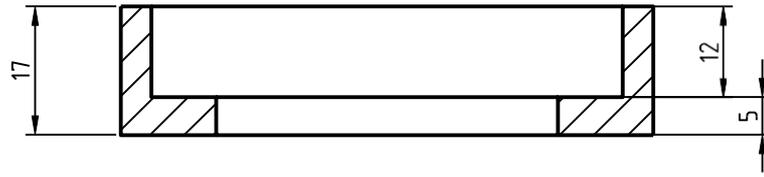


A - A (1:1)

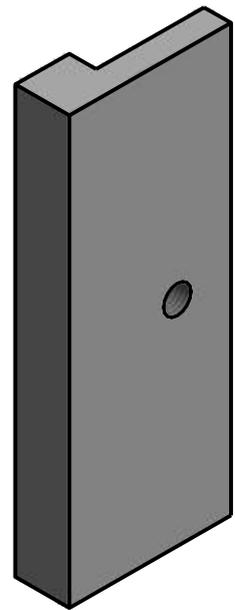
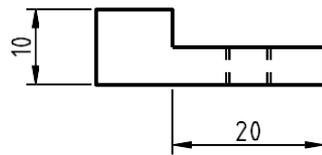
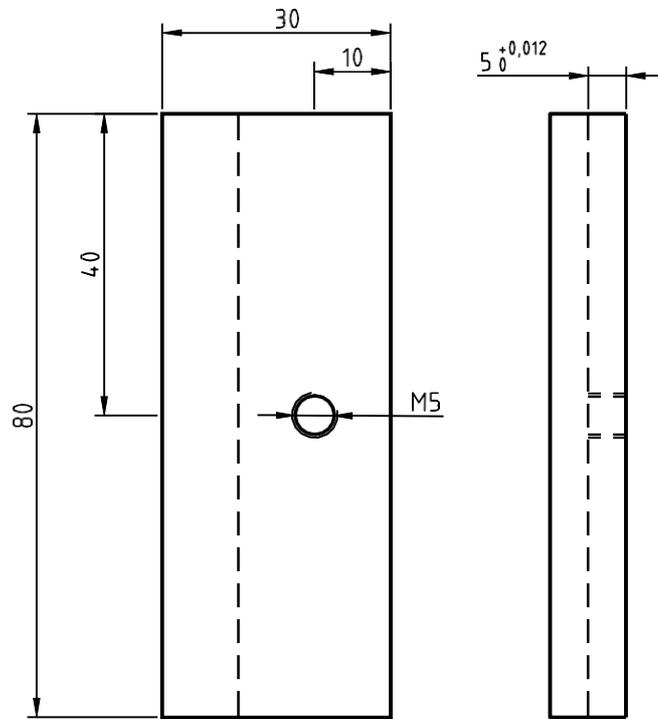


Projec.	11/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I														
Desenh.	11/10/2022	José Lopes																
Escala	Apoio fixo da polia- eixo motor			<table border="1"> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> </table>														
1:1																		
				Substituído por:														
				Substituído por:														

A - A (1:1)

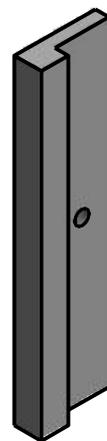
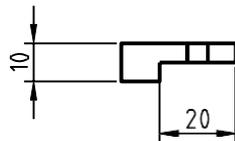
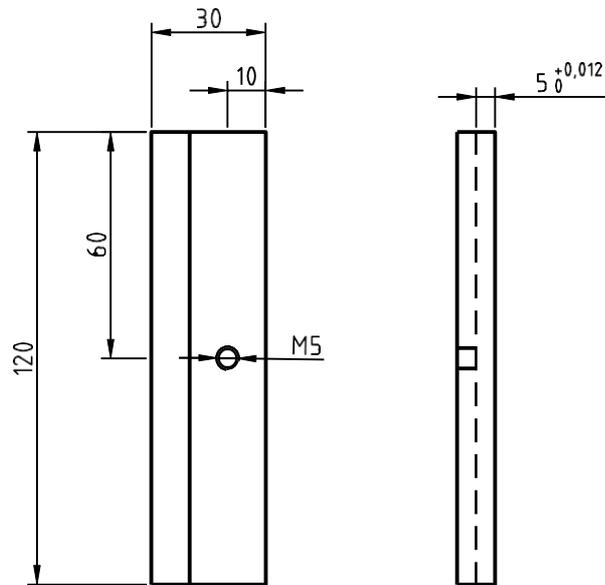


Projec.	11/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	11/10/2022	José Lopes						
Escala	Apoio fixo da roda dentada - eixo motor							
1:1								
				Substituído por:				
				Substituído por:				



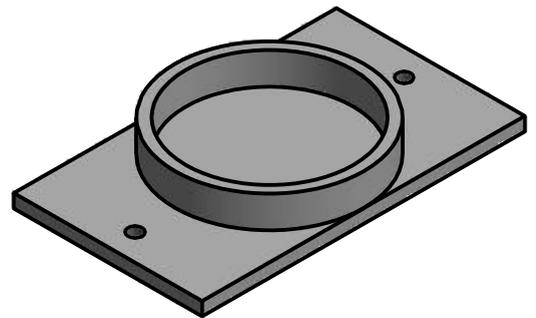
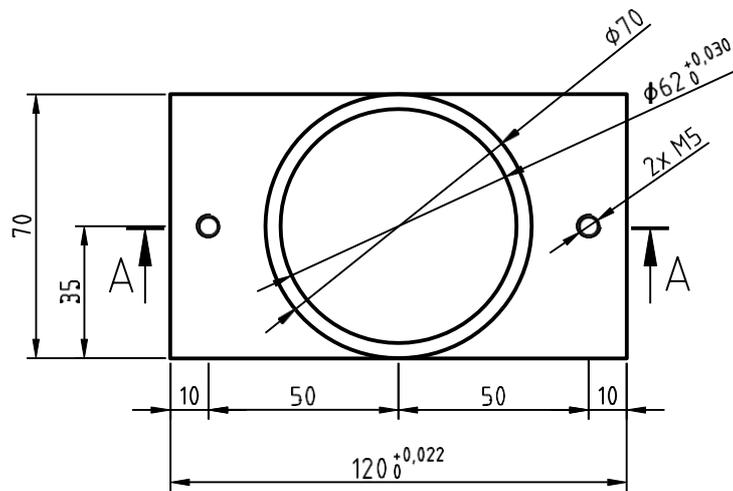
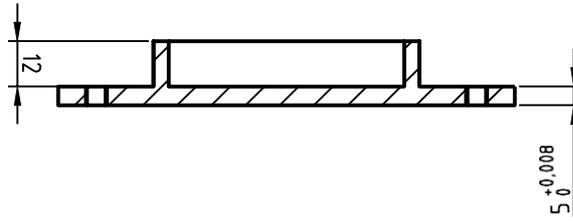
Observações	Projec.	11/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica			
Furo: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H	Desenh.	11/10/2022	José Lopes			Apêndice I	
	Escala	1:1					
				Substituído por:			
				Substituído por:			



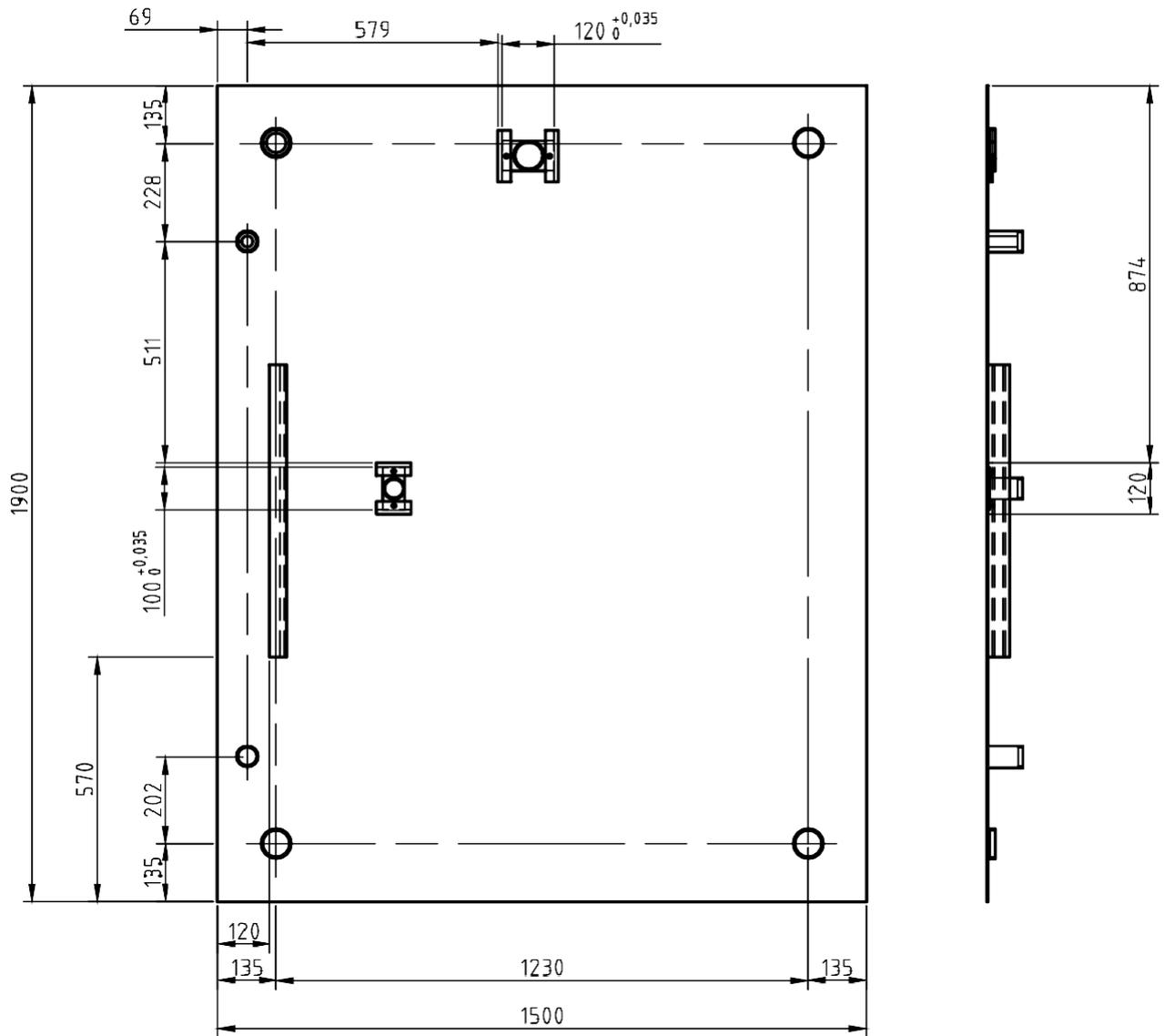


Observações	Projec.	11/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I
Furo: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H	Desenh.	11/10/2022	José Lopes		
	Escala	1 : 2			
Fixador do apoio móvel da roda dentada					
				Substituído por:	
				Substituído por:	

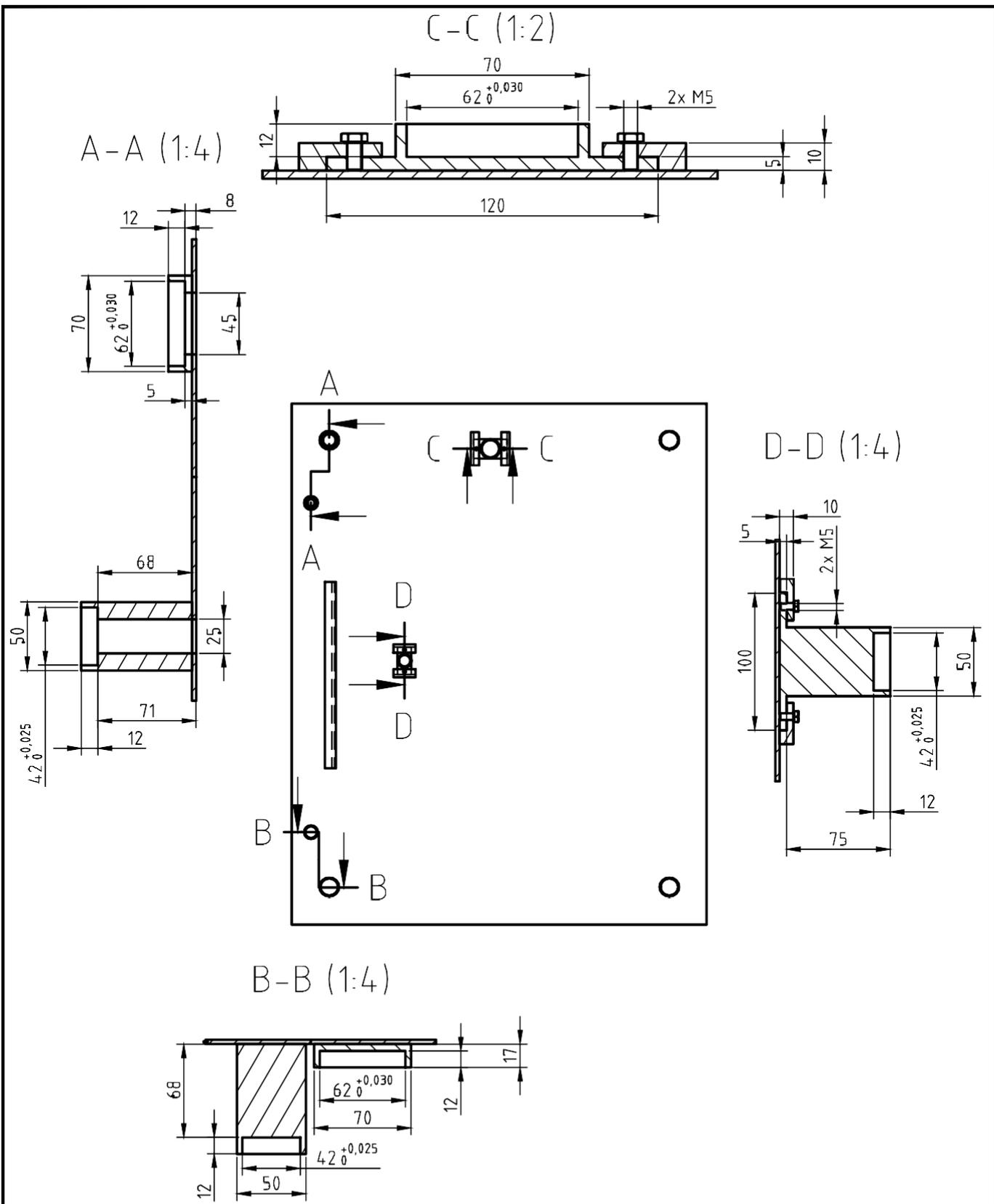
A-A (1:2)



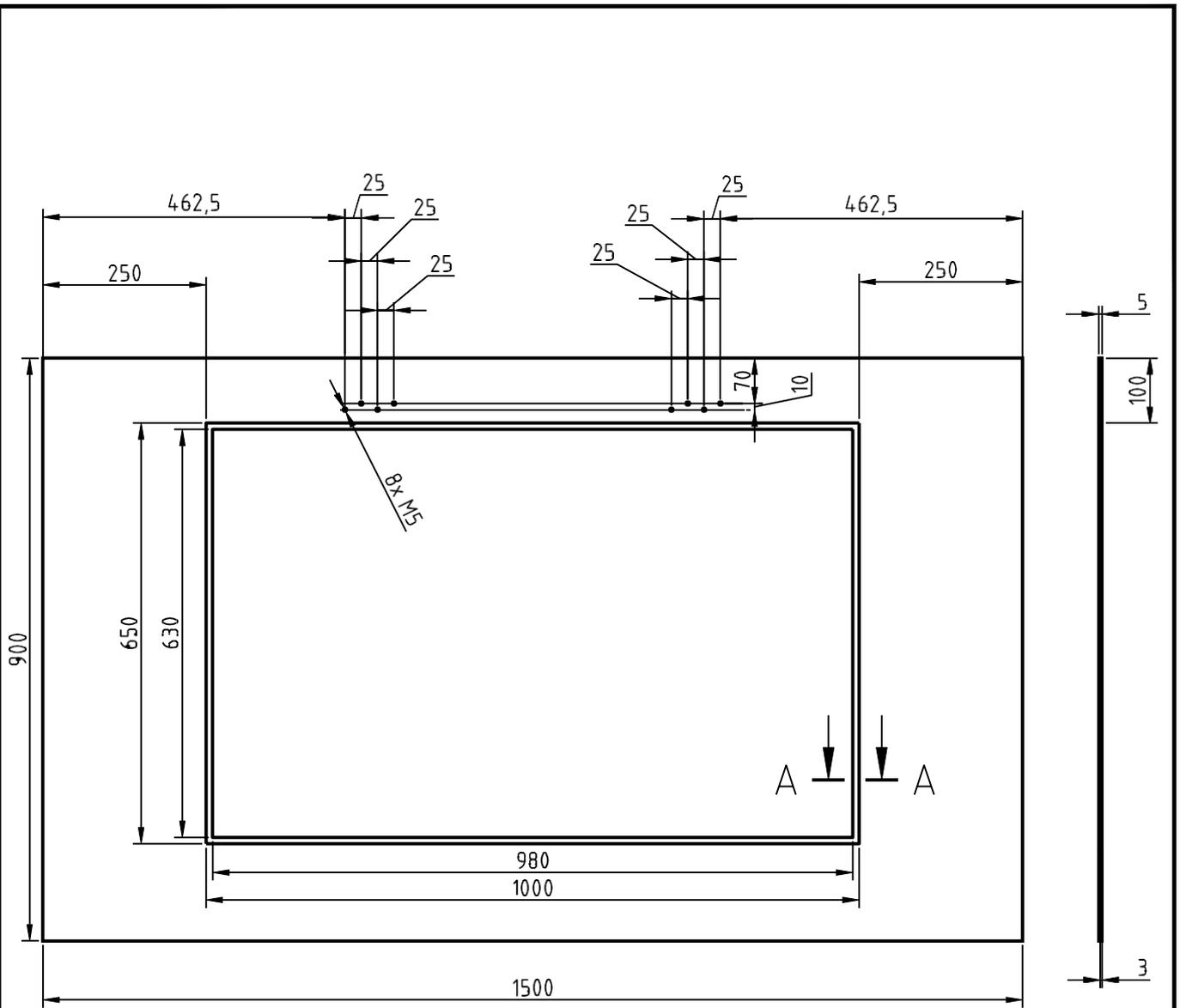
Observações	Projec.	11/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I						
Furos M5: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H	Desenh.	11/10/2022	José Lopes								
	Escala	1 : 2									
Apoio móvel da roda dentada - eixo movido				<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table> Substituído por:							



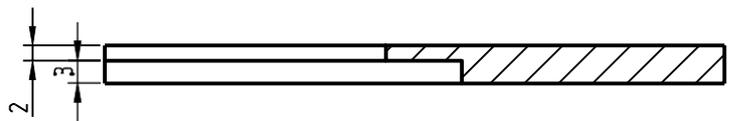
Projec.	11/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I																				
Desenh.	11/10/2022	José Lopes																						
Escala	1:16			<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Substituído por:</td> </tr> </table>											Substituído por:									
Substituído por:																								
Chapa superior com apoios e base fixação da pistola																								



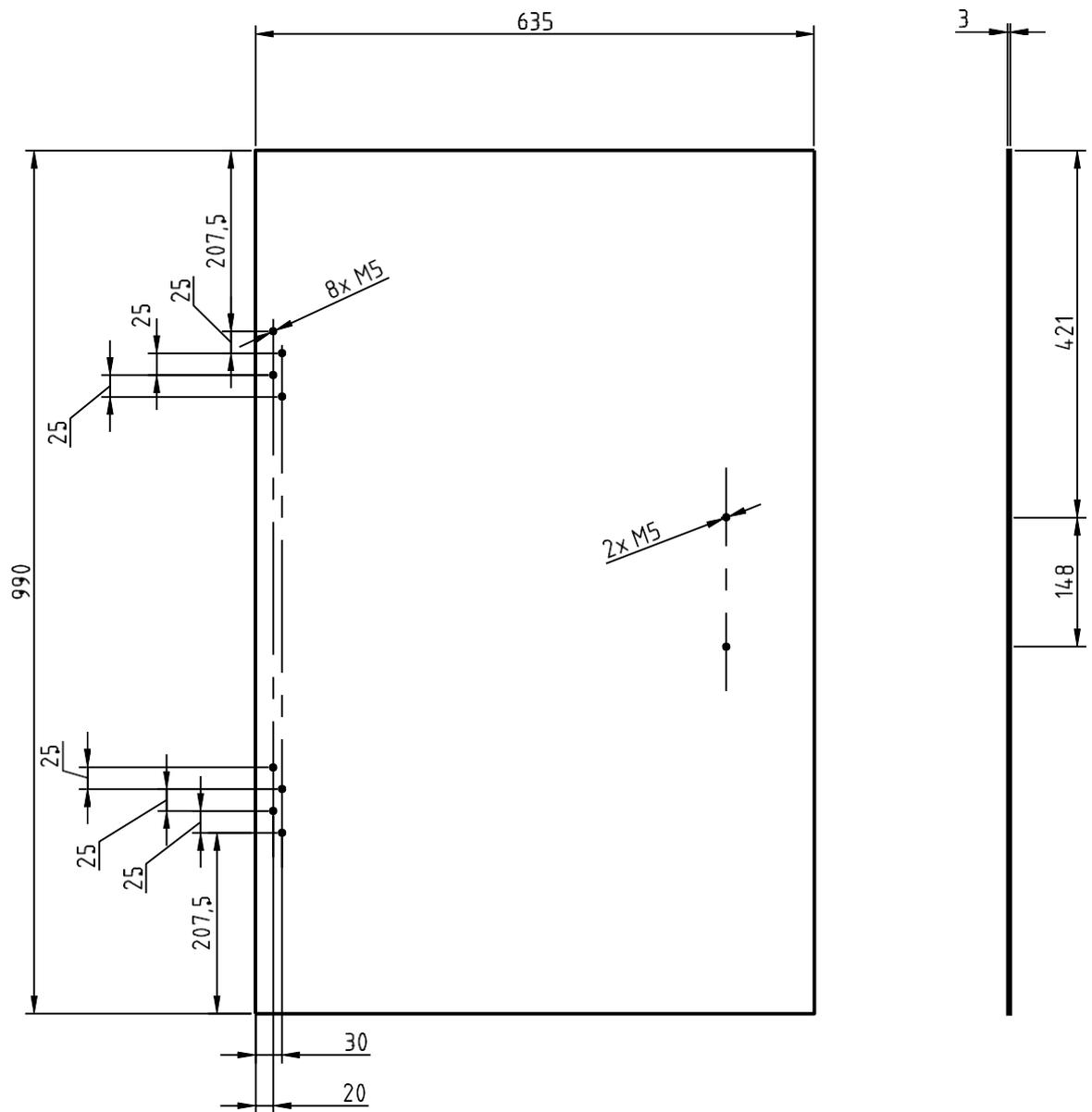
Projec.	11/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I
Desenh.	11/10/2022	José Lopes		
Escala	1:20			Chapa superior com apoios e base fixação pistola - cortes
				Substituído por:



A - A (1:1)

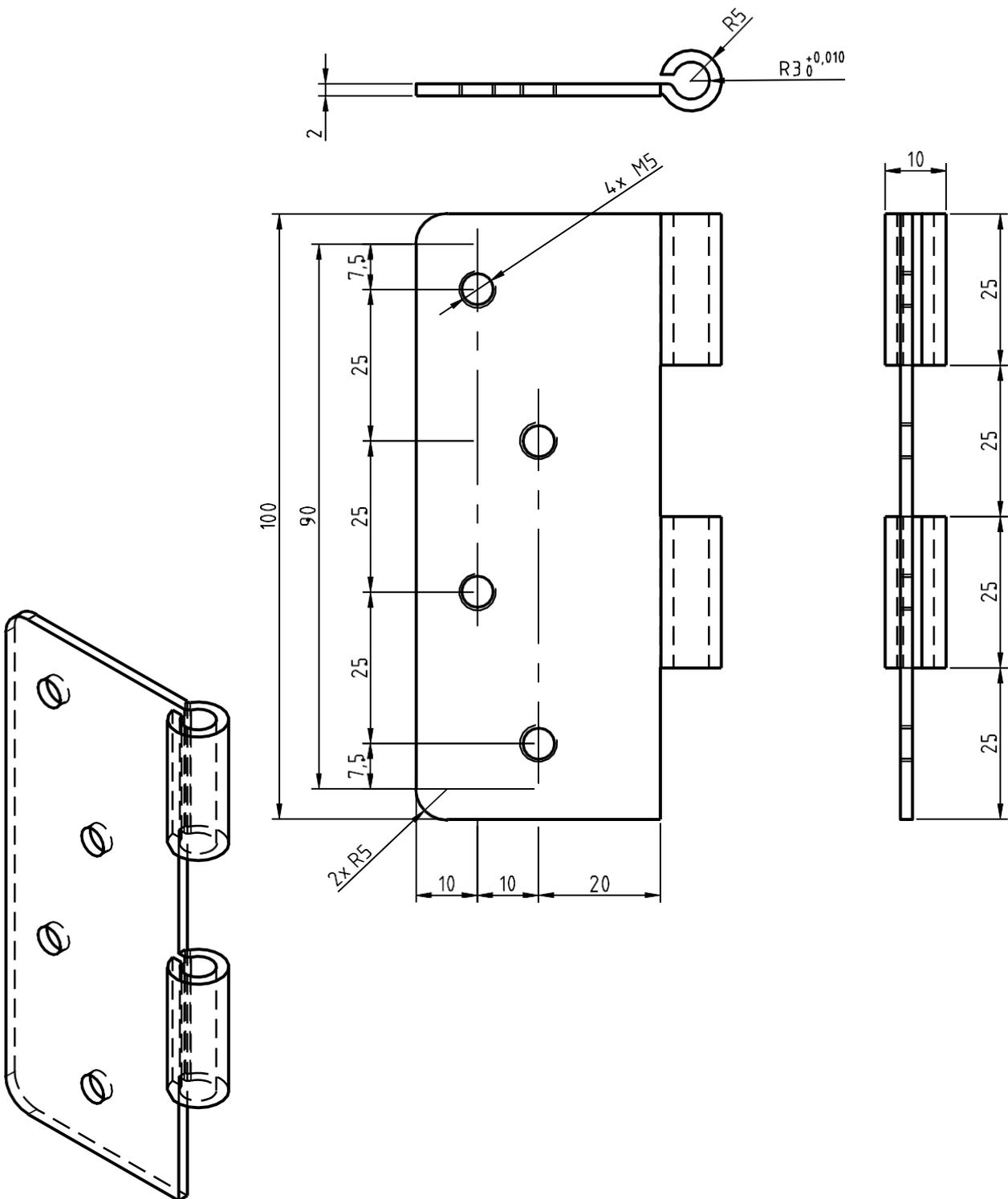


Observações	Projec.	20/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica			
Furos M5: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H	Desenh.	20/09/2022	José Lopes			Apêndice I	
	Escala	1 : 10		Chapa 1500x900x3 mm - Lateral			
				Substituído por:			
				Substituído por:			



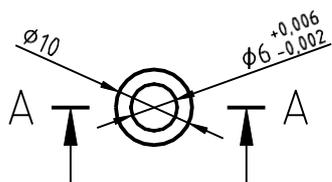
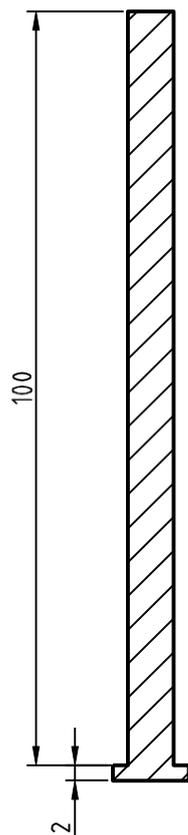
Observações	Projec.	20/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	
Furos M5: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H	Desenh.	20/09/2022	José Lopes		
	Escala		Porta		
1 : 8					
				Apêndice I	
				Substituído por:	
				Substituído por:	



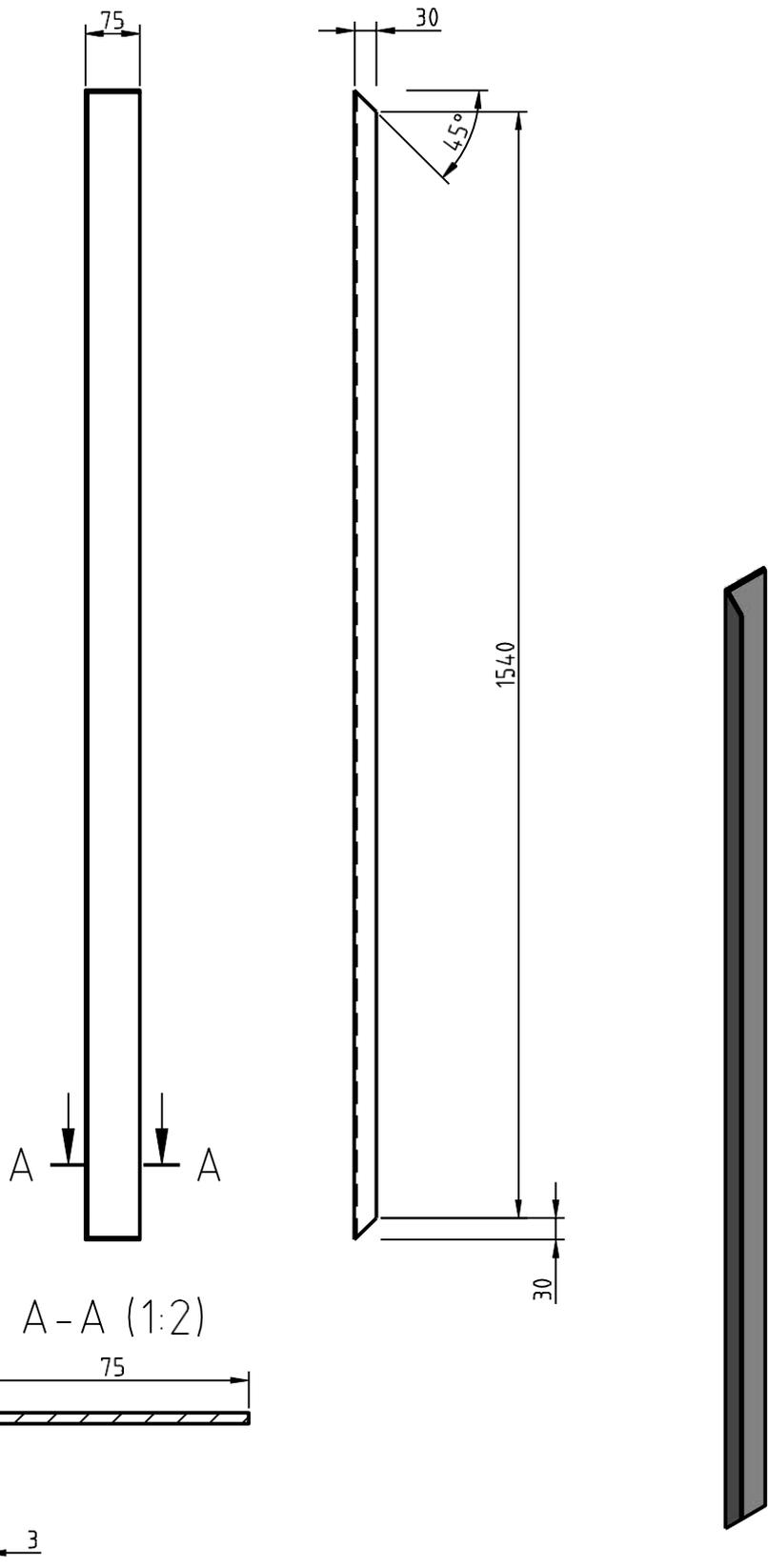


Observações				Projec. 20/09/2022 José Lopes Desenh. 20/09/2022 José Lopes		UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica		Apêndice I					
Furos M5: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H				Escala									
1:1				Dobradiça		<table border="1" style="width: 100%; height: 40px;"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>							
Substituído por:													
Substituído por:													

A-A (1:1)

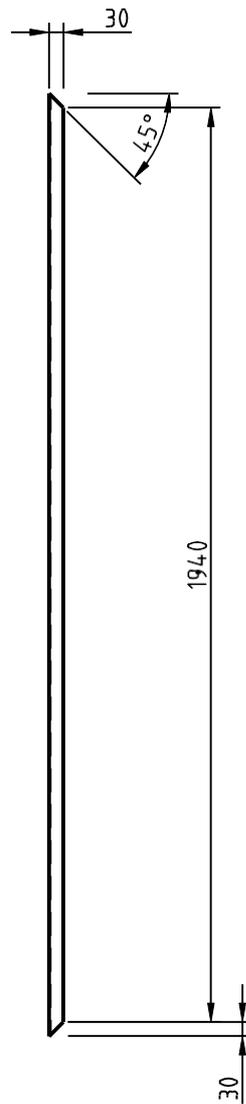
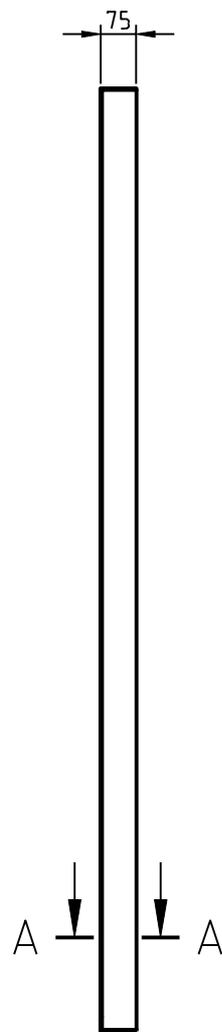


Projec.	20/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	20/09/2022	José Lopes						
Escala	Pino							
1:1								
				Substituído por:				

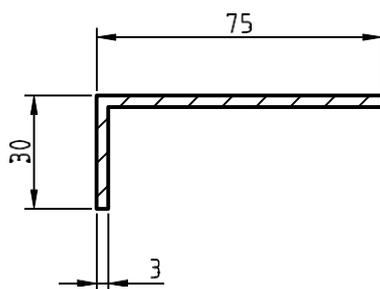


A - A (1:2)

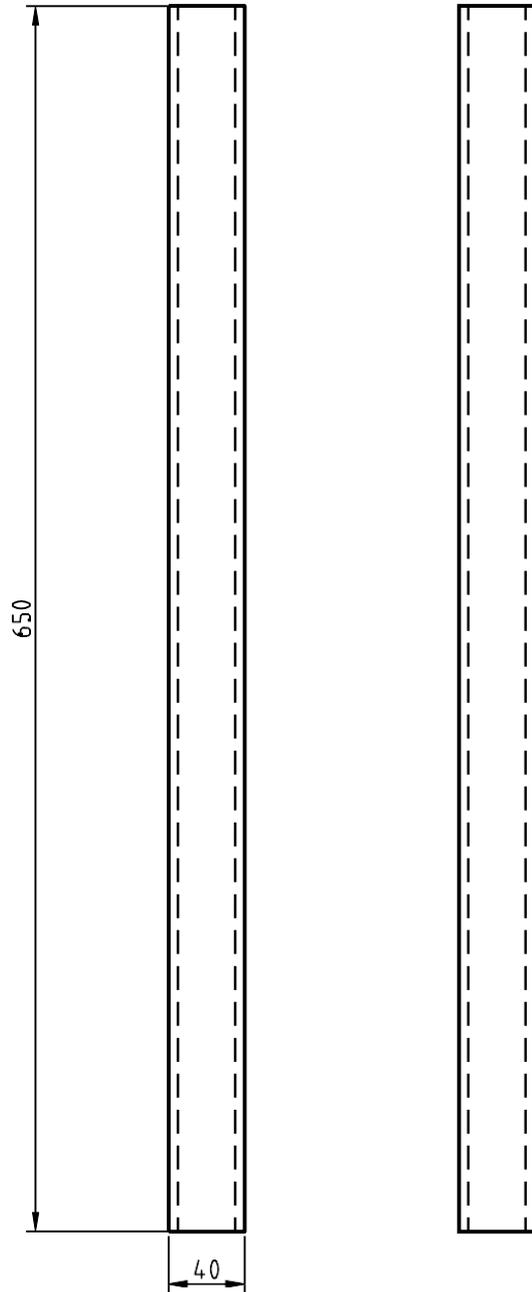
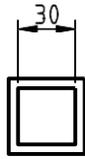
Projec.	30/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I
Desenh.	30/09/2022	José Lopes		
Escala	1 : 10			
	Proteção lado 1600 mm			
				Substituído por:



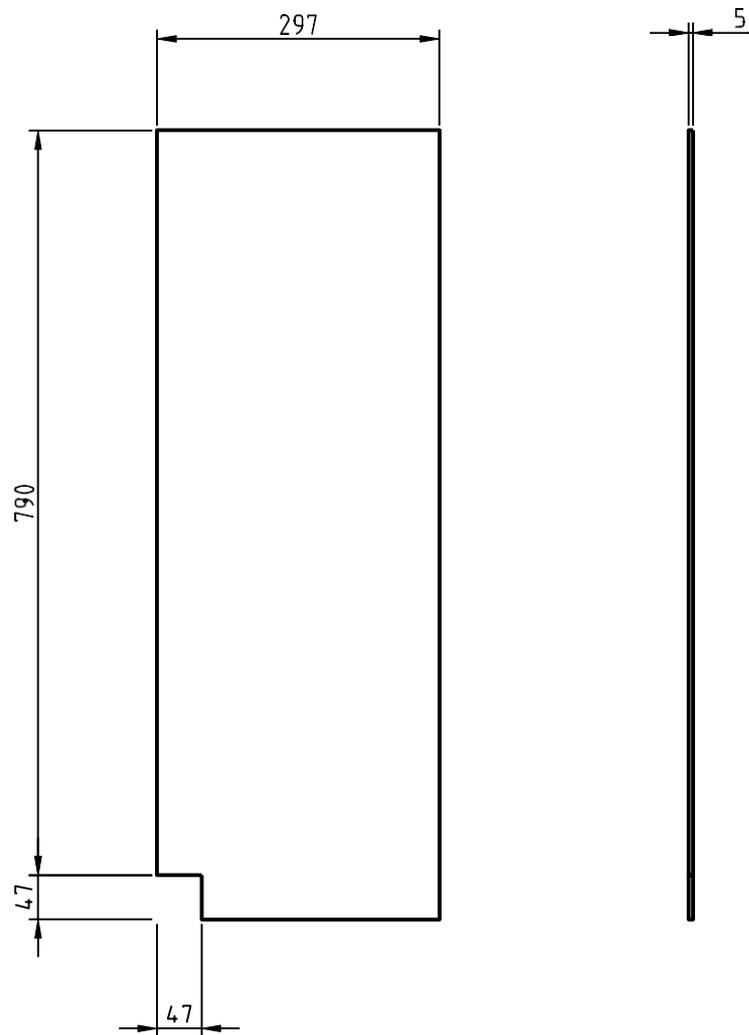
A - A (1:2)



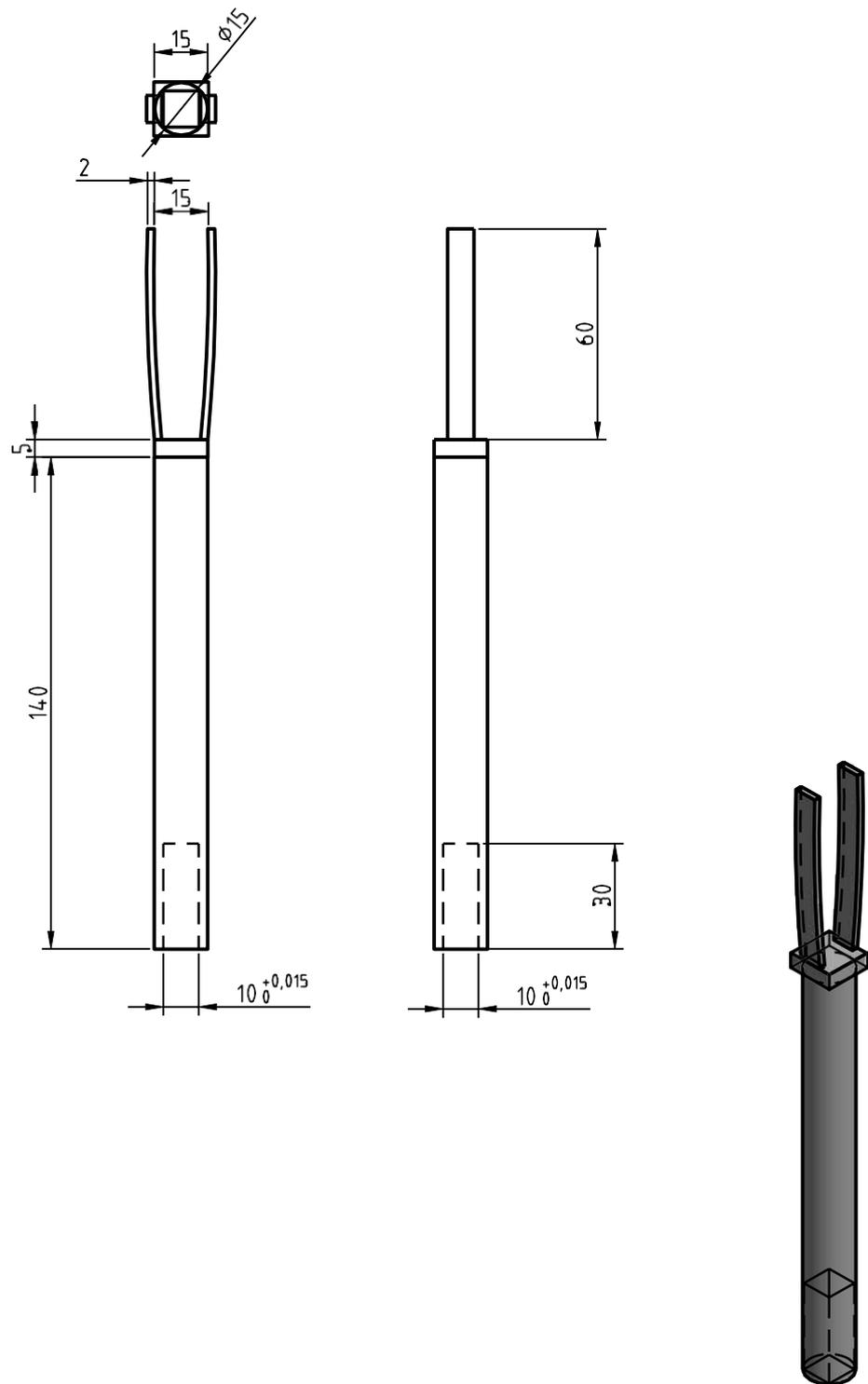
Projec.	30/09/2022	José Lapes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I					
Desenh.	30/09/2022	José Lapes							
Escala	Proteção lado 2000 mm								
1:16									
				Substituído por:					
				Substituído por:					



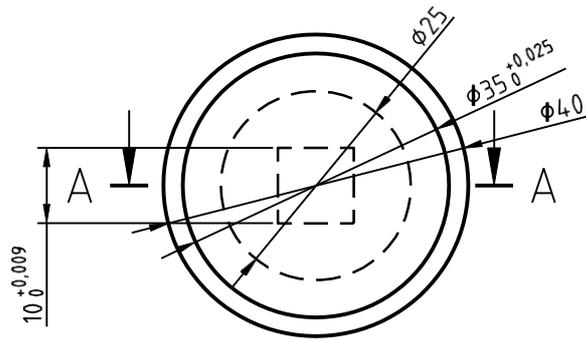
Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	27/09/2022	José Lopes						
Escala	Barra 650x40x40 mm							
1 : 4								
	Substituído por:							
	Substituído por:							



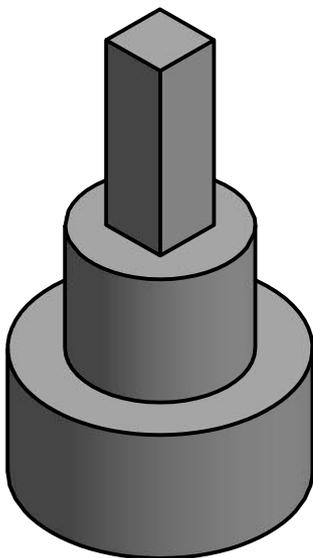
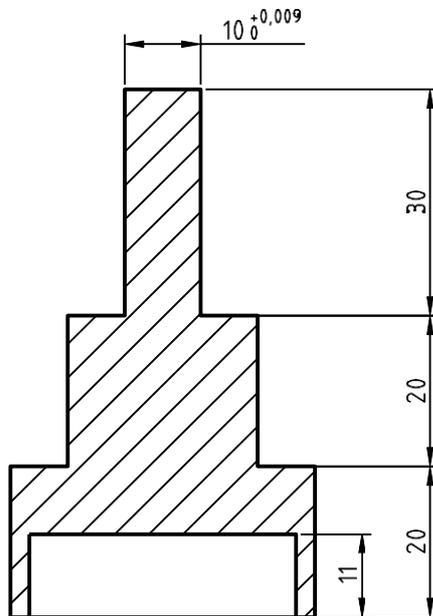
Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I					
Desenh.	27/09/2022	José Lopes							
Escala	Chapa apoio dos motores								
1 : 8									
				Substituído por:					
				Substituído por:					



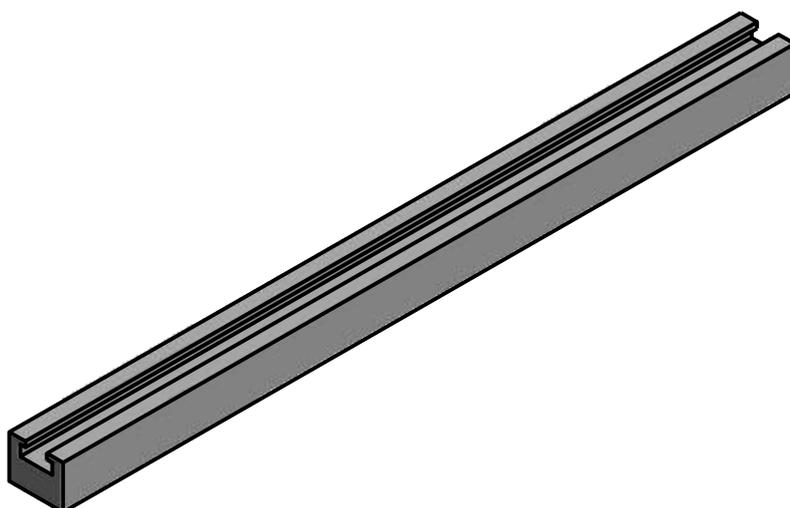
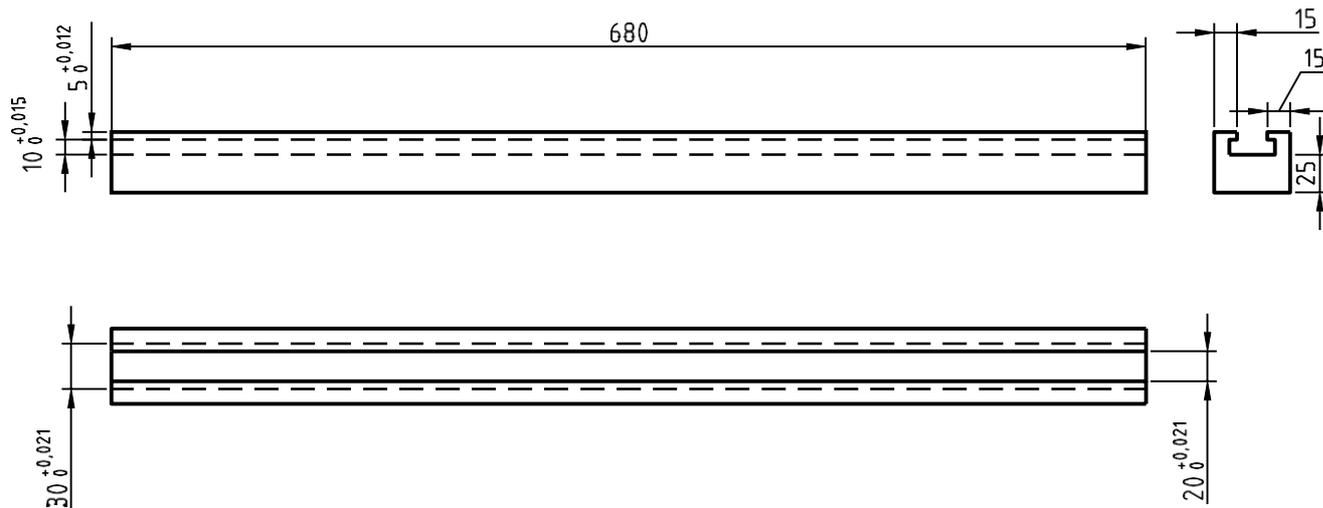
Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	27/09/2022	José Lopes						
Escala	Fixador da peça							
1 : 2								
				Substituído por:				
				Substituído por:				



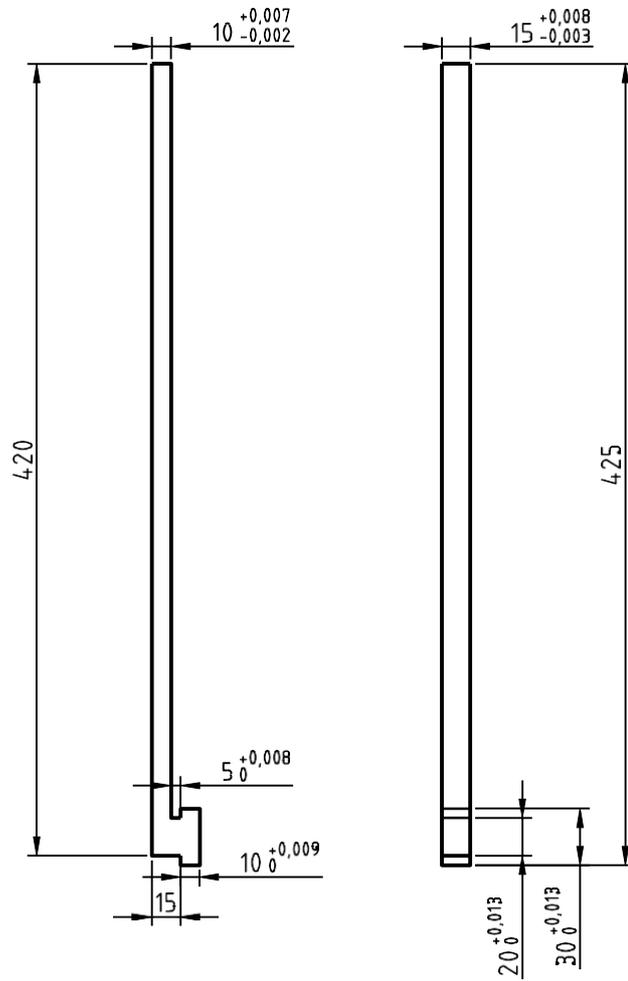
A-A (1:1)



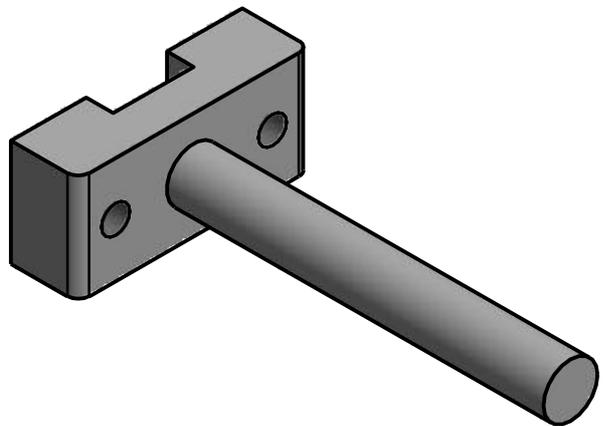
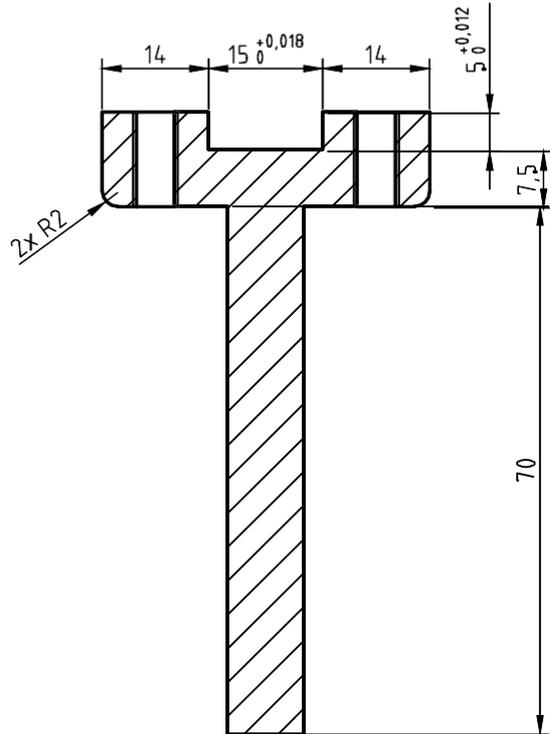
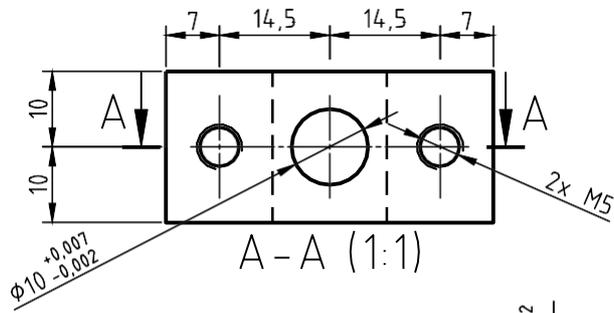
Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	27/09/2022	José Lopes						
Escala	Suporte do fixador da peça							
1:1								
				Substituído por:				



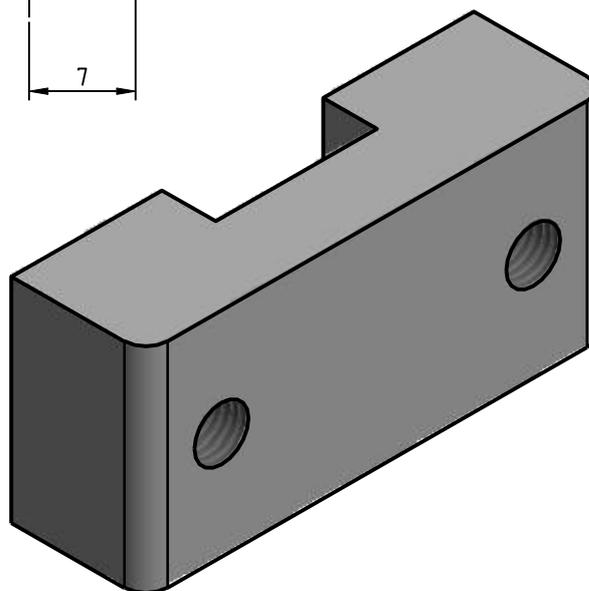
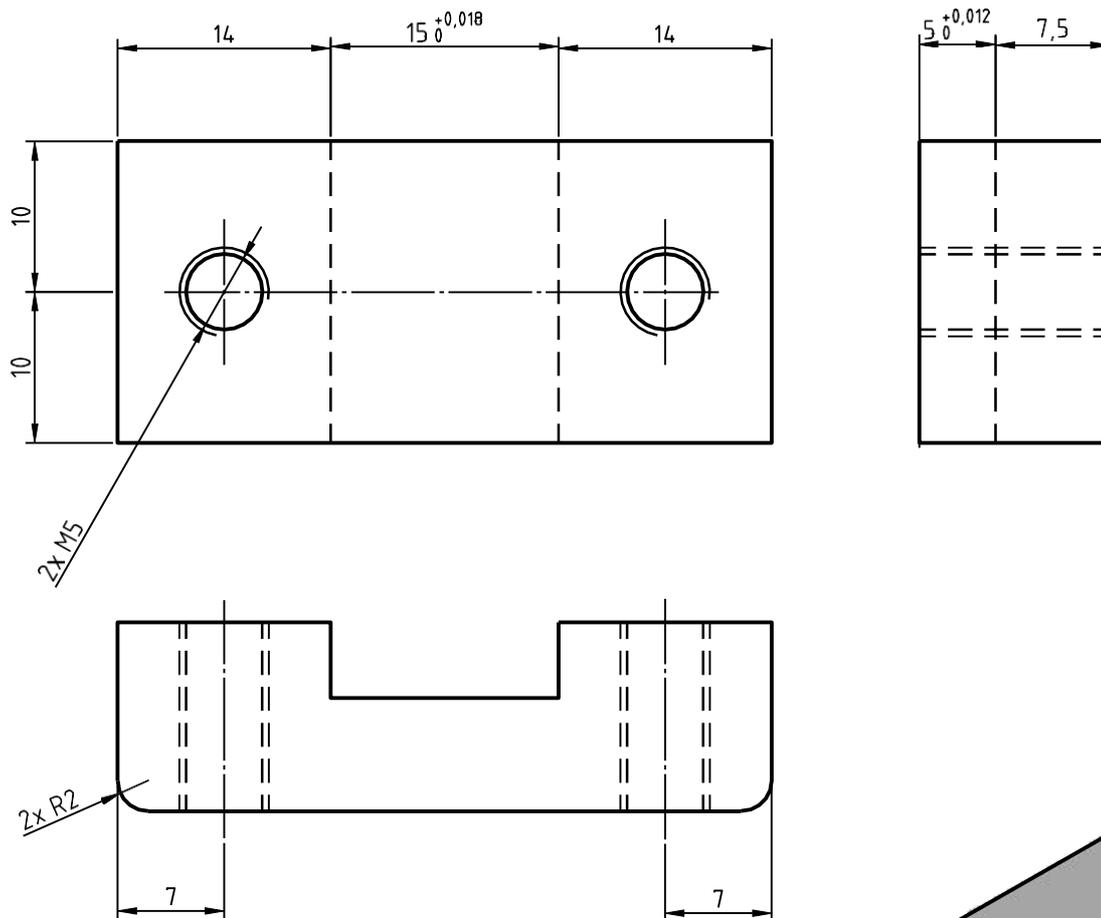
Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I				
Desenh.	27/09/2022	José Lopes						
Escala	Base Fixação pistola							
1 : 5								
				Substituído por:				



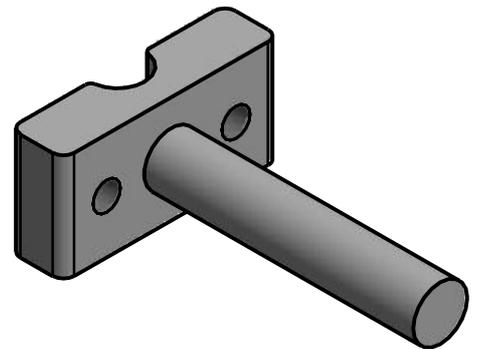
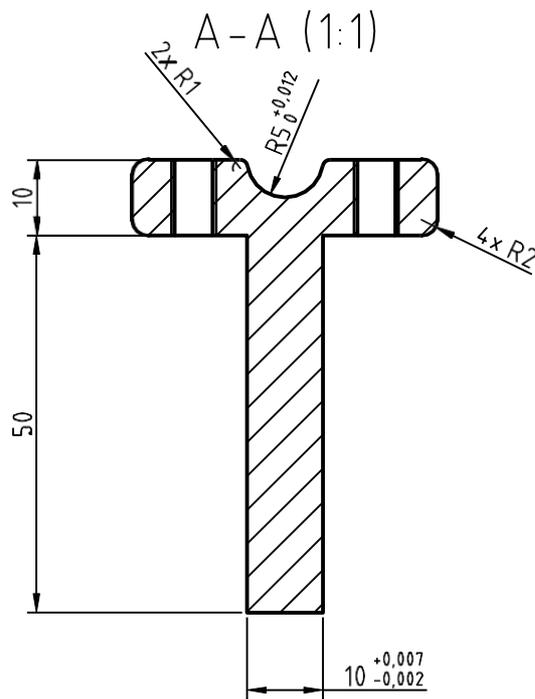
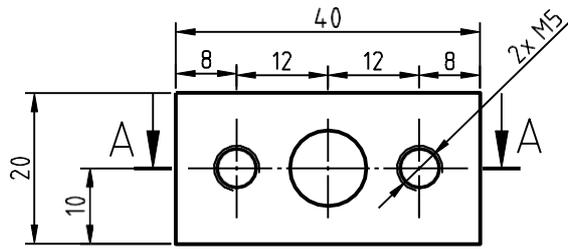
Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I																																		
Desenh.	27/09/2022	José Lopes																																				
Escala	Haste principal Fixação pistola			<table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>																																		
1 : 4																																						
				Substituído por:																																		
				Substituído por:																																		



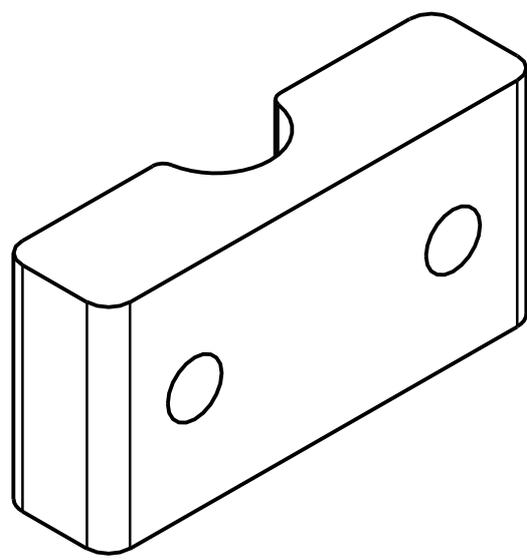
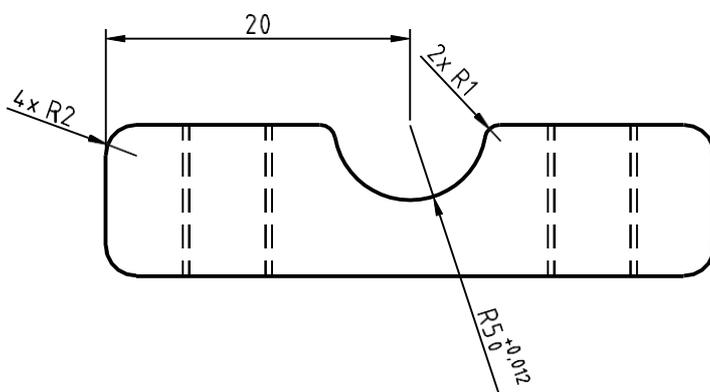
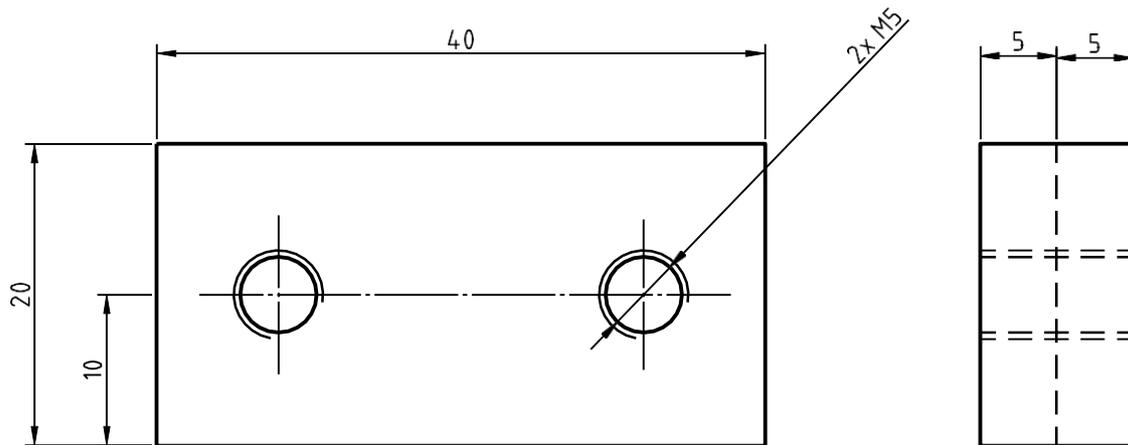
Observações				Projec. 27/09/2022 José Lopes		UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I
Furos: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H				Desenh. 27/09/2022 José Lopes			
Escala 1:1				Haste nº1 - conjunto fixação da pistola			
							Substituído por:
							Substituído por:



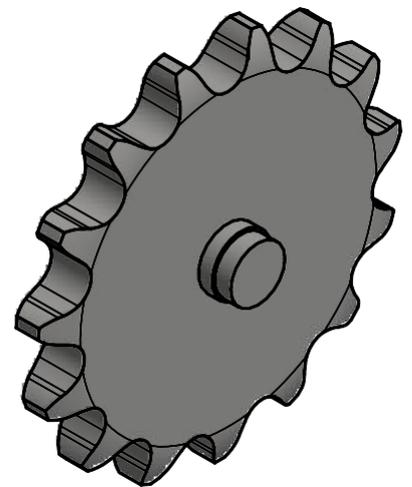
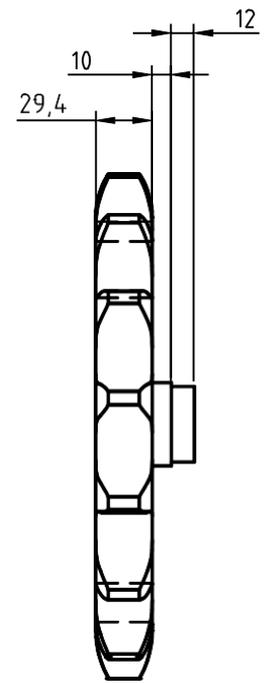
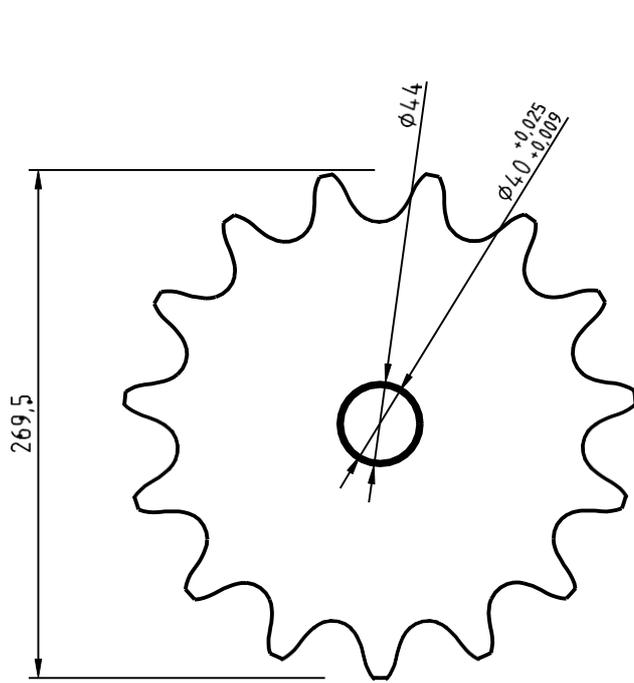
Observações	Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I
Furos: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H	Desenh.	27/09/2022	José Lopes		
	Escala	2 : 1			
				Fixador nº1 - conjunto fixação da pistola	
				Substituído por:	
				Substituído por:	



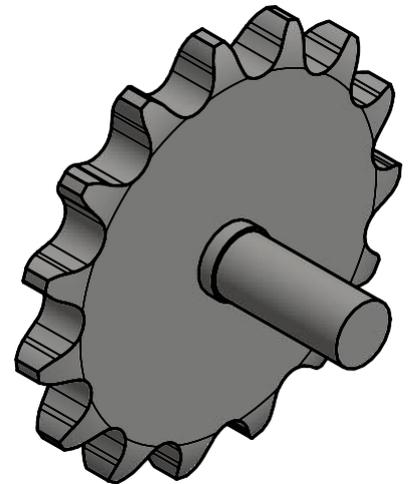
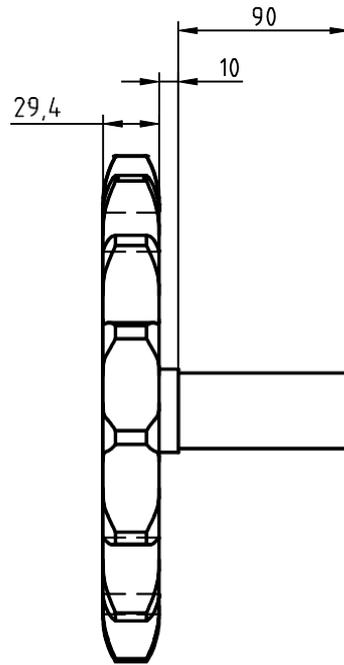
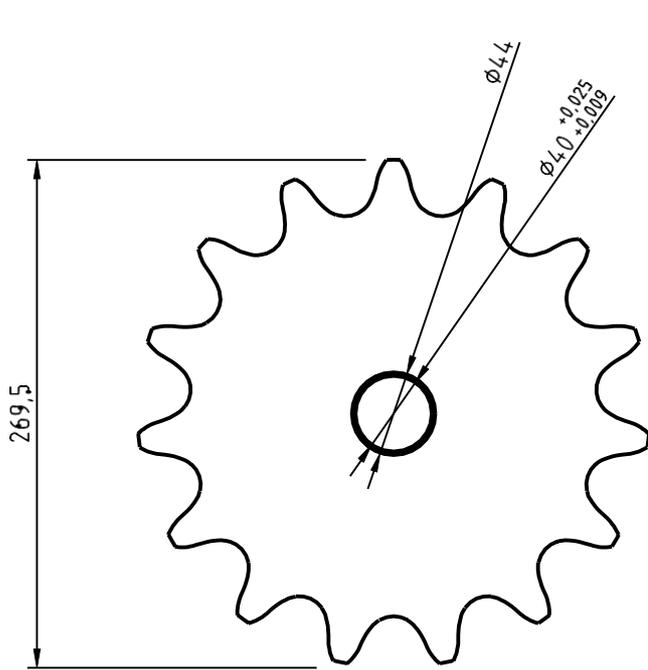
Observações	Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I												
Furos: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H	Desenh.	27/09/2022	José Lopes														
	Escala 1:1																
Haste nº2 - conjunto fixação da pistola				<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="6">Substituído por:</td> </tr> </table>								Substituído por:					
Substituído por:																	



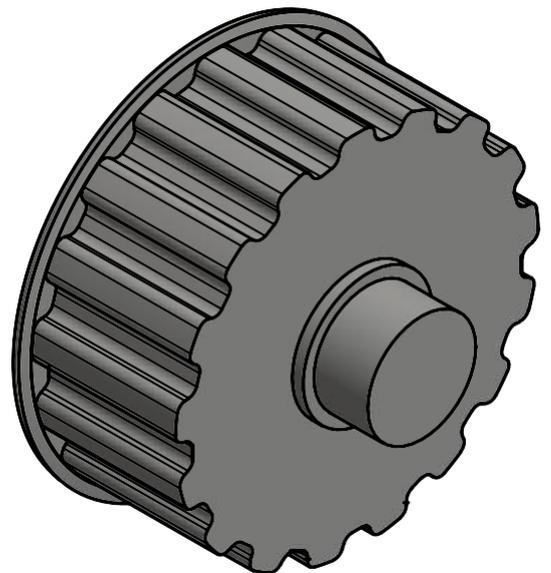
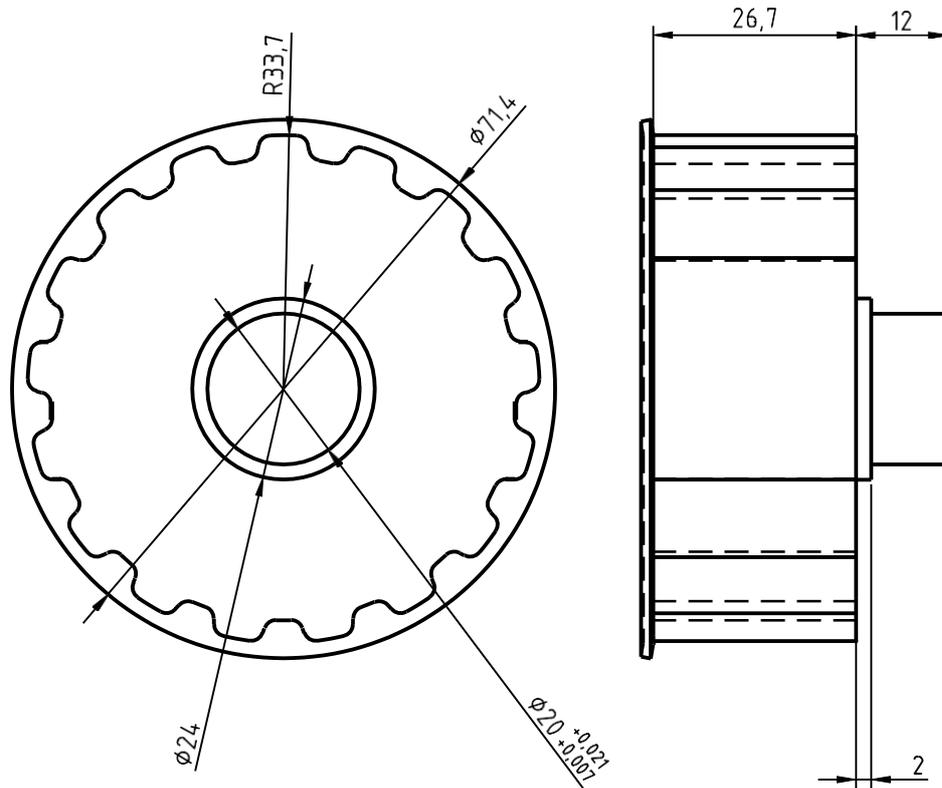
Observações	Projec.	27/09/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I
Furos: -Rosca: ISO Metric profile -Designação: M5 x 0,8 -Classe: 6H	Desenh.	27/09/2022	José Lopes		
	Escala				
	2 : 1			Fixador nº2 - conjunto fixação da pistola	
				Substituído por:	



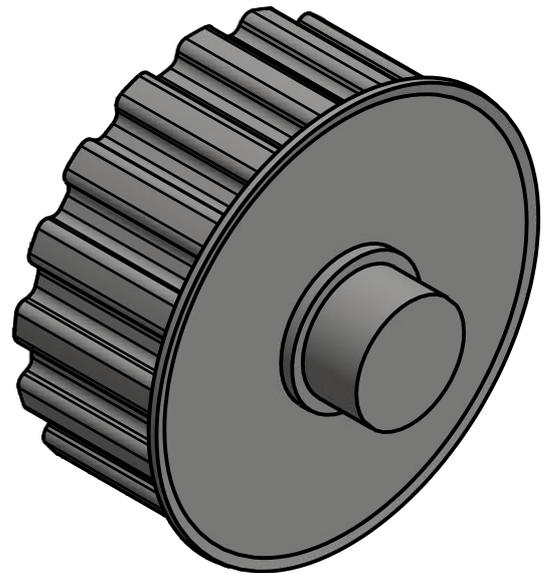
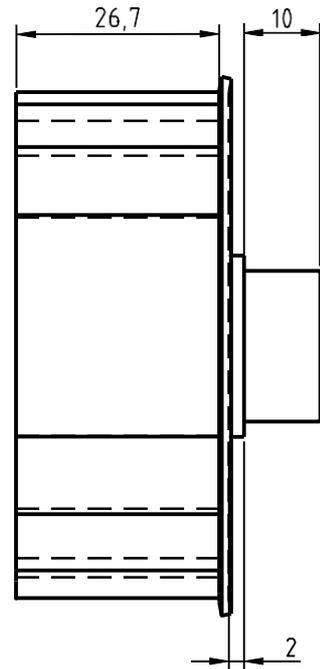
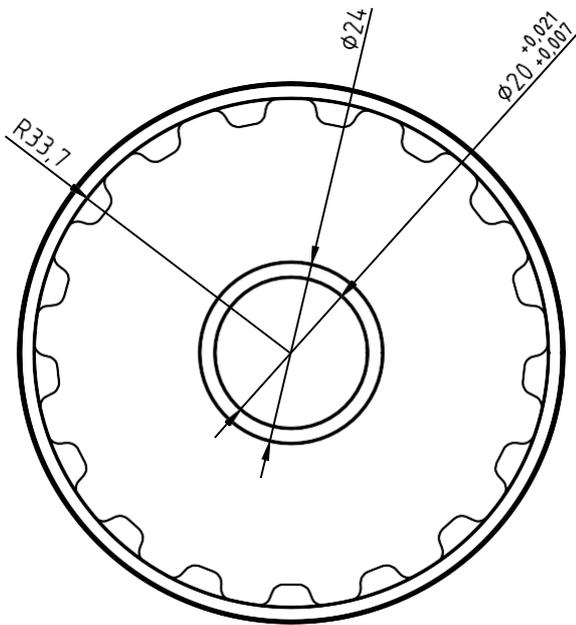
Observações	Projec.	01/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	
	Desenh.	01/10/2022	José Lopes		
Número de dentes = 15	Escala	1 : 4			Roda dentada Eixo movido
					Substituído por:



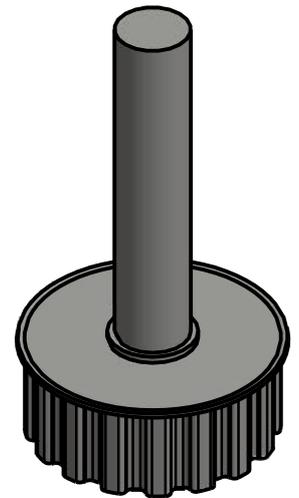
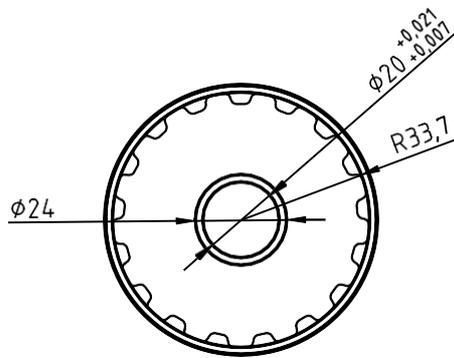
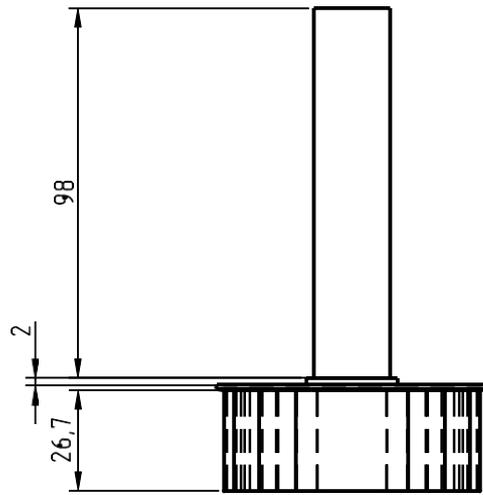
Observações	Projec.	01/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica			
Número de dentes = 15	Desenh.	01/10/2022	José Lopes			Apêndice I	
	Escala	1 : 4					
				Roda dentada Eixo motor			
				Substituído por:			
				Substituído por:			



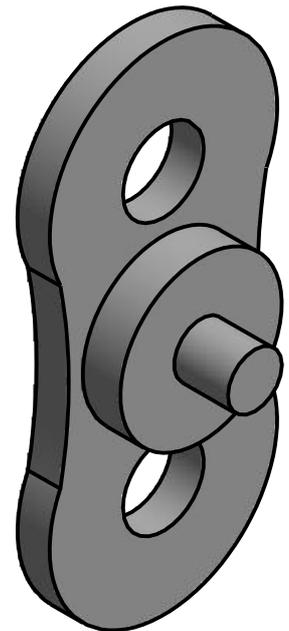
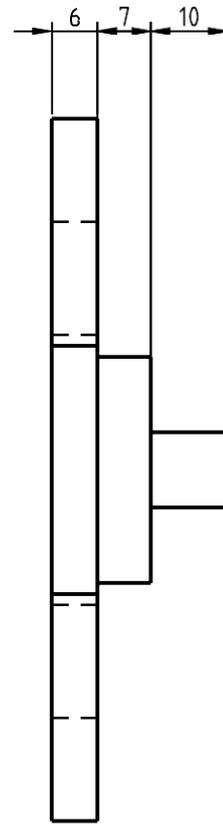
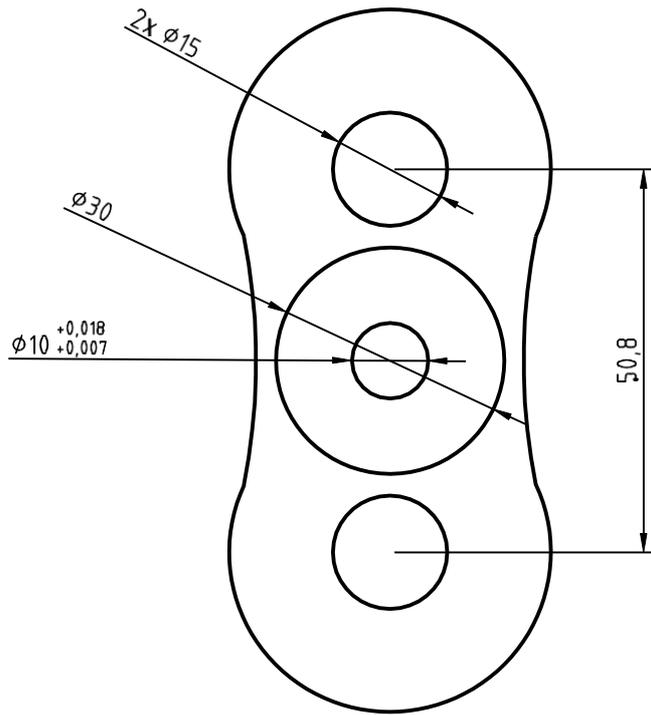
Observações				Projec. 01/10/2022 José Lopes		UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica	Apêndice I
Número de dentes = 17				Desenh. 01/10/2022 José Lopes			
Escala 1:1				Polia Eixo movido 1		Substituído por:	
						Substituído por:	



Observações	Projec.	01/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica			
Número de dentes = 17	Desenh.	01/10/2022	José Lopes			Apêndice I	
	Escala	1 : 1					
				Polia Eixo movido 2			
				Substituído por:			
				Substituído por:			



Observações	Projec.	01/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica			
Número de dentes = 17	Desenh.	01/10/2022	José Lopes			Apêndice I	
	Escala	1 : 2					
				Polia Eixo motor			
				Substituído por:			
				Substituído por:			



Observações	Projec.	01/10/2022	José Lopes	UNIVERSIDADE DO MINHO Departamento de Engenharia Mecânica			
Passo = 50,8	Desenh.	01/10/2022	José Lopes			Apêndice I	
	Escala	1:1			Modificação chapa dos elos - corrente		
				Substituído por:			
				Substituído por:			