



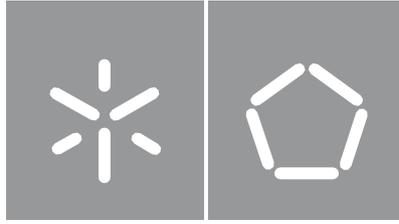
**Estudo, conceção, desenvolvimento e  
construção de um acessório elevatório  
automático para a indústria  
metalomecânica**

João Pedro Correia Gomes

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia







**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

João Pedro Correia Gomes

**Estudo, conceção, desenvolvimento e  
construção de um acessório elevatório  
automático para a indústria  
metalomecânica**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho realizado sob a orientação do

**Professor Doutor Eurico Seabra**

dezembro de 2021

## **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-SemDerivações  
CC BY-NC-ND**

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

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, como não podia ser de outro modo, quero agradecer aos meus pais e irmã pela confiança que sempre depositaram em mim. Neste mesmo patamar, quero expressar a minha gratidão aos meus amigos pelo carinho, perseverança e apoio evidenciados, de forma incondicional, ao longo desta jornada.

Não posso deixar de exprimir também o meu agradecimento ao Colégio Dom Diogo de Sousa responsável pela minha formação escolar e criação de um carácter moldado por competências e valores.

Uma palavra de agradecimento ao Professor Doutor Eurico Seabra, meu orientador, pelos conhecimentos que me proporcionou e pelos caminhos que me indicou.

À JOS Metal Lda. pela oportunidade dada para a realização desta dissertação no âmbito de um estágio curricular na empresa.

Agradeço ao Engenheiro António Paula da empresa *BIBUS Portugal Lda.* e ao Engenheiro Alberto Fonseca por parte do CATIM – Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica – pelo apoio e colaboração no desenvolvimento do projeto. Um agradecimento especial também a toda a equipa da TecMinho pela sua prontidão em ajudar.

Finalmente, o meu reconhecimento a todos os Professores que me acompanharam ao longo do meu percurso escolar e académico.

## **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

Esta dissertação resulta do trabalho desenvolvido no âmbito de um estágio curricular na empresa JOS Metal Lda. localizada em Braga. Aborda o projeto e desenvolvimento de um equipamento automático que auxilia o transporte de três diferentes produtos destinado à indústria metalomecânica. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica com o intuito de se estudar metodologias de projeto mecatrónico bem como temáticas que se retrataram no projeto de máquinas. O estudo de temáticas relacionadas com a pneumática no contexto da automação industrial e a segurança e normalização de máquinas segundo a Diretiva Máquina 2006/42/CE revelaram-se importantes para se realizar o projeto de um equipamento industrial. A princípio, definiu-se objetivos, funções e especificações do equipamento, gerou-se soluções possíveis e avaliou-se as mesmas. Posteriormente, com essas soluções selecionadas realizou-se a fase de projeto detalhado que consiste em elaborar o conceito idealizado para uma solução possível de ser fabricada. Para tal, foi necessário selecionar os componentes *off-the-shelf* e dimensionar os componentes pertencentes aos diferentes conjuntos do equipamento como o caso da estrutura e dos elementos pneumáticos. Todos estes componentes foram projetados respeitando as normas de projeto, isto é, foram realizados vários cálculos estruturais quer analíticos quer computacionais para a sua validação. Recorreu-se a diversos *softwares* que em muito auxiliaram o trabalho desenvolvido. Além disso, foi desenvolvido um projeto de automatização do equipamento, no qual contribuiu em muito a tecnologia pneumática. Retratou-se os diagramas de funcionamento para o acessório elevatório automático, a seleção e acomodação dos elementos pneumáticos bem como os dispositivos que realizam a comunicação entre o operador e o equipamento. Após estas tarefas, realizou-se uma análise de custos para se adquirir um maior conhecimento dos gastos de produção e de serviços necessários para o equipamento. Por fim, teve-se em consideração a certificação do produto junto das entidades competentes e o patenteamento.

**Palavras-chave:** Acessório elevatório automático, projeto mecatrónico, fases de projeto, tecnologia pneumática, Diretiva Máquina 2006/42/CE.

## ABSTRACT

This master thesis results from the work developed in an internship at the company JOS Metal Lda. located in Braga. This thesis describes the development of an automatic equipment that helps transport three different products for the metalworking industry. First, a bibliography research was conducted to identify mechatronic project methodologies and also topics related to practical issues about equipment project. The study of concepts related with pneumatics in the context of industrial automation and equipment safety by machine directive 2006/42/CE concerns reveals essential to this mechatronic project. This work was based on the design project methodology in which first objectives, functions and specifications are defined and they are idealized and evaluated. After that, the conceptual solution is detailed to obtain a result possible to be executed and is based in the concept developed. This also involves the selection of off-the-shelf components and the dimension of the components related to which assembly group, such as: structural profile and pneumatic elements. All of these components were projected considering the design norms, that is, several structural calculations were performed, either analytical or computational for validation of the constituents. For that, it used various software that helped a lot in the work. In addition, an equipment automation project was developed, to which pneumatic technology greatly contributed. The operating diagrams for the automatic spreader, the selection and accommodation of the pneumatic elements as well as the devices that carry out the communication between the operator and the equipment were portrayed. After these tasks, a cost analysis was carried out to acquire a greater knowledge of the production and service expenses required for the equipment. Finally, product certification was developed with the competent authorities and patenting.

**Keywords:** Automatic spreader, mechatronic project, project milestones, pneumatic technology, machine directive 2006/42/CE.

# ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xv
Simbologia.....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do trabalho.....	1
1.2 Definição de Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da Tese.....	3
1.4 Contribuição no trabalho.....	4
2. Teoria do Projeto Mecatrónico.....	5
2.1 Introdução à Mecatrónica.....	5
2.2 A Engenharia do Produto.....	7
2.2.1 Modelos descritivos.....	7
2.2.2 Modelos prescritivos.....	9
2.2.3 VDI 2206 – Metodologia de projeto para sistemas mecatrónicas.....	10
2.3 Metodologia do projeto.....	11
2.3.1 Métodos Criativos.....	11
2.3.2 Métodos Racionais.....	12
2.4 Modelo de projeto.....	13
2.4.1 Planeamento.....	13
2.4.2 Projeto Concetual.....	14
2.4.3 Avaliação de soluções.....	19
2.5 Aperfeiçoamento de Detalhes: O Método da Engenharia de Valor.....	21
2.5.1 Listagem dos componentes separados do produto e identificação da função servida por cada um deles.....	22
2.5.2 Determinação dos valores em função identificadas.....	22

2.5.3	Determinação dos valores em função identificadas.....	23
2.5.4	Procura de formas de redução de custos .....	24
2.5.5	Avaliação das alternativas e seleção das melhorias a implementar .....	25
3.	Conceitos de Projetos de Máquinas.....	26
3.1	A Pneumática no contexto da Automação Industrial .....	26
3.1.1	Introdução aos sistemas automatizados .....	26
3.1.2	Sistemas pneumáticos e os seus elementos.....	29
3.1.3	Circuitos eletropneumáticos.....	36
3.2	A Segurança e Normalização de Equipamentos .....	37
3.2.1	Diretiva 2006/42/CE .....	38
3.2.2	Normas técnicas harmonizadas e Marcação CE .....	42
3.2.3	Requisitos essenciais de saúde e segurança relativos à conceção e ao fabrico de máquinas43	
3.2.4	Aplicação aos acessórios de elevação .....	48
4.	Projeto Concetual.....	52
4.1	Descrição do Equipamento .....	52
4.2	Adjudicação do Projeto .....	53
4.3	Árvore de Objetivos do Produto.....	54
4.4	Estrutura de Funções do Produto.....	54
4.5	Estabelecimento das Especificações do Produto .....	55
4.6	Soluções Desenvolvidas.....	56
4.6.1	Segurança e fiabilidade no acoplamento veio do automatismo e matéria-prima.....	57
4.6.2	Versatilidade no espaço de trabalho .....	60
4.6.3	Automatismo com acionamento linear do equipamento.....	65
4.7	Avaliação de Soluções .....	69
4.7.1	Versatilidade no espaço de trabalho .....	69
4.7.2	Automatismo com acionamento linear do equipamento.....	70
5.	Projeto Detalhado .....	72
5.1	Apresentação da estrutura e os seus constituintes .....	72

5.1.1	Estrutura em perfil.....	73
5.1.2	Caixas de alinhamento para <i>racks</i> de armazenamento .....	74
5.1.3	Caixa de alinhamento soldada à estrutura para cestos de extrusão .....	74
5.1.4	Caixa de alinhamento solidária com dobradiça flexível para cestos de extrusão .....	75
5.1.5	Veios roscados para suporte da carga .....	75
5.1.6	Dobradiça flexível presente nas caixas dos cestos de extrusão .....	75
5.1.7	Fixação das caixas de alinhamento dos cestos de extrusão.....	76
5.2	Cálculos Estruturais .....	77
5.2.1	Dimensionamento da estrutura: Cálculo estrutural analítico.....	77
5.2.2	Dimensionamento à rigidez da estrutura: Cálculo estrutural numérico .....	80
5.2.3	Dimensionamento de componente: veio para <i>racks</i> de armazenamento .....	84
5.2.4	Dimensionamento de componente: veio para cestos de extrusão.....	87
5.2.5	Simulação CAD/CAE dos veios projetados e das caixas dimensionadas.....	89
5.3	Análise de Custos.....	94
6.	Projeto de Automação do Equipamento.....	96
6.1	Diagrama de Funcionamento.....	96
6.2	Seleção e acomodação dos constituintes .....	98
6.2.1	Atuadores pneumáticos lineares .....	98
6.2.2	Fins de Curso .....	99
6.2.3	Compressor de ar.....	99
6.3	Interface Homem-Máquina .....	100
7.	Conclusões e Trabalhos futuros.....	102
7.1	Conclusões .....	102
7.2	Trabalhos Futuros .....	103
	Referências .....	104
	ANEXO A – Desenho Técnico dos Cestos de Extrusão .....	106
	ANEXO B – Desenho Técnico dos <i>Racks</i> de Armazenamento.....	107
	ANEXO C – Árvore de Objetivos do equipamento.....	108
	ANEXO D – Desenho técnico acessório manual.....	109
	ANEXO E – Dimensões e características do Perfil <i>UPN 140</i> .....	110

ANEXO F – Desenho Técnico da Estrutura em Perfil <i>UPN</i> do Acessório Elevatório Automático.....	111
ANEXO G – Desenho Técnico das Caixas de Alinhamento – <i>Racks</i> de Armazenamento.....	112
ANEXO H – Desenho Técnico das Caixas de Alinhamento Soldada à Estrutura – Cestos de Extrusão	113
ANEXO I – Desenho Técnico das Caixas de Alinhamento Solidária com Dobradiça Flexível – cesto de extrusão .....	114
ANEXO J – Desenho Técnico dos Veios Roscados para Suporte de Carga – <i>Racks</i> de Armazenamento .....	115
ANEXO K – Desenho Técnico dos Veios Roscados para Suporte de Carga – Cestos de Extrusão .....	116
ANEXO L – Determinação dos fatores necessários para o cálculo da tensão limite de fadiga corrigida do material.....	117
ANEXO M – Proposta da <i>BIBUS Portugal Lda</i> .....	119
ANEXO N – Desenho Técnico dos Cilindros Pneumáticos .....	124
ANEXO O – Informação relativa aos Fins de Curso .....	126
ANEXO P – Certificação do Equipamento .....	127

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Representação dos constituintes da mecatrónica adaptado de [1].....	5
Figura 2.2 – Fluxo de funcionamento de um sistema mecatrónico adaptado de [1] .....	6
Figura 2.3 – Fluxograma do modelo de quatro etapas adaptado de [2].....	7
Figura 2.4 - Fluxograma de French para a definição do projetos adaptado de [2] .....	8
Figura 2.5 – Diagrama original do fluxo em “V” da norma VDI apresentada adaptado de [1].....	10
Figura 2.6 – Fluxo das etapas de um projeto pela utilização de métodos racionais adaptado de [2] ...	12
Figura 2.7 – Fluxo do projeto concetual adaptado de [3] .....	13
Figura 2.8 – Exemplo de uma árvore de objetivos adaptado de [2] .....	15
Figura 2.9 – Caixa negra de uma máquina automática de chá adaptado de [2] .....	15
Figura 2.10 – Exemplo de um diagrama de blocos de funções para uma máquina automática de chá adaptado de [2].....	16
Figura 2.11 – Exemplo de um mapa morfológico para um exemplo de colher batatas adaptado de [2] .....	18
Figura 2.12 – Diagrama de bloco de funções adaptado de [4].....	19
Figura 3.1 – Estrutura base de um sistema de automatização de processos adaptado de [5].....	27
Figura 3.2 – Representação da interligação entre os vários elementos de um sistema automatizado adaptado de [5].....	29
Figura 3.3 – Denominação de válvulas direcionais adaptado de [11] .....	34
Figura 3.4 – Representação de um circuito eletropneumático de acionamento de um cilindro de simples ação adaptado de [8].....	36
Figura 3.5 – Parâmetros de verificação no desenvolvimento de um equipamento adaptado de [14] ...	37
Figura 3.6 – Enquadramento legislativo para máquinas e equipamentos de trabalho para fabricantes e utilizadores adaptado de [13].....	38
Figura 3.7 – Placa tipo identificadora da marcação CE adaptado de [13].....	41
Figura 3.8 – Marcação CE adaptado de [13].....	42
Figura 3.9 – Exemplos de dispositivos de comando adaptado de [17] .....	45
Figura 3.10 – Exemplo de uma manilha com certificação CE adaptado de [18] .....	49
Figura 3.11 – Utilização correta e incorreta do uso da manilha/gancho no parafuso olhal adaptado de [17].....	49
Figura 3.12 – Exemplo representativo de um estropo de cabo de aço adaptado de [18] .....	50

Figura 3.13 – Exemplo de carro guincho presente nas pontes eletrificadas móveis adaptado de [19].	51
Figura 4.1 – Acessório manual utilizado no cotidiano para auxílio e transporte de cargas.....	53
Figura 4.2 – Estrutura de funções do equipamento projetado.....	55
Figura 4.3 A – Estrutura metálica do acessório manual; Figura 4.3 B – Estrutura base equipamento projetado.....	57
Figura 4.4 – Caixas de alinhamento para <i>racks</i> de armazenamento .....	58
Figura 4.5 – Caixas de alinhamento para cestos de extrusão.....	58
Figura 4.6 A – Representação da largura do acessório manual no transporte de cestos de extrusão; Figura 4.6 B – Representação da largura do acessório elevatório automático no transporte de cestos de extrusão .....	59
Figura 4.7 A – Modelação 3D – CAD que representa a caixa dos cestos retrátil “aberta” capaz de auxiliar no transporte de carga; Figura 4.7 B – Modelação 3D – CAD que representa a caixa dos cestos retrátil “fechada”.....	60
Figura 4.8 A – Representação do espaço dependente da caixa dos cestos retrátil “aberta”; Figura 4.8 B – Representação do espaço dependente da caixa dos cestos retrátil “fechada” .....	61
Figura 4.9 – Modelação 3D - CAD com a caixa para os carros de extrusão soldada ao perfil <i>UPN</i> .....	62
Figura 4.10 A – Modelação 3D - CAD do auxílio no transporte de carga em <i>racks</i> de armazenamento que nada se altera relativamente a outras soluções; Figura 4.10 B – Modelação 3D - CAD do auxílio no transporte de carga em cestos de extrusão. Para a realização da tarefa, o acessório necessitava de ser extensível, pois a largura dos cestos de extrusão é superior.....	63
Figura 4.11 A – Modelação 3D - CAD do auxílio no transporte de carga em cestos de extrusão.com dobradiça; Figura 4.11 B – Modelação 3D - CAD da dobradiça que contempla a solução.....	64
Figura 4.12 – Modelação 3D - CAD da solução das dobradiças com <i>racks</i> de armazenamento .....	64
Figura 4.13 – Módulo linear drylin® <i>SLW-1040</i> acionado por fuso desenvolvido pela empresa <i>igus</i> adaptado de [20].....	66
Figura 4.14 – Controlador elétrico desenvolvido pela <i>FESTO</i> PT adaptado de [21] .....	68
Figura 5.1 – Legenda do equipamento. Ver Tabela 5.1 .....	72
Figura 5.2 – Constituintes de uma ponte eletrificada que auxiliam a ascensão de cargas adaptado de [19].....	73
Figura 5.3 A – Caixa de alinhamento “fechadas” para auxílio de carga nos cestos de extrusão; Figura 5.3 B – Caixa de alinhamento podem ser “abertas” para auxílio de carga nos <i>racks</i> de armazenamento .	76
Figura 5.4 – Diagrama de corpo livre do sistema projetado. Ver Tabela 5.2 .....	77

Figura 5.5 – Diagrama de corpo livre em cada nó do sistema projetado .....	78
Figura 5.6 – Representação de forças envolvidas no plano YZ .....	79
Figura 5.7 – Representação de forças envolvidas no plano XZ .....	79
Figura 5.8 – Propriedades do material aço laminado S235 utilizado na simulação.....	80
Figura 5.9 – Nomenclatura dos nós, perfil <i>UPN</i> 140 e condições fronteira da estrutura no software <i>Cype</i> 2018.....	81
Figura 5.10 – Introdução das cargas sobre os nós da estrutura para um coeficiente de prova mínimo (valores em kN) .....	81
Figura 5.11 – Verificação dos elementos da estrutura para o coeficiente de segurança mínimo .....	82
Figura 5.12 A – Coeficiente de segurança igual a 7; Figura 5.13 B – Verificação dos elementos da estrutura .....	82
Figura 5.14 – Dimensionamento ótimo do perfil com condições de atravancamento e cargas impostas para coeficiente de segurança igual a 1.5 .....	83
Figura 5.15 – Diagrama de corpo livre do veio dimensionado para <i>racks</i> de armazenamento .....	85
Figura 5.16 – Diagrama dos Momentos Fletores no veio que se pretende dimensionar .....	86
Figura 5.17- Diagrama de corpo livre do veio dimensionado para cestos de extrusão .....	87
Figura 5.18 – Diagrama dos Momentos Fletores no veio que se pretende dimensionar .....	88
Figura 5.19 – Malha aplicada com <i>Face Sizing</i> com elementos de 25 mm .....	90
Figura 5.20 – Resultados da deformação total para a simulação dos <i>racks</i> de <i>armazenamento</i> .....	90
Figura 5.21 – Tensão limite de cedência do Aço S275 superior à tensão de cedência da simulação ..	91
Figura 5.22 – Resultados da deformação total para a primeira simulação dos cestos de extrusão.....	91
Figura 5.23 – Tensão limite de cedência do Aço S275 inferior à tensão de cedência da simulação ....	92
Figura 5.24 – Resultados da deformação total para a segunda simulação dos cestos de extrusão.....	92
Figura 5.25 – Tensão limite de cedência do Aço S275 inferior à tensão de cedência da simulação multiplicada pelo coeficiente de segurança .....	93
Figura 6.1 – Esquema do funcionamento dos cilindros dos <i>racks</i> de armazenamento.....	97
Figura 6.2 – Esquema do circuito com seleção de <i>racks</i> /cestos.....	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Análise de Valor adaptado de [2]	20
Tabela 2.2 – Lista orientadora de redução de custos adaptado de [3]	24
Tabela 2.3 – Atributos que contribuem para o valor de um produto adaptado de [3]	25
Tabela 3.1 – Componentes de um sistema automatizado/automatismo adaptado de [6]	28
Tabela 3.2 – Propriedade do ar comprimido adaptado de [5]	30
Tabela 3.3 – Fatores que influenciam os sistemas pneumáticos adaptado de [8]	31
Tabela 3.4 – Classificação dos cilindros pneumáticos adaptado de [11]	32
Tabela 3.5 – Simbologia de válvulas direcionais adaptado de [11]	33
Tabela 3.6 – Simbologia das características funcionais das válvulas distribuidoras adaptado de [11]	34
Tabela 3.7 – Simbologia de tipos de válvulas de retenção adaptado de [11]	35
Tabela 3.8 – Simbologia de diferentes tipos de válvulas de bloqueio adaptado de [11]	35
Tabela 3.9 – Código de cores para os atuadores dos botões de pressão e os seus significados adaptado de [17]	45
Tabela 4.1 – Análise de valor para a solução da versatilidade do produto	70
Tabela 4.2 – Análise de valor relativa ao automatismo do acessório elevatório automático	70
Tabela 5.1 – Legenda da Figura 5.1	73
Tabela 5.2 – Legenda da Figura 5.4. Nomenclatura das forças existentes no diagrama de corpo livre	78
Tabela 5.3 – Apresentação dos resultados das componentes das forças inseridas	80
Tabela 5.4 – Nomenclatura e apresentação das variáveis inseridas no cálculo do critério de rigidez	84
Tabela 5.5 – Determinação dos fatores necessários para o cálculo da tensão limite de fadiga corrigida do material para <i>racks</i> de armazenamento	87
Tabela 5.6 – Determinação dos fatores necessários para o cálculo da tensão limite de fadiga corrigida do material para cestos de extrusão	89
Tabela 5.7 – Análise de custos para acessório elevatório automático	94

## SIMBOLOGIA

<b>Símbolo</b>	<b>Designação</b>	<b>Unidade</b>
$i = 1,2,3,4$	Nós da estrutura	-
$F_i$	Força aplicada em cada nó pela ponte eletrificada móvel	N
$F_{x_i}$	Força no eixo Ox	N
$F_{y_i}$	Força no eixo Oy	N
$F_{z_i}$	Força no eixo Oz	N
$P_{c_i}$	Peso da carga	N
A	Área de secção do corpo	$cm^2$
E	Módulo de elasticidade	MPa
L	Tamanho do corpo perpendicular à força	m
P	Força aplicada	N
$\delta$	Deformação em distância	mm
g	Aceleração gravítica	$m/s^2$
m	Massa da carga a transportar	kg
$R_x$	Reação nos apoios	kN
M	Momentos Fletores	kN.m
T	Momentos Torsores	kN.m

$d_{min}$	Diâmetro mínimo dos veios	Mm
$\sigma_{rot}$	Tensão de Rotura	MPa
$\sigma_e$	Tensão limite de fadiga corrigida do material	MPa
$k_a$	Fator de superfície	-
$k_b$	Fator de tamanho	-
$k_c$	Fator de fiabilidade	-
$k_d$	Fator de temperatura	-
$k_e$	Fator modificado de concentração de tensões	-
$k_f$	Fator de redução de resistência à fadiga	-

# **1. INTRODUÇÃO**

A presente dissertação foi realizada durante o ano letivo 2020/2021 como projeto final de curso para atribuição do grau de mestre do aluno João Pedro Correia Gomes do curso Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, no qual se pretende que seja desenvolvido um trabalho de cariz científico-técnico. A indústria da conceção, desenvolvimento e construção de máquinas assenta a sua produção nas necessidades das indústrias transformadoras e no desenvolvimento de novos produtos. A indústria metalomecânica, uma das maiores indústrias exportadoras portuguesas, senão mesmo a maior, é a indústria responsável por todos os segmentos transformadores de metal. Estes, por sua vez, encarregam-se de transformar a matéria-prima em objetos desejados, como é o caso de máquinas, veículos e materiais de transporte. Com isto, têm também uma grande necessidade de transportar e armazenar os componentes produzidos para expedição final.

Todas as máquinas projetadas para a indústria contêm características que vão de acordo com as especificações do cliente bem como as suas necessidades. O projeto de um equipamento industrial corresponde na maioria dos casos a um projeto mecatrónico e a indústria mundial tem vindo a acompanhar uma evolução nos equipamentos fabris devido aos avanços tecnológicos da eletrónica. A junção de conhecimento eletrónico, mecânico e informático torna-se numa grande arma a nível de projeto, pois devido ao grande potencial do agrupamento destas três áreas é necessariamente possível aumentar a segurança, robustez e fiabilidade de qualquer equipamento. Este trabalho pretende desenvolver um equipamento mecatrónico recorrendo à engenharia inversa, que após as fases de projeto e de fabrico se obtenha um equipamento de valor acrescentado, certificado para a indústria e que, a partir disso, se abandone o equipamento manual análogo para o mesmo efeito.

## **1.1 Enquadramento do trabalho**

A presente dissertação insere-se no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica com especialização em Mecatrónica da Universidade do Minho, no qual se pretende que seja desenvolvido um trabalho de cariz científico-técnico com a empresa JOS Metal Lda.

A JOS Metal Lda. considera que o êxito no mercado passa pela capacidade de desenvolvimento sucessivo de novos produtos com características diferenciadoras e com valor acrescentado crescente. Desse modo, esse fator aliado a uma qualidade garantida pelo equipamento produtivo (tecnologicamente avançado) e pelo controlo dos processos permitirá a entrada em novos mercados e a consolidação dos atuais bem como um diferente posicionamento relativamente aos concorrentes.

Perante isto, após uma análise detalhada do mercado atual, verificou-se que não existe qualquer tipo de acessório elevatório automático que esteja devidamente certificado capaz de auxiliar na ascensão de *racks* associados ao armazenamento e que também compreenda o auxílio no transporte de perfis metálicos depois de serem fabricados e colocados em plataformas correspondentes. Desta forma, além da vantagem económica para a empresa associada a estas soluções, está também presente um reconhecimento da sociedade, pois estes equipamentos visam contribuir para uma melhor segurança em qualquer tipo de fábrica ligada à produção de matérias-primas reduzindo assim os acidentes de trabalho.

Em face à dissertação de mestrado, o mestrando através da realização do estágio na empresa, integrar-se-á numa equipa de trabalho com domínios na conceção do produto, de eletrónica e automação, o que permitirá adquirir todos os conhecimentos necessários à realização do projeto.

## **1.2 Definição de Objetivos**

Com esta dissertação pretende-se apresentar um resumo dos conhecimentos necessários para a realização de um projeto conceptual automatizado tendo em conta requisitos de índole económica, de fabrico, montagem, manutenção e normalização relativa à segurança do equipamento. O objetivo principal a que o autor se propõe são o desenvolvimento de um equipamento totalmente seguro para os operadores e a sua implementação do processo de projeto no desenvolvimento de um equipamento industrial.

Contudo, os objetivos propostos para esta dissertação foram: 1- Conhecimento de todo o processo manual do acessório que está implementado nas empresas atuais que se dedicam à produção de perfis e que utilizam *racks* para o armazenamento destes; 2- Definição do problema, seguida da fase de criação e desenvolvimento de novas ideias para o equipamento devidamente justificada no que concerne ao plano conceptual de um produto inovador; 3- Dimensionamento, modelação 3D - CAD e cálculo estrutural de todos os componentes do acessório elevatório automático; 4- Idealização e avaliação de soluções do automatismo; 5- Realização de testes empíricos e reais; 6- Construção de um ou mais protótipos finais; 7- Certificação do equipamento pelas instituições para esses fins; 8- Patenteamento da solução criada. De um modo geral, trata-se de desenvolver um equipamento que auxilia o transporte de três diferentes produtos que está acoplado por elementos de ligação a uma ponte eletrificada móvel.

## **1.3 Estrutura da Tese**

Esta dissertação é constituída por 8 capítulos. De seguida é apresentada uma breve revisão de cada capítulo.

### **Capítulo 2**

O capítulo 2 compila os conceitos teóricos que fundamentam o trabalho realizado na dissertação no que concerne relativamente à teoria do projeto mecatrónico, nomeadamente filosofias de projeto, fases do projeto e descrição de cada fase. Com efeito, primeiramente, apresenta-se uma introdução à mecatrónica, aborda-se o projeto em si, nomeadamente uma abordagem geral às metodologias de projeto criadas e à metodologia adotada na dissertação.

### **Capítulo 3**

No capítulo 3 aborda-se os conceitos de projetos de máquinas. No caso desta dissertação, retratou-se a pneumática no contexto da automação industrial e posteriormente, introduziu-se um subcapítulo que aborda conceitos relacionados com a segurança e normalização de máquinas, no qual se aborda diferentes normas essenciais para a certificação do projeto.

### **Capítulo 4**

No capítulo 4 aborda-se as fases do projeto concetual do equipamento idealizado. Define-se objetivos, funções e especificações do acessório elevatório automático. Apresenta-se as diferentes soluções desenvolvidas e finalmente, realiza-se uma avaliação de soluções para se definir qual a que irá detalhar.

### **Capítulo 5**

O capítulo 5 compreende o projeto detalhado no qual se inclui uma apresentação da estrutura do equipamento desenvolvido e os componentes associados. Além disso, inclui-se também a realização dos cálculos estruturais e simulações computacionais que pretendem validar o produto.

### **Capítulo 6**

No capítulo 6 apresenta-se o projeto de automatização do equipamento. Aborda-se o diagrama de funcionamento dos elementos pneumáticos, bem como a sua seleção e acomodação no acessório elevatório automático. Ainda se retrata conteúdos relativos à interface homem-máquina.

## **Capítulo 7**

Neste capítulo são abordados os custos associados ao equipamento. Com isto, compreende-se os custos de produção, os custos de todos os elementos pneumáticos e de ligação à ponte eletrificada móvel, custos de montagem, etc.

## **Capítulo 8**

Por fim, o capítulo 8 apresenta as conclusões que se retiraram da elaboração da dissertação. Salienta-se também aspetos que poder ser melhorados no futuro.

### **1.4 Contribuição no trabalho**

O desenvolvimento do acessório elevatório automático envolveu uma equipa organizada constituída por elementos com diferentes áreas do conhecimento. Todo o desenvolvimento do equipamento aborda diferentes fases e funções, desde o contacto com o cliente, idealização do equipamento, projeto concetual e detalhado, conceção do automatismo pneumático pretendido, acoplamento na ponte eletrificada móvel, montagem, entre outros. A contribuição no trabalho final concentrou-se no acompanhamento da estrutura base e do sistema de automatismo, bem como a responsabilidade de desenvolver toda uma estrutura e diferentes componentes que garantissem mecanicamente a funcionalidade do mesmo. Após estudo da melhor solução e após aprovação do cliente, todo o trabalho de desenvolver detalhadamente os componentes do equipamento e validá-los, bem como garantir um funcionamento sem problemas mecânico e a criação dos desenhos de fabrico a enviar quer para a empresa mãe quer a fornecedores foram efetuados pelo autor deste trabalho. Revelou-se também importante a certificação do equipamento, pois só dessa forma o produto poderia ser comercializado. Através do CATIM, o processo desenvolveu-se de forma direta e responsável.

Por fim, observou-se o patenteamento do equipamento com a TecMinho.

## 2. TEORIA DO PROJETO MECATRÔNICO

No presente capítulo são compilados conceitos teóricos que fundamentam todo o trabalho desenvolvido nesta dissertação relativamente à teoria do projeto mecatrónico e a sequência das etapas intrínsecas à mesma. Com efeito, primeiramente, apresenta-se uma introdução à mecatrónica, aborda-se o projeto em si, nomeadamente uma abordagem geral às metodologias de projeto criadas e à metodologia adotada na dissertação.

Por fim, retrata-se também um subcapítulo acerca do aperfeiçoamento de detalhes de qualquer equipamento.

### 2.1 Introdução à Mecatrónica

A conceção de novos produtos exige a combinação da engenharia mecânica, engenharia eletrónica e as tecnologias de informação. A união destas três áreas da engenharia torna possível a criação de produtos mecatrónicos de múltiplas complexidades que se seriam impossíveis de se obter recorrendo a apenas uma destas áreas mencionadas [1]. Atualmente, é muito difícil encontrar produtos que são completamente mecânicos, pois são quase todos produtos mecatrónicos, sendo que assim se consegue obter produtos com melhores desempenhos. Na Figura 2.1 é possível observar as áreas abrangentes da mecatrónica.

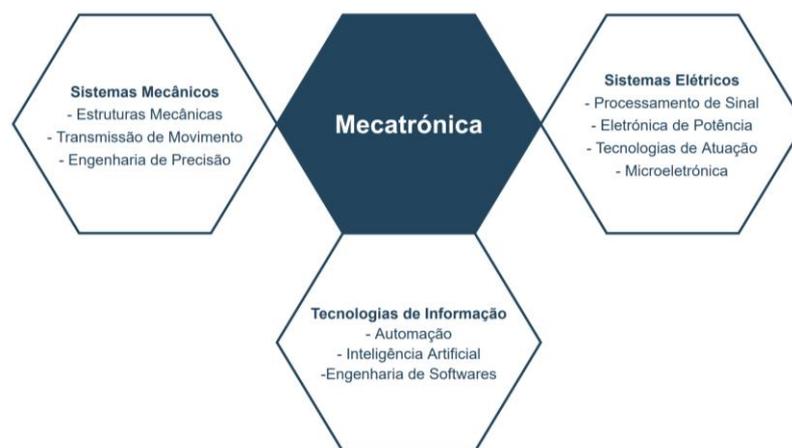


Figura 2.1 – Representação dos constituintes da mecatrónica adaptado de [1]

Com a combinação destas três áreas distintas é possível otimizar qualquer tipo de equipamento recorrendo a novas soluções. Os sistemas mecatrónicos são definidos pela integração funcional de sensores, atuadores, processamento de informação e do próprio sistema, sendo que este último pode englobar estruturas mecânicas, de fluídos, químicas ou biológicas. O fluxo de funcionamento de um

produto mecatrónico consiste então na constante monitorização do processo recorrendo aos sensores. Com base nestas entradas, o controlador define as alterações que pretende fazer no sistema, sendo essas alterações realizadas pelos atuadores. O fluxo de funcionamento de um projeto mecatrónico está exemplificado na Figura 2.2.

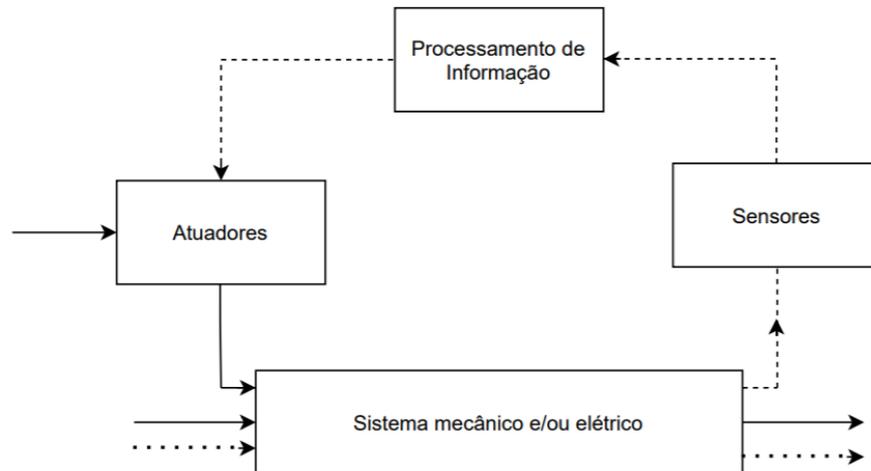


Figura 2.2 – Fluxo de funcionamento de um sistema mecatrónico adaptado de [1]

Segundo [1], a mecatrónica apresenta vantagens em relação a sistemas completamente mecânicos. A possibilidade dos novos produtos adquirirem novas funções, melhorar o seu comportamento através da referida monitorização, o aumento dos limites de aplicação, o controlo sem intervenção externa, a criação de sistemas automáticos para o diagnóstico de falhas, o aumento da segurança, entre outros, são exemplos disso mesmo.

No entanto, os produtos mecatrónicos também podem apresentar desvantagens, no qual, por exemplo, um equipamento eletrónico por determinada razão avarie. A realização da sua função poderá ficar completamente comprometida e a sua reparação ser economicamente inviável. Dessa forma, a relação benefício/custo é a base da decisão para se criar um produto mecatrónico, pois se a função do equipamento for básica, um produto mecatrónico terá um custo bastante mais elevado relativamente a um mecânico, e o seu proveito ser reduzido. Por essa mesma razão, ainda existe atualmente um número significativo de equipamentos totalmente mecânicos.

## 2.2 A Engenharia do Produto

Ao longo do tempo foram sempre as muitas tentativas de estabelecimento de modelos relativos ao desenvolvimento do processo de projeto para guiar o projetista. Alguns desses modelos apenas descrevem a sequência de atividades que tipicamente ocorrem no decurso do projeto, enquanto outras tentam prescrever e explorar mais concretamente as atividades que fazem parte do projeto.

### 2.2.1 Modelos descritivos

Os modelos descritivos realçam, geralmente, a importância da geração de uma solução conceptual no início do processo [2]. A solução inicial é posteriormente sujeita a análise, avaliação e desenvolvimento. Porém, por vezes a fase de avaliação poderá não conduzir diretamente à fase de comunicação, pois será necessário a escolha de uma nova solução, havendo assim um “retorno” iterativo entre as fases de avaliação e geração de solução. Um modelo simples descritivo do “processo” de projeto é obtido com base nas atividades que um projetista considera estritamente necessárias. O fim do processo é a comunicação, em que nesta etapa o produto se encontra pronto para ser fabricado, no entanto, anteriormente existe a fase de procura de novas soluções, a de conceção da mesma e uma final onde o produto é avaliado segundo critérios e especificações que são definidas no início.

Desta forma, tem-se um simples modelo de quatro etapas que consiste em exploração, conceção, avaliação e comunicação tal como comprova a Figura 2.3.

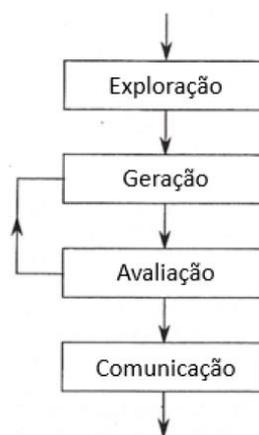


Figura 2.3 – Fluxograma do modelo de quatro etapas adaptado de [2]

Este modelo representa o fluxo mais simples do “processo” de projeto. As setas de retorno representam o recuo para uma etapa anterior e são necessárias quando se pretende rever a solução obtida nessa mesma etapa. Ao longo dos anos, vários autores publicaram mais modelos do “processo” de projeto. Por exemplo, French (1985) desenvolveu um modelo mais detalhado com as seguintes atividades:

Análise do problema; Projeto Conceptual; Criação de esquemas; Definição da solução. No diagrama da Figura 2.4 está representado o fluxograma de French (1985) em que os retângulos representam as atividades a realizar e os círculos representam as etapas que têm resultados concretos.

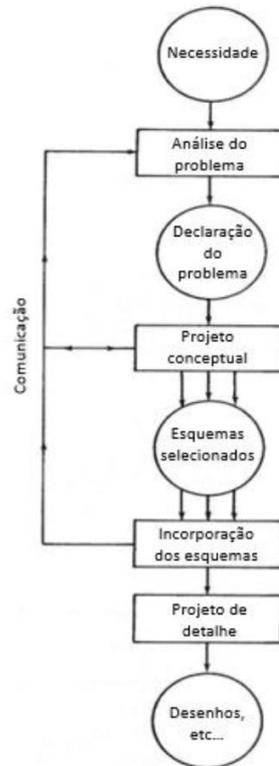


Figura 2.4 - Fluxograma de French para a definição do projetos adaptado de [2]

A primeira etapa diz respeito à necessidade, isto é, ao desenvolvimento de uma ideia. Seguidamente, ocorre a análise ao problema e é nesta etapa que se estuda se é viável ou não conceber a ideia. Posteriormente, define-se todo o projeto conceptual e são criadas soluções para responder ao problema inicial. Se, porventura, forem concebidas mais do que uma solução, deverá ser selecionada aquela que responda melhor à necessidade. A etapa seguinte diz respeito ao desenvolvimento da solução encontrada, na qual resultam diversos esquemas e desenhos dessa mesma solução. Seguidamente, é executado o detalhamento do projeto, onde os mais diversos esquemas da solução encontrada são definidos e detalhados. Após o detalhe dos esquemas são executados os desenhos que permitem então o fabrico do equipamento projetado. É importante referir que existe uma constante comunicação entre as etapas da análise do problema, da definição do projeto conceptual e da elaboração e seleção dos esquemas, para que dessa forma não existem incompatibilidades entre as etapas [2].

### 2.2.2 Modelos prescritivos

Os modelos prescritivos permitem persuadir e encorajar os projetistas a adotar formas de trabalho ainda mais aperfeiçoadas. Oferecerem um procedimento sistemático (e algorítmico) e são, muitas vezes, considerados como ferramentas que proporcionam uma metodologia de projeto [2]. Muitos destes modelos acentuam a necessidade de um trabalho mais analítico, a preceder a geração da solução conceptual, garantindo que o problema que se pretende solucionar está completamente percebido, e que nenhum elemento importante é descurado nesta análise. Segundo Jones (1984), estes modelos tendem a sugerir uma estrutura básica do tipo: **Análise – Síntese – Avaliação**.

Em que:

- **Análise** – Listagem de todos os requisitos de conceção e redução destes a uma série de especificações de desempenho;
- **Síntese** – Determinação de possíveis soluções para cada uma das especificações individuais e construção, a partir destas, de soluções completas;
- **Avaliação** – Verificar, com exatidão, se as soluções alternativas cumprem os requisitos de desempenho para operação, manufatura e vendas, antes da solução final ser selecionada.

Este modelo assemelha-se ao modelo convencional do “processo” de projeto, no entanto neste especifica-se que se deve gerar mais do que uma solução. Estas serão avaliadas e posteriormente escolhe-se qual a solução final. Na realidade, este procedimento não é o mais frequente de ocorrer. Archer (1984) desenvolveu um novo modelo prescritivo, no qual inclui iterações com o cliente na procura por novas informações importantes para o projeto. Muitos outros modelos do “processo” de projeto se propuseram. Em geral, seguem as estruturas mencionadas, apenas diferindo o nível de detalhe que cada autor faz em cada fase. Em todos os modelos faz-se um detalhe rigoroso das etapas e atividades que são necessárias realização dos projetos.

O organismo “*Verein Deutscher Ingenieure*” (ou VDI) produziu uma série de documento, no qual surge a *VDI 2221 – “Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products”*, a qual sugere uma abordagem sistemática, em que todo o processo se encontra subdividido em diversas etapas (genéricas) de trabalho, tornando-o racional e independente de um qualquer ramo industrial. Este guia é o que mais se aplica ao projeto mecânico. Contudo, como este trabalho aborda o projeto mecatrónico, será abordada seguidamente a *VDI 2206 – Design methodology for mechatronic system*.

### 2.2.3 VDI 2206 – Metodologia de projeto para sistemas mecatrónicas

O principal objetivo da VDI 2206 é fornecer uma metodologia de suporte para o desenvolvimento de sistemas mecatrónicos [1]. É o método, processo e ferramenta para a fase inicial de qualquer projeto. O seu resultado é o conceito de sistema mecatrónico.

O desenvolvimento de todo o produto mecatrónico, segundo a norma VDI 2206, segue um modelo em “V”. Na Figura 2.5, as necessidades do cliente são transformadas em requisitos (*requirements*). Os requisitos são posteriormente transformados em especificações, pois estas definem as características que o produto mecatrónico deverá satisfazer. Desta feita, o passo seguinte será a realização do *System Design*.

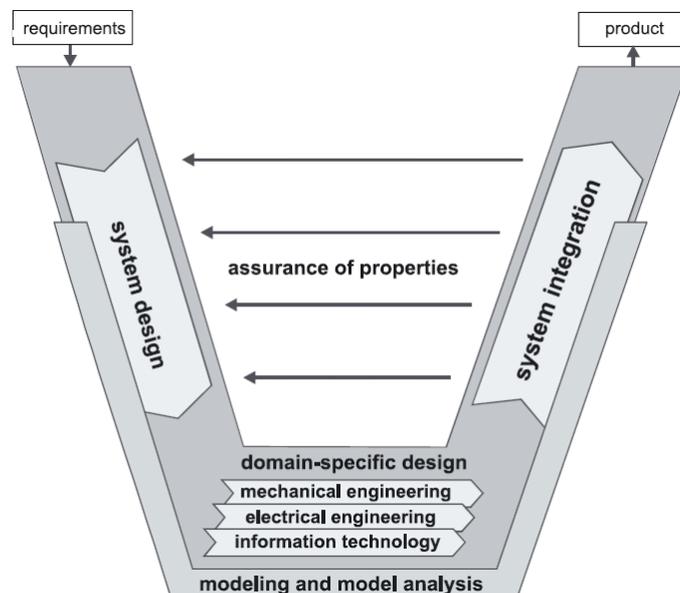


Figura 2.5 – Diagrama original do fluxo em “V” da norma VDI apresentada adaptado de [1]

O *System Design* consiste na divisão do produto numa estrutura de funções. Esta poderá ser em subfunções na qual em cada uma delas será procurada uma solução. Torna-se, por isso, indispensável a realização da estrutura de funções, para que dessa forma seja possível encontrar os *inputs* e *outputs* e as funções sejam representadas. Para a realização do mesmo, deverá se seguir um fluxo semelhante ao da Figura 2.2 no qual se representa o fluxo de energia, material e informação que irá demonstrar como cada área da mecatrónica se encontra no projeto conceptual. Posteriormente, será necessário encontrar a solução para cada subfunção do produto. Este é um processo iterativo que representa a maior parte do desenvolvimento de qualquer concepção. Após a obtenção da possível solução para o problema de cada subfunção, e após a interligação das subfunções, obtêm-se então uma solução

conceptual. Tal como representado na Figura 2.1, a solução engloba partes mecânicas, eletrônicas e tecnologias de informação.

O *System Integration* consiste na junção de todas as partes mencionadas e a eliminação das possíveis incompatibilidades. Dessa forma, obtêm-se a solução final que melhor corresponda às necessidades do problema.

## 2.3 Metodologia do projeto

A metodologia do projeto é constituída por um conjunto de técnicas e procedimentos que o projetista poderá usar e combinar entre si para a concretização de um projeto. [2]. Apesar de alguns dos métodos poderem ser meros procedimentos normais e convencionais de projeto, nos últimos anos tem-se assistido a um aumento substancial de novos procedimentos, os quais são vulgarmente agrupados sob o nome de metodologia de projeto. A intenção principal destes novos métodos é o de permitirem a introdução de procedimentos racionais no projeto. Alguns são mesmo novas invenções, enquanto que outros são meras adaptações de métodos usados noutras áreas de conhecimento (como a investigação operacional ou a administração, por exemplo), sendo, outros ainda, simples formalizações das técnicas informais usadas pelos projetistas. O processo de formalização de um procedimento tende a alargar a abordagem do problema e o âmbito de procura de soluções apropriadas, uma vez que encoraja e permite ao projetista alcançar outras soluções, bem para além da que lhe poderá ter ocorrido inicialmente aquando da análise do problema. Este conjunto de métodos pode ser agrupado, genericamente, em dois grandes grupos: métodos criativos e métodos racionais [2].

### 2.3.1 Métodos Criativos

Ao longo dos anos foram criados vários métodos que são usados para estimular o pensamento criativo. Estes métodos procuram, geralmente, aumentar o fluxo de ideias, removendo os bloqueios mentais que inibem a criatividade, ou alargar o âmbito de procura de soluções. Exemplos de métodos criativos:

- **Brainstorming** – É uma atividade de grupo desenvolvida para explorar a potencialidade criativa de um indivíduo sendo estas potenciadas pelos restantes elementos do grupo;
- **Sinética recorrendo a analogias** – Criada por Gordon (1957), é uma atividade em que o grupo trabalha em conjunto na procura de uma solução. Neste método utilizam-se analogias para a criação de novas soluções.
- **TRIZ** – É um método criado por Genrich Altshuller (1946) que utiliza várias ferramentas para a criação de novas soluções.

Os métodos abordados são algumas das técnicas que se consideram importantes para o “processo” de pensamento criativo e das equipas de projeto. [2]. No entanto, também poderão surgir ideias criativas sem a necessidade de recorrer a estes métodos.

### 2.3.2 Métodos Racionais

Apesar dos objetivos serem semelhantes aos dos métodos criativos, são os métodos racionais que definem normalmente a metodologia de projeto, pois encorajam a utilização de uma abordagem sistemática. [2]. Porém, existe uma enorme variedade de métodos racionais que abordam todos os aspetos do projeto, desde a clarificação do problema até ao projeto de detalhe. Na Figura 2.6, pretende representar-se como as diferentes etapas do processo se relacionam entre si.

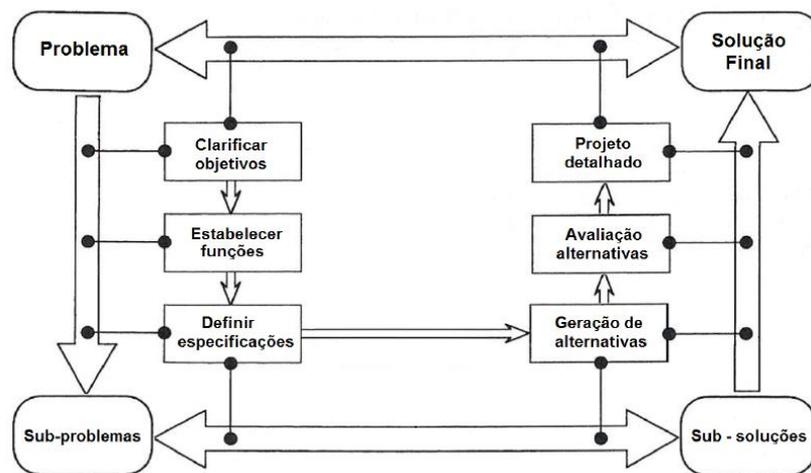


Figura 2.6 – Fluxo das etapas de um projeto pela utilização de métodos racionais adaptado de [2]

## 2.4 Modelo de projeto

O modelo de projeto está em conformidade com a indústria [3]. Grande parte dos projetos são geridos da forma descrita anteriormente, no entanto também poderão ser apresentados num modelo de 5 etapas tal como mostra a Figura 2.7. O modelo representado abaixo permite um progresso muito mais rápido no desenvolvimento de um mesmo produto. Dessa forma, os custos associados também serão menores.



Figura 2.7 – Fluxo do projeto concetual adaptado de [3]

O custo assume-se como um aspeto fundamental na criação de um produto. Normalmente, o custo aumenta de forma exponencial ao longo do processo. Por outro lado, o custo de desenvolvimento de um produto é relativamente reduzido ao custo causado por algum erro que poderá causar a recolha do equipamento. Por essa mesma razão, o “processo” de projeto terá de ser muito bem realizado e apresentar uma mais-valia. De seguida será abordada cada etapa do “processo” de projetado, em que se apresentará um resumo baseado em [2] e [3].

### 2.4.1 Planeamento

O planeamento é a primeira fase do projeto e geralmente é realizado antes do projeto ser adjudicado, pois é necessário indicar um prazo de entrega ao cliente. Nesta fase, é elaborado um planeamento das atividades do projeto e a sua orçamentação. Após a definição dos requisitos do cliente e quais os objetivos que se pretende para o equipamento, é feito de forma superficial a solução que se pretende conceber. A etapa poderá ser realizada tendo em vista pequenos esboços para a comunicação com o cliente ser compreensível. A realização do mesmo assume uma grande importância, uma vez que é a partir desta ideia inicial que a orçamentação é feita, ou seja, uma má abordagem ao problema na primeira fase do projeto poderá dificultar a idealização do mesmo. Por essa razão, torna-se fundamental realizar uma análise de risco em que se devem realizar várias reuniões com toda a equipa de trabalho para a definição de *milestones* a atingir. Dessa forma, é possível se obter uma calendarização com as diferentes fases do processo ao longo do tempo. As calendarizações normalmente são realizadas num diagrama de *Gantt*, em que nestes é possível se definir qual o início e fim de cada fase aparecendo barras coloridas no eixo

horizontal do mapa. O gráfico também permite visualizar as tarefas de cada elemento da equipa e o tempo para efetuá-la.

## 2.4.2 Projeto Conceptual

Após realizada a calendarização das etapas recorrendo ao diagrama de *Gantt*, torna-se necessário a realização do projeto conceptual. Esta etapa permite estabelecer quais os objetivos a cumprir, quais as funções e especificações do equipamento e com isso é possível se obter soluções. No projeto conceptual, a criatividade é um ponto-chave e para isso, muitas vezes, recorre-se aos métodos criativos, como os que foram abordados anteriormente.

Seguidamente, deverá se definir os objetivos, funções e especificações do projeto e também exemplo de gerações de soluções nesta etapa do projeto.

### 2.4.2.1 Estabelecimento dos Objetivos do Projeto

O projetista quando é abordado com a necessidade de um novo equipamento, normalmente, é pouco provável que a “necessidade” esteja compreendida de forma clara. O próprio cliente poderá também apenas possuir uma vaga ideia do que se pretende. Desse modo, o projeto muitas vezes poderá ser inicialmente mal definido e os requisitos do equipamento poderão não estar bem definidos. Assim, torna-se essencial estabelecer quais são os objetivos do equipamento e, para isso, recorre-se ao método da árvore de objetivos. Este método permite uma exposição simples e clara dos diferentes objetivos, realçando também a relação existente entre eles. Através deste, o entendimento entre o projetista e o cliente é facilitado. Na Figura 2.8 é possível observar um exemplo de uma árvore de objetivos, em que o principal objetivo é o equipamento ser seguro e os sub-objetivos são o baixo risco de lesão do operador, baixa probabilidade de erros cometidos pelo operador, baixo risco de danificação dos componentes. Cada ligação indica que um objetivo de mais baixo nível é um meio para alcançar o objetivo de mais alto nível.

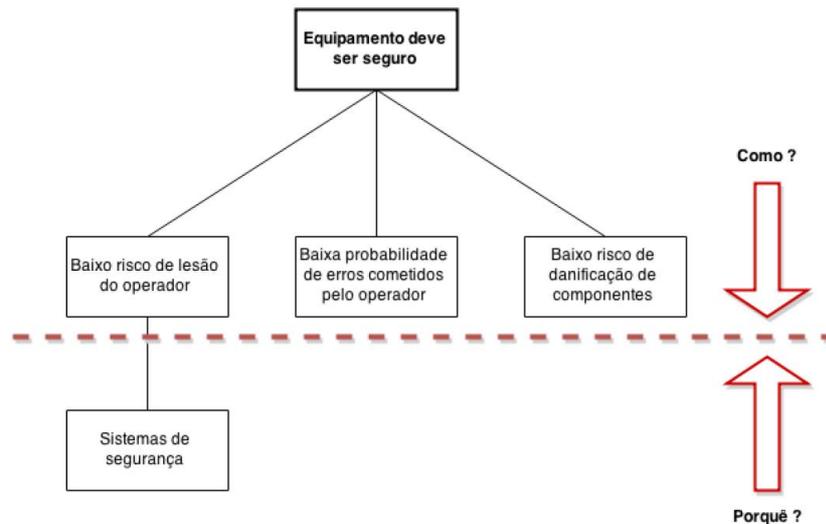


Figura 2.8 – Exemplo de uma árvore de objetivos adaptado de [2]

#### 2.4.2.2 Estabelecimento das Funções do Projeto

Como se viu anteriormente, no método da árvore de objetivos os problemas a resolver têm diferentes níveis de generalidades. A partir disso, qualquer problema poderá ser dividido em problemas mais pequenos em que a resolução de todos os pequenos resolve o problema maior. Segundo [2], antes de se considerar qualquer tipo de solução, é importante definir quais as funções que o equipamento, que se pretende projetar, tem de cumprir. Na abordagem que normalmente se utiliza para tornar o problema mais fácil considera-se não o tipo de solução, mas sim as funções essenciais que a solução deverá satisfazer. Surge dessa forma o método da análise de funções que considera quais as funções essenciais e o nível para o qual o problema deverá ser dirigido. Inicialmente, para a implementação deste método considera-se o equipamento como uma caixa negra para que dessa forma seja possível determinar qual a função global e definir as entradas e saídas, tal como sugere a Figura 2.9. Como exemplo, tem-se uma máquina automática de chá, em que função global é fazer chá e na qual entra água fria e folhas de chá e sai chá quente e as folhas de chá desperdiçadas depois de concluído o processo de infusão.



Figura 2.9 – Caixa negra de uma máquina automática de chá adaptado de [2]

Posteriormente, este método também permite uma divisão da função global em sub-funções da mesma. Na qual cada sub-função tem as suas próprias entradas e saídas e a compatibilidade entre elas deverá ser conferida. A Figura 2.10 permite mostrar as iterações das sub-funções na forma de diagramas de blocos, com vista ao projeto da máquina para fazer chá.

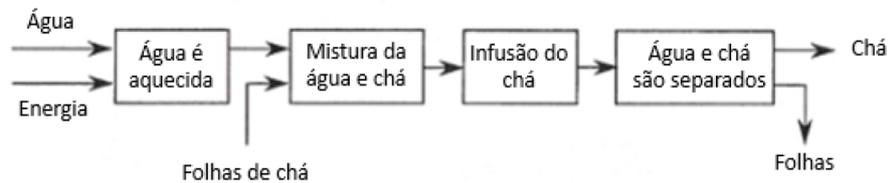


Figura 2.10 – Exemplo de um diagrama de blocos de funções para uma máquina automática de chá adaptado de [2]

Esta divisão em sub-funções permite ao projetista entender o problema de forma muito mais facilitada. E, para além disso, possibilita também ao projetista que este se concentre em encontrar a solução para cada sub-função. No entanto, o processo de conceção do diagrama de blocos de funções pode surgir de diferentes modos, uma vez que existem várias formas de se chegar à função pretendida.

#### 2.4.2.3 Especificações de Desempenho

As especificações do equipamento compreendem o conjunto de requisitos do produto e são características do próprio equipamento, tais como dimensões ou peso de uma máquina, requisitos de desempenho como potência de um motor, ou ainda, requisitos legais estatutários ou de segurança. Os objetivos e funções são, muitas vezes, considerados como sendo especificações de desempenho, o que não é efetivamente correto, uma vez que estes são apenas indicações do que se deverá alcançar ou realizar, os quais não são normalmente definidos em torno de limites muito precisos. O método da especificação de desempenho é usado para auxiliar à definição do problema, deixando margem de manobra ao projetista para alcançar uma solução satisfatória. Este método consiste na definição de especificações técnicas com base no nível de generalidade que se pretende trabalhar. Por exemplo, quando se está a projetar um aparelho de aquecimento doméstico é necessário atribuir especificações que se adequem ao desejado, ou sejam se se está a projetar um sistema de aquecimento central ou simples termo-ventilador. Por fim, para a definição das especificações, após se obter uma lista detalhada das especificações técnicas do equipamento, torna-se necessário diferenciar quais os requisitos que são “exigidos” dos que são apenas “desejados”. Um requisito exigido é um requisito que tem de ser obrigatoriamente cumprido, enquanto que um requisito desejado é um requisito que o cliente, se possível, gostaria de ver satisfeitos na proposta final. Um outro aspeto que poderá facilitar o trabalho do

projetista é a atribuição de um peso relativo a cada especificação técnica, pois dessa forma obtém-se diferentes níveis de importância.

#### 2.4.2.4 Criação de Soluções Alternativas

A criação de soluções é um aspecto essencial e central no processo de concepção, pois permite a apresentação e a proposta de algo novo. Esta procura sobrepõe-se, muitas vezes, aquilo que realmente acontece, como o redesenho, aperfeiçoamento e otimização de produtos já existentes.

Existem diversas maneiras para se criar novas soluções, como por exemplo a geração espontânea de ideias, na qual se obtêm duas ou mais ideias e se vai excluindo umas tendo em conta os próprios requisitos do equipamento, obtendo-se assim a ideia que irá prevalecer e se adotar. Caso essa mesma solução não resulte ou se torne incompatível com o desejado, o processo retorna para nova geração de soluções. No entanto, este processo poderá ser de certo modo pouco criativo, pois através dele não é estimulado o aparecimento de novas soluções. Posto isto, para o auxílio na geração de soluções, recorre-se a mapas morfológicos que permitem explorar e encorajar o projetista a identificar novas combinações para dessa forma se obter novas soluções. Com a combinação de diferentes sub-funções para as respetivas sub-funções, conduz-se a uma nova solução não identificada previamente. A Figura 2.11 permite visualizar um exemplo de um mapa morfológico.

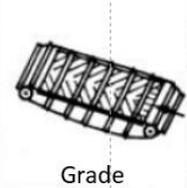
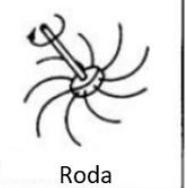
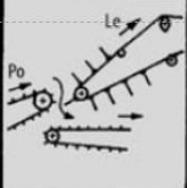
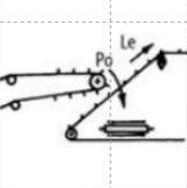
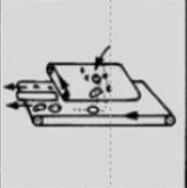
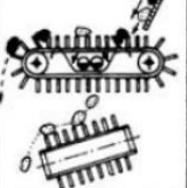
Sub-funções \ Soluções		Soluções			
		1	2	3	4
1	Elevação	 Rolo de pressão	 Rolo de pressão	 Rolo de pressão	 Rolo de pressão
2	Peneirar	 Correia	 Grade	 Tambor	 Roda
3	Separação de folhas	 Le Po	 Le Po	 Arrancador	...
4	Separação de pedras	 Le Po	 Le Po	 Le Po	 Le Po
5	Seleção de batatas	Manual	Por fricção (plano inclinado)	por seleção de tamanho	Verificação da massa
6	Recolher	Inclinável	Tapete rolante	Depósito de enchimento de sacos	...

Figura 2.11 – Exemplo de um mapa morfológico para um exemplo de colher batatas adaptado de [2]

### 2.4.3 Avaliação de soluções

Após realizado um conjunto de soluções, torna-se necessário selecionar qual a melhor solução capaz de resolver ao problema em questão. As escolhas, em muitas ocasiões, podem ser efetuadas por palpite, intuição, baseadas na experiência, ou por decisões arbitrárias, contudo, é preferível que sejam efetuadas de acordo com um procedimento racional e que reúna o consenso de toda a equipa de trabalho [2]. Existe um conjunto de avaliações passíveis de se realizar, no entanto, todas se baseiam na atribuição de diferentes ponderações aos elementos que as diferenciam, em que uns são considerados mais importantes do que outros. Desta forma, torna-se necessário recorrer a meios que promovam a diferenciação para que assim as soluções criadas possam ser avaliadas e comparadas. Os elementos diferenciadores são normalmente as especificações e os objetivos definidos para o equipamento. Existe diferentes métodos para avaliar as soluções desenvolvidas durante o projeto concetual, contudo, neste trabalho abordar-se-á o método da árvore de objetivos e análise de valor, em que o primeiro avalia as soluções segundo a árvore de objetivos e o segundo avalia de acordo com as especificações técnicas.

#### 2.4.3.1 Método da Árvore de Objetivos

O método da árvore de objetivos avalia as soluções desenvolvidas atribuindo pesos numéricos aos objetivos e pontuações numéricas aos desempenhos das soluções alternativas em função dos objetivos. Os objetivos são estabelecidos numa fase inicial podendo com o decorrer do processo ser alterados. Estes incluem fatores técnicos e económicos, requisitos de segurança, requisitos dos consumidores, etc. Recorre-se, portanto, à árvore de objetivos definida inicialmente no processo de projetivo e atribui-se pesos de modo a soma dos objetivos na mesma hierarquia seja igual a um [2]. Na Figura 2.12 observa-se um exemplo de uma árvore de objetivos com a pontuação correspondente.

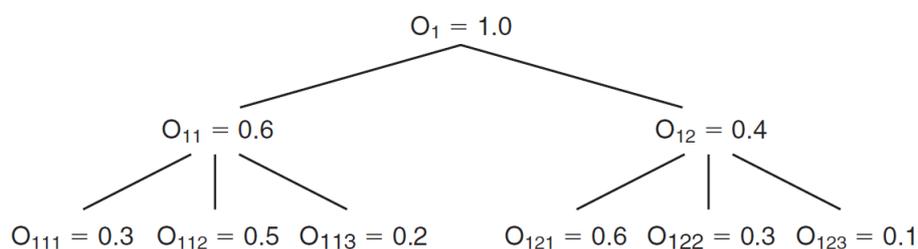


Figura 2.12 – Diagrama de bloco de funções adaptado de [4]

A soma de cada objetivo na mesma hierarquia é igual a um, sendo que a avaliação final da solução é dada pela multiplicação de nota para cada objetivo pela respetiva ponderação, e realizando posteriormente o cálculo que relacione os objetivos. A avaliação final será dada pela seguinte equação:

$$O_1 = 0.6 ((O_{111}0.3) + (O_{112}0.5) + (O_{113}0.2) + 0.4 ((O_{121}0.6) + ((O_{122}0.3) + ((O_{123}0.1) \quad (1)$$

No final, a solução que tiver melhor resultado será a solução a escolher.

#### 2.4.3.2 Análise de Valor

A análise de valor apresenta um conceito semelhante ao método da árvore de objetivos no qual são atribuídas diferentes ponderações aos elementos diferenciadores, contudo, apresenta-se sob a forma de lista. A aplicação deste método, inicia-se com a apresentação das especificações sob a forma de tabela, em que à frente de cada especificação é colocado a respetiva ponderação. A pontuação é obtida após o somatório do produto da nota e respetiva ponderação em cada especificação. No final, a solução que tiver maior pontuação é a solução mais viável. Para facilitar a compreensão, na Tabela 2.1 encontra-se um exemplo de aplicação de uma análise de valor.

Tabela 2.1 – Análise de Valor adaptado de [2]

<b>Especificação</b>	<b>Ponderação (1 - 10)</b>	<b>Solução 1</b>	<b>Solução 2</b>
Fiabilidade	$X_1$	$A_{11}$	$A_{21}$
Tempo de ciclo	$X_2$	$A_{12}$	$A_{22}$
Segurança	$X_3$	$A_{13}$	$A_{23}$
Manutenção	$X_4$	$A_{14}$	$A_{24}$
<i>Total</i>		$TA_1$	$TA_2$

O total da solução 1, é obtido da seguinte forma:

$$TA_1 = (X_1A_{11}) + (X_2A_{12}) + (X_3A_{13}) + (X_4A_{14}) \quad (2)$$

## **2.5 Aperfeiçoamento de Detalhes: O Método da Engenharia de Valor**

Uma grande parte do trabalho de projeto não se baseia na criação de novas soluções “radicais”, mas sim na execução de modificações a produtos já existentes.

Estas modificações pretendem melhorar o produto, aperfeiçoando o seu desempenho, reduzindo o seu peso, baixando o seu custo, ou melhorando a sua aparência. Estas modificações podem ser agrupadas e, dois grandes tipos, visando:

- Aumentar o seu valor ao comprador
- Reduzir o seu custo ao produtor

O valor do produto ao seu comprador é aquilo que o consumidor pensa que o respetivo produto vale, enquanto que o custo ao produtor representa o que o produto custou em termos de concepção, projeto, fabrico e distribuição pelos pontos de venda. O preço de venda de um produto cai, normalmente, entre o preço de custo ao produtor e o seu valor de comprador.

O desenvolvimento de produto está relacionado, essencialmente, com o acrescento de valor. Quando as matérias-primas são convertidas em produtos, é acrescentado valor acima dos custos básicos dos materiais e das técnicas do processamento usadas. Quanto é que é acrescentado valor depende do valor percebido pelo comprador e esta perceção é, substancialmente, determinada pelos atributos do produto fornecidos pelo projetista.

Como é compreensível, os valores flutuam, dependendo dos contextos, sociais, culturais, tecnológicos e ambientais, que alteram a necessidade, relevância ou utilidade de um produto. Existem também fatores psicológicos e sociológicos complexos que afetam o valor simbólico ou a consideração de um produto, os quais são, fundamentalmente, do interesse do projetista.

Posto isto, utiliza-se o método da engenharia de valor que tem o seu enfoque nos aspetos funcionais e o seu objetivo é o de aumentar a diferença entre o custo e o valor de um produto, diminuindo o custo ou adicionando valor, ou ambos.

Em muitos casos o seu objetivo é, tão simplesmente, a redução de custos, concentrando-se o trabalho no projeto de detalhe dos componentes, nos seus materiais, formas, métodos de produção e processos de montagem:

- A versão mais limitada deste método é conhecida como análise de valor, a qual é aplicada somente ao refinamento, ou melhoria de um produto existente.
- O método da engenharia de valor é aplicado a novos desenvolvimentos ou ao redesenho, substancial, de um produto.

São vulgarmente conduzidos no âmbito da equipa de projeto, devido à variedade e detalhe de informação necessária, envolvendo membros de diferentes departamentos da empresa, do gabinete de projetos aos custos, marketing e produção, entre outros.

#### 2.5.1 Listagem dos componentes separados do produto e identificação da função servida por cada um deles

Uma das formas que as empresas têm de procurar vencer os produtos rivais é comprar um exemplar do produto concorrente, desmontá-lo nos seus componentes individuais e tentar aprender como é que o seu próprio produto pode ser melhorado. Esta é uma maneira de perceber os “segredos” da concorrência, sem que se tenha de recorrer à espionagem industrial.

O mesmo tipo de técnica encontra-se no centro da engenharia de valor e da análise de valor. O primeiro passo baseia-se na desmontagem do produto pelos seus componentes, produzindo-se uma lista de componentes e de desenhos.

O propósito desta primeira fase é o estabelecimento de uma familiarização minuciosa com o produto, os seus componentes e a sua montagem. Torna-se assim necessária uma análise exaustiva dos subconjuntos e dos componentes individuais e da forma como contribuem, em termos funcionais, para o produto final.

O objetivo desta fase é a produção de uma lista completa dos componentes, agrupados, se necessário, em subconjuntos com a identificação das suas funções.

#### 2.5.2 Determinação dos valores em função identificadas

As questões de valor são, de facto, manifestamente difíceis pois atingir-se o consenso no sio do grupo de trabalho sobre o valor das funções de um determinado produto poderá não ser fácil. Contudo, deverá ser recordado que o valor de um produto representa o seu valor percebido pelo comprador, o que significa que os valores das funções de um produto devem ser os que são percebidos pelos consumidores, em detrimento dos que são percebidos pelos projetistas ou pelos produtores. As pesquisas de mercado deverão ser a base para as avaliações dos valores das funções. Os preços de mercado dos diferentes produtos podem, em alguns casos, fornecer indicações sobre os valores que os consumidores atribuem às várias funções.

Normalmente, terão de ser esforços consideráveis de forma a quantificar os benefícios ou os valores percebidos pelos consumidores, em ligação com a análise custo-benefício usada no planeamento. Apesar

da dificuldade na avaliação dos valores, torna-se necessária a tentativa para racionalizar e expressar os valores das funções dos componentes. A redução dos custos dos componentes pode ser ineficaz se os valores estiverem a ser reduzidos também, uma vez que o produto se torna menos desejado na perspetiva do comprador. Se os valores não puderem ser quantificados ou estimados com confiança, poderão ser tentadas avaliações simples do tipo valor alto, médio ou baixo.

### 2.5.3 Determinação dos valores em função identificadas

A determinação dos custos dos componentes, por muito surpreendente que possa parecer, nem sempre é fácil para uma empresa. Os métodos de contabilidade da empresa podem não ser suficientemente específicos para a identificação dos custos dos componentes usados nos produtos.

Para esta determinação não é suficiente saber-se apenas o custo do material do componente ou o custo de aquisição, caso este tenha sido obtido através de um fornecedor. A equipa de análise de valor necessita de conhecer o custo do componente como um elemento do custo final do produto, isto é, depois de totalmente acabado e montado no produto final:

- Assim como o material ou os custos de aquisição, também os custos homem-máquina devem ser adicionados.
- Os custos ou despesas gerais devem ser igualmente adicionados, muito embora seja difícil a sua atribuição exata pelos componentes individuais; uma distribuição uniforme dos custos por todos os componentes talvez seja uma boa alternativa.

Por sua vez, convém não ignorar os componentes de baixo custo, especialmente se estes forem usados em grande número, como é o caso de parafusos ou porcas. Uma redução muito pequena de custos por componentes pode mesmo proporcionar uma poupança substancial quando multiplicada pelo número de componentes usados.

Assim, como a determinação dos custos totais dos componentes, também a determinação da percentagem dos seus custos relativamente ao custo total é importante e deverá ser calculado. Uma atenção muito especial deve ser orientada sobre os componentes, ou subconjuntos, que apresentem uma parcela significativa do custo total.

#### 2.5.4 Procura de formas de redução de custos

A procura de formas de redução de custos sem que haja redução de valor, ou adição de valor sem aumentos de custos recorre, na sua maioria, ao conceito de desmontagem de um produto concorrente, de forma a procurar melhorá-lo.

As tentativas de redução de custos são, muitas vezes, nos componentes e nas formas de simplificação da sua concepção, fabrico e montagem, mas as funções desempenhadas por um produto devem ser igualmente consideradas, pois poderá ser possível a sua simplificação, ou mesmo a sua eliminação se limitarem o valor do produto ao comprador.

Existem algumas estratégias que podem ser aplicadas de forma a orientar a redução de custos:

- **Atenção especial sobre os componentes de mais alto custo**, como vista à substituição por alternativas de baixo custo.
- **Revisão de todos os componentes usados em grande número**, já que pequenas economias, por componente, podem resultar em economias substanciais;
- **Identificar os componentes e as funções associadas a alto-custo/alto-valor**, ou baixo-custo/baixo-valor, pois o objetivo passa por obter funções de alto-valor com componentes de baixo-custo.

Uma técnica muito particular baseia-se na comparação do custo de componente usado com os meios de baixo custo necessários para se conseguir essa mesma função: grandes diferenças sugerem áreas de redução de custos. Uma lista orientadora para a redução de custos pode ser consultada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Lista orientadora de redução de custos adaptado de [3]

<b>Item</b>	<b>Comentário</b>
<b>Eliminar</b>	Pode alguma função, e, portanto, os seus componentes serem eliminados? Existem componentes redundantes?
<b>Reduzir</b>	Pode ser reduzido o número de componentes? Podem vários componentes ser combinados num único?
<b>Simplificar</b>	Existe uma alternativa mais simples? Existe uma sequência de montagem mais simples? Existe uma forma mais simples?
<b>Modificar</b>	Existe algum material, igualmente satisfatório, mas mais barato? Pode ser melhorado o método de produção?
<b>Normalizar</b>	Os componentes podem ser normalizados? Podem ser normalizadas as dimensões? Podem ser duplicados os componentes?

Enquanto que a análise de valor é uma abordagem focada na redução de custos, a engenharia de valor procura também outras formas de adicionar valor ao produto. Por exemplo, em vez de se eliminarem funções, como sugerido anteriormente, a engenharia de valor procura formas de melhorar ou valorizar as funções de um produto. Ainda assim, o objetivo deste método é o do aumento do rácio valor/custo. Um dos meios mais significativos de se adicionar valor a um produto, sem necessariamente aumentar o seu custo, é o de melhorar a sua facilidade de utilização.

Outros atributos que normalmente contribuem para o valor de um produto estão na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Atributos que contribuem para o valor de um produto adaptado de [3]

<b>Item</b>	<b>Comentário</b>
<b>Utilidade</b>	Desempenho em aspetos como capacidade, potência, velocidade, exatidão ou versatilidade.
<b>Fiabilidade</b>	Livre de quaisquer avarias ou funcionamentos anómalos; Desempenho sob condições ambientais variáveis.
<b>Segurança</b>	Seguro; Operação livre de perigo.
<b>Manutenção</b>	Simples, infrequente ou sem requisitos especiais.
<b>Vida útil de serviço</b>	Exceto para produtos descartáveis, pretende-se uma vida de serviço longa que ofereça um bom valor para o preço inicial de compra.
<b>Poluição</b>	Poucos ou nenhuns subprodutos desagradáveis ou não desejáveis, nos quais se incluem o ruído e o calor.

Existe ainda uma classe de atributos de valor relacionados com fatores estéticos, que incluem a aparência do produto (cor, forma, estilo, etc.), e também com aspetos relacionados com o acabamento superficial e a sensação de toque.

#### 2.5.5 Avaliação das alternativas e seleção das melhorias a implementar

A aplicação da análise de valor ou da engenharia de valor deve resultar num grande número de sugestões alternativas para a modificação do produto.

Algumas destas alternativas podem ser incompatíveis umas com as outras e, por isso, todas as sugestões devem ser cuidadosamente avaliadas, antes mesmo de se selecionarem aquelas que poderão corresponder a melhorias, ou aperfeiçoamentos, efetivos e genuínos.

### **3. CONCEITOS DE PROJETOS DE MÁQUINAS**

No presente capítulo retrata-se os conceitos que se consideraram importantes para o projeto do acessório elevatório automático que se estudou. Com isso, abordou-se numa primeira estância “A Pneumática no contexto da Automação Industrial”, uma vez que é através do ar comprimido que se realiza uma força e um movimento indispensável ao equipamento projetado recorrendo logicamente à automação. E, por conseguinte, no subcapítulo seguinte apresenta-se conceitos relativos à segurança e normalização de máquinas.

#### **3.1 A Pneumática no contexto da Automação Industrial**

Primeiramente, neste subcapítulo é abordado um resumo genérico da introdução à automatização industrial. Seguidamente, retratam-se os sistemas pneumáticos no mesmo contexto e os seus elementos tais como atuadores e válvulas. Por fim, são apresentados circuitos pneumáticos e eletropneumáticos com a representação devida para ambos os casos.

##### **3.1.1 Introdução aos sistemas automatizados**

O conceito “Automação” remonta à Grécia Antiga e significava “atuar por si”. Ainda hoje esse significado se mantém e quando nos referimos a “sistemas automáticos” ou “sistemas automatizados”, isso significa que os mesmos são capazes de funcionar de forma autónoma, isto é, sem a intervenção do Homem [5]. A automação desenvolveu-se a partir de 1950, muito impulsionada pelo avanço e progresso da eletricidade, da mecânica, da eletrónica e, atualmente, da informática.

Segundo [6], se aceitarmos que não há riqueza sem produção, quer a nível individual quer a nível nacional, somos imediatamente conduzidos à conclusão de que o estudo dos sistemas produtivos e das tecnologias a si associadas, como o caso da Automação Industrial, está na frente dos assuntos que devem ser estudados numa forma detalhada nos diversos ramos da engenharia, caso queiramos ter um crescimento sustentável da sociedade que garanta um aumento da qualidade de vida sem desperdiçar a longo prazo os recursos disponíveis.

Na definição de automação compreende-se a área científica que estuda os sistemas dinâmicos, os sinais e a informação, com o fim de condução ou tomada de decisão [5]. Entende-se por estudo, portanto, o desenvolvimento e aplicação de conceitos, de métodos, de meios e ferramentas. A condução engloba a planificação, a observação, o comando e a supervisão. Por fim, a tomada de decisão implica a aquisição

e tratamento de sinais, imagens e informações, a observação e detecção, o reconhecimento e o diagnóstico. Desta forma, assume-se a automação industrial como sendo a tecnologia relacionada com a aplicação dos sistemas mecânicos, elétricos e eletrônicos, apoiados em meios computacionais, na operação e controlo dos sistemas de produção [7]. Desta forma, atualmente, com o desenvolvimento dos recursos computacionais e de controlo de sistemas, o controlo da produção passou a poder ser automatizado e controlado por autómatos programáveis ou computadores [5]. Pode-se, portanto, entender a automação como uma forma de controlo autónomo de processo de fabrico.

Desta forma, um automatismo é todo um dispositivo elétrico, eletrónico, pneumático ou hidráulico capaz de por si só controlar o funcionamento de uma máquina ou processo. O sistema automatizado deve assim ser composto por duas partes fundamentais: a parte operativa e a parte de comando [5]. A primeira integra os mais diversos componentes inerente ao próprio processo. A parte de comando, por sua vez, integra os dispositivos que com base nas informações dos sensores (sinais de entrada) as compara com as instruções que recebeu do projetista do sistema e, face aos resultados dessa comparação, emite ordens (designadas por sinais de saída) aos elementos de comando dos atuadores. Na Figura 3.1 pode-se observar a estrutura base de um sistema de automatização de processos.

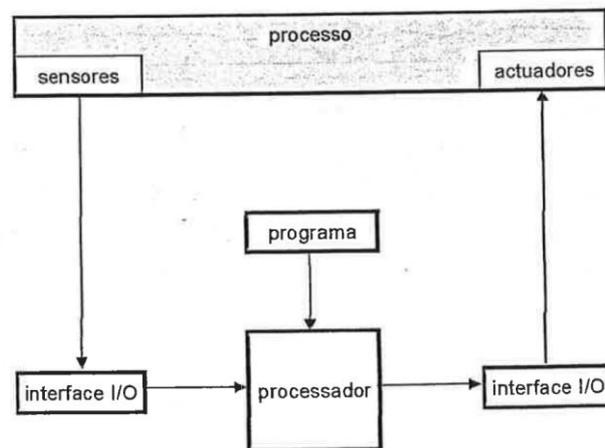


Figura 3.1 – Estrutura base de um sistema de automatização de processos adaptado de [5]

Na Tabela 3.1 encontra-se uma lista com os diferentes tipos de componentes num sistema automatizado subdividido em parte operativa e parte comando.

Tabela 3.1 – Componentes de um sistema automatizado/automatismo adaptado de [6]

<b>Parte Operativa</b>	Rede de distribuição (ac trifásica, ac monofásica, dc...) Engenho ou máquina (elevador, semáforo, escada rolante...) Acionadores (motores, lâmpadas, resistências...)
<b>Parte Comando</b>	Detetores (fins de curso, detetores de proximidade, células fotoelétricas...) Tratamento de dados (autómatos programáveis, contadores auxiliares...) Diálogo Homem – Máquina (botoneiras, sinalizadores, teclados...) Comando de potência ou pré-acionadores (contadores eletromagnéticos, relés...)

Por fim, pode-se distinguir os seguintes integrantes em qualquer sistema automatizado:

- Distribuição: toda a rede elétrica, pneumática, hidráulica, etc., de alimentação e fornecimento de energia.
- Máquina ou instalação: é o sistema que deve ser automatizado. Este sistema poderá ter diferentes níveis de complexidade. Poderá ser muito complexo como uma unidade de produção ou cadeia de fabrico, ou então um equipamento mais simples como um semáforo ou um sistema de irrigação.
- Acionadores: permitem efetuar as ações no sistema. São as bombas, os cilindros, os motores, etc.
- Comando de potência: para transmitir a energia necessárias aos acionadores e servir de intermediário com o sistema de tratamento de dados, são necessários equipamentos necessários como contadores, disjuntores, relés variadores de velocidade, etc.
- Interface homem-máquina: dispositivos que são atuados pelo homem, por forma a comandar uma dada ação, por exemplo interruptores, teclados de computador, ecrãs táteis, etc.
- Aquisição de dados: medição de grandezas físicas relevantes para o controlo do processo. Normalmente, são vindos dos sensores de leitura de temperatura, pressão, força, etc.
- Tratamento de dados: mediante as leituras dos dispositivos de aquisição de dados, o sistema deverá tratar a informação e reagir de acordo com as seguintes condições exteriores, por exemplo utilizando computadores ou autómatos programáveis (PLC's).

Na Figura 3.2 é possível observar a interligação existentes entre as partes mencionadas anteriormente.



Figura 3.2 – Representação da interligação entre os vários elementos de um sistema automatizado adaptado de [5]

### 3.1.2 Sistemas pneumáticos e os seus elementos

O ar comprimido é uma das formas mais antigas que o ser humano conhece. A pneumática serve-se dele como meio de transmissão de potência para os seus atuadores [8]. A utilização do ar comprimido de forma generalizada na indústria, começou com a necessidade cada vez maior da automatização e da racionalização dos processos de trabalho. Segundo [9], é deveras surpreendente a quantidade e diversidade de aplicações com êxito tendo o ar comprimido como forma de energia. O movimento mais comum da aplicação desta tecnologia pode ser observado no mecanismo de abertura de uma porta de um autocarro. No entanto, a pneumática pode ser observada em mais operações tais como: furar, roscar, prensar, cortar, abrir, fechar, empurrar, levantar, decapar, pintar, limpar, insuflar, agitar, etc. [8]

A automatização recorrendo às ferramentas pneumáticas, relativamente às ferramentas elétricas, pesam, regra geral um quinto destas. [9]. De facto, o que se sucede é que na indústria transformadora, a ferramenta pneumática, onde por força ao seu menor peso e volume, oferece uma maior robustez, ausência de perigo (tipo eletrocussão) e baixo custo de manutenção. Assim, deste modo, a pneumática adquiriu um lugar quase de “insubstituível”, pois consegue uma melhor qualidade do equipamento, segurança dos operadores e, naturalmente, qualidade do produto final. [9]

Segundo [6], a utilização desta tecnologia apresenta inúmeras vantagens das quais se salientam:

- Segurança – Os sistemas de ar comprimido não produzem faísca e podem não usar qualquer forma de energia elétrica, estando por isso adaptados a ambientes húmidos ou de elevado risco de explosão.
- Economia – A produção de ar comprimido utiliza o ar atmosférico e compressores de baixo custo a elevada eficiência e fiabilidade.
- Fiabilidade – Os sistemas pneumáticos têm poucos componentes móveis, sendo, portanto, bastante fiáveis e de fácil manutenção.
- Gama de forças – Embora não possa ser usada para grandes esforços, a tecnologia pneumática consegue desenvolver forças consideráveis que vão até 50000N (para pressões até 7 bar. Para pressões superiores é possível ter mais de 100000N (para 15 bar, por exemplo).

Em conformidade com [9], estas características explicam a importância adquirida pela pneumática nos sistemas atuais de automação industrial. Exemplo disso mesmo, é que num mercado tão competitivo como o setor automóvel, onde os custos são analisados até à exaustão, não é por acaso que todas as linhas de produção de veículos motorizados, em qualquer parte do mundo, preferem ferramentas pneumáticas.

#### 3.1.2.1 Propriedades do ar comprimido

A utilização do ar comprimido permitiu solucionar variados e complexos problemas de automatização que, devido ao baixo custo e facilidade de manipulação, se tornaram excelentes soluções. Naturalmente que as propriedades do ar comprimido não se limitam à sua facilidade de manipulação e ao seu baixo custo. Este possui todo um conjunto de propriedades, algumas das quais estão referidas na Tabela 3.2, que o tornam um dos elementos mais importantes (senão o mais importante) de todo o sistema de automatização.

Tabela 3.2 – Propriedade do ar comprimido adaptado de [5]

<b>Propriedades do ar comprimido</b>	
Custos:	Baixos custos pois o ar comprimido encontra-se em quantidades praticamente ilimitadas em todos os lugares.
Transporte:	Facilidade de transporte através de tubagens, mesmo para distâncias consideráveis.
Armazenamento:	Fácil armazenamento no local de utilização em reservatórios de pressão móveis ou fixos. Facilidade de transporte.
Variações de Temperatura:	Insensibilidade do trabalho realizado com ar comprimido face às oscilações da temperatura.
Segurança:	Não existe perigo de explosão ou incêndio.

	Elementos “carregáveis” até à sua paragem total, proteção contra sobrecargas.
Limpeza:	Limpo e isento de poluentes atmosféricos. O ar, que eventualmente escapa das tubagens ou outros elementos inadequadamente vedados, não polui o ambiente.
Economia:	Elementos de trabalho de construção simples e económica. Ausência de proteções custosas contra explosões ou risco de incêndio.
Velocidade:	O ar comprimido é um meio de trabalho rápido, permitindo alcançar velocidades de funcionamento oscilando entre 1 e 2 m/s.
Regulação:	Velocidade e forças de trabalho dos elementos facilmente reguláveis e sem escala.

Para uma correta utilização do ar comprimido deve-se ter em consideração um conjunto de fatores que influenciam, de um modo decisivo o funcionamento dos sistemas pneumáticos. Tal se pretende demonstrar na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Fatores que influenciam os sistemas pneumáticos adaptado de [8]

<b>Fatores que influenciam os sistemas pneumáticos</b>	
Preparação:	O ar comprimido requer a eliminação de impurezas e de humidade, pois estes provocam desgaste nos elementos pneumáticos
Fiabilidade:	Impossibilidade de manter uniforme e constante a velocidades dos cilindros mediante ar comprimido.
Forças:	O ar comprimido é económico somente até uma determinada força, pois está é limitada pela pressão normal de trabalho bem como pelo curso e velocidade. O valor limite da força varia entre os 20000N e 30000N.
Escape do ar:	O ar comprimido é ruidoso. Com o desenvolvimento de silenciadores este problema pode ser minimizado.
Custos:	O ar comprimido é uma fonte de energia cara. Porém, o alto custo da energia produzida, está em grande parte compensado pelos preços vantajosos dos elementos e pela elevada rentabilidade do ciclo de trabalho.

### 3.1.2.2 Produção do ar comprimido: compressores

O ar comprimido constitui uma eficiente fonte de energia. Contudo, para que o ar possa fornecer essa energia é necessário comprimi-lo, ou seja, deve-se fornecer trabalho para aumentar a energia interna a fim de que posteriormente, se possa transformar essa energia interna em energia mecânica [8]. Os elementos capazes para essas tarefas são os compressores. A classificação destes é feita de acordo com o princípio de compressão a que o ar é sujeito. Segundo este critério, a divisão é feita em termos de compressores do tipo dinâmico ou do tipo deslocamento. Nestes últimos, um determinado volume de ar

é aspirado, sendo depois “encerrado” num espaço fechado [10]. A compressão volumétrica resulta da diminuição de ar contido e é realizada por ação mecânica exterior ao compressor, que pela movimentação de uma superfície (êmbolo, pistão ou diafragma), vai reduzindo o seu volume até que se atinja a pressão de saída. Deste modo, o ar fica assim comprimido resultando assim uma pressão mais elevada enquanto que o seu volume diminui, e após atingida a pressão, abandona a câmara de compressão através da válvula de descarga [8].

Nos compressores dinâmicos, o aumento da pressão do ar consegue-se à custa de uma troca de energia cinética em energia potencial [10]. O ar captado na atmosfera é animado de elevada velocidade que, ao atravessar a roda impulsadora, se expande diminuindo a velocidade e aumentando a pressão.

### 3.1.2.3 Atuadores pneumáticos

Os atuadores pneumáticos são os elementos que trabalham usando como de fonte de energia o ar comprimido. Os elementos são conversores de energia e transformam-na ou em movimento retilíneo ou em movimento de rotação [8].

Os cilindros pneumáticos são os órgãos de potência responsáveis pela aplicação de uma força em movimento linear. A sua construção é muito simples, e é composto por duas tampas, uma camisa (geralmente cilíndrica), um pistão ou êmbolo e uma haste. Existem diversos modelos de cilindros para as diferentes aplicações tal como sugere a Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Classificação dos cilindros pneumáticos adaptado de [11]

<b>Classificação dos cilindros pneumáticos</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Classe</b>
Simples Efeito Duplo Efeito	Leve
	Média
	Pesada
	Mini
	Membrana
	Tandem
	Dupla Haste
	Rotação

Os cilindros de simples efeito são utilizados principalmente para acionamentos que requerem utilização de trabalho num só sentido. O retorno efetua-se mediante a ação de uma mola colocada no interior do corpo do cilindro ou de uma força exterior. Os cilindros de duplo efeito são acionados pelo ar comprimido nos dois lados do êmbolo. A força exercida pelo ar comprimido, movimenta o êmbolo do cilindro, permitindo realizar movimento nos dois sentidos. Nestes será produzida uma determinada força no avanço, bem como no retorno do êmbolo. Por sua vez, estes também podem ter amortecimento para evitar os impactos secos no fim de curso dos cilindros. Quando equipados, antes de alcançar a posição final, um êmbolo de amortecimento interrompe o escape direto do ar, deixando somente uma passagem pequena, geralmente regulável. Com o escape de ar restringido cria-se uma sobrepressão que, para ser vencida, absorve parte da energia e resulta da perda de velocidade nos fins de curso. Invertendo, o movimento do êmbolo, o ar entra sem impedimento pelas válvulas no cilindro e o êmbolo pode, com a força e velocidade máximas, retroceder.

#### 3.1.2.4 Válvulas pneumáticas

As válvulas são os elementos emissores de sinais e de comando que têm a capacidade de influenciar o processo de trabalho. Servem para orientar os fluxos de ar, impor bloqueios e controlar a pressão [5].

Podem ser classificadas como:

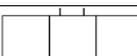
- a) **Válvulas direcionais:** alteram a tipologia do circuito, isto é, a possibilidade de modificar o sentido de circulação do fluído no circuito. Podem ser também designadas de válvulas distribuidoras. São representadas através de símbolos adequados como mostra a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Simbologia de válvulas direcionais adaptado de [11]

<b>Posições</b>	<b>Simbologia</b>
Quadrados	
O n° de quadrados = n° de posições	

As características funcionais representam os símbolos dentro dos quadrados. A Tabela 3.6 pretende mostrar isso mesmo.

Tabela 3.6 – Simbologia das características funcionais das válvulas distribuidoras adaptado de [11]

Funcionamento	Simbologia
<b>Linhas:</b> vias de passagem <b>Setas:</b> sentido do fluxo	
<b>Bloqueios:</b> traços transversais	
<b>União:</b> um ponto	
<b>Ligações:</b> traços externos indicando a posição e repouso na válvula <b>Nº de traços</b> = nº de vias (i.e 4)	
<b>Posições de comando:</b> Três Posição central ≡ Posição de repouso	
Vias de exaustão sem conexão (escape livre) : Triângulo colocado no símbolo	
Vias de exaustão com conexão (escape dirigido): Triângulo afastado do símbolo	

A denominação de cada válvula depende do número de vias (ligações de entrada e saídas) e do número de posições de funcionamento. O seu formato é número de vias/número de posições.

Segundo o modo seguinte retratado na Figura 3.3:

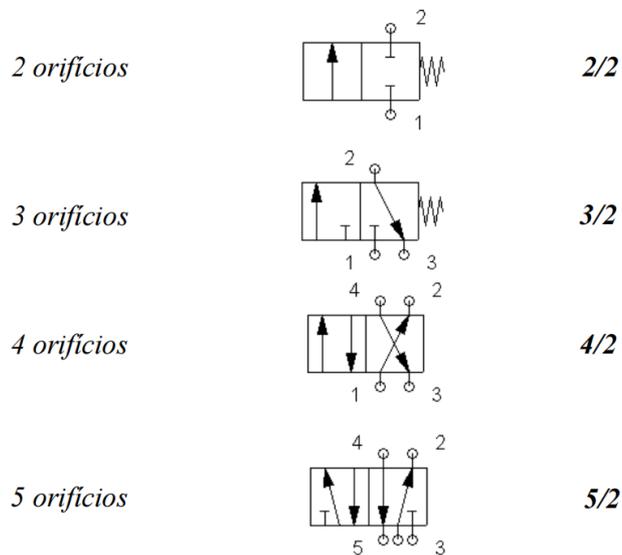
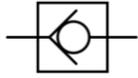
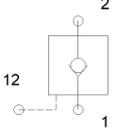


Figura 3.3 – Denominação de válvulas direcionais adaptado de [11]

b) **Válvulas de bloqueio:** bloqueiam a passagem, preferencialmente, num só sentido permitindo a passagem livre na direção contrária.

- i. Válvulas de retenção: impedem completamente a passagem de ar num dos sentidos e no sentido contrário a passagem de ar faz-se livremente. Na Tabela 3.7 encontram-se os diferentes tipos de válvulas de retenção.

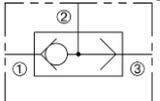
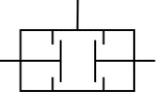
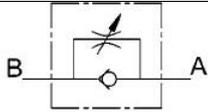
Tabela 3.7 – Simbologia de tipos de válvulas de retenção adaptado de [11]

<b>Tipos de válvulas de bloqueio</b>	<b>Simbologia</b>
Válvula de retenção com fecho por atuação de uma pressão sobre o elemento vedante	
Válvula de retenção com fecho por atuação de contra-pressão por exemplo de uma mola	
Válvula de retenção com pilotagem que anula o impedimento de circulação no sentido de 2 para 1	

- ii. Válvula alternadora ou válvula “ou”: utiliza-se quando se pretende acionar um cilindro ou válvula de comando de dois ou mais lugares distintos.
- iii. Válvula de simultaneidade ou válvula “e”: utiliza-se para comandos de bloqueio, funções de controlo e operações lógicas.
- iv. Válvula reguladora de caudal unidirecional: cria uma resistência à passagem de caudal, originando, deste modo, uma queda de pressão no sentido da passagem do ar comprimido. Aplica-se para regular a velocidade de avanço e recuo dos cilindros.

Na Tabela 3.8 apresenta-se a simbologia das válvulas mencionadas.

Tabela 3.8 – Simbologia de diferentes tipos de válvulas de bloqueio adaptado de [11]

<b>Exemplos de válvulas de bloqueio</b>	<b>Simbologia</b>
Válvula alternadora ou válvula “ou”	
Válvula de simultaneidade ou válvula “e”	
Válvula reguladora de caudal unidirecional	

- c) **Válvulas de pressão:** a sua função principal é manter constante a pressão de trabalho.
- d) **Válvulas de escape rápido:** utilizadas para aumentar a velocidade dos cilindros.

### 3.1.3 Circuitos eletropneumáticos

Os circuitos eletropneumáticos caracterizam-se por serem esquemas de comando e acionamento que representam os componentes pneumáticos com intervenção elétrica. Representam também a interação entre os elementos pneumáticos e elétricos para se conseguir o funcionamento desejado e os movimentos que são exigidos ao sistema mecânico [12]. A associação das tecnologias elétrica e pneumática visa obter melhores resultados, quer do ponto de vista técnico, quer do ponto de vista económico [5].

Um exemplo de um circuito eletropneumático está representado na Figura 3.4.

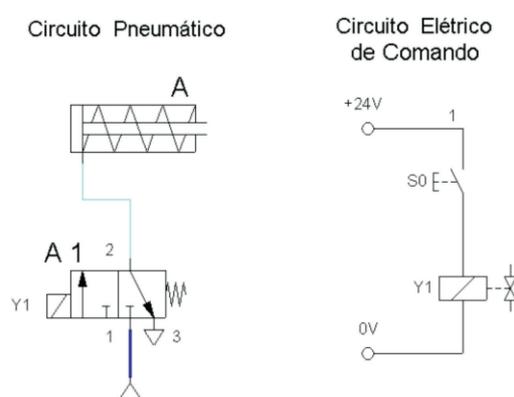


Figura 3.4 – Representação de um circuito eletropneumático de acionamento de um cilindro de simples ação adaptado de [8]

No caso apresentado, o controlo do cilindro é realizado pela válvula “A1” (válvula 3/2) que é atuada através do solenoide “Y1”, tendo o seu retorno automático por mola. Neste circuito elétrico está representada a botoneira de controlo que ao ser pressionada energiza a solenoide “Y1”. Dessa forma, o solenoide atua sobre a válvula e realiza o direcionamento de ar de modo a que o cilindro avance. Ao deixar de pressionar a botoneira, a energia do solenoide é desligada e, portanto, a válvula retorna à sua posição inicial através da mola.

## 3.2 A Segurança e Normalização de Equipamentos

Este subcapítulo aborda aspetos relacionados com a normalização existente sobre segurança de equipamentos. É também retratado metodologias a seguir para tornar os equipamentos seguros e com uma redução considerável de perigos.

A segurança e saúde dos trabalhadores é hoje em dia um ponto importante a ter em conta por todos os intervenientes no processo de consecução de qualquer máquina. Existe, atualmente, regulamentação internacional que garante isso mesmo. Estas regulamentações têm sido adaptadas de maneira distinta dependendo da área a que se aplica. Portanto, a segurança de qualquer máquina depende em larga medida da correta aplicação das normas e diretivas.

A União Europeia regeu normalizações para todos os países membros. Uma das ideias é a proteção e segurança de todos os seus cidadãos. Outra ideia é a criação de um mercado único com liberdade de circulação de mercadorias. Para satisfazer ambas as ideias, a comissão e o conselho europeu, adotaram várias diretivas. Assim, os países da União Europeia devem transpor estas diretivas para leis nacionais. O objetivo das diretivas é a definição dos requisitos essenciais de segurança e saúde.

Neste âmbito, no presente subcapítulo aborda-se:

- A Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de maio de 2006 [13]
- Normas técnicas harmonizadas e Marcação CE
- Requisitos essenciais de saúde e segurança relativos à conceção e ao fabrico de máquinas
- Aplicação aos acessórios de elevação

A Figura 3.5 permite demonstrar a relevância de cada parâmetro de verificação quando se pretende desenvolver um equipamento.

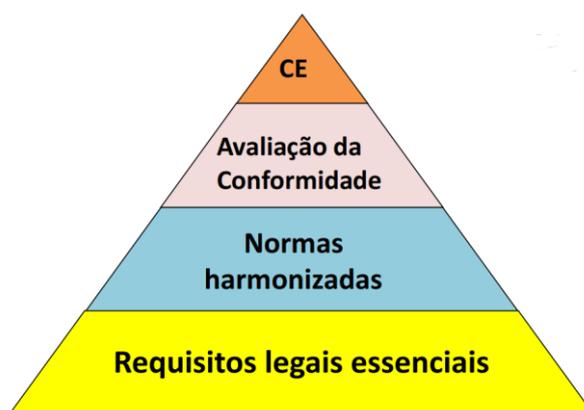


Figura 3.5 – Parâmetros de verificação no desenvolvimento de um equipamento adaptado de [14]

### 3.2.1 Diretiva 2006/42/CE

A Diretiva 2006/42/CE [13], do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de maio de 2006, designada abreviadamente por **Diretiva Máquinas** é uma diretiva comunitária europeia relativa a máquinas e estabelece as exigências essenciais de segurança e saúde aplicáveis às máquinas no seu processo de conceção e fabrico, tendo também implicações na sua utilização, dado que, juntamente com a normalização técnica europeia definem diretrizes para a realização do manual de instruções.

A Diretiva 2006/42/CE foi transporta, em Portugal, para o Decreto-Lei 103/2008 [15], contemplando para território nacional as disposições dessa diretiva. O enquadramento legal de máquinas e equipamentos de trabalho está sintetizado na Figura 3.6.

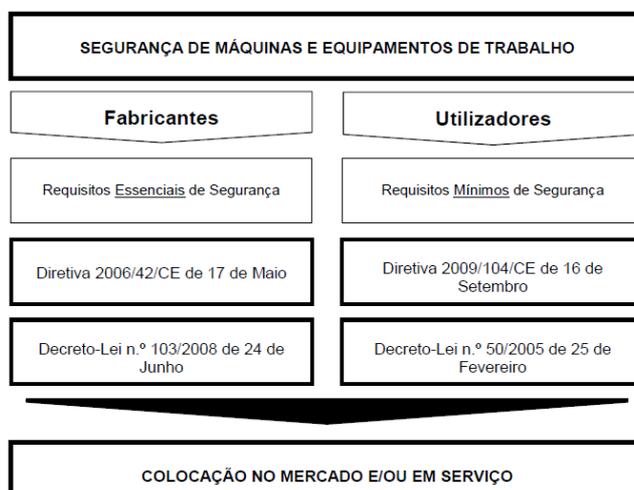


Figura 3.6 – Enquadramento legislativo para máquinas e equipamentos de trabalho para fabricantes e utilizadores adaptado de [13]

Esta diretiva tem como principal objetivo assegurar a qualidade dentro da comunidade europeia no que se refere ao fabrico e utilização da própria máquina. Dessa forma, minimiza os riscos associados. Tem como campos de aplicação as máquinas novas provenientes da comunidade e fora da mesma, as máquinas recondiçionadas, as máquinas em segunda mão provenientes de fora da comunidade e as máquinas colocadas em serviço a partir da data de entrada em vigor da diretiva.

Segundo a Diretiva Máquinas é da responsabilidade do fabricante ou mandatário, antes de colocar uma máquina no mercado, ou de a pôr em serviço, certificar-se o cumprimento dos seguintes elementos:

- Requisitos essenciais de saúde e de segurança relativos à concepção e ao fabrico de máquinas, contidos no Anexo I da Diretiva Máquinas;
- Processo técnico para as máquinas;
- Manual de instruções da máquina;
- Procedimentos de avaliação de conformidade da máquina;
- Declaração CE de conformidade;
- Marcação CE.

a) Requisitos essenciais de saúde e de segurança relativos à concepção e ao fabrico de máquinas, contidos no Anexo I da Diretiva Máquinas

O Anexo I da Diretiva Máquinas estabelece os princípios de saúde e segurança para o decorrer do fabrico das máquinas de modo a obter equipamentos com um grau de risco minimizado aquando em situações de perigo. O Anexo é composto por inúmeras cláusulas, destacando-se no seu conteúdo os seguintes elementos: princípios de integração de segurança; princípios de ergonomia de modo a minimizarem o incómodo do trabalhador; princípios de segurança e fiabilidade dos sistemas de controlo dos equipamentos; princípios para paragem total do equipamento, entre outras.

b) Processo técnico para as máquinas

O processo técnico do Anexo VII da Diretiva deve ter como principal composição elementos que permitam demonstrar a conformidade da máquina com os requisitos da Diretiva. Este processo técnico deve incluir elementos tais como, uma descrição geral da máquina, peças desenhadas, descrições sobre o funcionamento, resultado de ensaios, declaração CE de conformidade, entre outros.

c) Manual de instruções da máquina

O fabricante deve realizar e colocar à disposição o Manual de Instruções da Máquina. Este deve ser realizado de acordo com as respetivas normas técnicas harmonizadas, e deve conter informação respeitante à máquina, nomeadamente, identificação da máquina, ou seja, o seu número de série, tipo e modelo, a declaração de conformidade CE, os desenhos e descrições de utilização, os programas de manutenção, de reparação e de inspeção da máquina, instruções relativas à montagem, instalação e ligação da máquina, instruções sobre medidas de segurança a ter em conta na utilização da máquina.

d) Procedimentos de avaliação de conformidade da máquina

Para certificar a conformidade da máquina com o disposto na Diretiva Máquinas, o fabricante terá que aplicar um dos três procedimentos de avaliação seguintes:

- Sempre que a máquina não esteja referida no Anexo IV, o fabricante aplica o procedimento de avaliação em conformidade com controlo interno do fabrico da máquina prevista no Anexo VIII;
- Sempre que a máquina esteja referida no Anexo IV e seja fabricada respeitando as normas técnicas harmonizadas, o fabricante aplica um de três procedimentos de avaliação da conformidade;
- Sempre que a máquina esteja referida no Anexo IV e não seja fabricada respeitando as normas harmonizadas, o fabricante deve aplicar um de dois procedimentos de avaliação da conformidade;

Relativamente ao primeiro procedimento (máquina não referida no anexo IV), o controlo interno do fabrico da máquina em vigor no Anexo VIII é realizado através da execução do processo técnico apresentado no Anexo VII. Por último, o fabricante deve garantir a conformidade da máquina com o processo técnico executado.

Quanto ao segundo procedimento (máquina referida no anexo IV e fabricada segundo as normas técnicas harmonizadas) o fabricante aplica um de três procedimentos de avaliação da conformidade, nomeadamente:

- Procedimento de avaliação da conformidade com controlo interno do fabrico na máquina previsto no Anexo VIII;
- Procedimento de exame CE de tipo, e ainda controlo interno do fabrico da máquina na fase de produção previsto no Anexo VIII;
- Procedimento de garantia de qualidade total, referente ao Anexo I.

Por fim, o último procedimento (máquina referida no Anexo IV e que não foi fabricada segundo as normas técnicas), o fabricante deve aplicar um de dois procedimentos seguintes:

- Procedimento de exame CE do tipo, previsto no Anexo IX, e ainda controlo interno do fabrico da máquina na fase de produção previsto no Anexo VIII;
- Procedimento de garantia de qualidade total, referente ao Anexo I.

O exame CE de tipo é o procedimento pelo qual um organismo notificado verifica e certifica que um exemplar representativo de um equipamento satisfaz as disposições da Diretiva Máquinas. Em termos práticos, o organismo notificado tem como principais funções analisar e examinar o processo técnico da máquina, bem como mandar efetuar ensaios e medições que comprovam a conformidade da máquina

com a Diretiva e as normas técnicas harmonizadas. Se o organismo notificado verificar e certificar que o exemplar da máquina satisfaz a Diretiva, procede à emissão de um certificado do exame CE de tipo.

O procedimento de garantia de qualidade total visa a avaliação da conformidade feita pelo organismo notificado ao sistema de qualidade implementado no fabricante. Este sistema de qualidade deve conter alguns elementos, tais como, descrição dos objetivos em matéria de concepção de máquinas, especificações técnicas de concepção das máquinas, técnicas de controlo e verificação no decorrer do fabrico, entre outros.

e) Declaração CE de conformidade

O fabricante deve elaborar a declaração CE de conformidade da máquina. Esta deve acompanhar a máquina e ser constituída por alguns elementos importantes tais como, a identificação do fabricante, a descrição e identificação da máquina, a declaração que traduz que a máquina satisfaz todas as disposições relevantes da Diretiva Máquinas, a identificação do organismo notificado que realizou o exame CE de conformidade à máquina, a referência às normas técnicas harmonizadas utilizadas para garantir o processo de conformidade, entre outros.

f) Marcação CE

O procedimento de colocação da marcação CE, e as respetivas considerações, são expostas no subcapítulo seguinte. Na Figura 3.7, apresenta-se um exemplo de uma placa identificadora da marcação CE de uma máquina.

Identificação do equipamento

Typen: \*\*\*\*\*      Werk-Nr: Serial-No.: \*\*\*\*\*

Type:                      N° de série:

Baujahr: \*\*\*\*

Year of construction:

Année de construction:

Name und Adresse von dem Hersteller  
Name and address of the manufacturer  
Nom et adresse du fabricant

Figura 3.7 – Placa tipo identificadora da marcação CE adaptado de [13]

### 3.2.2 Normas técnicas harmonizadas e Marcação CE

No subcapítulo anterior, expôs-se a abordagem da Diretiva Máquinas no sentido de satisfazer os objetivos de segurança e qualidade das máquinas. No seguimento da aplicação da Diretiva Máquinas, surgem como forma de complementar as exigências do processo de avaliação da conformidade dos equipamentos e produtos, normas técnicas europeias realizadas pelo CEN (*Comité Européen de Normalisation*). Este comité é constituído por peritos técnicos, que produzem normas de modo a refletirem as características técnicas dos equipamentos. A sua aplicação é obrigatória quando a legislação assim o obriga.

A identificação de uma norma técnica europeia faz-se através da sigla EN que significa na língua anglo-saxónica *European Standard* (Norma Europeia). Quando essa norma europeia é aplicada a cada Estado-Membro, adiciona-se a sigla de cada país antes de EN.

A Marcação CE é o símbolo que permite evidenciar que determinado produto ao qual se aplica cumpre os requisitos em conformidade imposto pelas diretivas comunitárias aplicáveis a esse produto. É, portanto, um passaporte que permite comprovar que o produto colocado, disponibilizado ou a circular no mercado comunitário, goza de conformidade com a legislação comunitária por estar em concordância com as especificações técnicas aplicáveis.

A Diretiva Máquinas refere que a Marcação CE (**C**onformité **E**uropéen) deverá ser plenamente reconhecida como a única que garante a conformidade da máquina com os requisitos da Diretiva e das normas técnicas europeias. Qualquer marcação suscetível de induzir terceiros em erro, relativamente ao significado ou ao grafismo, ou a ambos, da Marcação CE deverá ser proibida.

Como apresentado no subcapítulo antecedente, segundo a Directiva é obrigatório na fase de produção e colocação no mercado, a ostentação da Marcação CE em qualquer equipamento. Esta marcação deverá estar presente no equipamento, na proximidade imediata do nome do fabricante. A representação da marcação encontra-se representada na Figura 3.8.

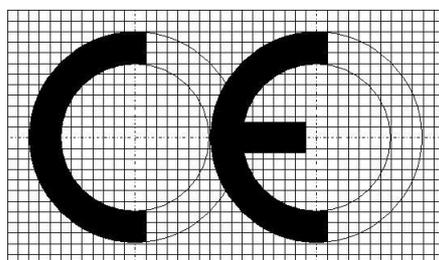


Figura 3.8 – Marcação CE adaptado de [13]

Como ato de presunção, os Estados-Membros devem considerar que as máquinas que ostentam a Marcação CE e sejam acompanhadas da declaração CE de conformidade, cumprem as disposições da Directiva Máquinas. Ao mesmo tempo, presume-se que uma máquina fabricada de acordo com as normas técnicas europeias harmonizadas é conforme com os requisitos essenciais de saúde e de segurança abrangidos por essas normas, sendo que estão em condições de possuir a Marcação CE. Assim, para qualquer máquina dita conforme e marcada pela Marcação CE, a confiança por parte dos utilizadores será cada vez maior no que respeita a segurança e saúde do equipamento.

### 3.2.3 Requisitos essenciais de saúde e segurança relativos à concepção e ao fabrico de máquinas

#### 3.2.3.1 Generalizações dos princípios de integração de segurança

As máquinas devem ser concebidas e construídas por forma a cumprirem a função a que se destinam e a poderem ser postas em funcionamento, reguladas e objeto de manutenção sem expor as pessoas a riscos, quando tais operações sejam efetuadas nas condições previstas, mas também tendo em conta a sua má utilização razoavelmente previsível [14]. As medidas tomadas devem ter por objetivo eliminar os riscos durante o tempo previsível de vida da máquina, incluindo as fases de transporte, montagem, desmontagem, desmantelamento e posta de parte.

Ao escolher as soluções mais adequadas, o fabricante, ou o seu mandatário, deve aplicar os seguintes princípios, pela ordem indicada:

- Eliminar ou reduzir os riscos, na medida do possível (integração da segurança na concepção e no fabrico da máquina);
- Tomar as medidas de proteção necessárias em relação aos riscos que não possam ser eliminados;
- Informar os utilizadores dos riscos residuais devidos à não completa eficácia das medidas de proteção adotadas, indicar se é exigida uma formação específica e assinalar se é necessário prever equipamento de proteção individual.

Aquando da concepção e do fabrico da máquina e da redação do manual de instruções, o fabricante, ou o seu mandatário, deve ponderar não só a utilização prevista da máquina, mas também a sua má utilização razoavelmente previsível.

A máquina deve ser concebida e fabricada de modo a evitar a sua utilização anómala, nos casos em que esta constitua fonte de risco. Se necessário, o manual de instruções deve chamar a atenção do utilizador para o modo como a máquina não deve ser utilizada, sempre que a experiência demonstrar que esse modo de utilização poderá ocorrer na prática.

A máquina deve ser concebida e fabricada de modo a ter em conta as limitações impostas ao operador pela utilização necessária ou previsível de um equipamento de proteção individual.

A máquina deve ser fornecida com todos os equipamentos e acessórios especiais e essenciais para poder ser regulada, sujeita a manutenção e utilizada com segurança.

### 3.2.3.2 Sistemas de comando

No que concerne à segurança e fiabilidade dos sistemas de comando [16], tais como, arranque, paragem ou paragem de emergência, estes devem ser concebidos por forma a evitar a ocorrência de situações perigosas. Acima de tudo, devem ser concebidos e fabricados de modo a que:

- Possam resistir às tensões de funcionamento previstas e às influências exteriores;
- Uma falha no equipamento ou no suporte lógico (programação) do sistema de comando não conduza a situações perigosas;
- Os erros que afetam a lógica do sistema de comando não conduzam a situações perigosas;
- Os erros humanos razoavelmente previsíveis durante o funcionamento não conduzam a situações perigosas.

Deve ser dada também especial atenção aos seguintes aspetos:

- A máquina não deve arrancar de forma intempestiva;
- Os parâmetros da máquina não devem variar de forma não controlada, quando essa alteração puder conduzir a situações perigosas;
- A máquina não deve ser impedida de parar, quando a ordem de paragem já tiver sido dada;
- nenhum elemento móvel da máquina ou nenhuma peça mantida em posição pela máquina deve cair ou ser projetada;
- A paragem automática ou manual de quaisquer elementos móveis não deve ser impedida;
- os dispositivos de proteção devem estar sempre operacionais ou dar um comando de paragem,
- As partes do sistema de comando relacionadas com a segurança devem aplicar-se de forma coerente a um conjunto de máquinas e/ou quase-máquinas.

Assim, pode-se definir dispositivos de comando como todo o elemento sobre o qual o utilizador atua para comunicar uma ordem a um equipamento de trabalho e que permita modificar parâmetros de funcionamento, seleccionar modos de funcionamento, entre outros, tais como pedais, seletores, teclados, botões de comando, conforme a Figura 3.9.

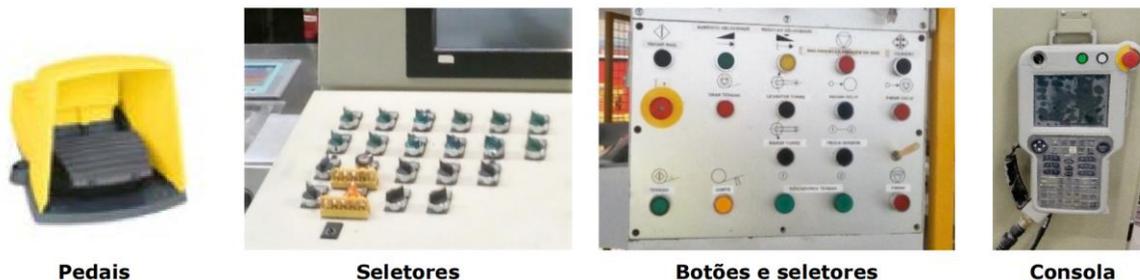


Figura 3.9 – Exemplos de dispositivos de comando adaptado de [17]

Segundo o art.º 11º do Decreto-Lei 50/2005, de 25 de fevereiro estabelece quais os requisitos que os sistemas de comando, de forma a permitirem uma utilização segura de um equipamento de trabalho, em particular, como é o caso, quando é necessário readapta-los, total ou parcialmente. Neste caso, todos os dispositivos de comando devem ser:

- Claramente visíveis e identificáveis, mediante pictogramas se necessário;
- Dispostos de modo a permitirem manobras seguras, sem hesitações nem perdas de tempo e sem equívocos;
- Concebidos de modo a que o seu movimento seja coerente com o efeito comandado;
- Dispostos fora das zonas perigosas, exceto, se necessário, para determinados dispositivos de comando como o de paragem de emergência ou uma consola de instruções;
- Situados de modo a que a sua manobra não provoque riscos adicionais;
- Concebidos ou protegidos de modo a que o efeito desejado, caso implique perigo, só possa ser obtido mediante uma ação deliberada;
- Fabricados de forma a resistirem aos esforços previsíveis; deve ser dada especial atenção aos dispositivos de paragem de emergência que possam ser sujeitos a esforços importantes.

Para além destes requisitos, os dispositivos de comando devem ter uma configuração tal que a sua disposição, o seu curso e o seu esforço resistente sejam compatíveis com a ação a comandar, tendo em conta os princípios de ergonomia. A máquina deve estar equipada com dispositivos de sinalização necessários para que possa funcionar com segurança e o operador deve poder, a partir do posto de comando, ler as instruções do dispositivo. Para os indicadores luminosos deverá ser adotado o mesmo código de cores utilizado que os atuadores dos botões de pressão, conforme instalação que consta na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Código de cores para os atuadores dos botões de pressão e os seus significados adaptado de [17]

<b>Cor</b>	<b>Significado</b>	<b>Explicação</b>	<b>Exemplos de aplicação</b>
Vermelho	Emergência	Atua no caso de condições perigosas ou de emergência	- Paragem de emergência; - Início de uma função de emergência.
Amarelo	Anormal	Atua no caso de condições anormais.	- Intervenção para suprimir condições anormais; - Intervenção para restituir um ciclo automático interrompido

Verde	Segurança	Atua para iniciar condições normais	-
Azul	Obrigação	Atua no caso de condi�oes que requerem aço obrigatória	- Fun�o de <i>reset</i>
Branco	Nenhum	In�cio geral de funcionamento	- Máquina em tensão
Cinzento	-	Fun�oes exceto de paragem de emergência	-
Preto	-	-	- Paragem / Sem tensão

### 3.2.3.3 Arranque do equipamento

Quanto ao arranque de uma máquina [16], a exigência de uma aço voluntária do trabalhador sobre um sistema de comando para a obten o desse arranque   um dos princípios fundamentas da preven o. Como efeito, o arranque do equipamento de trabalho, ainda que na sequência de uma paragem resultante da necessidade de introduzir uma modifica o importante nas condi oes de funcionamento (por exemplo: velocidade, pressão, etc.), apenas poderá ser efetuado mediante uma aço voluntária sobre um órgão de acionamento previsto para o efeito. Este princípio visa garantir que, em caso algum, a mudança das condi oes de trabalho, ou dos modos de funcionamento, possam surpreender o utilizador ou qualquer outro trabalhador que possa verse afetado por esse arranque e conseqentemente dos riscos que adv m do funcionamento do equipamento de trabalho. Tais exigências estão previstas no art.   12.  , do Decreto-Lei n.   50/2005, de 25 de fevereiro.

O mesmo princípio também se aplica às prote oes móveis associadas a dispositivos de encravamento, que quando acionadas não devem provocar por si, o arranque do equipamento, pelo que o sistema deverá ser previamente rearmado de forma a não expor os trabalhadores ou terceiro a riscos.

A título de exemplo, deve ser garantido que um equipamento de trabalho não arranque, nas seguintes situa oes:

- através do fecho de uma prote o móvel com dispositivo de encravamento;
- quando alguém se afaste da zona de dete o de uma barreira fotel trica;
- pelo acionamento de um seletor de modo de funcionamento;
- aquando do desencravamento de um botão de paragem de emergência.

#### 3.2.3.4. Paragem do equipamento

##### a) Paragem normal

A máquina deve estar equipada com um dispositivo de comando que permita a sua paragem total em condições de segurança [16].

Cada posto de trabalho deve estar equipado com um dispositivo de comando que permita, em função dos perigos existentes, parar todas as funções da máquina ou apenas parte delas, de modo a que a máquina esteja em situação de segurança.

A ordem de paragem da máquina deve ter prioridade sobre as ordens de arranque.

Uma vez obtida a paragem da máquina ou das suas funções perigosas, deve ser interrompida a alimentação de energia dos acionadores.

##### b) Paragem por razões operacionais

Quando, por razões operacionais, seja necessário um comando de paragem que não interrompa a alimentação de energia dos acionadores, a função de paragem deve ser monitorizada e mantida [16].

##### c) Paragem de emergência

A máquina deve estar equipada com um ou vários dispositivos de paragem de emergência por meio do ou dos quais possam ser evitadas situações de perigo iminentes ou existentes [16].

Este dispositivo deve:

- Conter dispositivos de comando claramente identificáveis, bem visíveis e rapidamente acessíveis,
- Provocar a paragem do processo perigoso num período de tempo tão reduzido quanto possível, sem provocar riscos suplementares,
- Eventualmente desencadear, ou permitir desencadear, determinados movimentos de proteção.

Se porventura, ocorrer uma avaria do circuito de alimentação de energia, a interrupção, o restabelecimento após uma interrupção ou a variação, seja qual for o seu sentido, da alimentação de energia da máquina não devem criar situações perigosas.

Deve, portanto, ser dada especial atenção aos seguintes aspetos:

- A máquina não deve arrancar de forma intempestiva;
- Os parâmetros da máquina não devem variar de forma não controlada, quando essa alteração possa conduzir a situações perigosas;
- A máquina não deve ser impedida de parar, quando a ordem de paragem já tiver sido dada;
- Nenhum elemento móvel da máquina ou nenhuma peça mantida em posição pela máquina deve cair ou ser projetado;
- A paragem automática ou manual de quaisquer elementos móveis não deve ser impedida;

- Os dispositivos de proteção devem estar sempre operacionais ou dar uma ordem de paragem.

### 3.2.4 Aplicação aos acessórios de elevação

Ao longo da história da evolução, desde a pré-história até à atualidade, houve sempre uma grande curiosidade e desejo pela descoberta de novos mecanismos que de certo modo facilite as tarefas do quotidiano. Inerente à elevação de cargas, essa curiosidade foi crescendo à medida que a necessidade de levantar estruturas mais pesadas também cresceu. Começou-se a imaginar possíveis soluções para elevar cargas desde blocos de pedras a troncos gigantes de árvores. Atualmente, os setores industriais dependem dos equipamentos de elevação para transportar os objetos pesados. Por isso, os fabricantes devem manter-se atualizados de uma forma eficaz relativamente à evolução da indústria e dos requisitos de segurança. Este trabalho mencionado constitui uma das atividades que está na origem de inúmeros acidentes de trabalho. Estes acidentes estão associados, principalmente à falha nos acessórios de elevação. Os principais incidentes são:

- Desprendimento da carga no gancho;
- Rotura do cabo de suspensão e/ou dos estropos;
- Inadequada utilização dos olhais de elevação e manilhas;
- Inadequado acondicionamento de carga.

Dessa forma, para que os riscos sejam os mínimos devem ser estabelecidas medidas de prevenção. Os equipamentos devem ser adequados em função do peso da carga e da capacidade do acessório; a carga deve ser distribuída por todos os estropos; os estropos não devem ser demasiado curtos e deve ser evitado os raios de curvatura reduzidos; proteger os estropos de arestas vivas; adquirir órgãos de suspensão homologados; submissão a uma inspeção periódica antes de cada movimentação pelo operador; inspeção mais criteriosa por profissionais qualificados. Seguidamente, neste subcapítulo são abordados os constituintes que fazem parte do sistema de elevação do acessório desenvolvido.

#### 3.2.4.1 Cabos de aço

Os cabos de aço são elemento de transmissão capazes de suportar cargas (forças de tração), deslocando-as nas posições horizontal, vertical ou inclinadas. Isto é, o cabo de aço é um conjunto de elementos que transmitem forças, movimentos e energia entre dois pontos, de uma forma predeterminada para conseguir um fim desejado. As principais funções do cabo de aço são: elevação, sustentação e fixação de cargas.

De acordo com o Decreto – Lei 103/2008, devem vir marcados com a identificação do material, nomeadamente nome e endereço do fabricante, identificação do respetivo certificado, carga máxima de

utilização e marcação CE. De modo a prevenir a segurança dos utilizadores durante os trabalhos realizados, os cabos de suspensão devem ser sujeitos, periodicamente, a uma inspeção.

### 3.2.4.2 Manilhas

Este elemento é indispensável nas operações de movimentação, fixação e elevação de cargas. Podem ser fabricadas de vários tipos de aço e a sua utilização difere de acordo com a sua aplicação e diâmetro dos cabos de aço. Composta por duas partes desmontáveis: o corpo (curvo ou reto) e pino. Na utilização destas, deve-se certificar que o pino está travado de forma segura após a montagem. Também, segundo o Decreto – Lei 103/2008, as manilhas devem vir marcadas com identificação do material, carga máxima de utilização e marcação CE (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Exemplo de uma manilha com certificação CE adaptado de [18]

### 3.2.4.3 Olhal de elevação

Os olhais de elevação ou suspensão são utilizados principalmente para a movimentação de cargas com equipamentos pesados, tais como: máquinas, turbinas, motores, etc. Para o correto levantamento e para que seja devidamente equilibrado deve-se ter em consideração a determinação dos pontos próprios a elevar conforme a Figura 3.11.

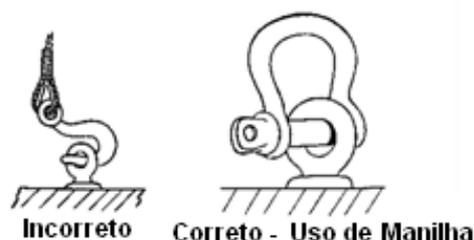


Figura 3.11 – Utilização correta e incorreta do uso da manilha/gancho no parafuso olhal adaptado de [17]

Os olhais de elevação devem ser inspecionados antes de cada operação. Deve ser verificado se existe desgaste, empenos ou outras deformações.

#### 3.2.4.4 Estropos de cabo de aço

Os estropos de cabo de aço são um tipo de acessório de elevação formados por um cabo de aço com um determinado comprimento e nas suas extremidades possuem um olhal prensado. Servem para prender uma determinada carga e elevá-la por meio mecânico. O bom estado dos estropos é fundamental para uma elevação com segurança, uma vez que estes podem facilmente ser danificados com facilidade quando sujeitos a um árduo desgaste, choques de carga, esmagamentos e excesso de carga. Os estropos têm uma capacidade de carga máxima e o coeficiente de segurança recomendado para os de aço é igual ou superior a 5. Relativamente ao ângulo de suspensão, quanto maior for, menor é a carga que pode suportar. O ângulo entre os estropos não deve ultrapassar os 90°. Um exemplo de um estropo está na Figura 3.12.



Figura 3.12 – Exemplo representativo de um estropo de cabo de aço adaptado de [18]

Na utilização, os estropos não devem ser demasiado curtos, pois provocam o aumento do ângulo da linga de aço e a carga deve ser distribuída equitativamente por todos. Devem ser inspecionados antes de cada utilização e deverão estar sujeitos a inspeções periódicas por entidades competentes. Segundo o Decreto – Lei 103/2008, devem vir marcados com a identificação do material, carga máxima de utilização e marcação CE.

#### 3.2.4.5 Gancho de elevação

O gancho é um componente utilizado nos acessórios de elevação utilizado no levantamento de cargas ou para pendurar objetos para movimentação de cargas. Os ganchos proporcionam um método rápido e eficaz de prender e libertar cargas nos equipamentos de elevação. Estes estão disponíveis em vários tamanhos e tipos, alguns são concebidos para uso geral e outros para usos específicos.

Na maioria das operações de elevação de cargas, o gancho que está representado na Figura 3.13, transferem o peso da carga para o equipamento de elevação. Assim, a seleção do gancho para um determinado fim, o uso correto e a inspeção são importantes para uma operação segura.



Figura 3.13 – Exemplo de carro guincho presente nas pontes eletrificadas móveis adaptado de [19]

Os ganchos de elevação utilizados na movimentação de cargas têm que estar equipados com travas de segurança. Existem várias formas e modos de utilização, no entanto este componente deverá operar de forma livre, ou seja, deve-se fechar totalmente e com segurança em todos os trabalhos de elevação.

## 4. PROJETO CONCRETUAL

Como abordado anteriormente, o projeto conceptual consiste na etapa do projeto onde são estabelecidos os objetivos, funções e especificações do equipamento e é com base nestes que se inicia a criação das mais diversas soluções. Antes de se entrar em concreto nesta fase do projeto, inicialmente, após contacto com o cliente foi necessário desenvolver um conceito do equipamento pretendido e imposto no caderno de encargos. Desta forma, neste capítulo numa primeira fase será abordado o que é desejado pelo cliente e a proposta que originou a adjudicação do projeto. De seguida, entra-se no projeto conceptual propriamente dito do equipamento, em que aborda as especificações e árvore de funções do produto, se desenvolve as soluções para as principais funções, bem como a avaliação final das mesmas.

### 4.1 Descrição do Equipamento

A indústria metalomecânica tem uma grande necessidade de um equipamento versátil capaz de auxiliar o transporte e armazenamento de forma segura dos componentes produzidos. As empresas do ramo têm na sua maioria no seu local de produção uma ponte eletrificada móvel controlada por um comando de radiofrequência, acoplada na parte superior da fábrica, para que movam qualquer tipo de matéria-prima para o local pretendido de modo simples e eficaz. Por outro lado, os componentes produzidos são colocados na sua maioria nos diversos denominados carros de extrusão (ANEXO A) ou *racks* de armazenamento (ANEXO B). Dessa forma, os perfis de alumínio ou de outro material já embalados são passíveis de serem arrumados uns em cima de outros do gênero de um sistema de prateleira, transportá-los e posteriormente, expedi-los para a venda. Na Figura 4.1 encontra-se o acessório manual que se utiliza nas empresas ligadas ao ramo.



Figura 4.1 – Acessório manual utilizado no quotidiano para auxílio e transporte de cargas

Assim sendo, surgiu a necessidade de um acessório capaz por meio de elementos de ligação retratados no subcapítulo 3.2.4 acoplados a uma ponte eletrificada móvel de transportar matéria-prima colocada nos cestos de extrusão ou *racks* de forma completamente **automatizada e segura**. Antes do trabalho realizado, todos os acessórios elevatórios presentes na indústria eram totalmente manuais, ou seja, o acessório não tinha qualquer tipo de automação, e por isso mesmo existiam e existem ainda atualmente perigosos riscos de operação para os utilizadores, uma vez que já ocorreram diversos acidentes com a utilização destes.

## 4.2 Adjudicação do Projeto

A solução inicialmente apresentada ao cliente consiste num equipamento capaz de auxiliar o transporte de componentes metálicos quando estes estão colocados quer em carros de extrusão quer em *racks* de armazenamento. Para o estudo do acessório elevatório automático recorreu-se inicialmente ao método da engenharia inversa através da análise do acessório manual existente. Da observação do mesmo resultaram algumas ideias que depois de exploradas e melhoradas foram soluções do projeto desenvolvido. Ao longo de todo o processo, para o desenvolvimento de qualquer solução e avaliação foram adotados o método da teoria do projeto mecânico e o método da engenharia de valor.

De uma forma muito geral, para que a realização do acessório elevatório automatizado fosse possível, a solução apresentada contém os seguintes elementos:

- Estrutura *UPN* semelhante à do original acessório manual
- Constituintes do automatismo capazes de realizar a função principal
- Elementos de ligação acoplados à ponte eletrificada móvel e ao acessório
- Componente estrutural que garanta a máxima segurança no acoplamento acessório e ganchos dos produtos a transportar
- Componente com capacidade de energia

### 4.3 Árvore de Objetivos do Produto

De forma a idealizar e clarificar os objetivos do equipamento que se pretende projetar foi elaborada uma árvore de objetivos para a equipa de trabalho ter sempre em mente o que é pretendido e desejado. Através método é possível representar os objetivos pretendidos para o projeto de forma simples e esquemática, o que permite uma fácil compreensão dos objetivos do projeto e a forma de os alcançar [2].

No projeto do acessório elevatório automático, inicialmente idealizou-se a **fiabilidade** e **simplicidade** como objetivos primários. Depois expandiu-se para um conjunto mais detalhado de objetivos, em que se destacam: utilização segura, simples e fácil para os operadores; estrutura compacta e robusta, mínimo custo associado e características de desempenho.

A árvore de objetivos do equipamento está no ANEXO C.

No subcapítulo 2.4.2.1, abordou-se com maior ênfase as árvores de objetivos, e tal com mencionado, numa abordagem crescente na hierarquia obtém-se a resposta ao “Porquê?” de ser necessário aquele objetivo, e na abordagem decrescente obtém-se o “Como” se irá obter.

### 4.4 Estrutura de Funções do Produto

Seguido da realização da árvore de objetivos, torna-se necessário conceber a estrutura de funções. Dessa forma, foi elaborado um diagrama de blocos de funções. Deve-se pensar no que deve ser alcançado e não em como deverá ser alcançado, resultando assim um diagrama em que a função primordial do equipamento aparece como uma “caixa negra” com entradas e saídas [2]. A função principal do produto é o “auxílio no transporte de matérias-primas”. Na Figura 4.2 está representada a estrutura de funções do produto.

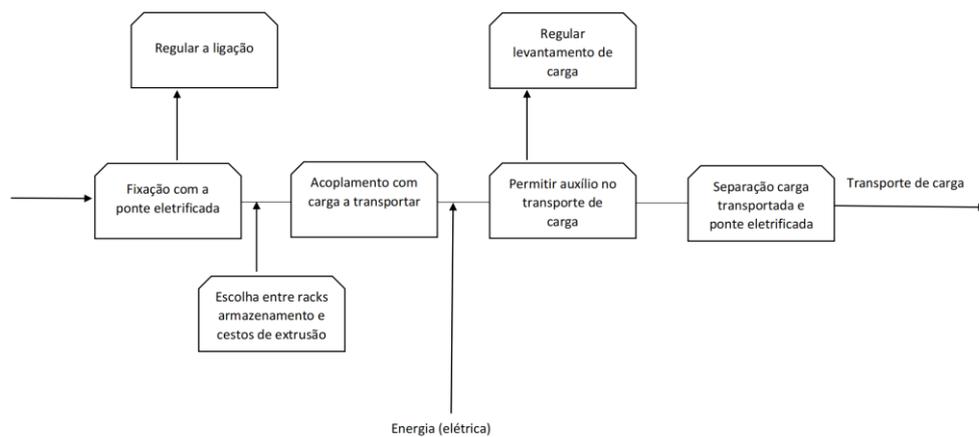


Figura 4.2 – Estrutura de funções do equipamento projetado

## 4.5 Estabelecimento das Especificações do Produto

As especificações do equipamento são características intrínsecas do projeto e são definidas pelo cliente. O equipamento deve respeitar o conjunto de especificações pretendido para que dessa forma, as soluções pensadas se restrinjam, ou seja, a existência das especificações limita de certo modo a procura de soluções possíveis, tornando-se assim uma boa referência para a avaliação das mesmas. Assim, torna-se útil nesta fase fazer uma listagem das especificações de desempenho que se pretende que a solução final respeite. Nesta listagem, as especificações podem ser consideradas “exigidas”, isto é, o seu cumprimento é obrigatório na solução final, ou podem ser “desejadas”, ou seja, são preferíveis que sejam cumpridas na solução final, mas não obrigatórias. Sempre que possível as especificações devem ser quantificadas por um determinado valor para que as ambiguidades de uma avaliação quantitativa possam conduzir a soluções que não consigam respeitar as expectativas do cliente. A listagem deve ser feita com a participação do cliente e da equipa de projeto [2].

A lista das especificações do produto pode ser consultada. Torna-se necessário distinguir os atributos que são “exigidos” dos que são (apenas) “desejados”.

E – Exigidos. São todos aqueles que deverão ser, obrigatoriamente, satisfeitos.

D – Desejados. Todos os outros requisitos que o cliente ou o projetista gostaria, se possível, de ver satisfeitos na proposta final.

- Estrutura e aplicação semelhantes ao acessório manual. A aplicação do acessório deve ser conforme a Figura 4.1 (E)
- Condições atravancamento [3500x670x140]mm (D)
- Capacidade máxima de carga de 88290N (D)
- Encaixe na ponte eletrificada móvel deve ser certificado (E)
- Versatilidade e portabilidade superior do produto (E)
- O tempo de ciclo não deverá ser superior a 60 segundos (E)
- Deve permitir com facilidade o acesso à manutenção dos componentes (D)
- A manutenção deverá ser facilitada ao cliente (D)
- O custo do produto final deve ser o mínimo concebível (E)
- Utilização de componentes normalizados ou de produção simples (E)
- O acessório deve ter o menor mínimo de componentes (D)
- O acessório deve estar em cumprimento da legislação em vigor (E)

## 4.6 Soluções Desenvolvidas

Inicialmente, desenvolveu-se soluções para os respetivos conjuntos do equipamento, sendo posteriormente analisadas de acordo com as especificações do equipamento. A conceção de um novo equipamento pode partir da criação de soluções completamente novas, do redesenho de soluções já existentes, ou até pela combinação de determinados componentes existentes, produzindo-se assim um novo equipamento [2].

Como esta é a fase inicial da conceção do produto desenvolveram-se soluções para o equipamento. Ao permitir o auxílio e transporte quer de cestos de extrusão quer de *racks* de armazenamento de forma automática, o grande desejo é que o acessório automático seja o mais seguro e versátil possível e que cumpra todas as normativas.

Para permitir, portanto, a maior segurança do equipamento, a **primeira função** criada envolve o problema de como os veios que estão roscados ao automatismo projetado se alinhem corretamente no furo dos ganchos que suportam a carga dos cestos de extrusão e *racks* de transporte. Só dessa forma se garante a máxima segurança do equipamento.

Na **segunda função** retrata-se a versatilidade do equipamento. O acessório projetado terá um valor acrescentado, pois permite o auxílio no levantamento de carga de diversos tipos de produtos. São abordadas quatro soluções que em muito contribuíram para que, no final, se obtivesse uma solução ótima para o equipamento, pois de certa umas foram consequências do trabalho desenvolvido até então.

No que concerne à **terceira função** aborda-se as diferentes formas de realizar o automatismo pretendido. Refere-se uma solução mecânica com a utilização de uma guia linear, seguidamente aborda-se o problema de uma forma pneumática e, por último, apresenta-se uma ideia de realizar o acionamento com um controlador elétrico.

#### 4.6.1 Segurança e fiabilidade no acoplamento veio do automatismo e matéria-prima

Numa fase inicial do projeto conceptual, recorreu-se ao estudo da estrutura do acessório já existente no mercado. Aplicou-se o método da engenharia inversa. Através da primeira observação e análise do acessório denotou-se logo que os varões que auxiliavam o transporte da matéria-prima de forma manual seriam passíveis de ser supressos, pois só assim se tinha o espaço suficiente para os elementos constituintes da automação do novo equipamento. De notar que o acessório existente era composto por dois varões com uma distância de 2 metros para o auxílio no transporte e levantamento de *racks* dispostos a essa distância; o mesmo, porém com varões distantes 3 metros para a mesma função. Relativamente aos cestos de extrusão, o acessório manual incluía quatro pinos cilíndricos capaz de realizar a função. Na Figura 4.3 A encontra-se a estrutura metálica do acessório utilizado atualmente na indústria metalomecânica.

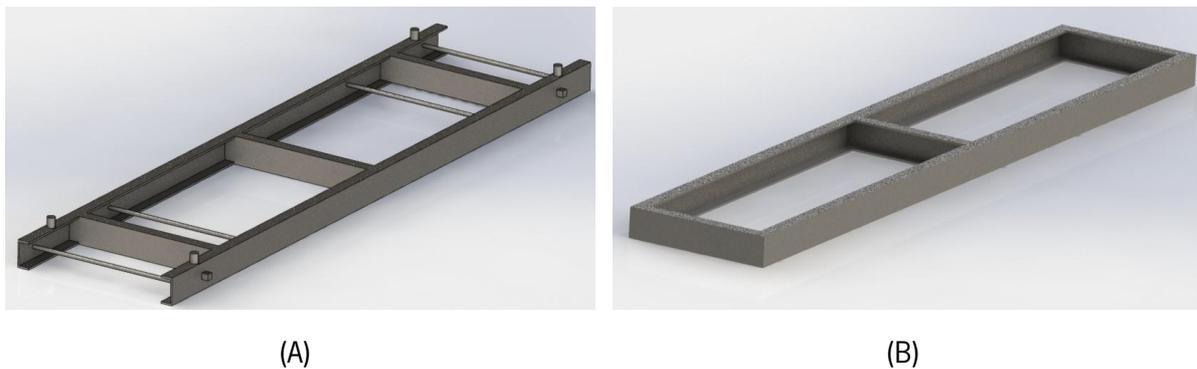


Figura 4.3 A – Estrutura metálica do acessório manual; Figura 4.3 B – Estrutura base equipamento projetado

As vigas de suporte internas pela mesma exigência de se obter o máximo espaço para o acionamento também tiveram de ser retiradas. Isto sem nunca comprometer a rigidez suficiente para não oscilar durante o funcionamento do equipamento bem como suportar as forças de compressão a que a ponte eletrificada móvel solicita a estrutura como comprovam os subcapítulos 5.2.1 e 5.2.2. A Figura 4.3 B permite observar a estrutura do novo acessório projetado. Posto isto, sendo assim, para garantir a máxima segurança entre o acionamento projetado e a matéria-prima que é transportada nos *racks* ou cestos surgiu a necessidade de um componente que cumprisse os seguintes requisitos para a função pretendida.

- Alinhamento com elevada fiabilidade entre os veios roscados pertencentes ao automatismo e os ganchos que suportam a carga;
- Garantia que o operador, em qualquer situação, não se coloque em perigo (colocação de mão aquando do acionamento, por exemplo);
- Auxílio no suporte da carga a transportar, pois comporta-se como um apoio dos veios

Para o problema estudado, muito em parte através do contacto com o cliente, a solução desenvolvida consistiu na colocação de umas **“caixas de alinhamento”** que são soldadas ao perfil exterior do acessório.

Para o dimensionamento destas caixas recorreu-se aos ganchos que estão previamente concebidos e projetados em cada *rack* de armazenamento e em cada cesto de extrusão (os ganchos e os furos correspondentes são elementos correntes no mercado e compatíveis com equipamentos dos fabricantes e que, por isso, não se podem alterar). Ambos são bastantes diferentes, o que levou a que as caixas para cada sistema sejam necessariamente também diferentes. De igual forma, o problema solucionado teve em consideração o facto de o operador poder colocar o acessório quer com os ganchos direcionados quer para um ou outro lado. Na Figura 4.4 (A e B) encontra-se o sistema adotado para *racks* de armazenamento e na Figura 4.5 (A e B) para cestos de extrusão.

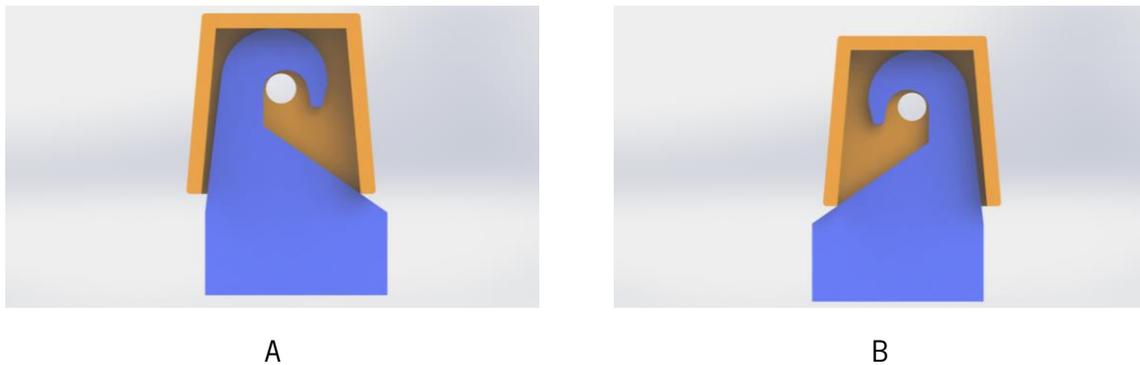


Figura 4.4 – Caixas de alinhamento para *racks* de armazenamento



Figura 4.5 – Caixas de alinhamento para cestos de extrusão

Na realização da tarefa do dimensionamento foi objetivo que os ganchos ficassem totalmente impedidos de se movimentar e de se soltarem. Ou seja, se porventura o gancho não ficar concêntrico com o furo, este colide numa das extremidades da caixa, não permitindo que os veios roscados ao

automatismo realizem a sua função. O gancho tem uma folga de translação pequena, daí que o tolerancionamento seja apertado e se garanta a máxima segurança do equipamento e dos operadores. Com o componente apresentado, é de notar que, para além de este cumprir todos os requisitos pretendidos possibilita algo muito importante para o acessório automático projetado. Com consequência, através do dimensionamento e colocação das caixas é permitido **reduzir a largura** do produto. Para que se cumprisse as tarefas necessárias, o acessório manual tinha sido projetado com 865 mm de largura, tal como sugere o ANEXO D. De notar que a largura do cesto de extrusão é 965 mm como comprova o ANEXO A. A partir da ação automática do acessório projetado é executável uma diminuição da largura do acessório projetado tal como comprovam as Figuras 4.6 (A e B).

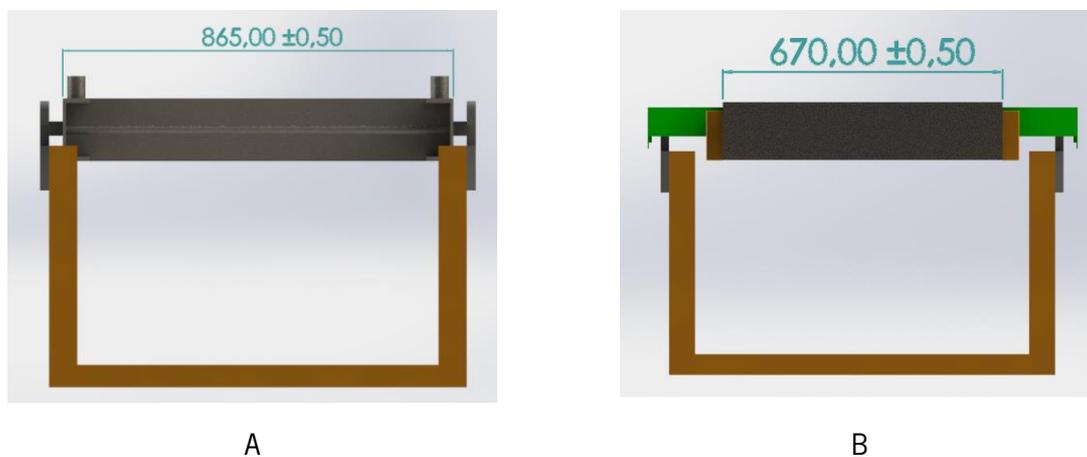


Figura 4.6 A – Representação da largura do acessório manual no transporte de cestos de extrusão; Figura 4.6 B – Representação da largura do acessório elevatório automático no transporte de cestos de extrusão

Portanto, graças em grande parte ao acionamento linear e às caixas de alinhamento projetadas, é possível ter um decréscimo considerável da largura. Para questões de armazenamento e logística foi objetivo do projeto conceptual que o acessório elevatório automático tivesse menores dimensões. Consequentemente, a colocação de matéria-prima no mesmo espaço é alargada, levando a um aumento no espaço para as empresas que comprarão o novo acessório. A largura do acessório automático elevatório projetado é 670 mm e com a utilização do produto é possível um incremento da colocação de produtos no mesmo espaço. Com o novo equipamento existe um aumento de um produto em cada conjunto de cinco. Ou seja, no passado apenas se garantia quatro produtos ( $4 \times 865 = 3460$  mm), e atualmente é possível a colocação de cinco ( $5 \times 670 = 3350$  mm).

#### 4.6.2 Versatilidade no espaço de trabalho

Um dos fatores chave na conceção de qualquer equipamento é a **criação de valor** e a sua **diferenciação**. Notou-se, claramente, uma lacuna de mercado neste tipo de projetos, pois não existem empresas a desenvolver este tipo de produto. Recorrente a isso, o principal objetivo do equipamento é que este consiga ser **o mais versátil possível** e que qualquer empresa não necessite de adquirir dois, três ou mais acessórios para realizar uma função semelhante (ou até a mesma) que apenas se diferencia e varie nas dimensões do objeto a transportar. Por essa razão, o equipamento desenvolvido sempre será um **projeto à medida** para qualquer empresa, uma vez que poder-se-á alterar pormenores do produto sem que isso mude por completo a sua definição. Posto isto, neste contexto optou-se por definir e apresentar um acessório que fosse o mais versátil possível para que com isso no mercado atual, as empresas pudessem ser elas mesmas a escolher qual o produto mais indicado. Desta forma, a principal dificuldade do produto é a forma de como o acessório garanta o auxílio do transporte de matéria-prima tanto para **racks de armazenamento** (com afastamentos diferentes destes) e, ao mesmo tempo, para **cestos de extrusão**. Seguidamente, observa-se com detalhe todas as soluções criadas que levam à maior versatilidade do produto. Contudo, o estudo desta solução dedicou-se na sua maioria ao estudo da caixa do carro de extrusão e a sua disposição.

##### 4.6.2.1 Solução 1 - Caixa de alinhamento retrátil

Não obrigatoriamente pela ordem de criação de soluções, a solução apresentada foi a primeira ideia obtida e, a partir desta, todas as outras de alguma forma resultaram dos problemas que esta gerou. Numa primeira abordagem, para a solução que assegura o correto funcionamento no transporte de carga nos cestos de extrusão, procurou-se que as caixas respetivas fossem retráteis. A Figura 4.7 (A e B) permite observar isso mesmo.

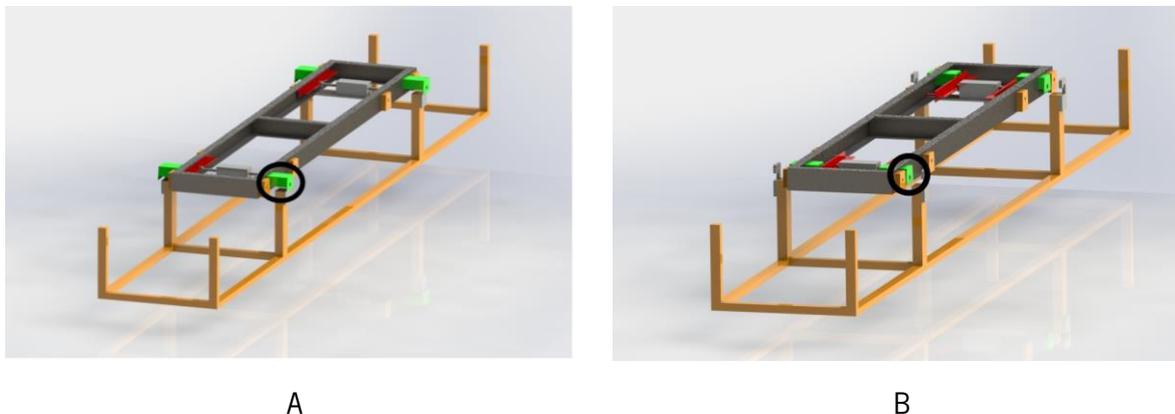


Figura 4.7 A – Modelação 3D – CAD que representa a caixa dos cestos retrátil “aberta” capaz de auxiliar no transporte de carga; Figura 4.7 B – Modelação 3D – CAD que representa a caixa dos cestos retrátil “fechada”

Para que se desse o deslocamento das caixas, estas estariam soldadas através de um perfil T normalizado ao acionamento e movimentar-se-iam consoante este. De notar que para esta solução, modelou-se uma “caixa negra” que representa o acionamento. Desta forma, torna a solução mais facilmente entendível. Atente-se também que quando o sistema se encontrava “fechado”, foi objetivo que a caixa dos cestos não ultrapassasse os limites das caixas dos *racks* para não aumentar o espaço dependente como comprova a Figura 4.8 (A e B)

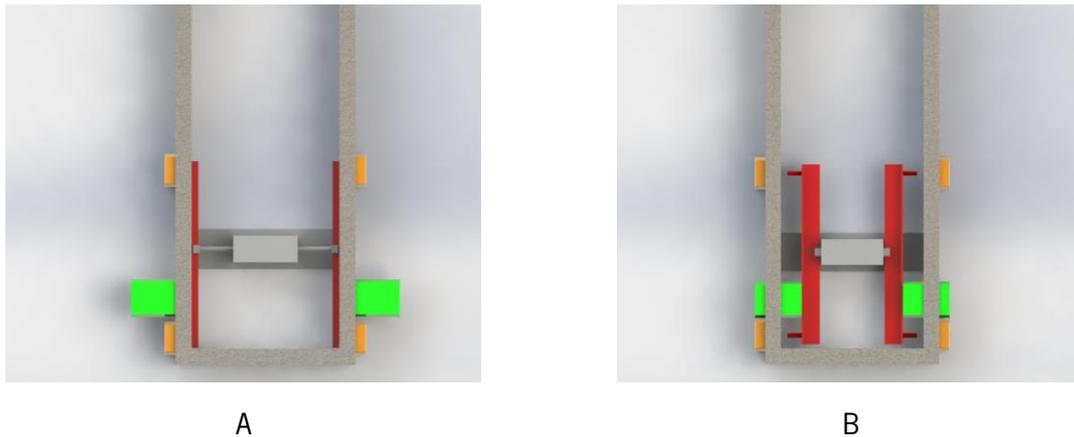


Figura 4.8 A – Representação do espaço dependente da caixa dos cestos retrátil “aberta”; Figura 4.8 B – Representação do espaço dependente da caixa dos cestos retrátil “fechada”

Ao que parece, a primeira idealização resolveria todos os problemas. O transporte da matéria-prima era realizado de forma segura e fiável, e a versatilidade estava também dissecada.

Na solução criada pretendeu-se que aquando do acionamento para os *racks*, por razões de segurança, o veio soldado ao perfil T normalizado não ultrapasse os limites da caixa correspondente.

De notar que nesta solução, projetou-se para que o acionamento fosse dependente, ou seja, quer para cada *rack* quer para o cesto de extrusão só existia um movimento linear para realizar a função. Contudo, esta solução apresenta algumas desvantagens. A razão para se abandonar esta ideia e procurar outras deve-se ao facto de a estrutura do acessório, mais concretamente o perfil *UPN* lateral ter que ser rasgado, e conseqüentemente enfraquecê-lo de tal forma que não se garanta a fiabilidade do equipamento. Outra desvantagem tem a ver com o maior número de tarefas para a sua realização e um maior número de componentes que leva a um aumento do tempo de produção e a um custo associado mais alto.

#### 4.6.2.2 Solução 2 - Caixa de alinhamento soldada ao perfil *UPN*

A solução com a caixa soldada ao perfil *UPN* consiste numa ideia a partir da primeira solução desenvolvida. Para resolver o problema imposto pelo enfraquecimento da estrutura e conseqüentemente

fiabilidade do equipamento, nesta solução mais simples procurou-se que as caixas estivessem fixas e não se movimentariam consoante o acionamento. Na Figura 4.9 encontra-se a representação da solução.

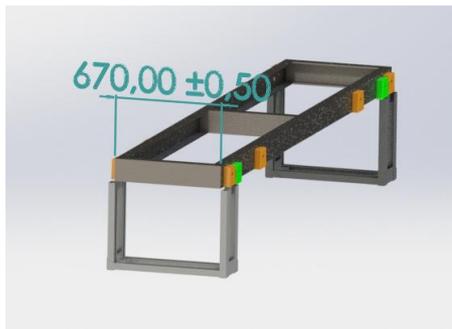


Figura 4.9 – Modelação 3D - CAD com a caixa para os carros de extrusão soldada ao perfil *UPN*

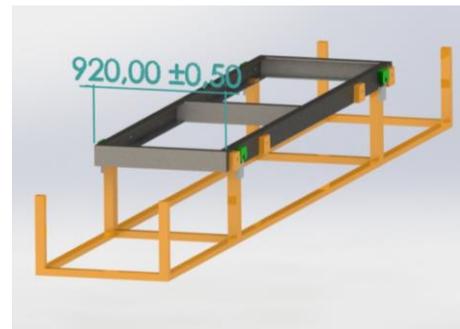
A grande vantagem desta solução é a sua enorme fiabilidade, pois apresenta-se como uma solução que apresenta menos problemas de enfraquecimento da estrutura. Adicionalmente, associa-se a um menor número de componentes comparativamente com a anterior solução. Permite também que o ciclo de trabalho seja mais rápido, uma vez que o acionamento apenas necessitaria de mover os veios roscados e não toda a estrutura associada. Contudo, esta solução apresenta também algumas desvantagens, nomeadamente: aumentará a largura do acessório no espaço em que as caixas estão alocadas; dessa forma, esta última leva a que exista um menor número de *racks* de armazenamento no mesmo espaço de trabalho. Ou seja, existe o problema de quando se têm pilhas de *racks* pouco espaçadas entre si e quando estão cheias de perfis, a caixa dos cestos pode embater no material que está alocado nos *racks*. Para evitar o descrito, a única condição necessária era existir um espaço entre *racks*. No entanto, isso levaria ao problema imposto anteriormente sobre a necessidade de no mesmo espaço de trabalho se ocupe com o maior número de *racks* possível.

#### 4.6.2.3 Solução 3 - Largura variável do acessório elevatório automático projetado

Esta solução surgiu após a descoberta dos problemas que se avistaram nas duas primeiras ideias. O principal dilema para a versatilidade do equipamento tem a ver necessariamente com a largura ideal para resolver ambos os casos. Para os *racks*, o a dificuldade estava facilmente resolvida. No entanto, procurava-se ainda uma ideia de resolver o problema para o auxílio de transporte de carga nos cestos de extrusão. A ideia seria, portanto, uma forma de o operador ajustar a largura do acessório consoante a função pretendida. Aa Figura 4.10 (A e B) permite mostrar o mencionado.



A



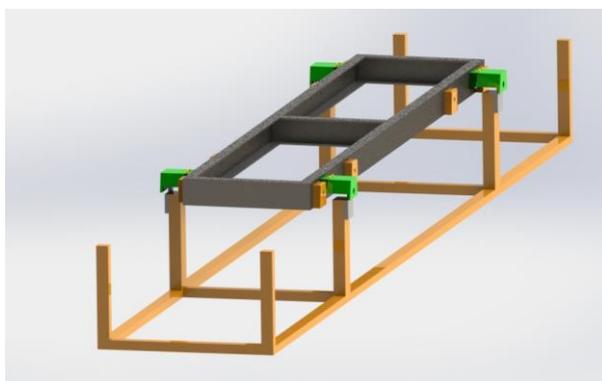
B

Figura 4.10 A – Modelação 3D - CAD do auxílio no transporte de carga em *racks* de armazenamento que nada se altera relativamente a outras soluções; Figura 4.10 B – Modelação 3D - CAD do auxílio no transporte de carga em cestos de extrusão. Para a realização da tarefa, o acessório necessitava de ser extensível, pois a largura dos cestos de extrusão é superior

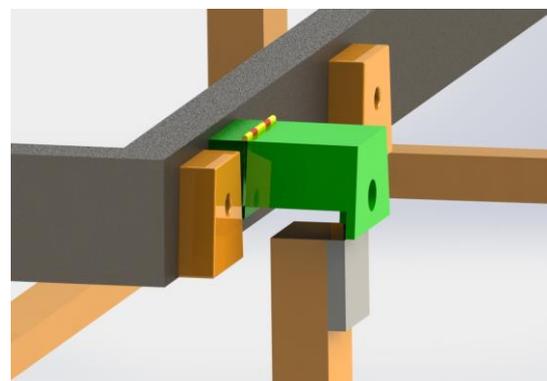
Esta solução resolveria o problema da largura e consequentemente da versatilidade do equipamento. No entanto, apresenta inúmeras desvantagens, nomeadamente a necessidade de mão de obra mais qualificada para a tarefa produtiva de tornar o acessório extensível, um maior tempo na produção do mesmo, um maior custo associado também, e por último, na prática o processo seria mais moroso, uma vez que esta solução obriga o operador a confirmar sempre se o equipamento estava disponível para o transporte de *racks* ou de carros. Levaria, portanto, a um maior risco de falha também.

#### 4.6.2.4 Solução 4 - Caixa de alinhamento acompanhada com dobradiça flexível

Após a análise com detalhe das três soluções anteriores encontradas, surgiu a necessidade de estabelecermos novamente contacto com um futuro cliente. A partir das necessidades reais do produto, uma forma de resolver o problema imposto foi encontrada através de uma melhoria ligeira da segunda solução. Ou seja, a partir da ideia de a caixa estar soldada ao perfil *UPN*, foi proposto um acionamento manual para as mesmas. Desta forma, o principal problema da segunda solução foi dissecado como se observa na Figura 11 (A e B).



A



B

Figura 4.11 A – Modelação 3D - CAD do auxílio no transporte de carga em cestos de extrusão.com dobradiça; Figura 4.11 B – Modelação 3D - CAD da dobradiça que contempla a solução

O principal dilema tinha a ver com o facto de quando se colocaria dois *racks* lado a lado, a caixa dos cestos faria com que a largura total do acessório fosse superior e, por isso, no mesmo espaço, o número de *racks* era consideravelmente menor. Com a ideia de se colocar uma dobradiça, o problema encontrase resolvido. Note-se que parte da caixa dos cestos está soldada ao perfil com as mesmas dimensões das caixas para *racks*, e uma parte é movida pela dobradiça colocada como se pode visualizar na Figura 4.12.



Figura 4.12 – Modelação 3D - CAD da solução das dobradiças com *racks* de armazenamento

Por sua vez, esta solução também apresenta algumas desvantagens, nomeadamente maior número de componentes e maior número de tarefas produtivas, que fazem com que seja necessário um maior tempo de produção.

#### 4.6.3 Automatismo com acionamento linear do equipamento

Na fase inicial da conceção do equipamento estudaram-se diversas soluções para a implementação do acionamento no acessório elevatório automático. É estritamente necessário que a utilização seja segura, simples e fácil para os operadores. O facto de apenas ser exigido “empurrar” um componente para o interior das caixas de alinhamento indica que a idealização do acionamento é bastante simples e comum. Aliado a isso, existem diversas condições de operação obrigatórias de se serem cumpridas tais como:

- As condições de atravancamento para cada lado do sistema deverão estar compreendidas entre [1752x656x140]mm;
- O tempo de ciclo não deverá ser superior a 60 segundos;
- Deve permitir com facilidade o acesso à manutenção dos componentes;
- A manutenção deverá ser facilitada ao cliente;
- O custo do produto final deve ser o mínimo concebível;
- O acessório deve ter o menor mínimo de componentes;
- Comando incorporado na ponte eletrificada móvel;
- Bloqueio do automatismo em risco de falha de alimentação quando o acessório está a auxiliar o transporte de carga;
- O acessório deve estar em cumprimento da legislação em vigor

Posto isto, e relativamente ao último ponto, foi exigido e indicado pelo CATIM – Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica que o **automatismo fosse independente**. Ou seja, foi solicitado que o movimento dos *racks* e dos cestos fosse efetuado em tempos diferentes para que com isso se garanta a máxima segurança do sistema e nunca se coloca em perigo o operador. Associado a este fundamento é a partir do automatismo projetado que se cria valor e diferenciação do equipamento. Por isso mesmo, é objetivo que o equipamento seja um projetado à medida e sendo assim, poder-se-á alterar pormenores do produto sem que isso mude por completo a sua definição, isto é, o equipamento poderá ser apenas para *racks* ou apenas para cestos. Desta forma, quer a empresa certificadora quer a empresa-mãe convergiram na troca de ideias.

Como a JOS Metal não tem a capacidade nem é o seu ramo de produção no que diz respeito à idealização de um sistema automatizado, recorreu-se a diversas empresas que poderiam ser parceiras para a busca de soluções do acionamento. A partir disso, nunca se deve ser adepto da “glorificação” de uma ou de outra especialidade, pois todas são importantes e necessárias, competindo, em última análise ao utilizador saber escolher a que serve melhor aos seus interesses [9].

##### 4.6.3.1. Solução 1 - Solução mecânica desenvolvida pela *igus*

A *igus* é uma empresa que tem como princípio o desenvolvimento de produtos para movimento feitos em polímeros de elevado desempenho e resistência ao desgaste. O sistema apresentado para a função

pretendida é um sistema de guias lineares isentos de lubrificação (funciona a seco), o que torna a solução isenta de manutenção e resistente a influências externas. Além disso, é permitido uma longa de vida útil e funciona de forma especialmente silenciosa devido aos materiais utilizados e ao desenho especial. Na Figura 4.13 é possível visualizar o tipo de mesa linear que a empresa sugere para o acessório elevatório automático. Na solução abordada, colocou-se rolamento de esferas nos topos em vez de casquilhos. Por ser um movimento elétrico e por causa das repetibilidades que o sistema tem optou-se por escolher uma solução um pouco mais robusta.



Figura 4.13 – Módulo linear drylin® SLW-1040 acionado por fuso desenvolvido pela empresa igus adaptado de [20]

O automatismo mecânico inicialmente foi pensado tal como indica o subcapítulo 4.6.2.1, isto é, o acionamento seria dividido em dois (o mesmo para cada lado do acessório) e o movimento seria dependente para suporte dos 3 produtos. Ou seja, através de dois perfis em T normalizados e com 2 mesas lineares drylin® SLW - 1040, o problema estaria resolvido e a solução parecia a ideal. Para esta ideia conceptual, os veios dos *racks* de armazenamento que estariam soldados ao perfil T quando é necessário suportar a carga nos cestos de extrusão, ultrapassavam os limites das caixas. Uma vez que o curso a efetuar pelo veio para os cestos é muito maior que para os *racks*, a solução desenvolvida colocava o operador em risco.

No entanto, como descrito no subcapítulo 4.6.3, foi objetivo que o automatismo fosse independente e, por isso, para a solução apresentada pela *igus* necessitava-se de seis mesas lineares. Isso, tornaria a solução excepcionalmente cara e economicamente não faria sentido.

Por outro lado, mesmo apesar de todas as condicionantes ainda se pensou também em efetuar o movimento de todo um sistema para cada tipo de produto em conjunto. Ou seja, todos os quatro veios que, por exemplo, asseguram o suporte da carga para cestos se movimentariam ao mesmo tempo. No entanto, uma vez que seria necessário adotar correntes ou correntes para o agrupamento de cada sistema, a solução parecia também não ser a ideal. Seria necessário prolongar um veio e colocar uma polia ou cremalheira para também fazer a ligação. De qualquer forma, as condições de atravancamento são tão grandes (3,5 metros) que seria necessária uma tensão enorme num fuso tão pequeno para garantir o sincronismo.

Por fim, para além de todas as restrições a que esta solução obriga, era ainda necessário realizar todo o comando dos motores. A programação destes era ainda uma tarefa complementar morosa para a interação de todos os motores conforme cada movimento pretendido.

#### 4.6.3.2. Solução 2 - Solução pneumática apresentada pela *Bibus Portugal*

Decidiu-se avaliar também uma solução pneumática para a função do acionamento do sistema. Com a utilização do ar comprimido existe um conjunto de vantagens associado tais como a necessidade de um incremento da produção com investimentos relativos pequenos. A facilidade e simplicidade de implementação/operação permitem também reduzir os custos operacionais, uma vez que a rapidez dos movimentos pneumáticos possibilita o aumento do ritmo de trabalho.

A resistência às situações mais hostis e a robustez inerente aos componentes pneumáticos torna-os também relativamente insensíveis a vibrações e choques. Como o acessório estará inserido num ambiente metalomecânico, desta forma, por alguma razão, não se coloca também em risco o acionamento. Aliado a isso, permitem também uma manipulação relativamente fácil e dispensa de alta especialização por parte do operário.

Com isto, a *BIBUS Portugal*, demonstrou uma curiosidade e entusiasmo bastante cativante e afável. Depois de conhecida toda a definição do problema concetual, foram abordados todos os constrangimentos a que a solução pneumática poderia causar. Por exemplo, foi avaliado o facto de o ar comprimido falhar quando o acessório está em suspenso no ar com carga a auxiliar e o facto de, por razões de segurança, ser estritamente necessário a colocação de um botão bi-manual para se realizar o “recuo” dos cilindros pneumáticos.

#### 4.6.3.3. Solução 3 - Solução elétrica com microcontroladores apresentada pela *FESTO PT*

A *FESTO PT* é uma empresa que priva pelo avanço da tecnologia, pela curiosidade, coragem e capacidade de adaptação de forma a dominar os requisitos em constante mudança de cada setor. É objetivo da empresa desenvolver soluções inteligentes e intuitivas, por isso, olha-se para fora da caixa, ou seja, atenta-se o conhecimento dos desafios atuais e futuros de cada cliente e dos mercados, bem como as tendências da concorrência. A partir disso, entende a empresa que a diversidade na força de trabalho é um enriquecimento. Com isso, a partir das especificações definidas, abordou-se os conflitos diretamente para os resolver em conjunto e desenvolver uma solução para o acessório elevatório automático. Na Figura 4.14 encontra-se a solução apresentada para a resolução do problema imposto.



Figura 4.14 – Controlador elétrico desenvolvido pela *FESTO PT* adaptado de [21]

A solução apresentada pela *FESTO PT* contempla a simplicidade da pneumática industrial com as vantagens da automação elétrica. Estes atuadores integrados são solução para os utilizadores que procuram uma alternativa elétrica para tarefas de movimento e posicionamento muito simples entre duas posições mecânicas. Com a solução, evitamos o processo que se utiliza em processos de acionamento elétrico tradicionais que são bastante mais complexos. Desse modo, a flexibilidade deste tipo de componente é grande, uma vez que de forma bastante sucinta é um motor acoplado a um fuso e o corpo do cilindro é em todo idêntico a um cilindro pneumático. Ou seja, todo o sistema é muito parecido com um sistema pneumático diferenciando-se apenas na sua atuação. Aliado a isso, é possível regular a pressão, o caudal e a velocidade dos cilindros. No caso do automatismo para o acessório elevatório automático não é necessário, mas esta solução também permite regular os cursos envolvidos. Ou seja, comparando com uma outra solução pneumática, para a função imposta as diferenças no que concerne ao controlo de movimentos não serão grandes. Uma outra vantagem é o facto de não necessitar de compressor.

Contudo, como qualquer solução apresenta também desvantagens. O facto de se ter de garantir que em caso de falha de alimentação, surja uma necessidade de bloqueio do automatismo coloca esta solução menos apetecível. Nesta idealização, para que isso seja possível seria necessário apresentar uma solução elétrica com freio, pois sem este em caso de falha de energia, o motor está solto e se se causar qualquer esforço lateral no acessório poderá haver movimentação do eixo e seguidamente, o veio poderá se desprender do gancho. Esta necessidade em caso de colapso da alimentação coloca a solução cerca de 40 a 50% mais cara que uma solução pneumática.

Para além disso, uma outra questão que se envolve é o facto de estes controladores não serem tão robustos e resistentes a choques e embates que podem surgir no ambiente em que estão inseridos.

## 4.7 Avaliação de Soluções

“Depois de criada uma gama de soluções, o projetista depara-se agora com o problema de selecionar a melhor solução” [2]. Nesta atividade, é essencial realizar uma avaliação das soluções em grupo e escolher-se qual a melhor escolha.

As soluções encontradas para a forma de obter a máxima versatilidade do equipamento levaram a alguma dúvida e discordância de opinião. Como demonstrado no subcapítulo 4.6.2., existem quatro soluções conceptuais desenvolvidas e por isso realizou-se uma análise de valor para escolher qual a solução que seguiria para o protótipo final. Relativamente à forma como se realiza o automatismo com acionamento linear do equipamento (subcapítulo 4.6.3.) a dúvida entre qual a melhor solução permaneceu até ao final do desenvolvimento das mesmas. Por essa razão, a equipa de trabalho realizou também uma análise de valor.

### 4.7.1 Versatilidade no espaço de trabalho

Relativamente ao problema colocado, a decisão não foi tão fácil como a anterior, uma vez que a versatilidade influencia diretamente o desempenho do equipamento. Devido à dificuldade na escolha, o grupo de projeto viu-se na necessidade de realizar uma análise de valor à solução.

Como se viu no subcapítulo 2.1.4.3., uma análise de valor consiste na avaliação da solução segundo critérios definidos previamente. Os critérios têm diferentes influências na decisão e devido a isso, é atribuído uma ponderação a cada critério que define a importância desse critério na escolha da seleção. Os critérios foram definidos com base nas especificações do equipamento, bem como em requisitos comuns na avaliação de equipamentos. Assim, como requisitos definiu-se: Fiabilidade, Tempo de ciclo, Custo, Simplicidade, Espaço dependente. Na Tabela 4.1 encontra-se a análise de valor. O cálculo desta avaliação pode ser lembrado no subcapítulo 2.4.3.2.

O espaço dependente é o critério com mais ponderação, pois revela uma importância alargada. O facto de se colocar mais matéria-prima no mesmo espaço de trabalho é algo que é muito valorizado pelo cliente. Posteriormente, os critérios com maior critério é a fiabilidade que representa o quanto fiável é a solução, ou seja, quanto mais tempo funcionar sem problemas mais fiável é, e o tempo de ciclo que envolve todas as tarefas que o operador terá de realizar. O custo e a simplicidade são também especificações estabelecidas que estarão sempre presentes na avaliação de soluções. A sua importância foi sempre considerada em todas as reuniões de projeto para a geração de soluções. Da análise de valor se conclui que a melhor solução é a solução com a dobradiça.

Tabela 4.1 – Análise de valor para a solução da versatilidade do produto

<b>Critério</b>	<b>Ponderação (0-10)</b>	<b>Solução 1 - caixa retrátil (0-10)</b>	<b>Solução 2 - caixa soldada (0-10)</b>	<b>Solução 3 - largura variável (0-10)</b>	<b>Solução 4 - dobradiça (0-10)</b>
Fiabilidade	9	5	9	6	8
Tempo de ciclo	7	7	9	4	8
Custo	6	8	8	5	7
Simplicidade	6	6	9	5	8
Espaço dependente	10	8	4	8	8
<b>TOTAL</b>		222	248	213	298

#### 4.7.2 Automatismo com acionamento linear do equipamento

O grupo de trabalho de forma a se identificar qual a melhor configuração para implementar no equipamento, apresenta-se de seguida na Tabela 4.2 uma análise de valor sobre as respetivas soluções. Os critérios considerados para avaliar as soluções são: Fiabilidade, Manutenção, Assistência técnica, Custo, Simplicidade e Facilidade de implementação.

Tabela 4.2 – Análise de valor relativa ao automatismo do acessório elevatório automático

<b>Critério</b>	<b>Ponderação (0-10)</b>	<b>Solução 1 – igus (0-10)</b>	<b>Solução 2 – Pneumática BIBUS Portugal (0-10)</b>	<b>Solução 3 – Controladores elétricos FESTO PT (0-10)</b>
Fiabilidade	10	8	8	6
Manutenção	4	9	7	6
Assistência técnica	6	6	9	7
Simplicidade	7	7	9	6
Custo	9	5	8	7
Facilidade de implementação	7	5	9	7
<b>TOTAL</b>		281	360	280

Em termos de fiabilidade, quer a solução da *igus* quer a solução pneumática apresentam grande fiabilidade, uma vez que tanto as mesas lineares quanto os cilindros pneumáticos revelam que desenvolvem a função pretendida de forma bastante credível e confiável. No que diz respeito aos controladores propostos pela *FESTO PT* como não garantem o bloqueio do automatismo em caso de falha, a sua fiabilidade é mais baixa. A manutenção é relativamente baixa para as mesas lineares *drylin*, uma vez que os produtos de movimento da marca são feitos em polímeros com muita resistência ao desgaste. Já as outras duas soluções, apresentam manutenções semelhantes, apesar de que a

substituição de um cilindro pneumático ou de uma válvula será sempre mais facilitada que a troca de um controlador elétrico. A assistência técnica nestes equipamentos tem alguma importância uma vez que se surgir alguma situação que não se encontre solução sempre se poderá solicitar a assistência técnica. Pelos diversos contactos que se tiveram com os fornecedores, os comerciantes da *BIBUS Portugal Lda.* apresentam serviços de assistência técnica que lhe dá grande vantagem neste critério. A simplicidade da solução é importante uma vez que quanto mais simples for a solução, menos origens de problemas existem e mais fácil é a resolução de problemas. Neste critério, também se teve em consideração a simplicidade de se efetuar o comando. O custo é um dos fatores mais importantes a ter em conta, pois é uma exigência do cliente que este seja o mais baixo possível. Por fim, avaliou-se também a facilidade de implementação em que observou a simplicidade de “programação” e de fixação dos veios roscados que suportam a carga. Concluindo, da análise de valor conclui-se que a melhor solução é a solução que recorre à pneumática. Desta forma, no capítulo 6 é abordado o diagrama de funcionamento para o automatismo do acessório elevatório automático.

## 5. PROJETO DETALHADO

Este capítulo aborda o projeto mecânico do equipamento desenvolvido e a sua validação enquanto projeto. Primeiramente, apresentam-se os elementos constituintes do equipamento e seguidamente através de cálculos analíticos e computacionais dimensionou-se os componentes projetados.

### 5.1 Apresentação da estrutura e os seus constituintes

Neste subcapítulo apresenta-se detalhadamente o produto final desenvolvido, abordando-se a seleção de componentes *off-the-shelf* bem como os componentes projetados de raiz. Na Figura 5.1 é possível observar a legenda dos componentes constituintes do equipamento. Seguidamente abordar-se-á as soluções desenvolvidas para cada sistema, bem como a seleção dos componentes *off-the-shelf*.

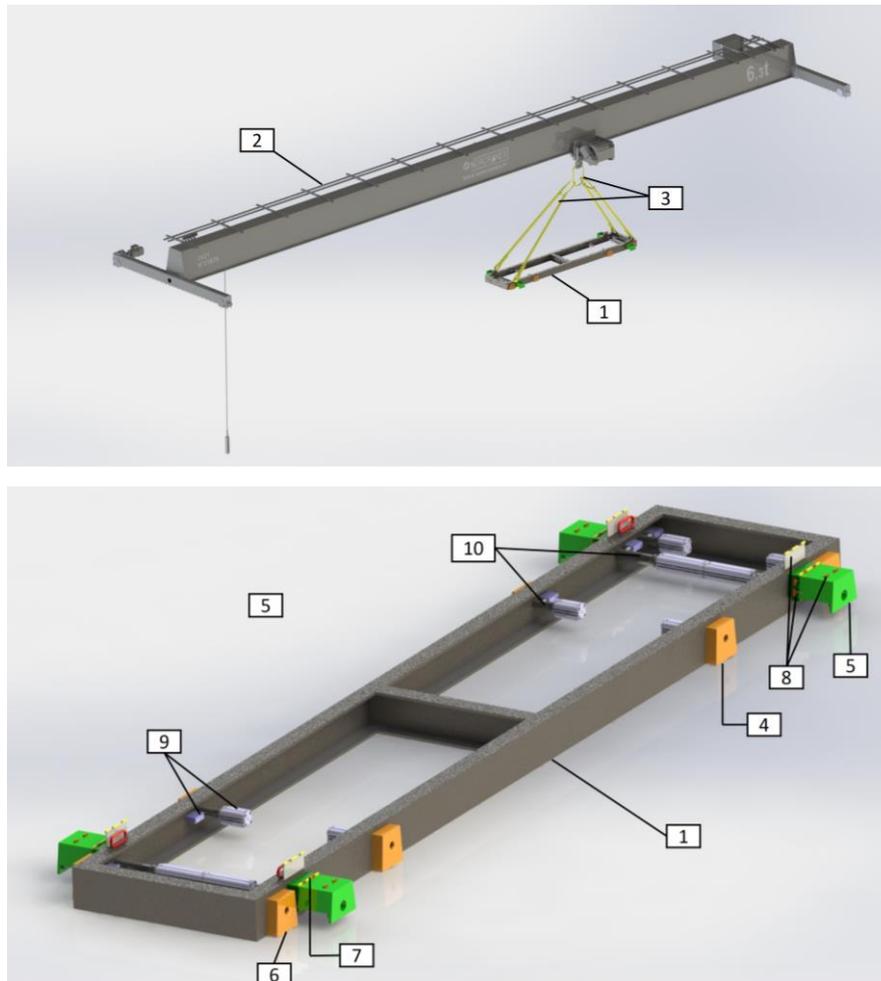


Figura 5.1 – Legenda do equipamento. Ver Tabela 5.1

Tabela 5.1 – Legenda da Figura 5.1

Número	Legenda
1	Estrutura em perfil de aço S275
2	Ponte eletrificada móvel e os seus constituintes
3	Elementos de ascensão certificados ligados com a ponte eletrificada móvel
4	Caixa de alinhamento para <i>racks</i> de armazenamento afastados 2 m
5	Caixa de alinhamento para cestos de extrusão
6	Caixa de alinhamento para <i>racks</i> de armazenamento afastados 3 m
7	Dobradiça flexível para caixa dos cestos de extrusão
8	Fixação das caixas de alinhamento dos cestos de extrusão
9	Elementos pneumáticos
10	Veios roscados aos cilindros pneumáticos

Relativamente ao ponto 2, na Figura 5.2 é possível visualizar os constituintes da ponte eletrificada móvel.

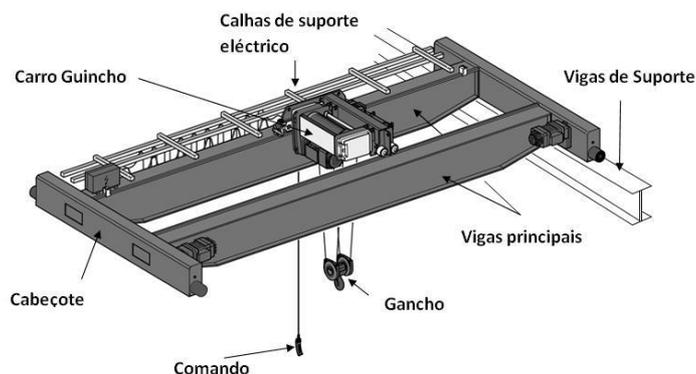


Figura 5.2 – Constituintes de uma ponte eletrificada que auxiliam a ascensão de cargas adaptado de [19]

### 5.1.1 Estrutura em perfil

O projeto da estrutura do equipamento é uma das fases mais importantes do projeto. A estrutura deve ter rigidez suficiente para não oscilar durante o funcionamento do equipamento bem como deve suportar as forças de compressão a que a ponte eletrificada móvel solicita a estrutura. Para tal, utiliza-se normalmente um *UPN* para este tipo de acessórios. Importa referir, mesmo através da análise efetuada no subcapítulo 5.2.2, que se decidiu utilizar o perfil *UPN* 140. A razão pela qual não se alterou a

dimensão do perfil foi porque este é o mais utilizado pelos clientes do ramo metalomecânico nas mais diversas aplicações. Com isso, também se pretende que o acessório esteja sobredimensionado. As dimensões e características deste perfil estão presentes no ANEXO E. Para a construção da estrutura, o único processo de fabrico utilizado foi a soldadura e o material é uma liga de aço S275. O desenho técnico da estrutura está presente no ANEXO F.

#### 5.1.2 Caixas de alinhamento para *racks* de armazenamento

As caixas são os componentes responsáveis pelo alinhamento entre os veios roscados pertencentes ao automatismo e os ganchos que suportam a carga. As condições de atravancamento da caixa são as mencionadas no subcapítulo 4.6.1, ou seja, estas surgiram para que os ganchos fiquem totalmente impedidos de se movimentarem e de se soltarem. Desta forma, se o gancho não ficar concêntrico com o furo da caixa, este colide numa das extremidades da caixa, não permitindo que os veios roscados ao automatismo realizem a sua função.

Com a utilização destas, garante-se também que o operador corra menos riscos, uma vez que é praticamente impossível colocar, por exemplo, uma mão no espaço de atuação do veio.

No ANEXO G encontra-se o desenho técnico das caixas de alinhamento mencionadas. Atendendo à largura imposta ao acessório e às dimensões do próprio *rack*, fixou-se a largura das caixas em 40 mm. Em coerência com a simulação presente no subcapítulo 5.2.5.1, verificou-se que o veio correspondente não sofria qualquer flexão mesmo sem as caixas de alinhamento presentes. Por isso, definiu-se uma espessura de 10 mm para que todas as chapas metalizadas compradas sejam exatamente iguais. Por fim, previu-se a necessidade de recorrer ao arredondamento das caixas para que com isso não existissem arestas vivas e não colocasse, de algum modo, o operador em perigo.

#### 5.1.3 Caixa de alinhamento soldada à estrutura para cestos de extrusão

De forma muito análoga ao processo das caixas mencionadas no subcapítulo anterior e também em coerência com o subcapítulo 4.6.1, no dimensionamento deste componente recorreu-se à simulação presente em 5.2.5.2. para verificar qual a espessura de apoio ao veio que se deverá ter para que não ocorra flexão. No que concerne à largura, escolheu-se uma largura em tudo semelhante à caixa de alinhamento para *racks* de armazenamento. O desenho técnico deste componente encontra-se no ANEXO H.

#### 5.1.4 Caixa de alinhamento solidária com dobradiça flexível para cestos de extrusão

Em concordância com a simulação presente em 5.2.5.2, verificou-se que este componente não sofre esforços e que apenas serve de “tampa”. Com isso, definiu-se também uma espessura de 10 mm pelas mesmas razões acima descritas. Tendo em consideração as condições de atravancamento dos cestos de extrusão, do próprio acessório e da colocação do fim dos veios roscados na extremidade das caixas (como mencionado no subcapítulo 6.2.1, calculou-se qual o comprimento necessário deste componente. Relativamente às outras condições de atravancamento seguiu-se o procedimento mencionado em 4.6.1. O ANEXO I apresenta o desenho técnico do componente.

#### 5.1.5 Veios roscados para suporte da carga

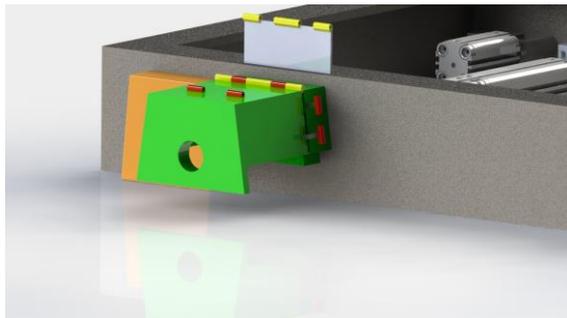
Na arquitetura dos veios, para além das condições impostas nos subcapítulos 5.2.3 e 5.2.4, respetivamente, foram compreendidas as suas condições de atravancamento. O diâmetro de cada um deles foi estabelecido em concordância com os subcapítulos mencionados e com as condições de compatibilidade com os equipamentos dos fabricantes (gancho de *racks*/cestos). O comprimento foi determinado pelo posicionamento do fim de cada um dos veios na extremidade das caixas de alinhamento (para reduzir os cursos e conseqüentemente o tamanho dos cilindros pneumáticos como mencionado em 6.2.1) em conjunto com os atuadores pneumáticos. O desenho técnico dos veios roscados para *racks* de armazenamento e para cestos de extrusão encontram-se nos ANEXOS J e ANEXOS K, respetivamente. Previu-se também a necessidade de uma saliência em ambos para que quando os cilindros estivessem atuados, os veios por ação mecânica embatam no fim de curso e enviem um sinal de informação que o sistema está na posição correta para poder auxiliar o transporte de carga.

#### 5.1.6 Dobradiça flexível presente nas caixas dos cestos de extrusão

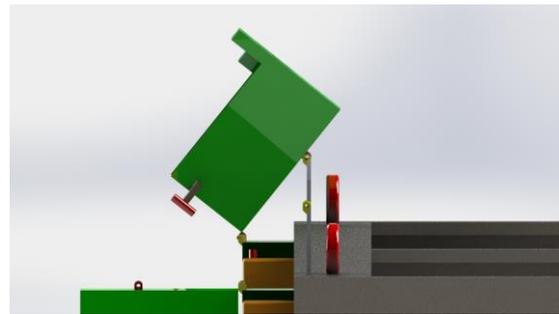
A dobradiça é um componente *off-the-shelf*, isto é, são componentes que são comprados e utilizados no estado em que se encontra. São projetados para serem facilmente acomodados e exercer a sua função com os componentes do sistema existentes. Com este elemento é possível realizar a solução retratada no subcapítulo 4.6.2 que em muito tem a ver com a versatilidade do equipamento.

### 5.1.7 Fixação das caixas de alinhamento dos cestos de extrusão

Após a identificação dos componentes *off-the-shelf*, projetou-se um sistema que fixa as caixas de alinhamento dos cestos de extrusão nas duas situações possíveis. Ou seja, para quando o sistema está disponível para o transporte de carga presente nos cestos de extrusão (“caixa fechada”), arquitetou-se dois olhais. Um deles estará no componente mencionado em 5.1.3 e outro nas caixas referidas em 5.1.4. Com isto, através de um componente cilíndrico de ligação, realizar-se-á união de ambas as caixas. A Figura 5.3 (A e B) permite visualizar com maior detalhe o referido.



A



B

Figura 5.3 A – Caixa de alinhamento “fechadas” para auxílio de carga nos cestos de extrusão; Figura 5.3 B – Caixa de alinhamento podem ser “abertas” para auxílio de carga nos *racks* de armazenamento

Da mesma forma, quando se pretende fixar as caixas de alinhamento na situação do sistema transportar a carga nos *racks*, projetou-se que as caixas referidas em 5.1.3 incluam dois olhais e que na estrutura se tenha do género de uma “chapa” com três olhais. Através disto, e recorrendo às ferramentas CAD que em muito ajudaram a simular o pretendido, com o mesmo componente cilíndrico de ligação consegue-se que as caixas permaneçam “abertas”.

## 5.2 Cálculos Estruturais

O cálculo estrutural é o projeto responsável pela segurança de edificação. Através dele faz-se o dimensionamento da estrutura que a sustenta. Por intermédio de cálculo específicos e criteriosos define-se quais as dimensões e qual o tipo de estrutura mais adequado para o projeto. Qualquer cálculo estrutural é realizado a partir de definições do projeto de arquitetura. Por isso, para o dimensionamento da estrutura estudada (subcapítulos 5.2.1 e 5.2.2), o cálculo será baseado com condições de atravancamento definidas anteriormente e num perfil *UPN 140* que já era o utilizado nos acessórios manuais que atualmente existem nas empresas do ramo metalomecânico. Para o estudo deste cálculo garantiu-se três objetivos principais:

- Verificar se a estrutura com coeficiente de segurança mínimo suporta as solicitações;
- Calcular a carga máxima e conseqüente coeficiente de segurança máximo que a estrutura suporta;
- Dimensão ótima do perfil para o coeficiente de segurança mínimo;

Nos subcapítulos 5.2.3 e 5.2.4 é elaborado um conjunto de cálculos recorrendo a [22] para o dimensionamento dos veios que suportam a carga quer para *racks* de armazenamento quer para cestos de extrusão. Por último, nos subcapítulos 5.2.5 apresenta-se uma simulação CAD/CAE em *Ansys* dos veios projetados e das caixas dimensionadas. Com isso, verificou-se se os veios fletiam quando aplicada a carga e dessa forma, determinou-se a espessura mínima das caixas de alinhamento em que os veios se apoiam para realizar o seu trabalho ao corte.

### 5.2.1 Dimensionamento da estrutura: Cálculo estrutural analítico

Para a validação do projeto desenvolvido é necessário comprovar que a estrutura desenvolvida suporta as solicitações que são impostas. Na Figura 5.4, está representada o diagrama de corpo livre do produto.

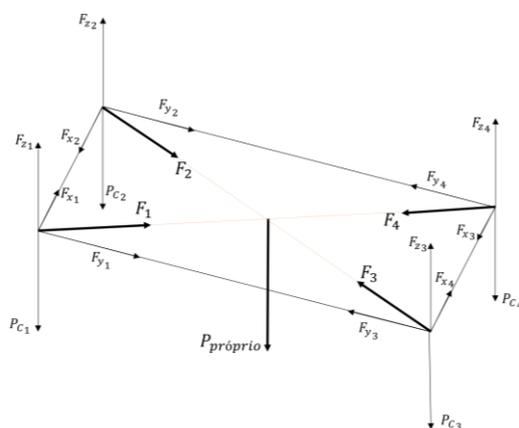


Figura 5.4 – Diagrama de corpo livre do sistema projetado. Ver Tabela 5.2

Tabela 5.2 – Legenda da Figura 5.4. Nomenclatura das forças existentes no diagrama de corpo livre

$i = 1,2,3,4$	Representação dos nós
$F_i$	Representa as forças nos cabos da ponte eletrificada móvel
$F_{x_i}$	Representa a força no eixo Ox
$F_{y_i}$	Representa a força no eixo Oy
$F_{z_i}$	Representa a força no eixo Oz
$P_{c_i}$	Representa o peso da carga

Para o estudo do problema, definiu-se que o acessório elevatório automático está suspenso. Portanto, considerou-se que:

$$(3) \quad F_{z_1} + F_{z_2} + F_{z_3} + F_{z_4} = P_{c_1} + P_{c_2} + P_{c_3} + P_{c_4} + \text{Peso}_{\text{próprio}}$$

Como a carga a auxiliar no transporte é dividida por quatro apoios, dividiu-se a carga total a ser levantada pelo mesmo número e observou-se o problema para cada nó. Na Figura 5.5 encontra-se representado o diagrama de corpo livre para cada nó.

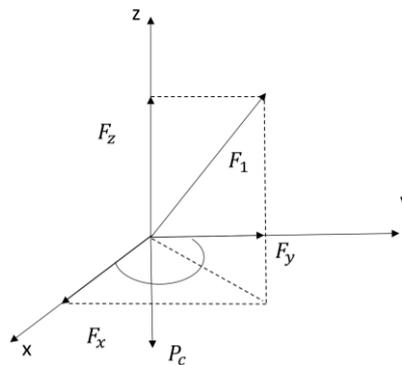


Figura 5.5 – Diagrama de corpo livre em cada nó do sistema projetado

Posto isto, considerou-se que a força exercida pela carga em cada nó é igual à força que a ponte eletrificada móvel realiza no eixo Oz ( $P_c = F_z$ ). Desta forma, as forças no eixo Oz anulam-se. Sabendo o valor da carga a auxiliar no transporte, facilmente se retira o valor de  $F_z$ . Recorrendo à observação de cada plano e à trigonometria associada, calcula-se o valor das restantes forças exercidas pela ponte eletrificada móvel.

A título de exemplo, para uma massa de 6000 kg e considerando um coeficiente de segurança igual a 1,5, a estrutura será dimensionada para 9000 kg (88290 N).

Como referido anteriormente, a carga total é assegurada por quatro apoios, observe-se que então para qualquer nó  $F_z = 22072,5N$ .

Tendo em conta que no plano XY, o ângulo que o cabo da ponte eletrificada móvel faz com o plano vertical (eixo Oz) é igual a  $60^\circ$ . Na Figura 5.6 tem-se que:

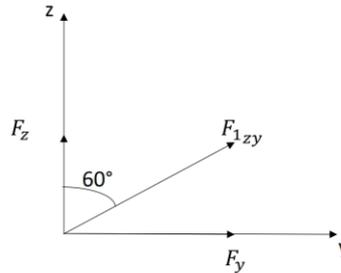


Figura 5.6 – Representação de forças envolvidas no plano YZ

Com base na equação (4),  $F_{1zy} = \frac{F_z}{\cos 60}$  e sabendo que  $F_z = 22072,5N$ , então  $F_{1zy} = 44145N$ .

Da mesma forma,  $F_y = F_{1zy} \cdot \text{sen } 60$ , logo  $F_y = 38231 N$ .

No plano XZ, o ângulo que o cabo faz com o plano horizontal (eixo Ox) é  $60^\circ$ . Na Figura 5.7 tem-se que:

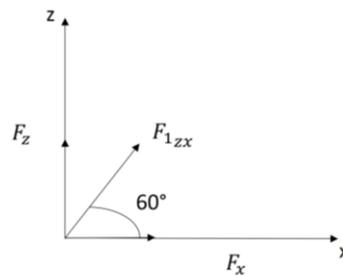


Figura 5.7 – Representação de forças envolvidas no plano XZ

Através de (5),  $F_{1zx} = \frac{F_z}{\cos 30}$ , retira-se que  $F_{1zx} = 25487 N$ .

Com (6),  $F_x = F_{1zx} \cdot \cos 60$ ,  $F_x = 12744 N$ .

Na Tabela 5.3 apresentam-se as componentes das forças calculadas e dispostas no diagrama de corpo livre.

Tabela 5.3 – Apresentação dos resultados das componentes das forças inseridas

$F_{1zy}$	44145 N
$F_{1zx}$	25487 N
$F_x$	12744 N
$F_y$	38231 N
$F_z$	22072,5 N
$ F  = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (7)$	45948 N

### 5.2.2 Dimensionamento à rigidez da estrutura: Cálculo estrutural numérico

O dimensionamento numérico da estrutura foi efetuado recorrendo ao método dos deslocamentos, através do *software Cype 3D 2018*. Entendeu-se que o objetivo do cálculo estrutural analítico foi calcular as forças de compressão ( $F_x$  e  $F_y$ ) e dessa forma, analisa-se quais as solicitações críticas a que a estrutura está sujeita.

Inicialmente, designou-se o material como um aço laminado S235 e estabeleceu-se o tipo de elemento estrutural como um perfil simples *UPN 140* como demonstra a Figura 5.8.

Materiais utilizados							
Material		E (MPa)	$\nu$	G (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\alpha_t$ (m/m°C)	$\gamma$ (kN/m³)
Tipo	Designação						
Aço laminado	S235	200000.00	0.300	77000.00	235.00	0.000012	77.01
Anotação: <i>E</i> : Módulo de elasticidade <i><math>\nu</math></i> : Módulo de poisson <i>G</i> : Módulo de corte <i><math>f_y</math></i> : Limite elástico <i><math>\alpha_t</math></i> : Coeficiente de dilatação <i><math>\gamma</math></i> : Peso específico							

Figura 5.8 – Propriedades do material aço laminado S235 utilizado na simulação

Seguidamente, estipularam-se os nós e as barras correspondentes tendo em conta as dimensões já definidas anteriormente como comprova a Figura 5.9. Para além disso, no que diz respeito às condições fronteira permitiu-se um deslocamento livre sobre um plano paralelo ao eixo XY, ou seja, definiu-se um encastramento no plano XY (impedido na direção Z global), por isso, o grau de liberdade do eixo Oz está restringido.

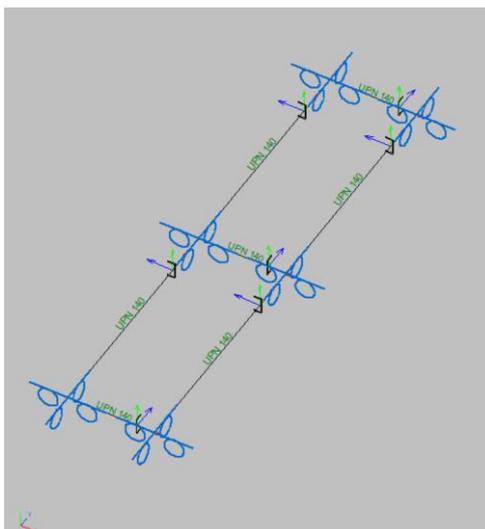


Figura 5.9 – Nomenclatura dos nós, perfil UPN 140 e condições fronteira da estrutura no software Cype 2018

#### 5.2.2.1 Verificação da estrutura com coeficiente de segurança mínimo

Numa primeira estância, analisou-se o primeiro objetivo no qual compreendia se a estrutura era válida, ou seja, se suportava as solicitações para um coeficiente de segurança mínimo. Sujeitou-se a estrutura, portanto, a uma prova de carga estática com uma massa de 9000 kg, correspondente a 150% da respetiva carga nominal. Posto isto, colocou-se em cada nó os valores das forças de compressão ( $F_x$  e  $F_y$ ) como demonstra a Figura 5.10. Como comprovado anteriormente para  $c_s = 1.5$ ,  $F_x = 12744 N$  e  $F_y = 38231 N$ .

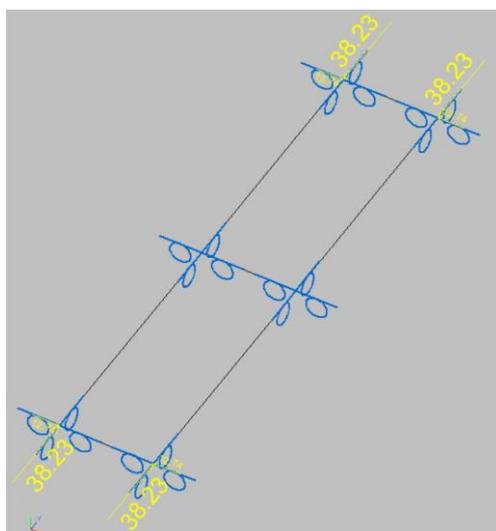


Figura 5.10 – Introdução das cargas sobre os nós da estrutura para um coeficiente de prova mínimo (valores em kN)

De seguida, procedeu-se ao dimensionamento dos perfis (Figura 5.11). O resultado corrobora que para as solicitações impostas, a estrutura não entra em cedência.

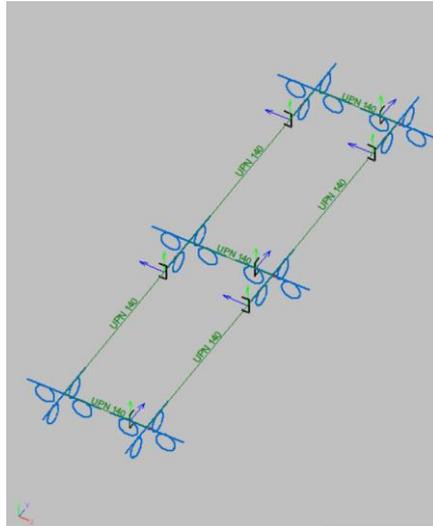
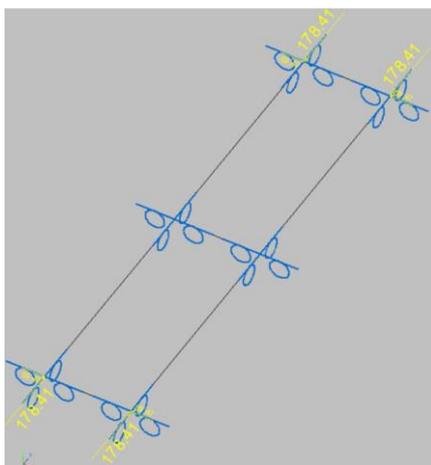


Figura 5.11 – Verificação dos elementos da estrutura para o coeficiente de segurança mínimo

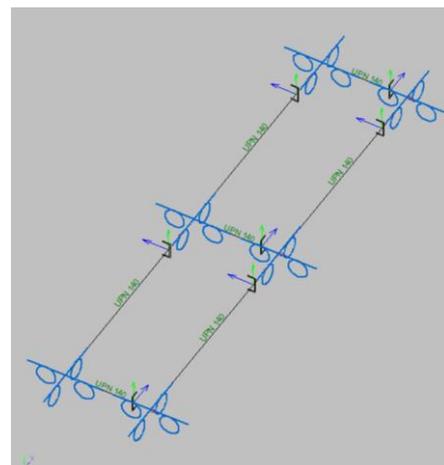
#### 5.2.2.2 Cálculo da carga máxima e coeficiente de segurança correspondente

Da mesma forma que no primeiro objetivo, através do *software Cype 3D*, calculou-se qual a carga máxima que a estrutura do acessório suporta. Nesta fase, através do método iterativo determinou-se o coeficiente máximo admissível para o perfil *UPN 140*. Para isso, as solicitações foram determinadas analiticamente de forma a ajustar o coeficiente de segurança tal como realizado no subcapítulo 5.2.1.

Através do cálculo computacional, obteve-se que o coeficiente de segurança máximo é de 7 (Figura 5.12), uma vez que para  $c_s = 8$  (Figura 5.13), as solicitações impostas já ultrapassavam os limites.



A



B

Figura 5.12 A – Coeficiente de segurança igual a 7; Figura 5.13 B – Verificação dos elementos da estrutura

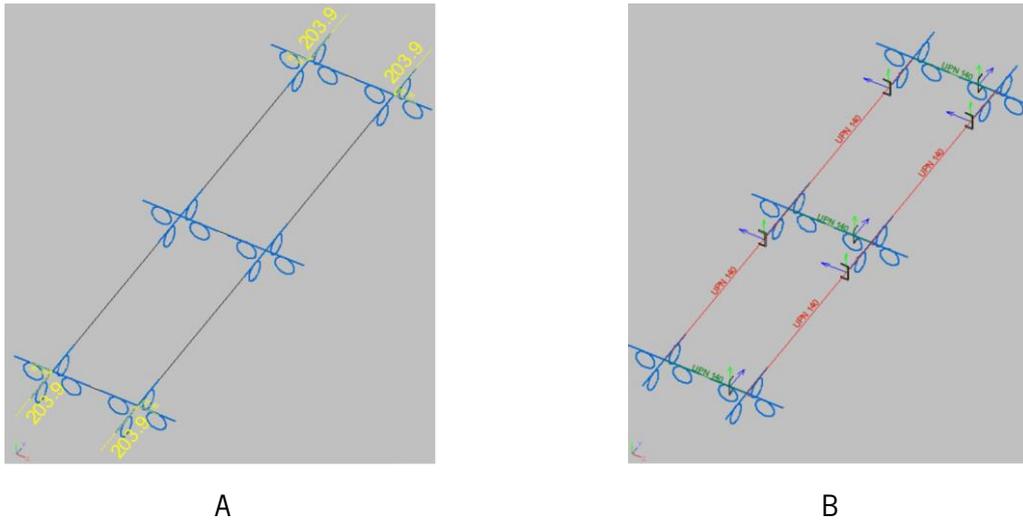


Figura 5.13 A – Coeficiente de segurança igual a 8; Figura 5.13 B – Verificação dos elementos da estrutura

### 5.2.2.3 Dimensão ótima do perfil para o coeficiente de segurança mínimo

No dimensionamento ótimo de perfis, o programa determina a dimensão mínima de perfil capaz de suportar as solicitações impostas.

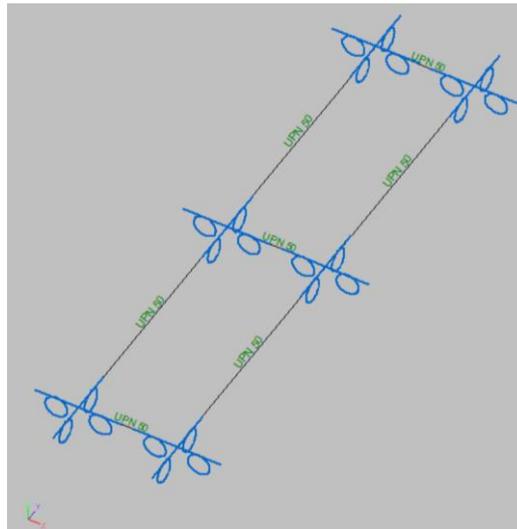


Figura 5.14 – Dimensionamento ótimo do perfil com condições de atravancamento e cargas impostas para coeficiente de segurança igual a 1.5

Como se pode verificar a partir da Figura 5.14, o dimensionamento ótimo para a estrutura solicitada é o perfil UPN 50. Ao selecionar este perfil para o acessório, é possível diminuir o valor da massa e conseqüentemente o custo associado. Esta análise, permitiu, portanto, melhorar a dicotomia performance/custo.

#### 5.2.2.4 Critério de rigidez

Como confirmação dos resultados e de forma a validar a estrutura, foi aplicado o critério de rigidez. A rigidez é a resistência de um corpo à deformação por uma força aplicada e é uma qualidade inerente do material. Quando um corpo tem uma força aplicado a ele, por menor que seja, uma deformação e a capacidade de resistir a essa deformação é a rigidez. Na Tabela 5.4 pretende-se mostrar as variáveis calculadas.

$$k = \frac{AE}{L} \quad (8)$$

$$k = \frac{P}{\delta} \quad (9)$$

Tabela 5.4 – Nomenclatura e apresentação das variáveis inseridas no cálculo do critério de rigidez

A – Área de secção do corpo antes da compressão	20,40 cm <sup>2</sup>
E – Módulo de elasticidade	235 MPa (aço laminado S235)
L – Tamanho do corpo perpendicular à força	3,5 m
P – Força aplicada	38231 N
$\delta$ – Deformação em distância	0,656 mm

Foi verificado o critério de rigidez para a força aplicada no eixo Oy. O valor de  $\delta$  foi retirado do *software Cype 3D – 2018*, analisando os deslocamentos da estrutura. Sabendo que,

$$E = \frac{P L}{A \delta}$$

Então,  $E = 99 \text{ MPa}$ , que por sua vez é menor que o módulo de elasticidade ( $E_{aço}$ ), então pode-se validar a estrutura.

#### 5.2.3 Dimensionamento de componente: veio para *racks* de armazenamento

O dimensionamento é uma tarefa muito importante para validação de qualquer componente. O veio que será acionado pelos cilindros pneumáticos quer para os *racks* de armazenamento quer para cestos de extrusão está sujeito a uma carga estática e deverá ser realizado o cálculo do dimensionamento para se determinar qual o valor mínimo do diâmetro.

Segundo [22], um veio é um órgão que pode ser rotativo ou estacionário, geralmente de secção circular que podem estar sujeitos à flexão, tração, compressão ou torção.

Na Figura 5.15 encontra-se o diagrama de corpo livre do veio dimensionado que auxilia o transporte de carga para os *racks*.

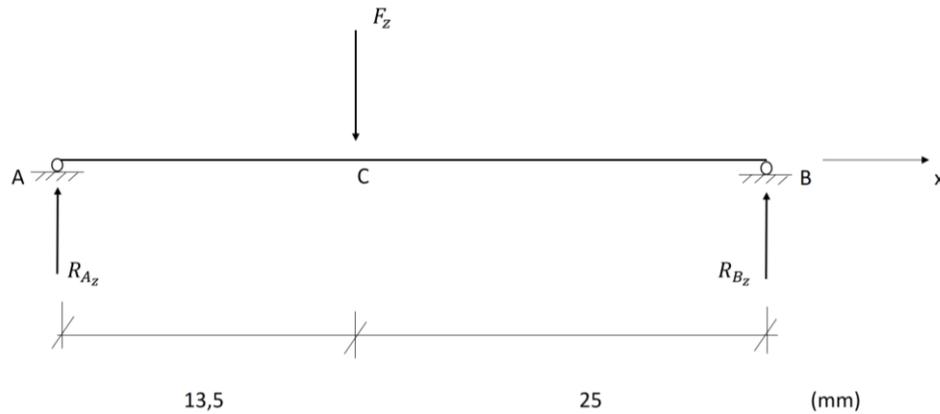


Figura 5.15 – Diagrama de corpo livre do veio dimensionado para *racks* de armazenamento

Com efeitos de cálculos considerou-se que:

$$\sigma_{rot} = 275 \text{ MPa}$$

$n = 1,5$  (coeficiente de segurança)

#### 5.2.3.1 Dimensionamento às cargas estáticas

Para a determinação do diâmetro mínimo do veio, conforme o critério da tensão de corte máxima:

$$d = \left[ \left( \frac{32n}{\pi \sigma_{ced}} \right) (M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (10)$$

M - Momento Fletor (máximo)

T - Momento Torsor (máximo)

A fim de calcular o momento fletor máximo, atentou-se o digrama de corpo livre e descreveu-se as seguintes equações. Tal como mencionado anteriormente,  $F_z = 22,0725 \text{ kN}$ .

$$\sum F_z = 0 \Leftrightarrow -R_{Az} + F_z - R_{Bz} = 0 \quad (10)$$

$$\sum M_z(A) = 0 \Leftrightarrow F_z \cdot 13,5 - R_{Bz} \cdot 38,5 = 0$$

Resulta que as reações nos apoios são:

$$R_{Az} = 14,3328 \text{ kN}$$

$$R_{B_z} = 7,7397 \text{ kN}$$

Observando o tramo AC (Figura 5.16), o momento fletor em C:

$$M_z(C) = -R_{A_z} \cdot 13,5 \cdot 10^{-3}$$

$$M_z(C) = -0,1935 \text{ kN.m}$$

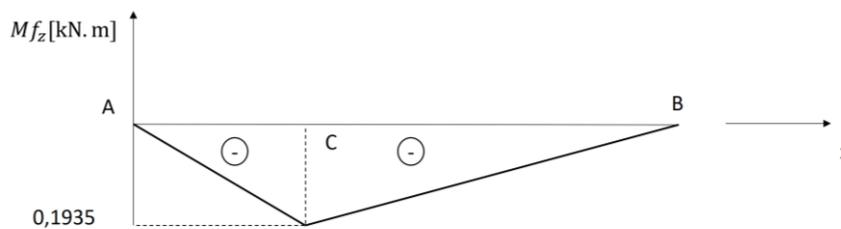


Figura 5.16 – Diagrama dos Momentos Fletores no veio que se pretende dimensionar

Sendo assim, de acordo com a equação (10) e como, neste caso, não há torsão ( $T=0$ ), então:

$$d_{min} = 20,07 \text{ mm}$$

Podemos comparar este resultado com o que se obtém usando o critério de *von Mises*.

$$d = \left[ \left( \frac{32n}{\pi \sigma_{ced}} \right) \left( M^2 + \frac{3T^2}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

Contudo, como  $T=0$ , o resultado para o diâmetro mínimo usando este critério é exatamente o mesmo.

### 5.2.3.2 Dimensionamento às solicitações de fadiga

Segundo o critério de Soderberg, para o cálculo mínimo do veio para solicitações dinâmicas, têm-se que:

$$d = \left\{ \frac{32n}{\pi} \left[ \left( \frac{T}{\sigma_{ced}} \right)^2 + \left( \frac{M}{\sigma_e} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

$\sigma_e$ - Tensão limite de fadiga corrigida do material

$$\sigma_e = 0,5 \cdot \sigma_{rot} \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \quad (13)$$

sendo  $k_a$ ,  $k_b$ ,  $k_c$  e  $k_d$  definidos anteriormente.

Normalmente,  $k_e$  e  $k_f = 1,0$

No ANEXO L encontra-se a identificação dos diversos fatores e a informação necessário para o cálculo de cada um. Na Tabela 5.5 encontram-se os valores dos fatores calculados.

Tabela 5.5 – Determinação dos fatores necessários para o cálculo da tensão limite de fadiga corrigida do material para racks de armazenamento

Veio "polido"	$k_a = 1,2$
$7,6 \leq d_{veio} \leq 50$	$k_b = 0,85$
Fiabilidade 99 %	$k_c = 0,814$
$T \leq 160^\circ\text{F}$	$k_d = 1$

Assim,  $\sigma_e = 114,164$  MPa.

Segundo a equação (12), o diâmetro mínimo para o critério de Soderberg é 23,56 mm.

#### 5.2.4 Dimensionamento de componente: veio para cestos de extrusão

De forma análoga, dimensionar-se-á também o veio para quando se utiliza o acessório para auxiliar o transporte em cestos de extrusão. Na Figura 5.17 encontra-se o diagrama de corpo livre do veio dimensionado que auxilia o transporte de carga para os cestos.

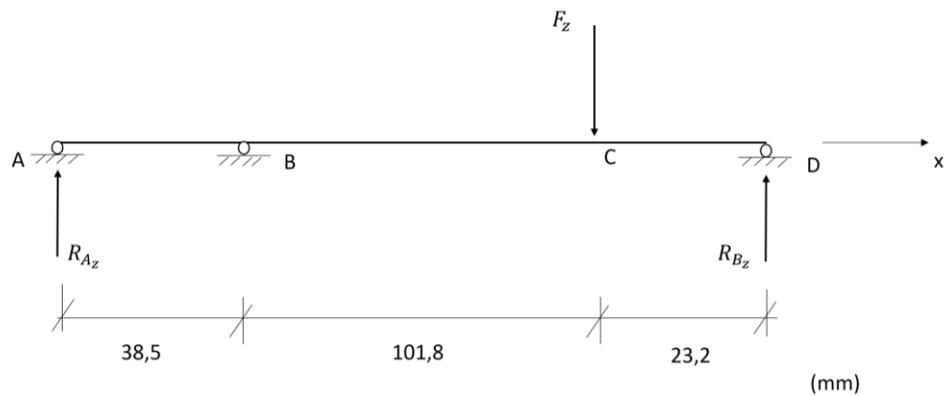


Figura 5.17- Diagrama de corpo livre do veio dimensionado para cestos de extrusão

#### 5.2.4.1 Dimensionamento às cargas estáticas

Recorrendo à equação (10), determinou-se numa primeira fase a reação nos apoios em que:

$$R_{A_z} = 0 \text{ kN}$$

$$R_{B_z} = 4,09 \text{ kN}$$

$$R_{D_z} = 17,98 \text{ kN}$$

Da análise do tramo CD (Figura 5.18), obtêm-se que o momento fletor (máximo) em C é igual a:

$$M_z(C) = -R_{B_z} \cdot 101,8 \cdot 10^{-3}$$

$$M_z(C) = -0,42 \text{ kN.m}$$

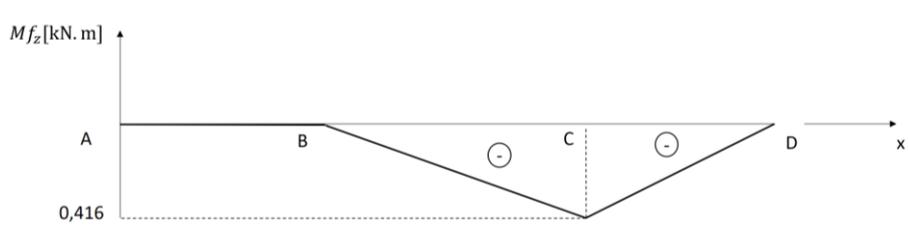


Figura 5.18 – Diagrama dos Momentos Fletores no veio que se pretende dimensionar

Sendo assim, de acordo com a equação (10) e como, neste caso, não há torsão ( $T=0$ ), então:

$$d_{min} = 27,50 \text{ mm}$$

Podemos comparar este resultado com o que se obtém usando o critério de *von Mises* tal como demonstrado na equação (11).

Contudo, como  $T=0$ , o resultado para o diâmetro mínimo usando este critério é exatamente o mesmo.

#### 5.2.4.2 Dimensionamento às solicitações de fadiga

Tal como mencionado no subcapítulo 5.2.3 para o cálculo mínimo do veio para solicitações dinâmicas, segundo o critério de Soderberg, utiliza-se a equação (12).

Assim sendo, para efeitos de cálculo empregou-se a mesma forma de calcular a tensão limite de fadiga corrigida do material. Na Tabela 5.6 encontram-se os valores dos fatores calculados.

Tabela 5.6 – Determinação dos fatores necessários para o cálculo da tensão limite de fadiga corrigida do material para cestos de extrusão

Veio “polido”	$k_a = 1,2$
$d_{veio} \geq 50$	$k_b = 0,75$
Fiabilidade 99 %	$k_c = 0,814$
$T \leq 160^\circ\text{F}$	$k_d = 1$

Ou seja, recorrendo à equação (13),  $\sigma_e = 100,733$  MPa.

Segundo a equação (12), o diâmetro mínimo para o critério de Soderberg é 34,81 mm.

### 5.2.5 Simulação CAD/CAE dos veios projetados e das caixas dimensionadas

Recorrendo ao software *Ansys* pretendeu-se realizar uma simulação CAD/CAE. Atendendo às potencialidades do *Computer Aided Design*, que se utiliza para aumentar a produtividade do projetista e melhora a qualidade da conceção e da comunicação, juntamente com o *Computer Aided Engineering* é permitido analisar os componentes projetados para que dessa forma, se proporcionem benefícios como a maior eficiência e qualidade dos mesmos, pois permite prever possíveis erros e corrigi-los antes da fase produção; redução nos custos, uma vez que a simulação é mais barata que o desenvolvimento de protótipos; permite realizar alterações no projeto rapidamente; aumenta a produtividade e competitividade; e por fim, auxilia na verificação do produto quanto à funcionalidade, encaixes e design, permitindo a reavaliação sempre que necessário.

#### 5.2.5.1. Simulação CAD/CAE - *Racks* de Armazenamento

Para a realização da simulação, inicialmente selecionou-se o material dos componentes (aço S275) com uma tensão de cedência de 275 MPa. Seguidamente, definiu-se a geometria do que se pretende analisar. Neste contexto, o pretendido é analisar se a estrutura em perfil *UPN 140* (já dimensionada e verificada nos subcapítulos 5.2.1 e 5.2.2) consegue suportar a carga que é aplicada nos veios roscados dimensionados em 5.2.3 e estes não fletem. Isto é, a partir da simulação, deseja-se verificar que as caixas de alinhamento mencionadas em 5.1.2 não sofrem quaisquer esforços e com isso apenas sejam um componente que possibilitam o alinhamento com elevada fiabilidade entre os veios pertencentes ao automatismo e os ganchos que suportam a carga e que não coloquem o operador em perigo na colocação de uma mão, por exemplo, no sistema automático.

Seguidamente, considerou-se que o acessório estava fixo nos eixos  $O_x$  e  $O_z$  e que a força aplicada no veio estava no eixo  $O_y$  é 22072,5 N. A malha foi refinada na face em que está aplicada a carga no veio

com elementos de 25 mm. A malha para as restantes partes da estrutura como não são tão importantes para a simulação foram realizadas de forma automática como se pode visualizar na Figura 5.19.

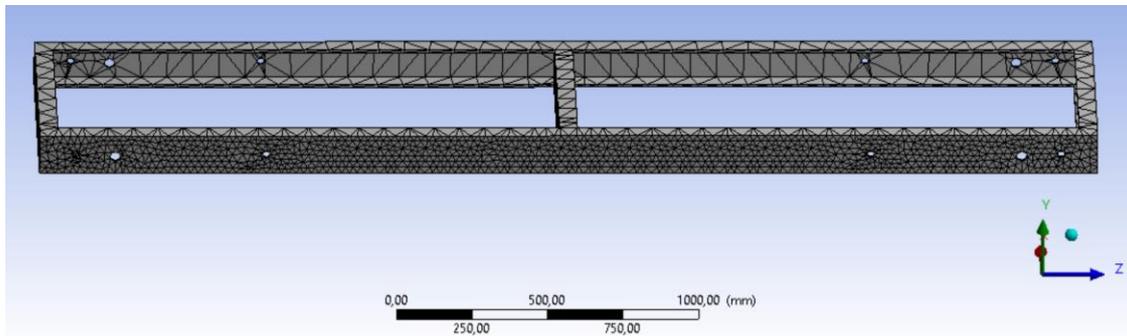


Figura 5.19 – Malha aplicada com *Face Sizing* com elementos de 25 mm

Com todas as condições bem estabelecidas, determinou-se os resultados da análise. O veio ficou praticamente fixo, sem qualquer tipo de movimento de flexão como demonstra a Figura 5.20.

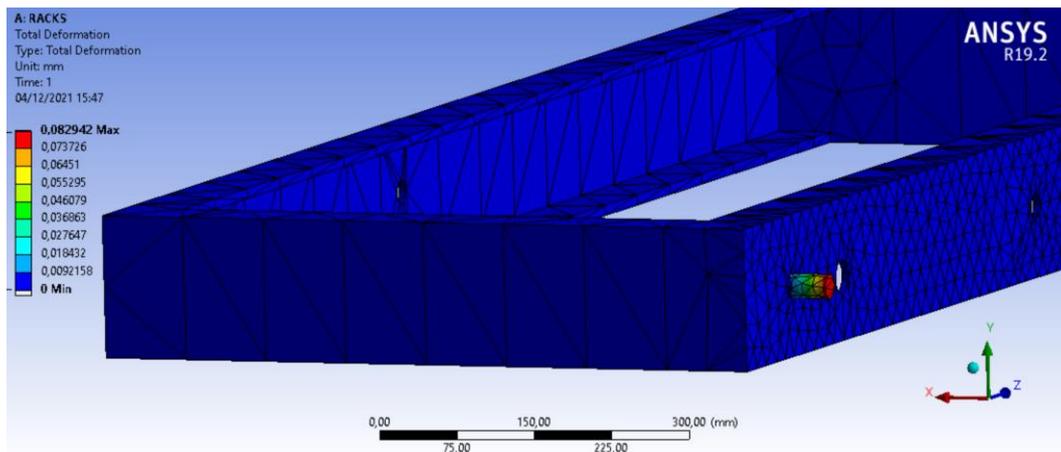


Figura 5.20 – Resultados da deformação total para a simulação dos *racks* de *armazenamento*

A tensão no veio roscado encontra-se abaixo dos limites da tensão de cedência do material. Na Figura 5.21 pode-se verificar o mencionado.

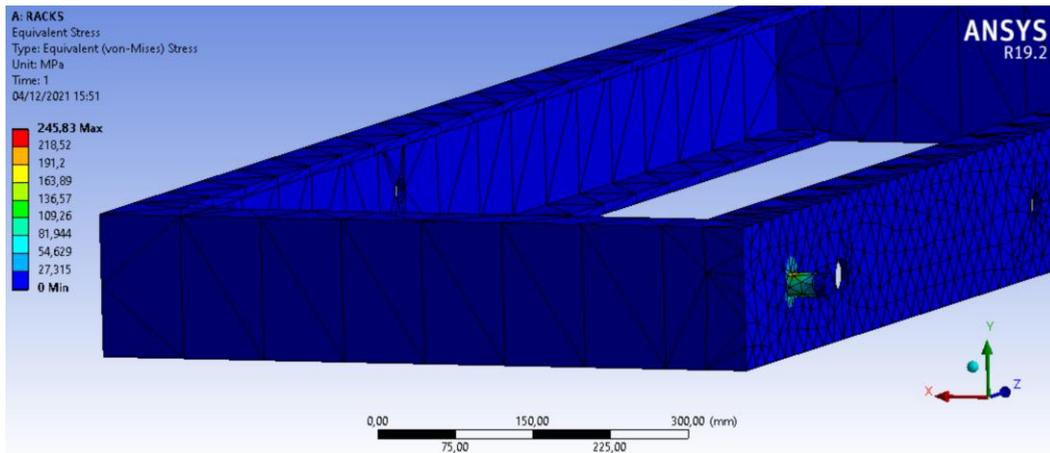


Figura 5.21 – Tensão limite de cedência do Aço S275 superior à tensão de cedência da simulação

Posto isto, através da simulação realizada é permitido concluir que as caixas de alinhamento para os *racks* de armazenamento não estão sujeitas a esforços e que a própria estrutura do acessório suporta a carga imposta.

#### 5.2.5.2. Simulação CAD/CAE - Cestos de Extrusão

Com um procedimento análogo à simulação anterior pretendeu-se verificar se para o caso dos cestos de extrusão os resultados seriam os mesmos. Ou seja, se a própria estrutura suporta as cargas impostas e o veio roscado não sofre um deslocamento relativamente grande à flexão e não ultrapassa a tensão de cedência do material. Com isso, colocou-se no *software* a geometria desejada, isto é, o acessório sem as caixas de alinhamento previstas. A Figura 5.22 permite visualizar a deformação total para esta simulação.

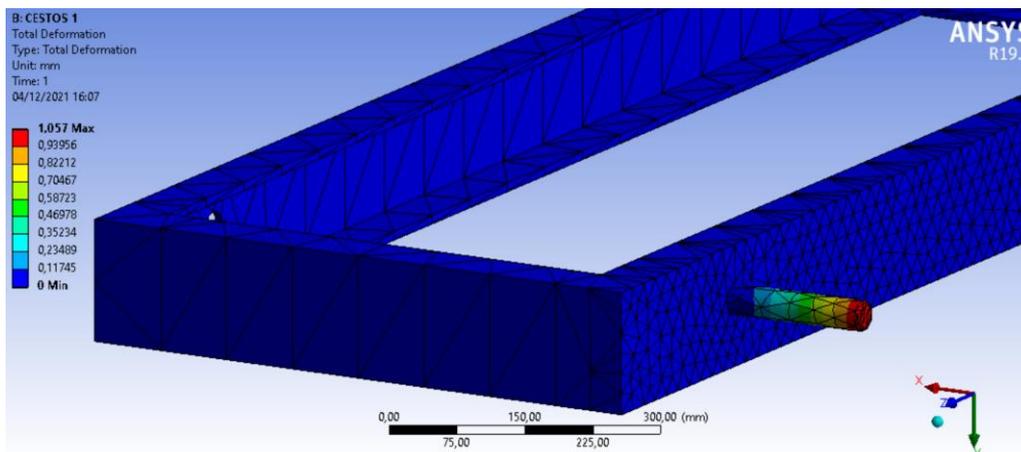


Figura 5.22 – Resultados da deformação total para a primeira simulação dos cestos de extrusão

No entanto, a Figura 5.23 mostra que a tensão no veio roscado é superior aos limites da tensão de cedência do material.

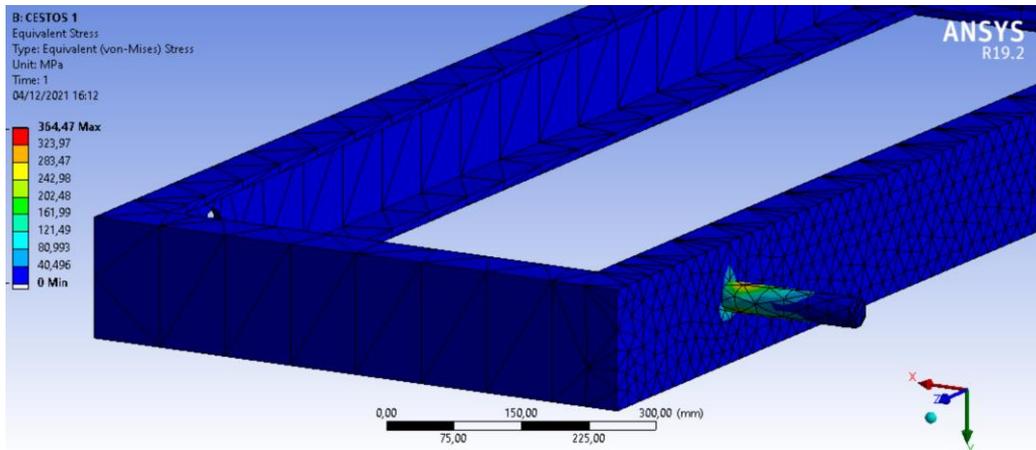


Figura 5.23 – Tensão limite de cedência do Aço S275 inferior à tensão de cedência da simulação

Com isso, o veio que suportará a carga não está totalmente seguro, e por isso, recorreu-se as caixas de alinhamento mencionadas em 5.1.3 para servir de mais um ponto de apoio ao veio.

Sendo assim, foi objetivo do dimensionamento das caixas de alinhamento (espessura) que se obtivesse uma tensão de cedência que multiplicada por um coeficiente de segurança de 1,5 não ultrapassasse a tensão limite de cedência do material. Na Figura 5.24 encontram-se os resultados da deformação para a simulação estipulada.

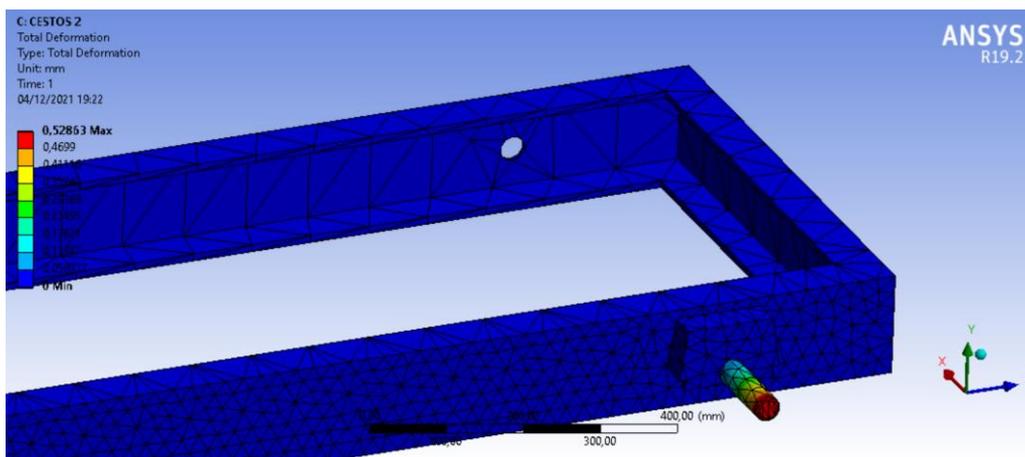


Figura 5.24 – Resultados da deformação total para a segunda simulação dos cestos de extrusão

Na Figura 5.25 é permitido visualizar que com uma caixa de alinhamento de 10 mm, a tensão limite de cedência do material é exatamente 1,5 vezes maior que a tensão de cedência.

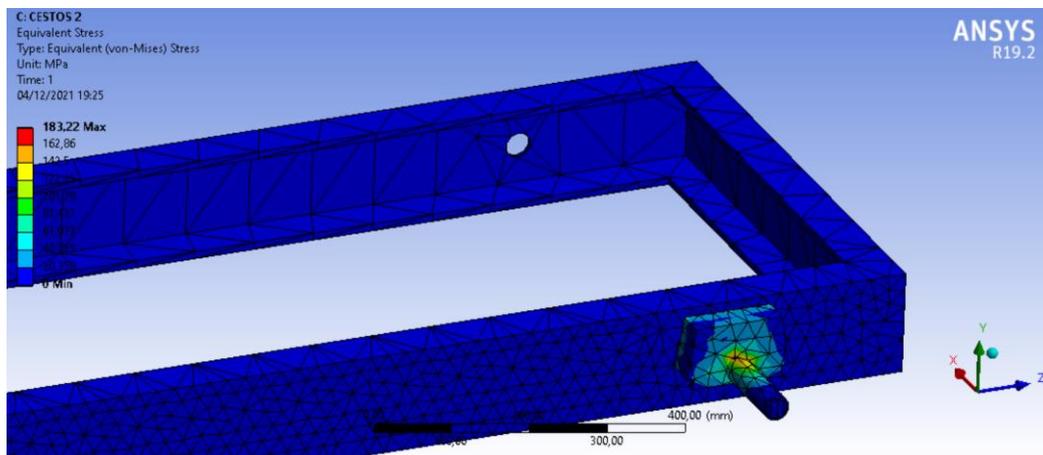


Figura 5.25 – Tensão limite de cedência do Aço S275 inferior à tensão de cedência da simulação multiplicada pelo coeficiente de segurança

Com isto, é possível concluir que a caixa de alinhamento mencionada em 5.1.3 é um elemento importante de segurança, uma vez que com a sua colocação, os esforços no veio roscado são menores e está menos sujeito à flexão. Permite também se argumentar que as caixas de alinhamento mencionadas em 5.1.4 não sofrem quaisquer esforços, servindo apenas de alinhamento entre os veios roscados e os ganchos que suportam a carga.

### 5.3 Análise de Custos

Neste subcapítulo é realizada uma análise de custos. Com esta estratégia, que é muitas vezes utilizada pelas empresas, pretende-se ter um maior conhecimento dos gastos de produção e de serviços necessários para um equipamento. Para além de que também permite realizar uma avaliação do inventário de matérias-primas e saber as horas de trabalho produtivas associadas a um determinado produto. Este parâmetro esteve sempre relacionado com o modelo de projeto adotado conforme o subcapítulo 2.4 e foi critério de avaliação de ambas as soluções desenvolvidas (subcapítulo 4.7). Na Tabela 7.1 encontra-se a análise consumada para o acessório elevatório automático.

Tabela 5.7 – Análise de custos para acessório elevatório automático

<b>Qtd.</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor total</b>
	<i>UPN</i> 140	288 €
	Chapa metalizada	275 €
	Tratamento e acabamento superficial (pinturas, metalizações, etc.), componentes <i>off-the-shelf</i> e mão de obra	805 €
	Constituintes de ligação à ponte (estropos de cabo de aço, olhais de elevação, manilhas)	300 €
	Elementos Pneumáticos	1975 €
	Compressor de ar silencioso 10 litros	150 €
	Serviço associado ao acionamento do conjunto (montagem, consola por radiofrequência, comando remoto, quadro elétrico, etc.)	1450 €
	<b>Total:</b>	<b>5243 €</b>

Após consulta da tabela de preços de uma empresa ligada à comercialização de estruturas metálicas mais concretamente de perfis *UPN* 140, observou-se que o preço a pagar é 1.4 €/kg. No entanto, teve-se em conta os custos de operação e considerou-se 2 €/kg.

Atendendo à ficha técnica deste tipo de perfis (ANEXO E) constatou-se que a massa específica é 16 kg/m. Com isso, calculou-se os metros utilizados para a estrutura do acessório elevatório automático e obteve-se que o valor final é 288 €.

Com um procedimento análogo, obteve-se que o preço a pagar de chapa metalizada é 275 €.

No que concerne ao tratamento superficial e acabamento do produto com tarefas como pinturas e metalizações, componentes *off-the-shelf* como as dobradiças mencionadas em 5.1.6 e os constituintes da fixação das caixas de alinhamento referidas em 5.1.7 e a mão de obra considerou-se um valor semelhante ao aferido na construção do acessório manual (700 €). No entanto, considerou-se mais 15% referentes à majoração do mercado.

Relativamente aos custos dos elementos de ligação à ponte, atentou-se a uma proposta existente na JOS Metal Lda. e de forma semelhante ao processo de majoração do mercado anterior, concluiu-se que o valor total para estes constituintes são de 300 €.

Quanto aos elementos pneumáticos necessários para a automatização do equipamento referentes no subcapítulo 6.2 e de acordo com o ANEXO M, a proposta que a *BIBUS Portugal Lda.* fez e depois de várias reuniões para averiguar quais os componentes é de 1985 €. Nesta proposta encontra-se orçamentado também o apoio de implementação. Contudo, para cotação do compressor não presente na proposta, e por isso, como ainda não selecionado considerou-se 150 €.

Por fim, apreciou-se ainda o serviço efetuado pelo parceiro Norcranes- Equipamentos, Lda. responsável pela montagem, consolas de radiofrequência, comando remoto, quadro elétrico, etc.) De acordo com o subcapítulo 6.3, o cliente é que se deve pronunciar sobre qual a solução que pretende (consola única ou consolas independentes). Contudo, os custos para ambas são bastantes diferentes. Uma vez que se optarmos por consolas independentes, o preço a pagar seria 800 € pelo comando, 450 € para o tambor desenrolador mencionado em 6.2.3 e 200 € para a montagem. Se o cliente optar por uma consola única, o preço da consola é superior (1400 €), visto que tem mais botões de pressão associados e o tambor desenrolador é cerca de 4 vezes mais caro, pois a alimentação necessária para o acessório precisa de passar pelo constituinte. Posto isto, considerou-se a proposta de duas consolas independentes no custo final, pois pela análise do preço e pelo facto de se tornar o acessório o mais autónomo possível parece indicar-se como a melhor solução possível.

## 6. PROJETO DE AUTOMATIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Após o estudo das mais diversas soluções para implementação do automatismo no acessório elevatório automático definiu-se no subcapítulo 4.7.2 que se optou por uma solução pneumática para cumprir as tarefas pretendidas. Com isto, para além de ser estritamente necessário que a utilização seja segura, simples e fácil para os operadores, existem algumas restrições impostas ao projeto (especificações técnicas). Por exemplo, como os cilindros estão dispostos “costas” com “costas”, é crucial que as dimensões de ambos juntamente com os veios roscados não ultrapassem os limites impostos pela estrutura. Da mesma forma, o acessório deve estar em cumprimento com a legislação em vigor e para isso é estritamente exigido que exista um bi-manual de segurança que compreenda o “recuo” dos pneumáticos. Além disso, a índole do problema passa por ter a informação de que os cilindros avançaram e não embateram em qualquer local com isso correndo o risco de não serem aplicados corretamente no gancho dos produtos a elevar (razão do acidente com acessório manual e pela qual se está a automatizar o acessório).

### 6.1 Diagrama de Funcionamento

Os esquemas de comando e acionamento caracterizam um circuito eletropneumático. Através da representação dos componentes pneumáticos com intervenção elétrica é permitido a idealização das diversas interações entre os elementos pneumáticos e elétricos. Dessa forma é possível se conseguir representar o funcionamento desejado e os movimentos que são exigidos.

Na Figura 6.1 encontra-se o circuito eletropneumático do funcionamento de cada cilindro dos *racks*. A situação dos cestos de extrusão é em tudo idêntica, mas para melhor compreensão definiu-se esta parte para depois se partir para o esquema global.

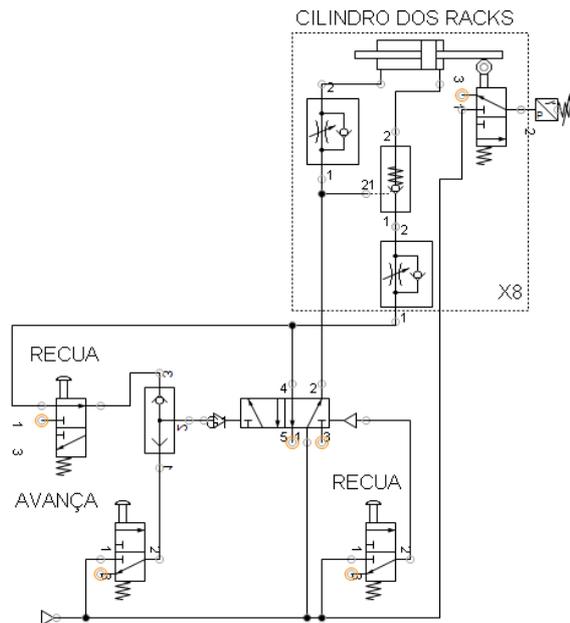


Figura 6.1 – Esquema do funcionamento dos cilindros dos *racks* de armazenamento

Numa primeira fase na posição de repouso do sistema, o ar está na válvula de gaveta na situação  $A^-$ , e, portanto, o cilindro encontra-se recuado ( $A^0$ ). Seguidamente, no momento em que se aciona a botão de pressão “AVANÇA”, a válvula comuta ( $A^+$ ) e o cilindro A avança ( $A^+$ ). Por ação mecânica, os cilindros são atuados e compreendem a previsão de fins de curso nos cilindros que enviam um sinal quando estiverem na posição correta para o sistema poder transportar a carga.

No que concerne ao recuo dos cilindros pneumáticos, previu-se a questão do bi-manual de segurança. Isto é, devido à segurança e normalização de equipamentos é estritamente necessário que existem dois botões para o recuo. Dessa forma, tem-se a certeza que é mesmo essa a ação que o operador deseja. Com isso, numa válvula pneumática quando se tem sinal de um lado e mesmo que se acione o botão de pressão “RECUA1”, o cilindro não recua pois ainda tem sinal do lado contrário (“RECUA2”). Assim, se é pretendido recuar os cilindros, não há outra forma de retirar o primeiro sinal e ao mesmo tempo pressionar o outro.

A questão de falta de ar comprimido foi também abrangida ao sistema quando os cilindros estão atuados e a pegar na carga pretendida. Isto é, se por alguma razão ocorrer uma falha na rede, os cilindros não recuam pois inclui-se uma válvula de antirretorno pilotada.

Na Figura 6.2 é representado o esquema de princípio com os botões de pressão de seleção de *racks*/cestos que alimentam as respectivas electroválvulas. Por questões de simplificação do esquema não estão representados todos os cilindros *racks*/cestos. Os cilindros serão ligados em paralelo (quando avança um avançam todos – *racks* ou cestos). Já os fins de curso serão ligados em série (apenas quando

todos os cilindros estiverem na posição avançada é que teremos um sinal de modo a permitir a elevação). Ainda se representam os pressostatos que têm funções no envio de sinal. Com estes elementos, para além de monitorizar a pressão do ar comprimido, a comutação dos seus contactos é possível. Ou seja, permitem controlar os equipamentos com as informações que envia.

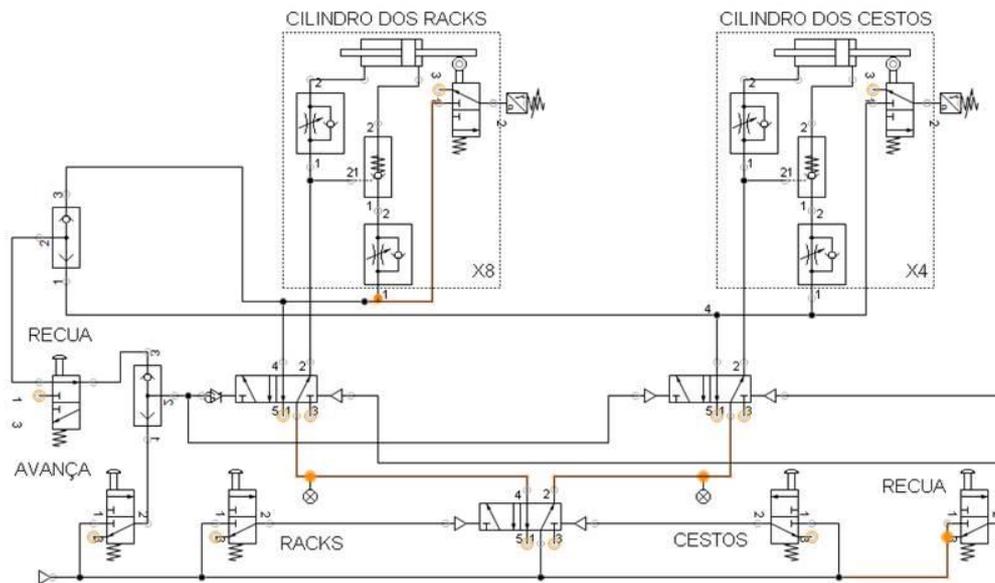


Figura 6.2 – Esquema do circuito com seleção de racks/cestos

## 6.2 Seleção e acomodação dos constituintes

Neste subcapítulo pretende-se descrever como se selecionou os elementos pneumáticos mais concretamente os cilindros pneumáticos e a disposição dos fins de curso utilizados para envio do sinal pneumático elétrico. Relativamente aos outros componentes utilizados no sistema encontram-se no ANEXO M.

### 6.2.1 Atuadores pneumáticos lineares

Em função das condições de atravancamento (largura do acessório) impostas pela disposição de dois cilindros (“fechados”) mais a colocação na rosca do último do veio dimensionado, a seleção dos cilindros pneumáticos tornou-se complicada e demorada. Pelo que, através das ferramentas CAD (software *SolidWorks*) se verificou vários atuadores e se configurou a possibilidade de alocá-los. Com isto, para que fosse possível o posicionamento dos cilindros lado a lado e não um mais a cima e outro mais abaixo (levaria a uma configuração diferente dos veios dimensionados), tentou-se diminuir os cursos para que

com isso os cilindros sejam o mais reduzidos possível. Para a resolução deste problema, colocou-se o fim do veio dimensionado em 5.2.4 na extremidade da caixa mencionada em 5.1.3. Assim, também se garante um maior guiamento dos veios. De notar que este problema apenas se sucede para os atuadores que realizam a tarefa pretendida para os cestos de extrusão.

Através da premissa anterior, definiu-se que os atuadores teriam de ser do tipo compactos. Este tipo de cilindros ganha destaque em função do seu curso curto pois podem se acomodar facilmente em espaços apertados onde cilindros tradicionais não se dão. Neste contexto, convém referir que em nada perde a sua eficiência. Optou-se também que os atuadores pneumáticos para os *racks* de armazenamento fossem do tipo compacto. Diante disso, no ANEXO N encontra-se o desenho técnico de ambos os cilindros selecionados.

### 6.2.2 Fins de Curso

Na alocação dos fins de curso previu-se a necessidade de uma ação mecânica dos veios dimensionados no subcapítulo 5.1.6 para o envio de um sinal quando estes estiverem na posição correta para o sistema poder pegar. Com isso, projetou-se os veios com uma saliência considerável para que embata no fim de curso quando exatamente no seu fim, este estiver na extremidade da caixa (posição correta para auxiliar o transporte). Deste modo, os fins de curso estão protegidos de danos pela estrutura e realizam a função pretendida. Foi também projetada uma caixa para alocar os elementos pneumáticos para proteção e fixação à estrutura. Encontra-se no ANEXO O. Informação importante deste constituinte.

Estes elementos estarão ligados a uma ficha M12 de 4 pinos que por sua vez estarão conectados ao quadro elétrico através de duas electroválvulas (uma para cada sistema). Dessa forma, apenas se necessita de verificar se as fichas estão ligadas aos fins de curso. Se porventura existir um problema, ou seja, se se despartar um, o sistema não funciona porque se houver remoção da ficha o sinal não existe e o sistema não está pronto para transportar carga.

### 6.2.3 Compressor de ar

Na acomodação do compressor de ar, inicialmente pensou-se em colocar um em cada ponte eletrificada móvel. Como é estritamente necessário a utilização de uma ponte para o acessório desempenhar funções poderia fazer sentido. Assim, necessitava-se de um componente para ligação do ar comprimido com cabos com um comprimento considerável, uma vez que o acessório pode-se elevar a mais de dez metros de altura. O componente que faz a ligação do ar comprimido chama-se, vulgarmente “tambor

desenrolador”. Este é colocado na ponte e conforme o gancho desce acompanha a linha elétrica. No movimento ascendente, o “tambor” sobe juntamente com o gancho. Dessa forma, o cabo não fica pendurado.

Segundo [23], antes de se instalar-se um compressor, devem-se considerar diversos fatores. Os gastos extras e inconveniências consideráveis podem ser evitados planejando-se cuidadosamente a localização e instalação do compressor.

Desta forma, analisando os custos associados à compra de um compressor para cada ponte eletrificada móvel e também por uma questão de tornar o acessório o mais autônomo possível, pretendeu-se alocar o compressor no próprio acessório, pois a alimentação é muito mais simples e assim este é colocado numa área de fácil acesso [23].

### **6.3 Interface Homem-Máquina**

Os interfaces Homem-Máquina são todos os dispositivos que realizam a comunicação entre o operador e o equipamento, podendo ser botoneiras, consolas táteis, teclados, entre outros. A interface na consola foi criada com o objetivo de ser *user-friendly*, e neste caso concreto permite selecionar o que se pretende auxiliar. Através da radiofrequência, primeiramente, escolhe-se o produto a transportar (*racks* ou cestos). Seguidamente, ao premir o botão “AVANÇA”, os cilindros pneumáticos são atuados e o acessório pode auxiliar o transporte de carga. A mesma consola possui também dois botões que permitem o recuo dos cilindros pneumáticos. Por razões intrinsecamente necessárias à segurança de máquinas, previu-se a colocação de dois bi-manuais com um tempo entre ativação dos dois botões nunca superior a 0,5 segundos.

Relativamente à acomodação dos botões do acessório elevatório automático existem duas possibilidades para resolver a situação imposta. A primeira engloba que apenas exista um comando para todo o sistema. Isto é, adaptar a consola da ponte eletrificada móvel e colocar na mesma ou numa nova consola os botões que o acessório necessita. Na segunda, os comandos são totalmente independentes e não há qualquer alteração na consola da ponte eletrificada móvel. Por meio de ligação física, juntavam-se as duas consolas. Há vantagens em adotar uma ou outra solução, no entanto as desvantagens de ambas são também muito comuns. Por exemplo, se se adotar uma consola única não sabemos qual a consola que o cliente tem, o que poderá levar a alguns conflitos no manuseamento da mesma e até fisicamente ser impossível o modelo da consola da ponte eletrificada móvel conseguir acoplar mais botões. Para além disso, o cliente poderá não querer que se altere a consola, pois pode perder a garantia. A

preferência por comandos independentes considera que os modelos das consolas são projetos à medida para cada sistema e que cada acessório elevatório automático ao ser comercializado seja com um comando autónomo e não estar dependente de adaptar ou até mesmo comprar uma consola para um equipamento que já tem. No entanto, se se adotar duas consolas independentes, o operador poderá correr o risco de se enganar na seleção de cada um dos comandos. Eventualmente ainda se pensou em se adquirir uma nova carcaça de comando e se fazer uma adaptação, como se fosse uma consola vazia e acrescentar os botões do acessório. Ou seja, dava-se a migração de uma consola para outra e o cliente, por fim, estava a pagar uma nova carcaça com um trabalho de adaptação. Contudo, depois do contacto com o fornecedor, a ideia não pode ser realizada, uma vez que a migração dos *chips* entre consolas não é possível.

Com isto, conclui-se que cada cliente é que tem de se pronunciar sobre qual a solução que adotará dependente das suas condições. A empresa fabricante do acessório tem em consideração que o acessório deverá funcionar em conjunto, ou seja, o cliente deverá apenas necessitar de carregar nos botões (sistema completo) e não andar dependente de vários fornecedores.

## **7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS**

Neste capítulo são apresentadas as conclusões que se retiram do trabalho realizado no âmbito da dissertação de mestrado. São ainda abordados trabalhos futuros que em muito podem contribuir para que o equipamento esteja presente na indústria e com isso aumente a segurança dos operadores que realizam tarefas de levantamento de carga.

### **7.1 Conclusões**

Na procura de mitigar o problema encontrado e na procura de um equipamento que em muito contribuirá para a sociedade seguiu-se a metodologia do projeto apresentada que fornece um guia bastante abrangente, mas não limite a personificação por quem o pretenda aplicar. Pois, nenhuma metodologia de projeto deve ser tida como universal, mas cada processo do projeto deve estar bem definido, de modo a que não existam ambiguidades na sua interpretação. A metodologia do projeto de nada vale se não existir também um vasto de domínio de conhecimentos relativos ao projeto para a manufatura e montagem que imperativamente devem estar devidamente estudados. Estes conhecimentos permitem à equipa de projeto optar por soluções mais eficazes e eficientes no que teca à seleção de componentes e à sua geometria. Deve-se também ter em conhecimento a Diretiva Máquinas, sendo o conhecimento desta matéria imprescindível. Os conteúdos presentes na Diretiva pretender confiar à equipa de projeto um conjunto de ferramentas que permite identificar e avaliar todas as áreas de perigo à máquina e com base nessa avaliação tomar um conjunto de providências para eliminar ou reduzir o risco.

O projeto de um equipamento com aplicação das temáticas abordadas revelou-se um desafio aliciente. Através do cálculo estrutural validou-se a segurança do produto e com ele fez-se o dimensionamento da estrutura que o sustenta e dos componentes projetados. Auxiliando-se por cálculos específicos e criteriosos é possível definir quais as condições de atravancamento mais adequadas para o projeto. O desenvolvimento do projeto de automação para realizar o auxílio no transporte de carga foi um grande desafio. Contudo, os resultados demonstram que o sistema pneumático apresenta bastante segurança e fiabilidade ao equipamento.

## **7.2 Trabalhos Futuros**

De forma a analisar o resultado final da dissertação, pode-se concluir que existem pontos que devem ser realizados para que o equipamento possa contribuir para a segurança dos operadores no chão de fábrica das empresas ligadas à indústria metalomecânica. Constatando-se um grande desejo para todas as partes, deverá ser selecionado e cotado um compressor de ar que servirá de rede de alimentação para os atuadores pneumáticos. Requer-se também que o cliente se pronuncie sobre qual a solução que deseja para a interface homem-máquina para que dessa forma se proceda à primeira montagem do protótipo final. Com isso, deverá se acompanhar o processo de fabrico de todos os componentes do acessório e participar nos possíveis erros de colocação.

Em todo o caso, necessita-se de conduzir o processo já iniciado de certificação com o Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica. No ANEXO P é permitido analisar elementos de apoio à apreciação de riscos em máquinas segundo a NP EN ISSO 121100:2010 – Segurança de Máquinas. Concluindo o projeto, é da responsabilidade do autor a ação de apresentação de um processo de registo de patente. Juntamente com a TecMinho já se iniciou o encandeamento de etapas.

## REFERÊNCIAS

- [1] V.-F. P. und Mechatronik, “VDI 2206 “Design methodology for mechatronic systems”,” tech. rep., German work association, 2004
- [2] N. Cross, Engineering Design Methods: Strategies for Product Design. John Wiley e Sons Ltd, 2008
- [3] G. Pahl and W. Beitz, Engineering Design. Springer, 2008
- [4] G. E. Dieter and L. C. Schmidt, Engineering Design. McGraw-Hill International Edition, 2011
- [5] E. A. R Seabra, Introdução aos Sistemas Automatizados de Produção (SAPs), Universidade do Minho (publicação interna, 2008)
- [6] J. Norberto Pires, Automação Industrial, Edições Técnicas e Profissionais, 2012
- [7] J.R. Caldas Pinto. Técnicas de Automação, Edições Técnicas e Profissionais, 2010
- [8] Adriano M. Almeida Santos, António J. S. Ferreira da Silva, Automação Pneumática, Publindústria, 2014
- [9] J. Novais, Ar Comprimido Industrial, Fundação Calouste Gulbenkian, 2014
- [10] J. S. Ferreira da Silva, Ar Comprimido e Óleo-Hidráulicos – Aplicações Gerais, 1985
- [11] E. A. R Seabra, Implementação de Circuitos de Comando e Potência de Sistemas Pneumáticos e Oleohidráulicos, Universidade do Minho (publicação interna, 2008)
- [12] Tecnologia Electropneumática Industrial, Parker Training, 2001
- [13] Diretiva 2006/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de maio
- [14] Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT), A Segurança de Máquinas e Equipamentos de Trabalho na Ótica de Prevenção
- [15] M. da Economia e da Inovação , “Decreto-Lei n.º 103/2008 de 24 de Junho,” tech. rep., Ministério da Economia e da Inovação, Junho 2008.
- [16] Mário Lima, Segurança e Equipamentos de Máquinas, Universidade do Minho (publicação interna, 2014)
- [17] Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT), Segurança de Máquinas e Equipamentos de Trabalho, Junho 2020
- [18] Guia de Elevação, Gunnebo Industries, Edição 6
- [19] João Oliveira Soares, Projeto e Automatização de Pontes Rolantes, Universidade do Minho, 2011
- [20] Icus, Drylin linear motion technology catalog, 2021

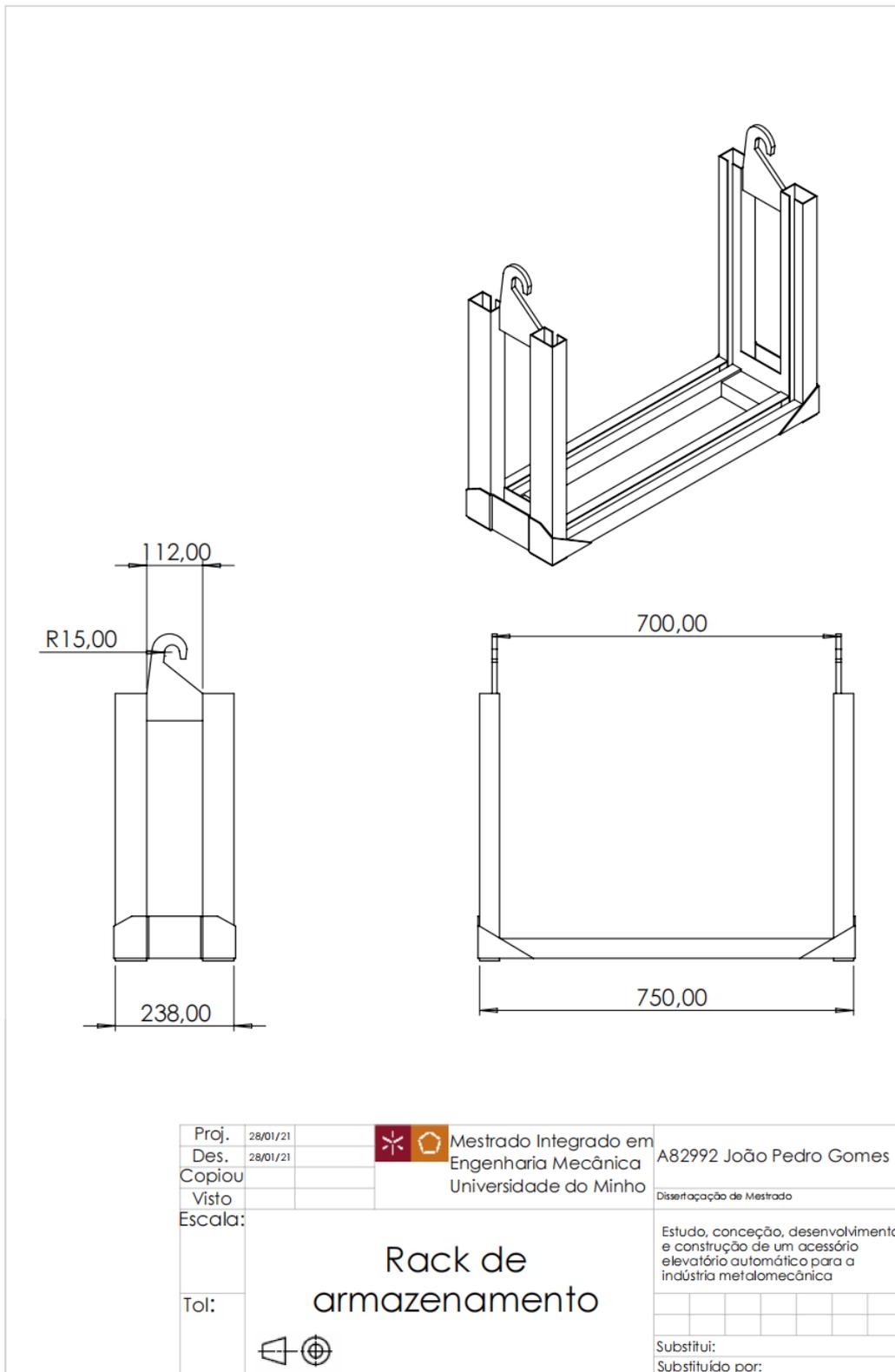
[21] Festo PT, Electric cylinder units EPCE, 2021

[22] J. Gomes, N. Dourado, Sebenta de Apoio de Órgãos de Máquinas I, 2018

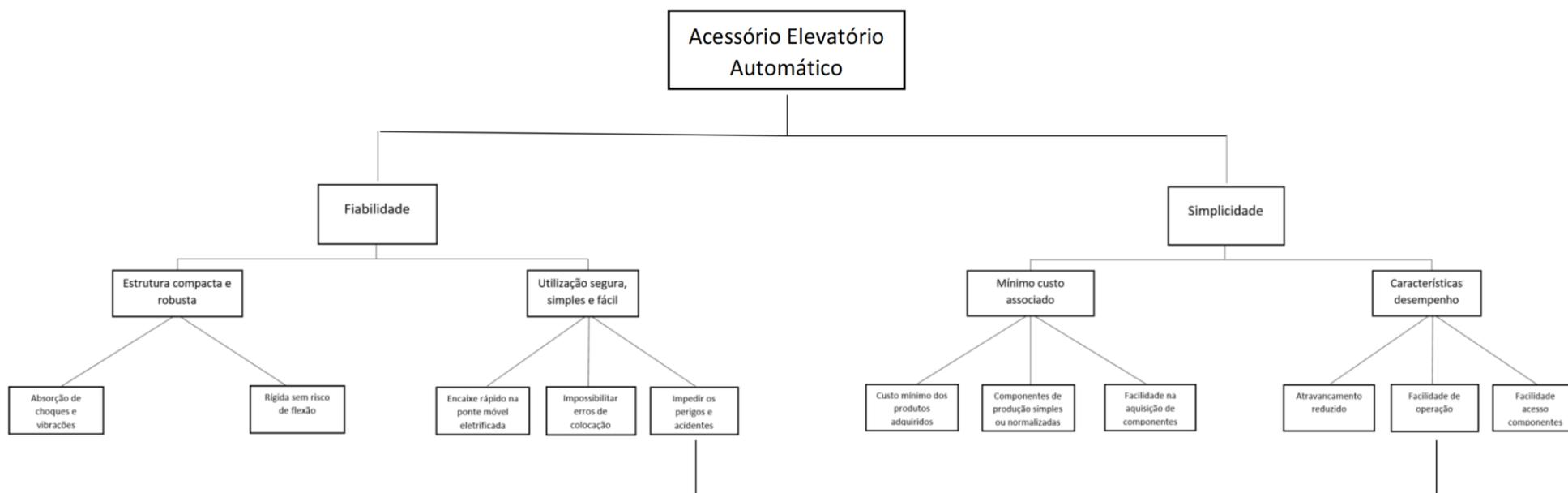
[23] Harry L. Stewart, Pneumática e Hidráulica, Hemus, 1981



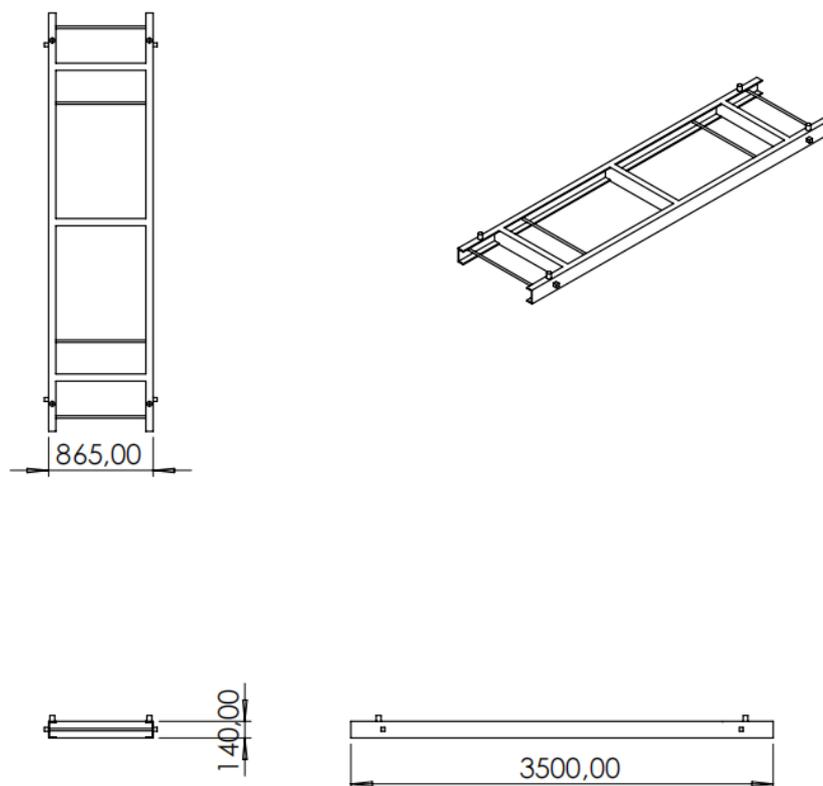
## ANEXO B – DESENHO TÉCNICO DOS *RACKS* DE ARMAZENAMENTO



## ANEXO C – ÁRVORE DE OBJETIVOS DO EQUIPAMENTO

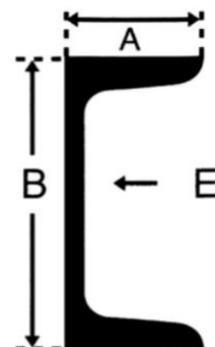


## ANEXO D – DESENHO TÉCNICO ACESSÓRIO MANUAL



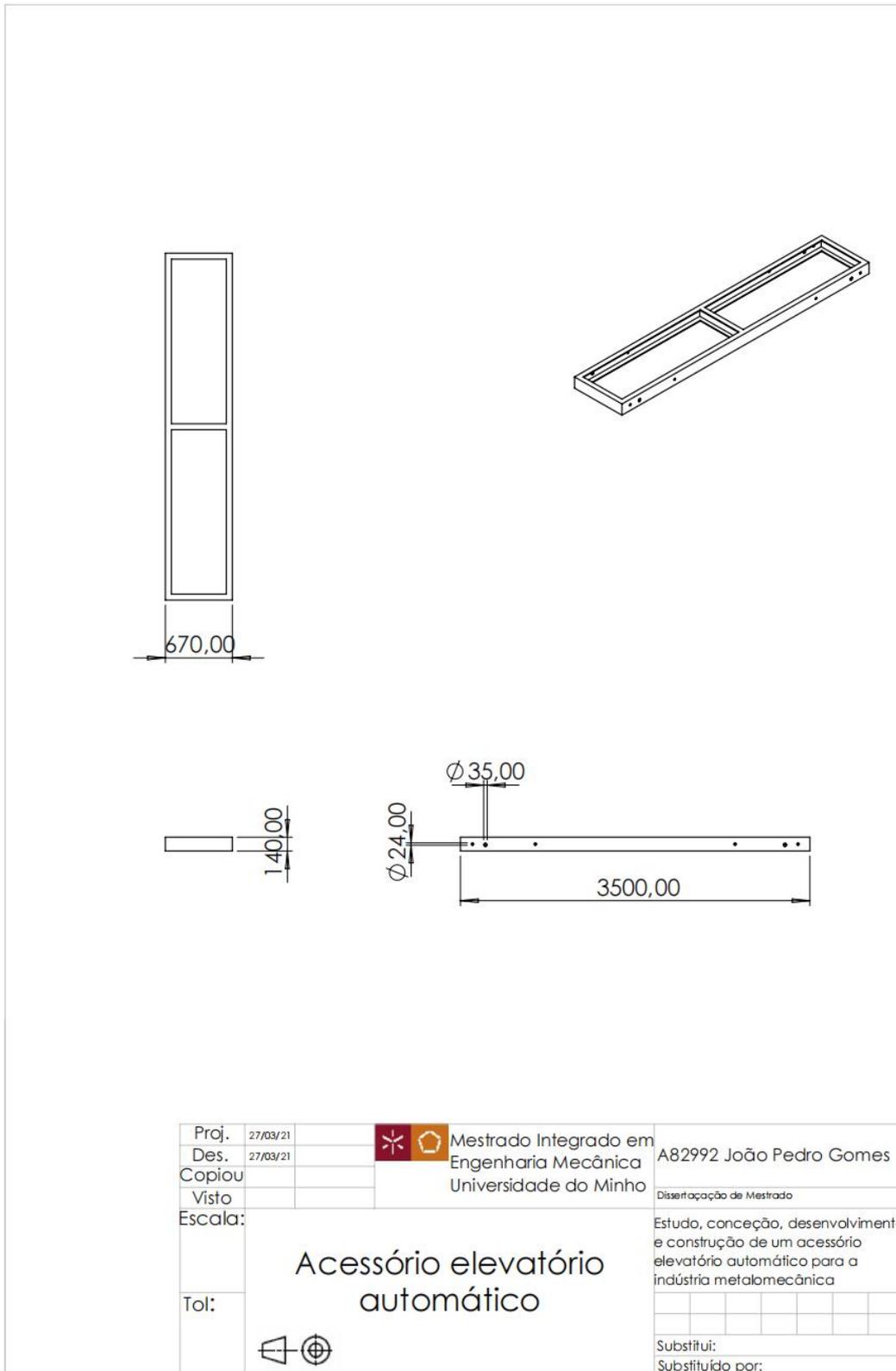
Proj.	28/01/21	 Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica Universidade do Minho	A82992 João Pedro Gomes
Des.	28/01/21		Dissertação de Mestrado
Copiou			
Visto			
Escala:	<h1>Acessório manual</h1>		Estudo, conceção, desenvolvimento e construção de um acessório elevatório automático para a indústria metalomecânica
Tol:			
			Substitui:
			Substituído por:

## ANEXO E – DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS DO PERFIL *UPN*140

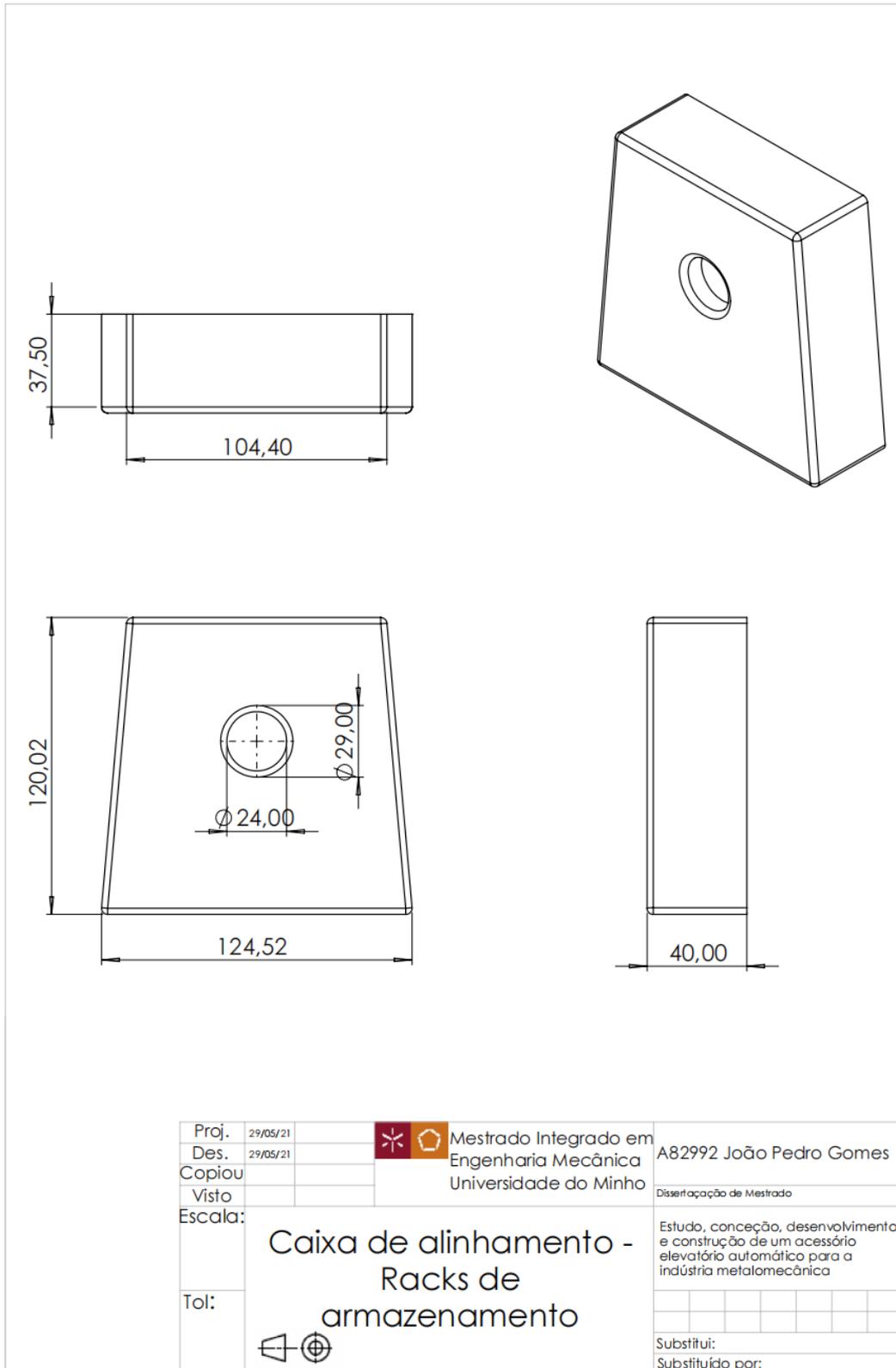


Alma (B) (mm)	Banzo (A) (mm)	Espessura (E) (mm)	Massa Específica (kg/m)
80	45	6	8,640
100	50	6	10,600
120	55	7	13,400
140	60	7	16,000
160	65	7,5	18,800
180	70	8	22,000
200	75	8,5	25,300
220	80	9	29,400
240	85	9,5	33,200
260	90	10	37,900
280	95	10	41,800
300	100	10	46,200
320	100	14	59,500
350	102	14	60,800
400	110	14	71,800

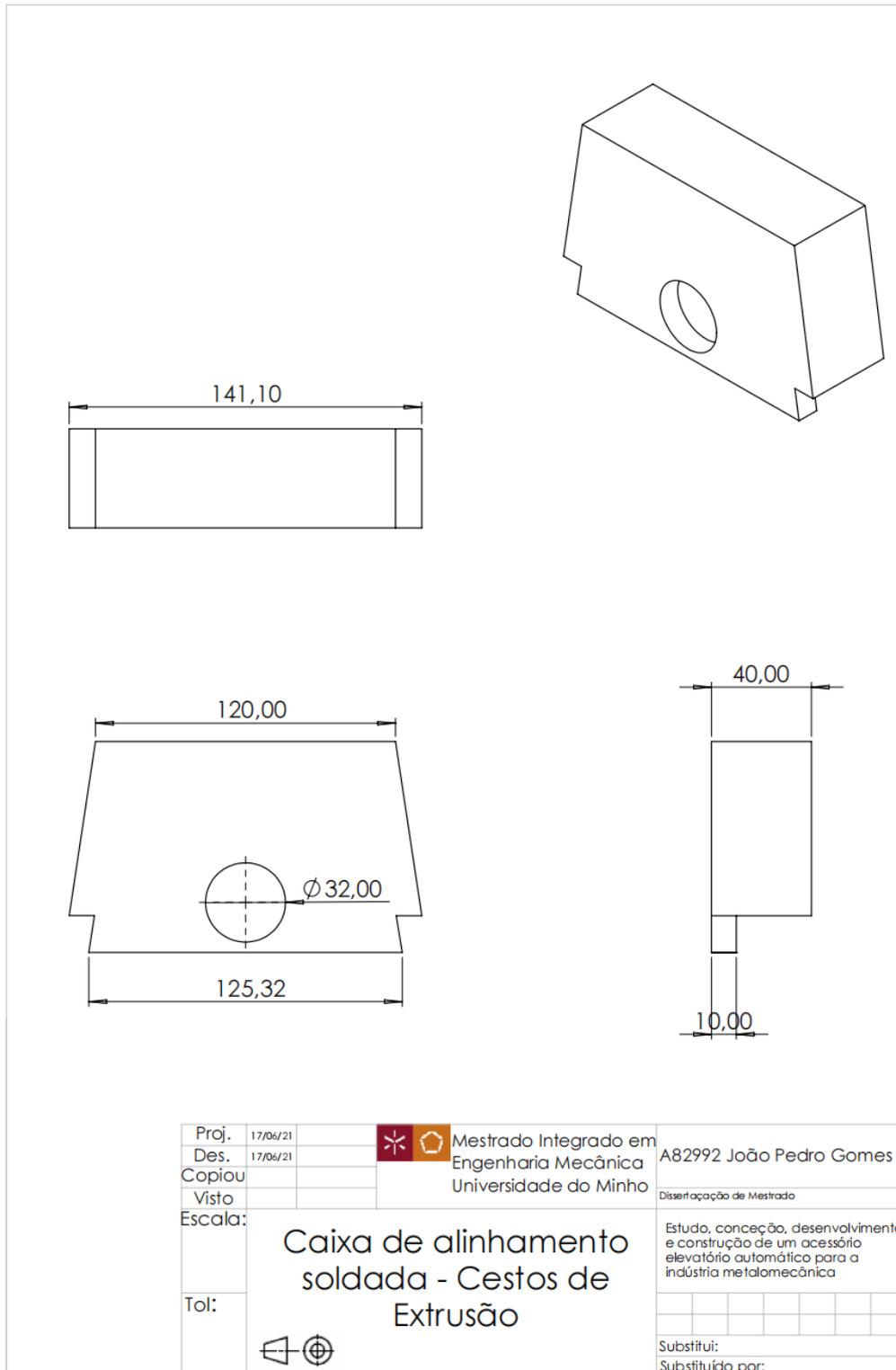
# ANEXO F – DESENHO TÉCNICO DA ESTRUTURA EM PERFIL *UPN* DO ACESSÓRIO ELEVATÓRIO AUTOMÁTICO



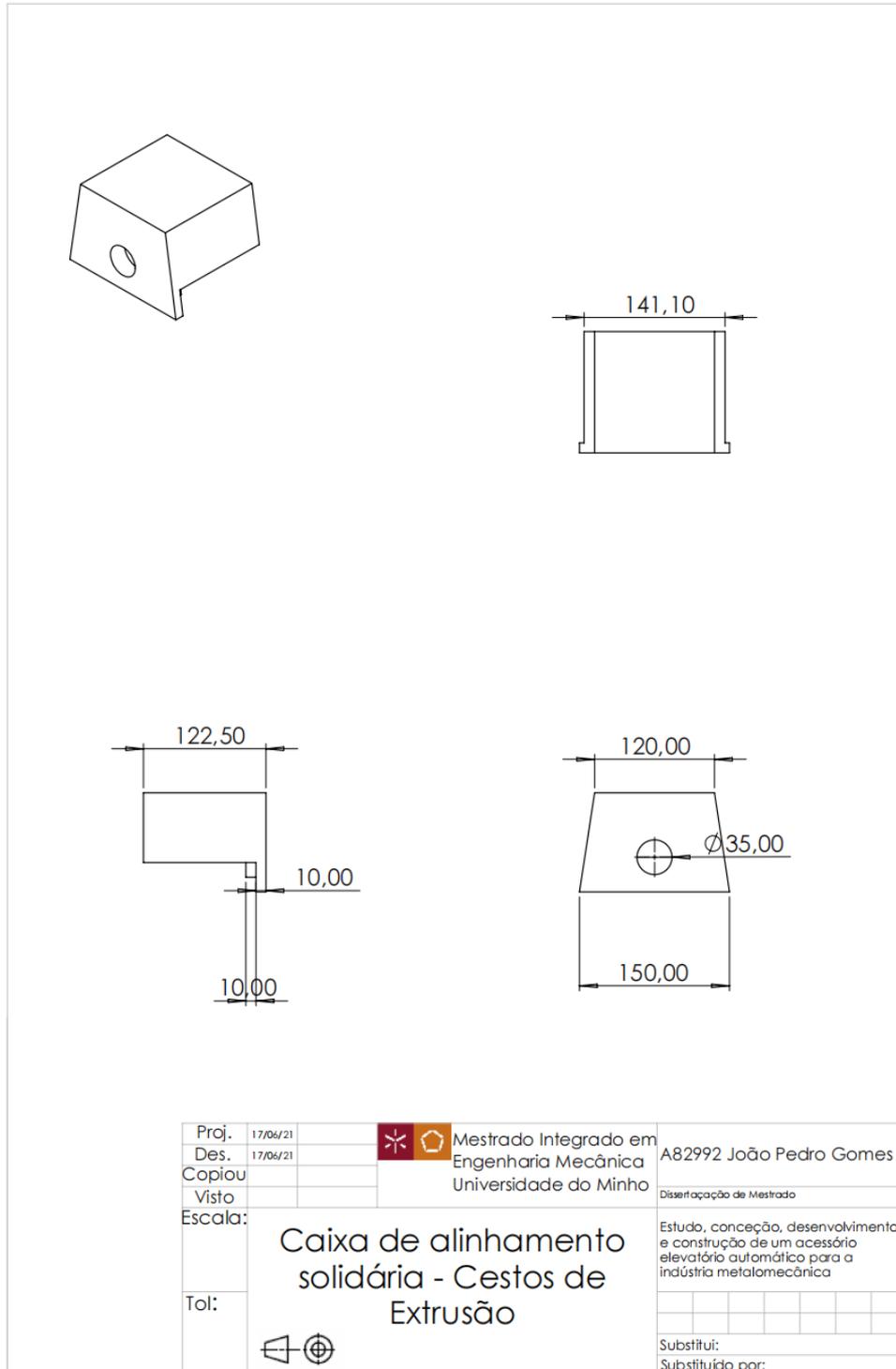
# ANEXO G – DESENHO TÉCNICO DAS CAIXAS DE ALINHAMENTO – RACKS DE ARMAZENAMENTO



# ANEXO H – DESENHO TÉCNICO DAS CAIXAS DE ALINHAMENTO SOLDADA À ESTRUTURA – CESTOS DE EXTRUSÃO

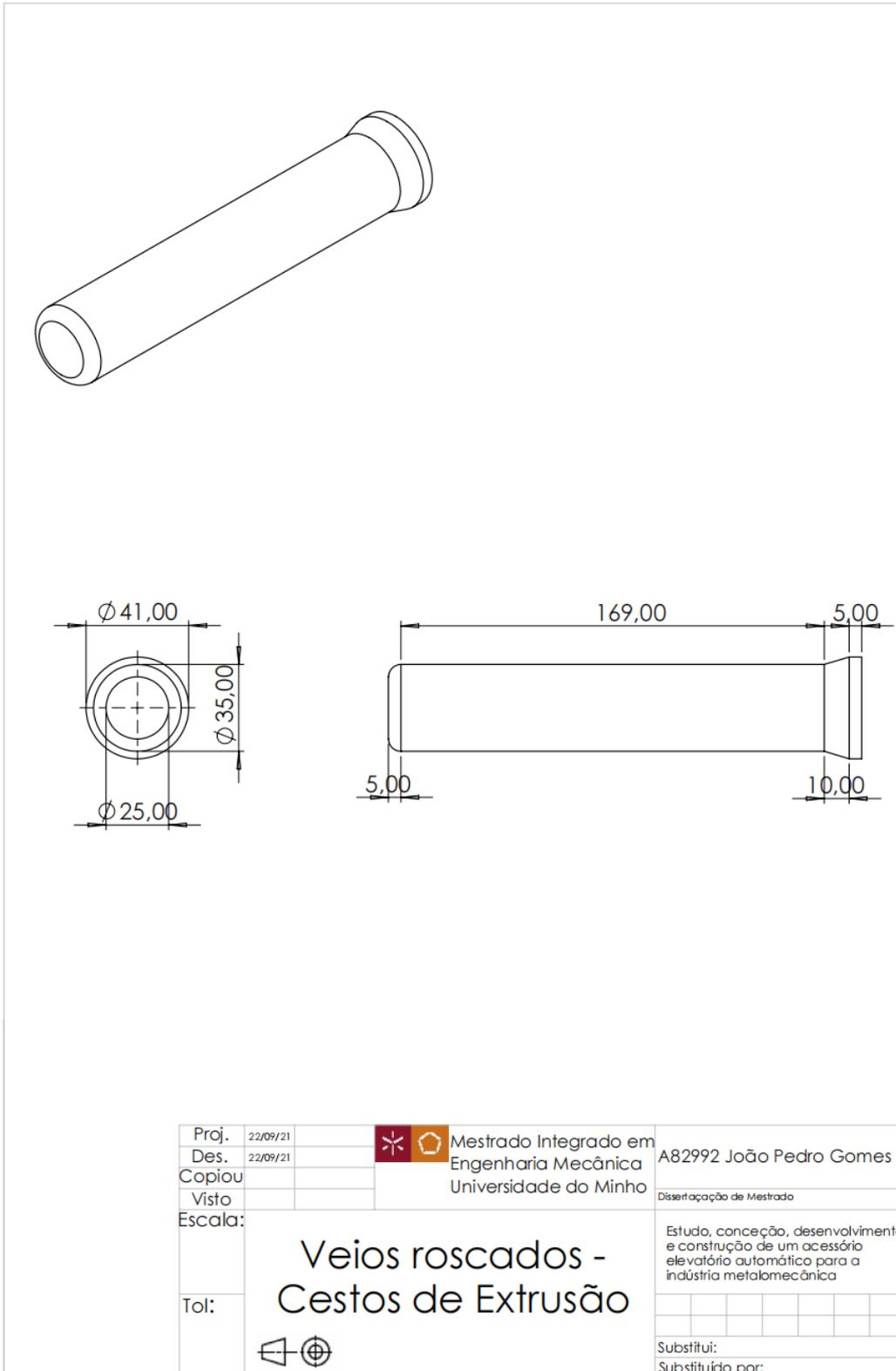


# ANEXO I – DESENHO TÉCNICO DAS CAIXAS DE ALINHAMENTO SOLIDÁRIA COM DOBRADIÇA FLEXÍVEL – CESTO DE EXTRUSÃO



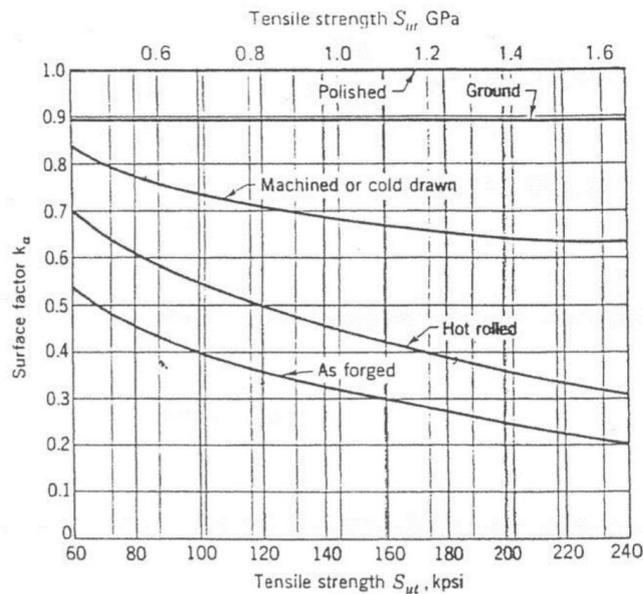


# ANEXO K – DESENHO TÉCNICO DOS VEIOS ROSCADOS PARA SUPPORTE DE CARGA – CESTOS DE EXTRUSÃO



## ANEXO L – DETERMINAÇÃO DOS FATORES NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO DA TENSÃO LIMITE DE FADIGA CORRIGIDA DO MATERIAL

- $k_a$  - fator de superfície (acabamento superficial)



- $k_b$  - fator de tamanho

$$k_b = \begin{cases} 1,00 & d \leq 7,6 \text{ mm (0,3 in)} \\ 0,85 & 7,6 \leq d \leq 50 \text{ mm (2,0 in)} \\ 0,75 & d > 50 \text{ mm} \end{cases}$$

- $k_c$  - fator de fiabilidade

Fiabilidade, %	Variável normalizada	Fator de fiabilidade
50	0	1,000
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,620

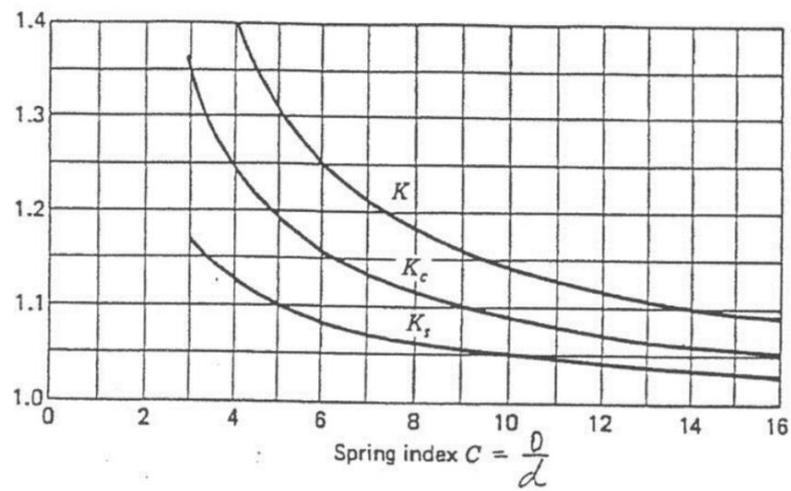
- $k_d$  - fator de temperatura

Para os aços usa-se:

$$\text{se } T > 160^\circ\text{F} \rightarrow k_d = \frac{620}{460 + T}$$

$$\text{se } T \leq 160^\circ\text{F} \rightarrow k_d = 1$$

- $k_e$  - fator modificado de concentração de tensões



# ANEXO M – PROPOSTA DA **BIBUS PORTUGAL LDA.**



N.º Contribuinte 508 252 792  
Banco Santander Totta S.A  
BIC/SWIFT: TOTAPTPL  
IBAN:  
PT50 0018 217301024545020 53

Tel. + 351 22 906 50 50/4  
Tlm. + 351 96 50 100 41  
Fax + 351 22 906 50 53  
E-mail: info@bibus.pt  
Internet: www.bibus.pt

**BIBUS Portugal, Lda**  
Centro Empresarial AAA  
Rua Ponte da Pedra, 240 - C4  
4470-108 Gueifães - Maia  
Porto - Portugal  
GPS: N41.20735° W8.61235°

Cliente N.º 2775  
**JOS - METAL, LDA**

A/C Sr. JOÃO PEDRO GOMES  
RUA CARDOSAS LOTE A 1  
BRAGA  
4700-837 SÃO PAIO MERELIM

PROPOSTA CL : 2788

DATA: 12.11.2021

S/ CONSULTA: Pessoal

ENVIO: a82992@alunos.uminho.pt

Exmo.(a) Sr.(a):

De acordo com a sua consulta, que agradecemos, proponho:

## MATERIAL PARA COMANDO DE ACESSÓRIO DE ELEVAÇÃO P/ RACKS E CESTOS EM PONTES ROLANTES - 12 NOVEMBRO

Pos.	Qtd.	Descrição	Referência	P.U.	Desc.	Total
		ELEMENTOS DE TRABALHO E REGULAÇÃO				
		- Cilindros dos racks				
1	8	CILINDRO COMPACTO ROSCA MACHO D-32 C-45		41,63		333,06
1	16	REGUL. DEBITO AO ESCAPE TUBO 6 1/8G PARAFUSO INT	NSH 06G01-O	2,98		47,68
2	8	VÁLVULA ANTI-RETORNO PILOT. 1/8 UNIDIRECCIONAL	INVLQ0606-U	14,59		116,72
3	8	RACORD CURVO TUBO 6 ROSCA M5	PL 06M5	0,92		7,36
4	8	RACORD TÊ TUBO 6	PUT 06	1,01		8,08
		- Cilindros dos cestos				
	4	CILINDRO COMPACTO ROSCA MACHO D-32 C-130		51,48		205,92
5	8	REGUL. DEBITO AO ESCAPE TUBO 6 1/8G PARAFUSO INT	NSH 06G01-O	2,98		23,84
6	4	VÁLVULA ANTI-RETORNO PILOT. 1/8 UNIDIRECCIONAL	INVLQ0606-U	14,59		58,36
7	4	RACORD CURVO TUBO 6 ROSCA M5	PL 06M5	0,92		3,68
8	4	RACORD TÊ TUBO 6	PUT 06	1,01		4,04

**A TRANSPORTAR**

**808,74**



N.º Contribuinte 508 252 792  
Banco Santander Totta S.A  
BIC/SWIFT: TOTAPTPL  
IBAN:  
PT50 0018 217301024545020 53

Tel. + 351 22 906 50 50/4  
Tlm. + 351 96 50 100 41  
Fax + 351 22 906 50 53  
E-mail: info@bibus.pt  
Internet: www.bibus.pt

**BIBUS Portugal, Lda**  
Centro Empresarial AAA  
Rua Ponte da Pedra, 240 - C4  
4470-108 Gueifães - Maia  
Porto - Portugal  
GPS: N41.20735° W8.61235°

**Cliente N.º** 2775  
**JOS - METAL, LDA**

A/C Sr. JOÃO PEDRO GOMES  
RUA CARDOSAS LOTE A 1  
BRAGA  
4700-837 SÃO PAIO MERELIM

**PROPOSTA CL : 2788**

**DATA: 12.11.2021**

**S/ CONSULTA: Pessoal**

**ENVIO: a82992@alunos.uminho.pt**

Exmo.(a) Sr.(a):

De acordo com a sua consulta, que agradecemos, proponho:

**MATERIAL PARA COMANDO DE ACESSÓRIO DE ELEVAÇÃO P/  
RACKS E CESTOS EM PONTES ROLANTES - 12 NOVEMBRO**

Pos.	Qty.	Descrição	Referência	P.U.	Desc.	Total
		ELEMENTOS DE POTÊNCIA - Eletroválvulas				
9	2	ELECTROV. 5/2, BI 1/4G"	MH 520 701 G	63,76		127,52
10	4	BOBINE P/ ELECTROV. MH/MOH 48 VAC	MA 22 48AC	3,22		12,88
11	4	CONECTOR P/ BOB. MA22 C/ VARISTOR E LED	ST 222 V230	4,74		18,96
12	10	RACORD RECTO TUBO 6 1/4G	PC 06G02	0,77		7,70
13	24	RACORD TÊ TUBO 6	PUT 06	1,01		24,24
14	1	RACORD PASSAMUROS TUBO 6 ROSCA 1/4G	PMF 06G02	1,98		1,98
15	1	SILENCIADOR METÁLICO PLANO 1/4G	SM 02	1,98		1,98
		- Outro material pneumático				
16	5	RACORD PASSAMUROS TUBO 6	PMM 06	2,28		11,40
		ELEMENTOS DE SINAL - Fins de curso modulares c/ cabeça tipo OFB: de roldana, fixa por rosca M12 (melhor para afinar!!!)				
<b>A TRANSPORTAR</b>						<b>1 015,40</b>



N.º Contribuinte 508 252 792  
Banco Santander Totta S.A  
BIC/SWIFT: TOTAPTPL  
IBAN:  
PT50 0018 217301024545020 53

Tel. + 351 22 906 50 50/4  
Tlm. + 351 96 50 100 41  
Fax + 351 22 906 50 53  
E-mail: info@bibus.pt  
Internet: www.bibus.pt

**BIBUS Portugal, Lda**  
Centro Empresarial AAA  
Rua Ponte da Pedra, 240 - C4  
4470-108 Gueifães - Maia  
Porto - Portugal  
GPS: N41.20735° W8.61235°

**Cliente N.º** 2775  
**JOS - METAL, LDA**

A/C Sr. JOÃO PEDRO GOMES  
RUA CARDOSAS LOTE A 1  
BRAGA  
4700-837 SÃO PAIO MERELIM

**PROPOSTA CL : 2788**

**DATA: 12.11.2021**

**S/ CONSULTA: Pessoal**

**ENVIO: a82992@alunos.uminho.pt**

Exmo.(a) Sr.(a):

De acordo com a sua consulta, que agradecemos, proponho:

**MATERIAL PARA COMANDO DE ACESSÓRIO DE ELEVAÇÃO P/  
RACKS E CESTOS EM PONTES ROLANTES - 12 NOVEMBRO**

Pos.	Qtd.	Descrição	Referência	P.U.	Desc.	Total
		Ligação elétrica DM0.2: cabo curto c/ conetor M12				
	12	REF. NA B200FB-DM0.2		18,96		227,52
17	12	Ficha F M12-4P-DIR-5M Cabo PVC	C12F4A2-500-022	5,98		71,76
		ELEMENTOS DE LINHA				
		- Unidade de Tratamento de Ar				
18	1	VALVULA CORTE MAN. 3/2-1/4	V1000-8G-W	21,52		21,52
19	1	FILTRO E REG. 1/4	W1000-8G-W	24,49		24,49
20	1	SUPORTE TIPO L	B130-W	1,88		1,88
21	1	SILENCIADOR 1/8G PLÁSTICO	ST G01	0,90		0,90
22	1	RACORD RECTO TUBO 6 1/4G	PC 06G02	0,77		0,77
23	1	ACESSÓRIOS E TUBOS	DIVERSOS PNEUMÁTICA	70,00		70,00
		COMANDO RF DO ACESSÓRIO (FORNECIMENTO NORCRANES) - Deverá prever.				

**A TRANSPORTAR**

**1 434,24**



N.º Contribuinte 508 252 792  
Banco Santander Totta S.A  
BIC/SWIFT: TOTAPTPL  
IBAN:  
PT50 0018 217301024545020 53

Tel. + 351 22 906 50 50/4  
Tlm. + 351 96 50 100 41  
Fax + 351 22 906 50 53  
E-mail: info@bibus.pt  
Internet: www.bibus.pt

**BIBUS Portugal, Lda**  
Centro Empresarial AAA  
Rua Ponte da Pedra, 240 - C4  
4470-108 Gueifães - Maia  
Porto - Portugal  
GPS: N41.20735° W8.61235°

**Cliente N.º** 2775  
**JOS - METAL, LDA**

A/C Sr. JOÃO PEDRO GOMES  
RUA CARDOSAS LOTE A 1  
BRAGA  
4700-837 SÃO PAIO MERELIM

**PROPOSTA CL : 2788**

**DATA: 12.11.2021**

**S/ CONSULTA: Pessoal**

**ENVIO: a82992@alunos.uminho.pt**

Exmo.(a) Sr.(a):

De acordo com a sua consulta, que agradecemos, proponho:

**MATERIAL PARA COMANDO DE ACESSÓRIO DE ELEVAÇÃO P/  
RACKS E CESTOS EM PONTES ROLANTES - 12 NOVEMBRO**

Pos.	Qtd.	Descrição	Referência	P.U.	Desc.	Total
24	1	Avança cilindros, Recua cilindros (x2), Emergência OBS.: Há que prever um módulo a colocar no quadro elétrico do Acessório para receber estes sinais (FORNECIMENTO NORCRANES) - Alimentação Elétrica ao Quadro do Acessório de Elevação OBS.: Há que prever um tambor para enrolar/desenrolar o cabo que terá que ter F + N + Terra (FORNECIMENTO NORCRANES) - Seletor Racks/Cestos (A colocar no quadro do acessório de elevação)	E2 1SE12AVA19AB	3,90		3,90

**A TRANSPORTAR**

**1 438,14**



N.º Contribuinte 508 252 792  
Banco Santander Totta S.A  
BIC/SWIFT: TOTAPTPL  
IBAN:  
PT50 0018 217301024545020 53

Tel. + 351 22 906 50 50/4  
Tlm. + 351 96 50 100 41  
Fax + 351 22 906 50 53  
E-mail: info@bibus.pt  
Internet: www.bibus.pt

**BIBUS Portugal, Lda**  
Centro Empresarial AAA  
Rua Ponte da Pedra, 240 - C4  
4470-108 Gueifães - Maia  
Porto - Portugal  
GPS: N41.20735° W8.61235°

**Cliente N.º** 2775  
**JOS - METAL, LDA**

A/C Sr. JOÃO PEDRO GOMES  
RUA CARDOSAS LOTE A 1  
BRAGA  
4700-837 SÃO PAIO MERELIM

**PROPOSTA CL : 2788**

**DATA: 12.11.2021**

**S/ CONSULTA: Pessoal**

**ENVIO: a82992@alunos.uminho.pt**

Exmo.(a) Sr.(a):

De acordo com a sua consulta, que agradecemos, proponho:

**MATERIAL PARA COMANDO DE ACESSÓRIO DE ELEVAÇÃO P/  
RACKS E CESTOS EM PONTES ROLANTES - 12 NOVEMBRO**

Pos.	Qtd.	Descrição	Referência	P.U.	Desc.	Total
25	1	ADAPTADOR DE MONTAGEM P/ 3 BLOCOS DE CONTACTOS	E2 1BAC11	0,42		0,42
26	4	UN. CONTACTO P/ FIX. PAINEL SÉRIE E2, 1NO AÇÃO LENTA - Quadro de comando que inclui (entre outros): Interruptor geral Relé bimanual de segurança Relés vários Bornes, calhas, buçins, ponteiras, etc e ainda colocação) das EV e do Módulo recetor RF	E2 CP10G2V1	1,78		7,12
27	1	QUADRO DE COMANDO CONFORME ACIMA		380,00		380,00
	1	APOIO À IMPLEMENTAÇÃO NOTA: FICA APENAS A FALTAR COTAR O COMPRESSOR	DIVERSOS ELÉTRICA	150,00		150,00

**TOTAL EURO (SEM IVA) 1 975,68**

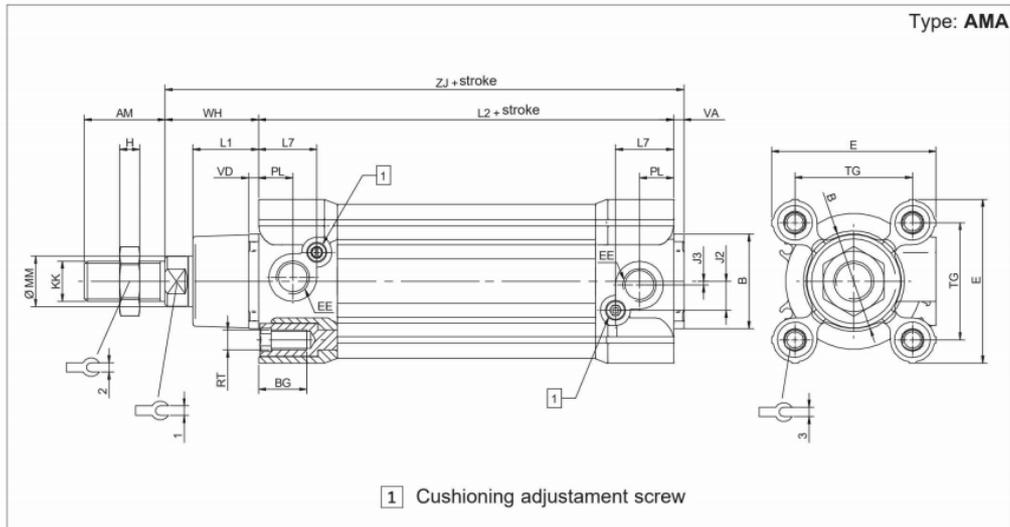
**CONDIÇÕES GERAIS DE VENDA:  
IVA: NÃO INCLuíDO À TAXA NORMAL  
PRAZO DE ENTREGA: A COMBINAR**

**VALIDADE DA PROPOSTA: 30 Dias  
CONDIÇÕES DE PAGAMENTO: 30 DIAS**

# ANEXO N – DESENHO TÉCNICO DOS CILINDROS PNEUMÁTICOS

Cylinders ISO 15552  
Bores from 32 to 125 mm

Standard dimensions



1

Ø (mm)	AM	B Ø d11	BG	E	EE	J2	J3	KK	L1	L2	H
32	22	30	15	47	1/8"	7	3,5	M10x1,25	20	94	6
40	24	35	15	52	1/4"	7,5	4	M12x1,25	22	105	7
50	32	40	16	65	1/4"	11,5	1,5	M16x1,5	26	106	8
63	32	45	16	75	3/8"	13,5	1	M16x1,5	25	121	8
80	40	45	17	95	3/8"	13	1	M20x1,5	32	128	9
100	40	55	17	115	1/2"	15	6	M20x1,5	38	138	9
125	54	60	21	140	1/2"	17	8	M27x2	40	160	12

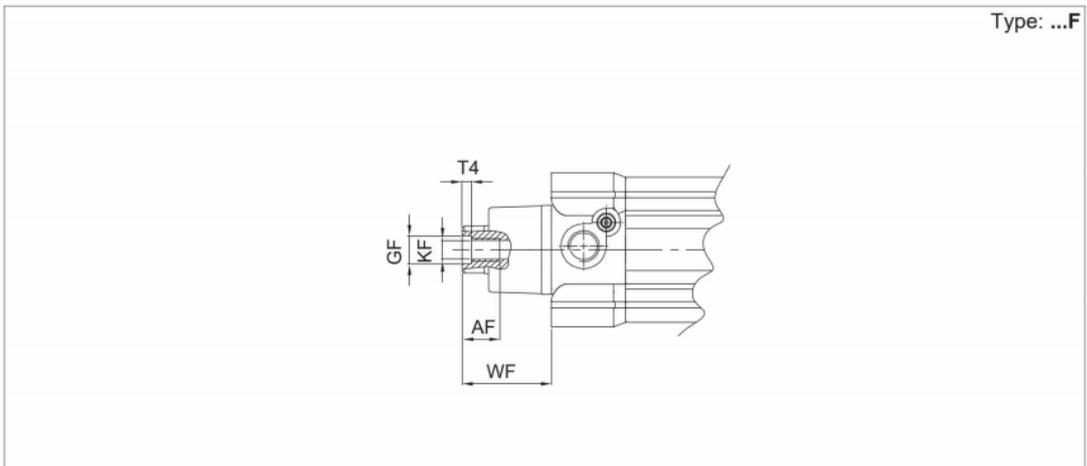
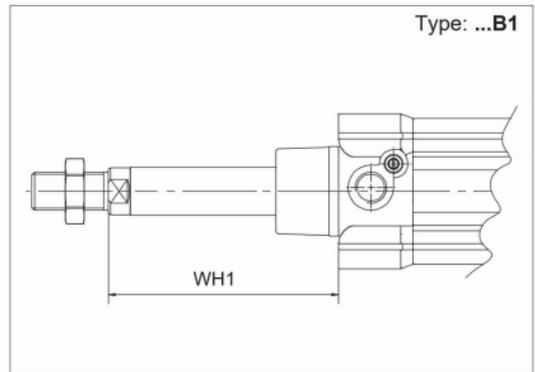
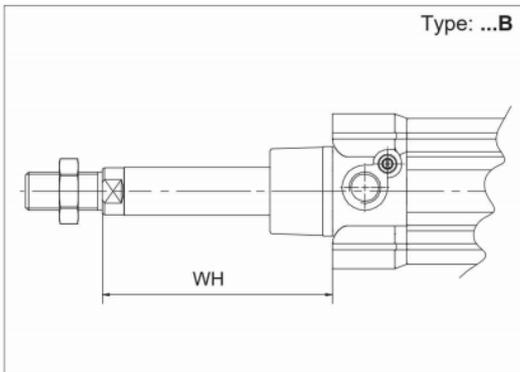
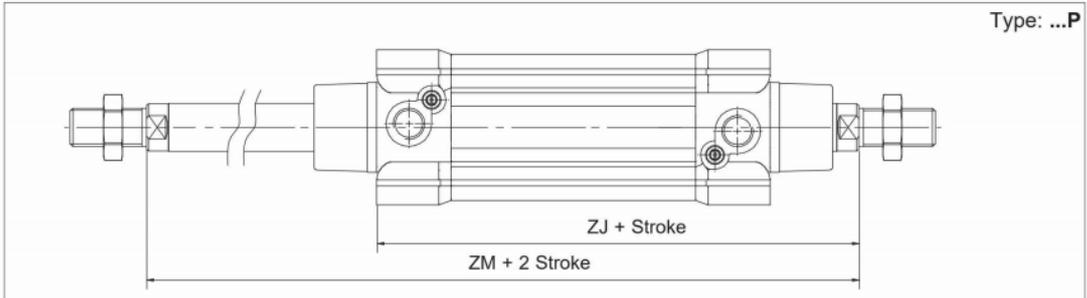
Ø (mm)	L7	MM Ø f7	PL	RT	TG	VA	VD	WH	ZJ	1	2	3
32	19,4	12	8,5	M6	32,5	4	4	26	124	10	17	6
40	23	16	10	M6	38	4	4	30	139	13	19	6
50	23	20	13,5	M8	46,5	4	4	37	147	17	24	8
63	23	20	15	M8	56,5	4	4	37	162	17	24	8
80	30	25	21	M10	72	4	4	46	178	22	30	10
100	30,5	25	24	M10	89	4	4	51	193	22	30	10
125	27,5	32	23	M12	110	5	5	65	230	27	41	12

Seals kits	
n. 1	Rod seal
n. 2	Cushioning seal
n. 2	Piston lip-seal
n. 1	Linear rubber ring for piston (damper)
n. 2	Tube O-ring
n. 1	Piston guiding ring
n. 2	O-ring for cushioning screw
n. 1	O-ring to seal two semi-pistons

How to order: 63 / SG / AM

63	/	SG	/	AM
Bore	/	Seal kit	/	Type

1.5.3



Ø mm	AF	GF	KF	T4	WF	WH	WH1	ZJ	ZM
32	12	8	M6	2,6	26	74	99	120	146
40	12	10	M8	3,3	30	85	106	135	165
50	16	12	M10	4,7	37	107	127	143	180
63	16	12	M10	4,7	37	107	129	158	195
80	20	14	M12	6,1	46	136	156	174	220
100	20	14	M12	6,1	51	143	181	189	240
125	32	18	M16	8	65	187	-	225	290

# ANEXO O – INFORMAÇÃO RELATIVA AOS FINS DE CURSO



**Pizzato Elettrica S.r.l.**  
Via Torino, 1  
36063 Marostica (VI)  
ITALY

Tel. +39.0424.470.930  
E-mail info@pizzato.com  
Web www.pizzato.com

Article: **NA B020BB-DN2**  
Description: Modular prewired switch with roller plunger

Sheet: 32170-0-en-2.1.  
Date: 05/12/2021  
Page: 1/4



### Housing:

Metal housing, 20 mm fixing points  
Protection degree: IP67 acc. to EN 60529, IP69K acc. to ISO 20653 (Protect the cables from direct high-pressure and high-temperature jets)

### General data:

Corrosion resistance housing in saline mist:  $\geq 300$  hours in NSS according to ISO 9227  
Max actuation frequency: 3600 operations cycles/hour  
Mechanical endurance: 20 million operations cycles  
B10D: 40,000,000 for NC contacts  
Mechanical interlock, not coded: type 1 according to EN ISO 14119  
Vibration resistance: 5 ... 150 Hz (7.9 m/s<sup>2</sup>) according to EN 61373 cl.9

### Contact block characteristics:

Contact block	Contact diagram	Contact design	Operation type	Positive opening	Contact type	Captive screws	Terminals with finger protection	Gold-plated contacts 1 $\mu$ m	
B02	2NC	7-7	Y+Y	snap action	yes	Double interruption	/	/	yes

### Contact block travel diagrams:



### Positive switch opening:

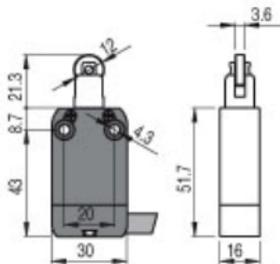
Device with positive opening conforming to IEC 60947-5-1.

### Device screw tightening torques:

Head screws: 0.5 ... 0.7 Nm  
Lever screw: 0.8 ... 1.2 Nm  
Connector screw: 0.3 ... 0.6 Nm  
M4 fixing screws, body: 2 ... 3 Nm

### Activating forces:

Min.: 7 N  
Positive opening: 25 N



### In conformity with standards:

IEC 60947-5-1, EN 60947-5-1, IEC 60204-1, EN 60204-1, EN ISO 14119, EN ISO 12100, IEC 60529, EN 60529, EN 50581, ISO 20653, UL 508, CSA 22.2 No.14.

### In conformity with requirements requested by:

Low Voltage Directive 2014/35/EU, EMC Directive 2014/30/EU, RoHS Directive 2011/65/EU.

### Markings and quality marks:

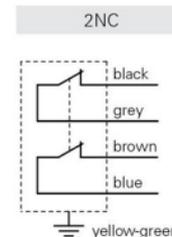


### Electrical data:

Rated impulse withstand voltage ( $U_{imp}$ ): 4 kV  
Conditional short circuit current: 1000 A according to EN 60947-5-1  
Pollution degree: 3

**Important:** Switch off the circuit voltage before disconnecting the connector from the switch. The connector is not suitable for separation of electrical loads. According to EN 60204-1, 2NO+2NC versions with 8-pin M12 and AMP connector can be used only in PELV circuits.

### Internal connections:



## ANEXO P – CERTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO

N.º	Perigo		Situação perigosa/Evento perigoso	Avaliação do risco		Solução
	Origem do perigo	Potenciais consequências		Gravidade /Probabilidade	Nível de risco	
1	Aproximação de um elemento móvel a uma parte fixa	Entalamento	Deslocamento de elementos móveis	Sério/ Improvável	Baixo	Utilização prudente dos componentes
2	Má distribuição de carga	Esmagamento	Perda de estabilidade; Queda de objetos	Catastrófico/ Improvável	Médio	Distribuição uniforme do material
3	Força de elevação não vertical	Esmagamento	Perda de estabilidade; Queda de objetos	Catastrófico/ Remota	Baixo	Utilização de elementos de ligação à ponte elétrica móvel certificados e com ângulo recomendado
4	Movimentação descontrolada	Esmagamento	Perda de estabilidade; Queda de objetos	Catastrófico/ Improvável	Médio	Movimentações suaves/lentas
5	Elementos cortantes	Corte	Contacto com arestas e esquinas vivas de elementos salientes	Improvável/ Menor	Desprezável	Curvatura das arestas dos componentes

**MATRIZ DE RISCO**

Probabilidade de ocorrência do dano	Gravidade do dano			
	Catastrófico	Sério	Moderado	Menor
Muito provável	Alto	Alto	Alto	Médio
Provável	Alto	Alto	Médio	Baixo
Improvável	Médio	Médio	Baixo	Desprezável
Remota	Baixo	Baixo	Desprezável	Desprezável

**Grav. - Gravidade do dano**

- Catastrófico - morte ou dano permanente
- Sério – dano ou doença grave
- Moderado – dano ou doença requerendo mais do que primeiros socorros
- Menor – sem danos ou com danos leves requerendo apenas primeiros socorros

**Prob. - Probabilidade de ocorrência do dano**

- Muito provável – quase certo ocorrer
- Provável – pode ocorrer
- Improvável – não é provável que ocorra
- Remota – a probabilidade de ocorrer é próxima de zero

**NR - Nível de risco**

- Alto – Correção imediata
- Médio – Planear uma correção a curto prazo
- Baixo – Planear uma correção a médio prazo
- Desprezável – Melhorar, quando oportuno