



## **Projeto de um equipamento enterrado de recolha de resíduos sólidos urbanos**

**JORGE DUARTE CARVALHO DA COSTA**

novembro de 2020

# PROJETO DE UM EQUIPAMENTO ENTERRADO DE RECOLHA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Jorge Duarte Carvalho da Costa

1131320

**2020**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica





# PROJETO DE UM EQUIPAMENTO ENTERRADO DE RECOLHA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Jorge Duarte Carvalho da Costa

1131320

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

**2020**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



# JÚRI

## **Presidente**

Mestre/Especialista José Carlos Vieira de Sá

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Doutor Paulo Manuel Salgado Tavares de Castro

Professor Catedrático, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de deixar o meu sincero agradecimento à empresa Sitape - Indústria Metalúrgica, S.A., na pessoa do Dr. Jorge Taveira, Administrador, pela oportunidade de realizar a presente dissertação em contexto laboral.

Ao meu orientador, Professor Doutor Raul Campilho, pela sua pronta disponibilidade e por todo o apoio e incentivo prestados desde a fase inicial até ao término da presente dissertação.

Aos colaboradores da Sitape, de modo especial ao Sr. Agostinho Silva, Diretor do Departamento Técnico, e à Dra. Graciete Maia, do Departamento Comercial, pelo acolhimento, ajuda e por todos os conhecimentos partilhados desde a minha entrada na empresa.

A todos os meus professores e colegas pelos seus ensinamentos transmitidos desde o início do meu percurso académico e laboral.

À minha família e amigos, pelo apoio, encorajamento e por toda a confiança depositada neste projeto.

À Sónia, a minha namorada, pelo encorajamento, apoio e ânimo incondicionais, essenciais para alcançar a fase final deste percurso.



## PALAVRAS CHAVE

Ambiente, Resíduos sólidos urbanos, Equipamentos enterrados, Estruturas metálicas, Hook System, Dispositivo de segurança, Marco de deposição, Projeto mecânico, Dimensionamento estrutural, Método de elementos finitos, Análise de custos.

## RESUMO

Os sistemas de recolha de resíduos estão implementados em todo o mundo. Estes sistemas desempenham uma função de elevada importância no processo da gestão integrada de resíduos. A constante evolução tecnológica de este tipo de equipamentos vem em resposta às diretrizes estabelecidas a nível mundial e europeu que obrigam, cada vez mais, a uma diminuição da deposição de resíduos em aterros e ao aumento progressivo dos níveis de reciclagem *per capita*. De modo a possibilitar a inserção de equipamentos de recolha de resíduos em locais onde existem diversas limitações, como é o caso do espaço disponível e do enquadramento urbano, surgiram os equipamentos enterrados de armazenamento de resíduos. Estes equipamentos possuem uma grande capacidade de armazenamento e, uma vez que ficam totalmente enterrados no subsolo, apenas os marcos de deposição permanecem visíveis. Assim estes equipamentos ficam esteticamente enquadrados no local, uma vez que, normalmente, o piso à superfície do equipamento é o mesmo do local onde este é inserido.

A presente dissertação foi desenvolvida na Sitape - Indústria Metalúrgica, S.A., tendo como objetivo a melhoria de um dos equipamentos enterrados de recolha de resíduos comercializado pela empresa. Esta melhoria prende-se com o desenvolvimento de atualizações ao equipamento atual, tornando-o mais seguro, bem como propor algumas alterações por forma a tornar o mesmo ainda mais competitivo dentro do mercado das soluções enterradas de recolha de resíduos. Dado o equipamento completo poder ser dividido em três partes: a cuba técnica, a estrutura metálica e a interface com o depositante dos resíduos (através do marco de deposição), também será projetado e fabricado um marco protótipo por forma a permitir uma maior gama de soluções destes dispositivos, garantindo assim uma melhor e mais diversificada oferta ao nível do enquadramento com o mobiliário urbano atual. Uma vez que é prática comum as empresas da área recorrerem ao dimensionamento de forma empírica, normalmente existem formas de melhorar a sua competitividade com algumas alterações aos projetos, que tomam maiores proporções em cenários de economia de escala.

Após a realização deste trabalho foi possível validar a estrutura do equipamento Hook System, perante a necessidade da instalação de um dispositivo de segurança no mesmo. Depois de várias análises é apresentada uma proposta de revisão à estrutura modular atual, permitindo uma redução de 4,5% do seu custo produtivo. Por fim apresenta-se uma cotação para o conjunto, contemplando o novo marco projetado nesta dissertação.



## KEYWORDS

Environment, Municipal solid waste., Underground equipment, Metal structures, Hook system, Safety device, Top bin, Mechanical design, Structural design, Finite element method, Cost analysis.

## ABSTRACT

Waste recovery systems are implemented around the world. These systems play a highly important role in the integrated waste management process. The constant technological evolution of this type of equipment aims to answer to global and European standards that increasingly require a reduction in the deposition of waste in landfills and a progressive growth of the recycling levels per capita. In order to allow the insertion of waste equipment in places where there are several limitations, such as the space available and the urban environment, buried equipment for the storage of waste appeared. This equipment has a large storage capacity and, since they are completely buried underground, only permanent deposition top bins are visible. Thus, this equipment is aesthetically framed in the place, since, normally, the floor on the surface of the equipment is the same as the place where it is inserted.

This thesis was developed at Sitape - Indústria Metalúrgica, S.A., with the aim of improving buried underground waste disposal equipment for sale by the company. This improvement is related to the development of updates to the current equipment, making it safer, as well as to propose modifications in order to make it even more competitive within the market for buried waste receiving solutions. Since the complete equipment can be divided into three parts: the liner, the buried structure and the interface with the depositor of waste (through the deposition top bin), a prototype frame will also be designed and manufactured to allow a greater range of solutions of these components, thus guaranteeing this way a better and more diversified offer in terms of the framework with the current urban furniture. Since it is common practice for companies in the area to design in an empirical way, there are usually ways to improve their competitiveness by making some design changes, which reach greater proportions in a scenario of economies of scale.

After carrying out this work, it was possible to validate a structure for the Hook System equipment, given the need to install a safety device in it. After several analyzes, a proposal to revise the current modular structure is presented, allowing a reduction of 4.5% in its cost. Finally, a quotation for the whole set is presented, contemplating the new top bin design in this thesis.



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

---

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> (Engenharia Auxiliada por Computador)
CE	Comissão Europeia
CEN	Comité Europeu de Normalização
CNC	Controlo Numérico Computorizado
CS	Compact System
DCL	Diagrama de Corpo Livre
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i> (Instituto Alemão de Normalização)
DL	Decreto de Lei
DR	Diário da República
EC	Eurocódigo
EEE	Equipamentos Elétricos e Eletrónicos
EN	<i>European Norm</i> (Normas Europeias)
ERP	<i>Enterprise Resourcer Planning</i> (Planeamento de Recursos Empresariais)
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
FS	Coeficiente de Segurança
FV	Fibra de Vidro
HS	Hook System

---

---

IPQ	Instituto Português da Qualidade
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
MEF	Método de Elementos Finitos
MGB	Mobile Garbage Bin
MGBS	Mobile Garbage Bin System
NFC	<i>Near Field Communication</i> (Comunicação por campo de proximidade)
NP	Normas Portuguesas
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PE	Parlamento Europeu
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos
REAE	Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i> (Identificação por radiofrequência)
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RU	Resíduos Urbanos
RUB	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SAP	<i>Systems Applications and Products (Software ERP)</i>
SIR	Sistemas Integrados de Resíduos Sólidos Urbanos
SPV	Sociedade Ponto Verde
SS	Side System
STEG	Sistemas de Tratamento de Emissões Gasosas
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>
UE	União Europeia

---

---

UNE	<i>Asociación Española de Normalización (Associação Espanhola de Normalização)</i>
URES	Deslocamento resultante

---

#### Lista de Unidades

---

°C	Graus Celsius
cv	Cavalo-vapor
g/cm <sup>3</sup>	Massa volúmica
kg	Quilograma
kgf	Quilograma força
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m/s <sup>2</sup>	Metro por segundo ao quadrado
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
mm	Milímetro
N	Newton
Nm	Newton metro
Pa	Pascal
rpm	Rotações por minuto
s	Segundo

---

## Lista de Símbolos

---

€	Euro
%	Porcentagem
$A$	Área
$A_w$	Área efetiva da solda
$a$	Comprimento da garganta efetiva da solda
$b$	Comprimento da perna do filete da solda
$d_m$	Diâmetro médio
$d_n$	Diâmetro do núcleo da espiga
$d_r$	Diâmetro resistente
$d_{res}$	Diâmetro resistente
$E$	Módulo de elasticidade
$F$	Força
$f_y$	Tensão de limite elástico
$f_{yb}$	Tensão de cedência à tração de um parafuso
$f_u$	Tensão de rotura
$f_{ub}$	Tensão de rotura à tração de um parafuso
$G$	Módulo de elasticidade transversal
$I$	Momento de Inércia
$k$	Constante elástica da mola
$L$	Comprimento
$L_e$	Comprimento da mola
$L_{eff}$	Comprimento efetivo da solda
$M_x$	Momento em torno de $x$

---

---

$M_y$	Momento em torno de $y$
$M_z$	Momento em torno de $z$
$M_{max}$	Momento máximo
$N_e$	Número de espiras da mola
$p$	Pressão interna
$P_t$	Pressão de trabalho
$r$	Raio
$t$	Espessura
$u^f$	Energia específica de distorção de um provete
$V$	Esforço cortante
$\beta_w$	Fator de correlação do aço S235
$\gamma_{M2}$	Fator parcial de segurança da ligação soldada
$\sigma_{ced}$	Tensão de cedência
$\sigma_{eq}$	Tensão equivalente
$\sigma_{lim}$	Tensão limite de resistência
$\sigma_{vM}$	Tensão equivalente de von Mises
$\sigma_{\perp}$	Tensão normal perpendicular à espessura
$\tau^{max}$	Tensão de corte máxima
$\tau_{\perp}$	Tensão tangencial perpendicular ao eixo da soldadura
$\nu$	Coeficiente de Poisson
$\emptyset$	Diâmetro

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Logotipo da entidade acolhedora e alguns trabalhos realizados (adaptado de Sitape (2019)).	6
Figura 2 - Capitação anual de resíduos urbanos em alguns países da UE (adaptado de Eurostat (2019)).	10
Figura 3 - Tratamento de resíduos municipais 2017 (Eurostat, 2019).	11
Figura 4 - Taxa de reciclagem dos resíduos de embalagens plásticas na Europa (PE, 2018d).	11
Figura 5 - Esquema de gestão de RSU em Portugal (Cruz <i>et al.</i> , 2012).	14
Figura 6 - Exemplo de estrutura composta por pórticos (Belchior, 2019).	15
Figura 7 - Exemplo de Ponte contruída em estrutura tubular - Ponte Forth (Travel Sygic, 2019).	15
Figura 8 - Exemplo de estrutura metálica de varandim e escada (Inocambra, 2019).	16
Figura 9 - Exemplo de instalação de equipamentos em aço inoxidável na Indústria Alimentar (Arsopi, 2019).	16
Figura 10 - Exemplo de fresadora convencional (Castro&Alves, 2019).	17
Figura 11 - Exemplo de estrutura de máquina em alumínio (Estrutural, 2019).	17
Figura 12 - Valores nominais da tensão de cedência ( $f_y$ ) e da tensão de rotura à tração ( $f_u$ ) dos aços macios correntes (CEN, 2010a).	17
Figura 13 - Classificação dos vários tipos de ligações (adaptado de Tavares (2012)).	19
Figura 14 - Características mecânicas dos parafusos (Silva & Santiago, 2003).	20
Figura 15 - Secção transversal e secção resistente de um parafuso (Silva & Santiago, 2003).	20
Figura 16 - Exemplos de alguns tipos de soldadura abrangidos pelo EC3-1-8 (adaptado de CEN (2010b)).	21
Figura 17 - Exemplo de ligação rebitada (Bigstockphoto, 2019).	21
Figura 18 - Juntas dobradas (adaptado de Tavares (2012)).	21
Figura 19 - Exemplo de ligação adesiva entre provetes de aço.	21
Figura 20 - Ligações completas diretas: a) rolamento (Schaeffler, 2019); b) bucha (Banggood, 2019); c) <i>grasseres</i> ; d) grampo (Kipp, 2019).	22
Figura 21 - Ligações completas indiretas: e) enchavetamento forçado, f) ligação com pino, g) ligação com pino bifurcado (adaptado de Tavares (2012)).	22
Figura 22 - Ligações parciais sem translação: h) anéis elásticos i) rótulas j) parafusos de guiamento (adaptado de Tavares (2012)).	22
Figura 23 - Ligações parciais sem rotação: k) enchavetamento livre, l) com elementos estriados, m) com parafuso de guiamento (adaptado de Tavares (2012)).	23

Figura 24 - Ligações elásticas: n) com mola de compressão, o) com mola de tração; p) sem molas (borracha) (adaptado de Tavares (2012)).	23
Figura 25 - Metodologia de transformação de tensões (Domingues, 2003).	24
Figura 26 - Exemplo de aplicação de vários cilindros com solicitações de esforço (adaptado de Cat (2019)).	28
Figura 27 - Motor hidráulico de 23,5 cv - 5600 rpm (Silva, 2017).	28
Figura 28 - Instalação de um sistema pneumático (Azpneumatica, 2019).	29
Figura 29 - Número de ecopontos instalados em Portugal (ERSAR, 2018b).	29
Figura 30 - Número de ecopontos e população servida por entidades gestoras, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016).	30
Figura 31 - Número de ecopontos e população servida por entidades gestoras, por tipologia de área de intervenção (ERSAR, 2016).	30
Figura 32 - Ilustração do ciclo de tratamento dos RSU (ERSAR, 2018).	31
Figura 33 - Ilustração dos diferentes modos de carregamento dos contentores (adaptado de Sitape (2019)).	32
Figura 34 - Contentores carga traseira a) C-120, b) C-1000 (Contenur, 2019) e c) Multibox (Sitape, 2019).	32
Figura 35 - Contentor carga lateral C-2400 (Contenur, 2019).	33
Figura 36 - Descarga de contentor de carga lateral (Contenur, 2019).	33
Figura 37 - Contentor carga vertical “Iglú Ágora” (Contenur, 2019).	33
Figura 38 - Vidrão de carga vertical.	33
Figura 39 - Contentor semienterrado “Engels” (Plasticolors, 2019).	34
Figura 40 - Esquema de implantação de um contentor semienterrado (Vialgo, 2019).	34
Figura 41 - Contentores enterrados (Formato Verde, 2019).	34
Figura 42 - Identificação dos vários constituintes numa vista representativa de vários equipamentos (adaptado de Formato Verde (2019)).	37
Figura 43 - CS1: estruturação – cilindros hidráulicos avançados (Sitape, 2019).	39
Figura 44 - CS1: ilustração do carregamento do contentor (Sitape, 2019).	39
Figura 45 - HS4: início do levantamento da tampa mediante a pressurização hidráulica nos cilindros (Sitape, 2019).	40
Figura 46 - HS: ilustração do carregamento do contentor (Sitape, 2019).	40
Figura 47 - SS2: posição de recolha dos resíduos (estrutura ao nível do piso) – cilindros hidráulicos avançados (Sitape, 2019).	40
Figura 48 - SS: ilustração do carregamento lateral do contentor (Sitape, 2019).	40

Figura 49 - MGBS2: posição de funcionamento (estrutura enterrada) – cilindros hidráulicos recuados (Sitape, 2019).....	41
Figura 50 - MGBS2: posição de recolha do lixo (estrutura ao nível do piso) – cilindros hidráulicos avançados (Sitape, 2019).....	41
Figura 51 - Diferentes soluções contentores de semienterrados <i>Molok</i> (Sopsa, 2019).....	41
Figura 52 - Cuba prefabricada de betão – 3 módulos (Aclweb, 2019). ....	42
Figura 53 - Cuba prefabricada de FV – 1 módulo (Tropical Hobbies, 2019). ....	42
Figura 54 - Contentor, em polietileno, carga traseira (Ovo Solutions, 2012).....	43
Figura 55 - Contentor CS (Sitape, 2019). ....	43
Figura 56 - Contentor 5 m <sup>3</sup> , em PEAD, argola simples, aplicado no HS (Laranjeira, 2008). ....	43
Figura 57 - Marco “Sky” com tambor (Sitape, 2019).....	43
Figura 58 - Marco “Mini Sun” com Tambor e Pedal (Sitape, 2019).....	43
Figura 59 - Marco com tampa e pedal (Estudio D1, 2019). ....	43
Figura 60 - Calçada portuguesa. ....	44
Figura 61 - Alternativa a calçada portuguesa “EcoCalçada” (Eco-solutions, 2019).....	44
Figura 62 - Momento da abertura do HS4 através de cilindros hidráulicos ligados à tampa.....	46
Figura 63 - Exemplo de equipamentos acionados por cilindros a gás com auxílio manual (JFPSI, 2017). ....	46
Figura 64 - Extração de contentor num equipamento acionado por cilindros a gás com auxílio manual (Wattson, 2018).....	46
Figura 65 - Demonstração dos cilindros hidráulicos do CS (Sitape, 2019). ....	47
Figura 66 - Demonstração dos cilindros hidráulicos do MGBS System (Sitape, 2019). ....	47
Figura 67 - Sistemas de acoplamento para grua (Ovo Solutions, 2012).....	47
Figura 68 -Desenho do sistema de argola dupla (Sopsa, 2019).....	47
Figura 69 - Abertura do fundo com sistema de argola dupla (Sopsa, 2019). ....	47
Figura 70 - Perspetiva frontal do marco “Star Pro” com pedal (Sitape, 2019).....	48
Figura 71 - Perspetiva traseira marco “Star Pro” com fechadura (Sitape, 2019). ....	48
Figura 72 -Fechadura de impacto cilíndrica (Puzzle Advance, 2019).....	49
Figura 73 - Marco “Evolution” da Contenur com fechadura (Contenur, 2019).....	49
Figura 74 - Marco “Alvalade” com leitor de cartões (Sitape, 2019). ....	49
Figura 75 - Exemplo de cartão NFC (Sitape, 2019). ....	49
Figura 76 - MGBS com a plataforma de elevação ao nível do piso (Sitape, 2019). ....	52
Figura 77 - SS com a plataforma de elevação ao nível do piso (Sitape, 2019). ....	52

Figura 78 - CS com a plataforma de elevação ao nível do piso (Sitape, 2019). .....	52
Figura 79 - Modelação dos elementos do equipamento com plataforma “Standard Underground System” da Sotkon (Sotkon, 2019). .....	53
Figura 80 - Esquema de Montagem do conjunto (Sotkon, 2019). .....	53
Figura 81 - Plataforma do equipamento “Standard Underground System” da Sotkon (Sotkon, 2019). ....	53
Figura 82 - Plataforma do equipamento “Ingenio” da ESE (Expertise, 2019). .....	53
Figura 83 - Vista do equipamento HS4 com a tampa fechada. ....	57
Figura 84 - Vista do lado da tampa do equipamento HS4 preparado para expedição. ....	58
Figura 85 - Vista do lado interior do equipamento HS4 preparado para expedição. ....	59
Figura 86 - Vista do equipamento HS4 com a tampa aberta. ....	59
Figura 87 - Cilindros hidráulicos de abertura da tampa. ....	59
Figura 88 - Esquema ilustrativo de sistema enterrado segundo a EN 13071-2:2008 (CEN, 2008). .....	60
Figura 89 - Recolha de resíduos de um dos contentores do equipamento HS4 (Sitape, 2019). ....	62
Figura 90 - Modelação com o equipamento inserido na cuba técnica: a) perspetiva frontal e b) perspetiva traseira. ....	63
Figura 91 - Exemplo de plataforma de segurança (Merlin Industrial, 2019). .....	63
Figura 92 - Análise SWOT do dispositivo de segurança com plataforma. ....	65
Figura 93 - Análise SWOT do dispositivo de segurança com barreira. ....	66
Figura 94 - Esquema de base para o pré-dimensionamento dos patins da barreira de segurança. ....	73
Figura 95 - DCL’s da barreira segundo no plano $Yoz$ : a) DCL com todos os esforços atuantes, b) DCL para o caso de possível rotação no patim 1 e c) DCL no caso de o patim 1 não permitir rotação. ....	74
Figura 96 - DCL da barreira segundo o plano $XoY$ , no caso de a rotação estar restringida pelo patim. ....	75
Figura 97 - Modelação do equipamento enterrado com a tampa em processo de abertura. ....	76
Figura 98 - Modelação do equipamento enterrado com a tampa totalmente aberta. ....	76
Figura 99 - Perspetiva do interior do equipamento com a tampa totalmente aberta. ....	76
Figura 100 - a) vista em corte longitudinal do interior da cuba técnica na zona da barreira e b) vista em corte transversal do interior da cuba técnica na zona da barreira. ....	76
Figura 101 - Aspeto do protótipo da barreira após o fabrico. ....	77
Figura 102 - Instalação da barreira do topo. ....	78
Figura 103 - Instalação da barreira lateral. ....	78
Figura 104 - Teste da inserção do contentor na cuba técnica com a barreira acionada (lateral). ....	78
Figura 105 - Teste da inserção do contentor na cuba técnica com a barreira acionada (topo). ....	78
Figura 106 - Detalhe do conjunto do patim e guia da série QE (adaptado de Hiwin (2020)). ....	81

Figura 107 - Momentos atuantes nos patins Hiwin da série QE e características do patim QEH20 (adaptado de Hiwin (2020)).....	81
Figura 108 - Esquema do conjunto dos patins com guia (adaptado de Rollon (2020)).....	81
Figura 109 - Momentos atuantes nos patins Rollon da série N e características do patim NTE43 (adaptado de TRace (2020) e Rollon (2020)).....	81
Figura 110 - Acessórios para portões suspensos: a) roda com rolamento e perfil em U e b) trilho de embutir para roda com perfil em U (Sá Castro 2020).....	83
Figura 111 - Acessórios para portões suspensos: a) carro duplo nº 20; b) carro simples nº 21 e c) calha apolo F71 para carro nº 20 (adaptado de Dardo (2020)).....	83
Figura 112 - Análise SWOT do mecanismo da Rollon aplicado ao caso em estudo. ....	85
Figura 113 - Análise SWOT do mecanismo de portão aplicado ao caso em estudo.....	86
Figura 114 - Perspetiva HS4 com contentores dispostos em diferentes posições, equipado com barreira de segurança.....	87
Figura 115 - Vista em corte com indicação das folgas existentes atualmente.....	87
Figura 116 - Detalhe do sistema atual de ajuste da base do marco.....	88
Figura 117 - Alterações propostas ao sistema de ajuste atual.....	88
Figura 118 - Perspetiva HS4 com as alterações propostas.....	89
Figura 119 - Vista em corte com indicação das folgas após alterações.....	89
Figura 120 - Barreiras de segurança com algumas dimensões relevantes: a) barreira lateral e b) barreira de topo.....	90
Figura 121 - Barreira lateral: a) perspetiva frontal e b) perspetiva traseira.....	90
Figura 122 - Modelo modular da estrutura da barreira lateral.....	91
Figura 123 - Pormenor da ligação entre a calha e os tubos intermédios (vista rodada 90°).....	91
Figura 124 - Modelo simplificado da barreira lateral sujeito à análise MEF.....	92
Figura 125 - Modelo da barreira de topo sujeito à análise MEF.....	92
Figura 126 - Aplicação das condições fronteira e esforços no modelo simplificado.....	93
Figura 127 - Barreira após a geração de malha com localização dos pontos de convergência analisados.....	97
Figura 128 - Valores dos URES obtidos para os dois pontos de convergência da malha.....	98
Figura 129 - Tensões de von Mises obtidas para os dois pontos de convergência da malha.....	98
Figura 130 - Tensão de von Mises: perspetiva frontal da simulação da barreira lateral simétrica.....	99
Figura 131 - Tensão de von Mises: perspetiva frontal da simulação da barreira lateral simétrico, com escala inferior.....	100
Figura 132 - Detalhe da zona de maior concentração de tensões.....	100

Figura 133 - Zonas críticas considerando $FS=1,5$ .....	101
Figura 134 - URES: perspectiva frontal da simulação da barreira lateral simétrica. ....	101
Figura 135 - Detalhes da malha utilizada na análise MEF da barreira de topo. ....	102
Figura 136 - Aplicação das condições fronteira e esforço atuante no modelo da barreira de topo. ....	102
Figura 137 - Tensão de von Mises: perspectiva frontal da simulação da barreira de topo. ....	103
Figura 138 - Tensão de von Mises: perspectiva frontal da simulação da barreira de topo com escala reduzida. ....	103
Figura 139 - Zonas críticas considerando $FS=10$ .....	104
Figura 140 - URES: perspectiva frontal da simulação da barreira de topo. ....	105
Figura 141 - Perspetiva do interior do equipamento na zona de acionamento da barreira. ....	106
Figura 142 - Perspetiva do exterior do equipamento: detalhe da montagem do tirante entre barreiras. ....	106
Figura 143 - Perspetiva exterior do topo do equipamento, totalmente aberto, na zona de interseção das barreiras lateral e de topo. ....	107
Figura 144 - Perspetiva interior do topo do equipamento, na zona de interseção das barreiras, no momento da abertura. ....	107
Figura 145 - Perspetiva da estrutura fora da cuba técnica, realçando o modelo simplificado a adotar no estudo. ....	109
Figura 146 - Perspetiva do modelo simplificado: a) tampa fechada e b) tampa aberta. ....	110
Figura 147 - Esquema da estrutura com a composição do piso da tampa. ....	111
Figura 148 - Exemplo de malha do modelo simplificado do HS gerada com base na curvatura. ....	115
Figura 149 - Localização dos pontos de convergência analisados – exemplo com parâmetros da análise 5. ....	116
Figura 150 - Valores dos URES obtidos para os dois pontos de convergência da malha. ....	117
Figura 151 - Tensões de von Mises obtidas para os dois pontos de convergência da malha. ....	117
Figura 152 - Parâmetros da malha em estudo. ....	118
Figura 153 - Tensão de von Mises: perspectiva superior da simulação com tampa fechada e sujeita a sobrecarga. ....	119
Figura 154 - Tensão de von Mises: perspectiva inferior da simulação com tampa fechada e sujeita a sobrecarga. ....	119
Figura 155 - Detalhe da tensão de von Mises máxima (perspetiva superior da tampa fechada). ....	120
Figura 156 - Zona crítica da tampa fechada com sobrecarga, considerando $FS=10$ . ....	120
Figura 157 - Zona crítica considerando $FS=1,5$ . ....	121
Figura 158 - URES: perspectiva superior da simulação com tampa fechada e sujeita a sobrecarga. ....	121

Figura 159 - URES: perspectiva inferior da simulação com tampa fechada e sujeita a sobrecarga.....	121
Figura 160 - Estrutura e elementos da dobradiça: a) perspectiva de montagem e b) nomenclatura dos componentes. ....	122
Figura 161 - Tensão de von Mises: perspectiva superior da simulação com a tampa em início de abertura. ....	123
Figura 162 - Tensão de von Mises: perspectiva inferior da simulação com a tampa em início de abertura. ....	123
Figura 163 - Detalhe localizado da tensão de von Mises máxima na simulação com a tampa em início de abertura. ....	124
Figura 164 - URES: perspectiva superior da simulação com a tampa em início de abertura. ....	124
Figura 165 - URES: perspectiva inferior da simulação com a tampa em início de abertura. ....	125
Figura 166 - Tensão de von Mises: perspectiva frontal da simulação com a tampa totalmente aberta. ...	126
Figura 167 - Tensão de von Mises: perspectiva traseira da simulação com a tampa totalmente aberta. .	126
Figura 168 - URES: perspectiva frontal da simulação com a tampa totalmente aberta. ....	127
Figura 169 - URES: perspectiva traseira da simulação com a tampa totalmente aberta. ....	127
Figura 170 - DCL, diagrama de esforços transversos e momentos fletores simplificados para os pinos de ligação. ....	129
Figura 171 - Critério de encurvadura: diagrama de Euler (excerto de Cudell (2014)).....	134
Figura 172 - Representação esquemática de um cilindro de simples efeito (adaptado de Gonzalez (2015)). ....	135
Figura 173 - Distribuição de tensões num cilindro de parede grossa sujeito a pressão interna (Budynas & Nisbett, 2010). ....	135
Figura 174 - Ligação inferior do cilindro à estrutura: a) perspectiva de montagem, b) representação das soldaduras e vista em corte. ....	137
Figura 175 - Tensões em ligações soldadas provocadas por: a) torção, b) flexão (adaptado de Budynas e Nisbett (2010)) e c) tensões no plano que define o cordão (CEN, 2010b).....	137
Figura 176 - Nomenclatura da geometria dos cordões de soldadura (adaptado de Silva, 2016). ....	138
Figura 177 - Fator de correlação $\theta_w$ para soldaduras em ângulo (excerto de CEN (2010b)). ....	139
Figura 178 - Coeficientes parciais de segurança para as ligações (excerto de CEN (2010b)). ....	139
Figura 179 - Perspetiva inferior sem alterações e com os componentes mais relevantes referenciados (estrutura de suporte do cilindro oculta).....	141
Figura 180 - Perspetiva inferior com alterações e componentes mais relevantes referenciados (estrutura de suporte do cilindro oculta).....	142
Figura 181 - Detalhes da malha utilizada na análise MEF da estrutura alterada: a) fechada com sobrecarga e b) iminência da abertura. ....	143

Figura 182 - Tensão de von Mises: perspectiva superior da simulação da nova estrutura com tampa fechada e sujeita a sobrecarga. ....	143
Figura 183 - Tensão de von Mises: perspectiva inferior da simulação da nova estrutura com tampa fechada e sujeita a sobrecarga. ....	144
Figura 184 - Detalhe da tensão de von Mises máxima. ....	144
Figura 185 - Zona crítica considerando FS=10. ....	145
Figura 186 - Zona crítica considerando FS =1,5. ....	145
Figura 187 - URES: perspectiva superior da simulação da nova estrutura com a tampa fechada e sujeita a sobrecarga. ....	146
Figura 188 - URES: perspectiva inferior da simulação da nova estrutura com a tampa fechada e sujeita a sobrecarga. ....	146
Figura 189 - Tensão de von Mises - perspectiva superior da simulação da nova estrutura com a tampa em início de abertura. ....	147
Figura 190 - Tensão de von Mises - perspectiva inferior da simulação da nova estrutura com a tampa em início de abertura. ....	147
Figura 191 - Detalhe localizado da tensão de von Mises máxima. ....	148
Figura 192 - URES: perspectiva superior da simulação da nova estrutura com a tampa em início de abertura. ....	148
Figura 193 - URES: perspectiva inferior da simulação da nova estrutura com a tampa em início de abertura. ....	149
Figura 194 - Análise SWOT do método de abertura do marco através de tampa comparativamente ao método de abertura por tambor. ....	155
Figura 195 - Proposta de Marco 1. ....	157
Figura 196 - Proposta de Marco 2. ....	157
Figura 197 - Proposta de Marco 3. ....	157
Figura 198 - Análise SWOT do marco baseado no equipamento Multibox, comparativamente com as outras duas propostas de marco. ....	158
Figura 199 - Primeira fase do projeto do marco (visualização de pedal e tampa). ....	159
Figura 200 - Primeira fase do projeto do marco (visualização da porta comercial). ....	159
Figura 201 - Representação em corte do início da ação de pressionar o pedal. ....	160
Figura 202 - Perspetiva parcial do mecanismo (posição intermédia). ....	160
Figura 203 - Representação em corte do pedal pressionado (tampa levantada). ....	160
Figura 204 - Detalhes de ligações: a) pedal/braço, b) braço/alavanca, c) alavanca/braço inversor e d) ilustração tipo das ligações anteriores. ....	160

Figura 205 - Desenho em corte do marco com os mecanismos da tampa aberta e fechada. ....	161
Figura 206 - DCL dos vários constituintes do mecanismo com a tampa fechada. ....	161
Figura 207 - DCL dos vários constituintes do mecanismo com a tampa totalmente aberta.....	161
Figura 208 - Representação em corte do início da ação de pressionar o pedal. ....	164
Figura 209 – Perspetiva da posição intermédia do mecanismo. ....	164
Figura 210 - Representação em corte do pedal pressionado (tampa levantada). ....	164
Figura 211 - Detalhes de ligações: a) pedal/braço, b) braço/tampa. ....	164
Figura 212 - Desenho em corte do marco com os mecanismos da tampa aberta e fechada. ....	165
Figura 213 - DCL dos vários constituintes do mecanismo com a tampa fechada. ....	165
Figura 214 - DCL dos vários constituintes do mecanismo com a tampa totalmente aberta.....	165
Figura 215 - Análise SWO do mecanismo com braço transmissor, comparativamente ao mecanismo com alavancas.....	166
Figura 216 - Perspetiva da parte traseira do marco com a porta comercial fechada. ....	167
Figura 217 - Perspetiva da parte traseira do marco com a porta comercial aberta.....	167
Figura 218 - Reforço limitador da porta – posição fechada. ....	168
Figura 219 - Reforço limitador da porta – posição aberta.....	168
Figura 220 - Sistema ajustável de fixação do cilindro.....	168
Figura 221 - Desenho em corte do marco com os mecanismos da porta comercial aberta e fechada. ..	168
Figura 222 - DCL da porta comercial fechada.....	168
Figura 223 - DCL da porta comercial totalmente aberta. ....	169
Figura 224 - Diversas chapas do marco obtidas por corte laser.....	170
Figura 225 - Chapa de revestimento do marco obtida por corte laser. ....	170
Figura 226 - Chapa de revestimento do marco após quinagem.....	171
Figura 227 - Posicionamento dos suportes da tampa na chapa de revestimento. ....	171
Figura 228 - Demonstração da montagem do mecanismo de alavancas. ....	171
Figura 229 - Abertura da tampa com recurso ao mecanismo de alavancas.....	171
Figura 230 - Posições do mecanismo de acionamento: a) antes da zona de inversão, b) momento da inversão e c) após inversão do movimento. ....	172
Figura 231 - Eixo de transmissão.....	173
Figura 232 - Vista explodida da montagem do eixo de transmissão. ....	173
Figura 233 - Demonstração do mecanismo com braço transmissor com a tampa aberta.....	174
Figura 234 - Vista exterior do marco. ....	174

---

Figura 235 - Zona lateral de aplicação do eixo da porta.....	175
Figura 236 – Exemplo de eixo da porta comercial. ....	175
Figura 237 - Perspetiva frontal do marco Cambridge.....	176
Figura 238 - Perspetiva traseira do marco Cambridge. ....	176
Figura 239 – Modelo revisto do equipamento HS4 totalmente equipado.....	178

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de estudos desenvolvidos por outros autores. ....	38
Tabela 2 - Soluções Sitape para equipamentos enterrados. ....	39
Tabela 3 - Diretivas a ter em atenção no projeto e acompanhamento das estruturas, comercialização e implantação. ....	50
Tabela 4 - Normas a ter em atenção no projeto e acompanhamento das estruturas, comercialização e implantação. ....	51
Tabela 5 - Matriz de classificação de critérios. ....	68
Tabela 6 - Matriz de comparação entre critérios. ....	69
Tabela 7 - Matriz de seleção. ....	70
Tabela 8 - Resumo dos valores calculados dos esforços críticos a atuar nos patins. ....	75
Tabela 9 - Resumo dos valores calculados e incógnitas resultantes da análise dos patins. ....	79
Tabela 10 - Comparação entre fatores mais relevantes de ambos os patins, considerando um equipamento. ....	82
Tabela 11 - Comparação entre os fatores mais relevantes da roda com trilho e do carro com calha, considerando um equipamento HS4 completo. ....	84
Tabela 12 - Características mecânicas mínimas dos aços S235JR, S275JR e DX51D à temperatura ambiente (adaptado de CEN (2005), CEN (2004) e Matweb (2020)). ....	93
Tabela 13 - Condições fronteira aplicadas nas diferentes análises ao modelo em estudo. ....	94
Tabela 14 - Ligações aplicadas nas análises ao modelo em estudo. ....	95
Tabela 15 - Resumo dos parâmetros de cada análise e resultado das tensões e URES obtidos para dois pontos distintos. ....	97
Tabela 16 - Variação entre URES consecutivos para ambos os pontos. ....	99
Tabela 17 - Custos de fabrico das barreiras do equipamento HS. ....	108
Tabela 18 - Características mecânicas mínimas do aço C45E à temperatura ambiente (adaptado de Ramada Aços (2020)). ....	112
Tabela 19- Resumo dos esforços atuantes na tampa e transmitidos à estrutura de suporte. ....	112
Tabela 20 - Condições fronteira aplicadas nas diferentes análises ao modelo em estudo. ....	113
Tabela 21 - Ligações aplicadas nas análises ao modelo em estudo. ....	114
Tabela 22 - Resumo dos parâmetros de cada análise e resultado das tensões de von Mises e URES obtidos para dois pontos distintos. ....	116

Tabela 23 - Variação entre URES consecutivos para ambos os pontos.....	118
Tabela 24 - Esforços atuantes nos pinos das dobradiças no ensaio da tampa fechada sujeita a sobrecarga. .....	122
Tabela 25 - Esforços atuantes nos pinos do equipamento no ensaio da tampa em início de abertura...125	
Tabela 26 - Esforços atuantes nos pinos do equipamento no ensaio da tampa totalmente aberta.....	128
Tabela 27 - Valores mais relevantes para dimensionamento obtidos nas diversas análises. ....	128
Tabela 28 - Valores mínimos aceitáveis para diferentes parâmetros do cilindro hidráulico. ....	136
Tabela 29 - Dimensões mínimas para pernas ( <i>b</i> ) de filetes (ANSI, 2016).....	138
Tabela 30 - Lista de propostas de alterações a realizar na estrutura do equipamento HS. ....	141
Tabela 31 - Esforços atuantes nos pinos das dobradiças no ensaio com sobrecarga da estrutura alterada. .....	146
Tabela 32 - Esforços atuantes nos pinos do equipamento no ensaio na fase inicial de abertura da tampa com estrutura alterada. ....	149
Tabela 33 - Valores dos maiores esforços obtidos pré e pós alterações.....	150
Tabela 34 - Resultados, em termos da massa, obtidos das alterações ao nível da estrutura do HS4.....	150
Tabela 35 - Custos com componentes <i>standard</i> e consumíveis.....	151
Tabela 36 - Custos com matéria prima suscetível a retrabalho. ....	151
Tabela 37 - Custos com mão de obra. ....	152
Tabela 38 - Custo final da estrutura metálica.....	152
Tabela 39 - Custos com material hidráulico. ....	152
Tabela 40 - Custos com tratamento superficial.....	152
Tabela 41 - Custos de montagem do equipamento. ....	153
Tabela 42 - Resumo dos custos parciais do equipamento HS4. ....	153
Tabela 43 - Ilustração do funcionamento do mecanismo de alavancas.....	160
Tabela 44 - Ilustração do funcionamento do mecanismo com braço transmissor. ....	164
Tabela 45 - Custos de fabrico do marco Cambridge.....	176
Tabela 46 - Valores de custo, por item, do equipamento HS4. ....	178
Tabela 47 - Síntese dos objetivos da dissertação, comentários e respetivo ponto de situação. ....	182
Tabela 48 - Resumo de algumas das decisões mais relevantes a nível europeu e nacional acerca dos RU. .....	198

# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	3
1.1	Contextualização .....	3
1.2	Objetivos .....	4
1.3	Organização da dissertação .....	5
1.4	Empresa de acolhimento .....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	Resíduos urbanos .....	9
2.1.1	Definição.....	9
2.1.2	Relevância e atualidade.....	9
2.1.2.1	Resíduos recicláveis .....	10
2.1.2.2	Enquadramento legislativo .....	12
2.1.2.3	Gestão dos resíduos urbanos.....	13
2.2	Estruturas metálicas.....	14
2.2.1	Tipos de estruturas e materiais utilizados.....	14
2.2.1.1	Aço utilizado no fabrico de estruturas.....	17
2.2.2	Legislação .....	18
2.2.3	Métodos de união .....	19
2.2.3.1	Ligações aparafusadas .....	19
2.2.3.2	Ligações soldadas.....	20
2.2.3.3	Outras ligações.....	21
2.2.4	Métodos de dimensionamento base de mecânica .....	23
2.2.4.1	Critério da Tensão Tangencial Máxima, ou de Tresca. ....	24
2.2.4.2	Critério da Energia de Distorção, ou de von Mises .....	25
2.2.5	Critérios de dimensionamento segundo o Eurocódigo .....	25
2.2.6	Método de elementos finitos (MEF) .....	26
2.2.7	Sistemas de acionamento .....	27

---

2.2.7.1	Sistemas eletromecânicos .....	27
2.2.7.2	Sistemas óleo-hidráulicos .....	27
2.2.7.3	Sistemas pneumáticos .....	28
2.3	Projeto de equipamentos enterrados de armazenamento de resíduos.....	29
2.3.1	Equipamentos de deposição e infraestruturas .....	31
2.3.1.1	Contentores de superfície.....	32
2.3.1.2	Contentores enterrados ou semienterrados .....	34
2.3.1.2.1	Terminologia adotada .....	36
2.3.2	Outros trabalhos académicos desenvolvidos.....	37
2.3.3	Soluções existentes .....	39
2.3.3.1	Propostas de equipamentos enterrados Sitape .....	39
2.3.3.2	Propostas de equipamentos semienterrados.....	41
2.3.3.3	Materiais comumente utilizados .....	42
2.3.3.4	Sistemas de acionamento.....	45
2.3.3.4.1	Estruturas.....	45
2.3.3.4.2	Contentores .....	47
2.3.3.4.3	Marcos .....	48
2.3.4	Legislação .....	49
2.3.4.1	Contentores .....	49
2.3.4.2	Estrutura .....	50
2.3.4.3	Dispositivo de segurança contra a queda.....	52
2.3.4.3.1	Soluções existentes.....	52
2.3.4.4	Marco.....	53
2.3.5	Recolha dos resíduos pelos operadores.....	54
3	DESENVOLVIMENTO.....	57
3.1	Estrutura do equipamento Hook System (HS) .....	57
3.1.1	Contextualização do problema.....	57
3.1.1.1	Enquadramento legislativo .....	60
3.1.1.1.1	Requisitos de segurança .....	61
3.1.2	Dispositivo de segurança.....	62

3.1.2.1	Formas de abordagem do problema .....	63
3.1.2.1.1	Plataforma de segurança .....	63
3.1.2.1.2	Barreira de segurança .....	64
3.1.2.1.3	Funcionalidade da plataforma segurança e da barreira de segurança .....	65
3.1.2.2	Anteprojeto.....	65
3.1.2.2.1	Matriz de seleção .....	66
3.1.2.2.2	Estudo dos requisitos da barreira de segurança .....	72
3.1.2.2.3	Realização e validação de um protótipo .....	75
3.1.2.3	Projeto .....	79
3.1.2.3.1	Estudo de mecanismos .....	80
3.1.2.3.2	Seleção do mecanismo.....	85
3.1.2.3.3	Solução final .....	87
3.1.2.3.4	Condições da análise por MEF .....	92
3.1.2.3.5	Resultados.....	99
3.1.2.4	Conclusões do estudo .....	105
3.1.2.4.1	Análise de custos.....	107
3.1.3	Modelo simplificado da estrutura do equipamento .....	109
3.1.3.1	Estudo das cargas atuantes na tampa .....	110
3.1.3.2	Materiais .....	112
3.1.3.3	Condições fronteira e esforços .....	112
3.1.3.4	Ligações.....	114
3.1.3.5	Análise de convergência da malha.....	115
3.1.3.6	Resultados.....	118
3.1.3.6.1	Análise da tampa fechada com sobrecarga .....	119
3.1.3.6.2	Análise da estrutura no início da abertura.....	122
3.1.3.6.3	Análise da estrutura totalmente aberta.....	125
3.1.3.7	Verificações a realizar mediante os resultados obtidos .....	128
3.1.3.7.1	Verificação do diâmetro dos pinos .....	128
3.1.3.7.2	Dimensionamento do cilindro hidráulico.....	132
3.1.3.7.3	Dimensionamento de cordões de soldadura mais relevantes .....	136
3.1.3.8	Alterações propostas à estrutura atual do HS .....	139

3.1.3.8.1	Análise da tampa fechada com sobrecarga .....	143
3.1.3.8.2	Análise da estrutura no início da abertura.....	146
3.1.3.8.3	Resultados.....	150
3.1.3.8.4	Análise de custos.....	151
3.1.4	Conclusão .....	154
3.2	Marco de deposição de resíduos .....	155
3.2.1	Anteprojeto .....	155
3.2.1.1	Análise SWOT.....	155
3.2.1.2	Solução optada e requisitos.....	156
3.2.1.2.1	Definição da geometria de base .....	157
3.2.2	Projeto.....	159
3.2.2.1	Sistema mecânico .....	159
3.2.2.1.1	Mecanismo com alavancas .....	160
3.2.2.1.2	Mecanismo com braço transmissor .....	163
3.2.2.1.3	Análise SWO .....	166
3.2.2.1.4	Mecanismo de fecho da porta comercial.....	167
3.2.3	Conceção do protótipo.....	170
3.2.3.1	Teste do mecanismo com alavancas.....	171
3.2.3.1.1	Observações.....	172
3.2.3.2	Teste do mecanismo com braço transmissor .....	174
3.2.3.3	Teste do mecanismo de fecho da porta comercial.....	175
3.2.4	Conclusão .....	175
3.2.4.1	Análise de custos .....	176
3.3	Equipamento HS4.....	178
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .....	181
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	187
6	ANEXOS.....	195
6.1	ANEXO I –Dados de capitação anual de resíduos urbanos na EU, referentes ao ano de 2017, Fonte: Eurostat (2019). .....	196

---

6.2	ANEXO II – Resumo de algumas das decisões mais relevantes a nível europeu e nacional ao nível dos RU.....	198
6.3	Anexo III – Extrato de condições impostas para concursos públicos.....	203
6.4	Anexo IV – Processo técnico do HS4 com alterações e respetiva barreira de segurança 205	
6.5	Anexo V – Processo técnico do marco Cambridge.....	206



# INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Organização da dissertação
- 1.4 Empresa de acolhimento



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

A recolha de resíduos é um processo que necessita de uma constante evolução das infraestruturas existentes para esse fim. A localização, capacidade e aspeto dos equipamentos inseridos nos pontos de recolha previstos, são variáveis que dependem de fatores como a acessibilidade e logística disponível, o enquadramento urbano e o público local a que se destina.

Os equipamentos enterrados com a função de armazenamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) possuem vantagens e desvantagens, sendo que, para suprimir as desvantagens que eles acarretam, é necessário obedecer a condições impostas por normas internacionais e/ou europeias e especificações das entidades interessadas em implementar estes sistemas, permanecendo a segurança sempre em destaque. Embora a aquisição dos equipamentos seja efetuada, maioritariamente por empresas privadas, no âmbito de obras públicas, a partir do momento em que esta mesma obra é concluída pela entidade adjudicante, a propriedade e gestão dos equipamentos passa a ser de domínio público.

A produção em larga escala destes equipamentos permite a redução de custos de matéria-prima e de mão de obra. Com este objetivo, os equipamentos de cada fabricante, são normalmente estruturas modulares *standard*, permitindo assim acrescentar partes da estrutura. Desta forma, estes equipamentos vão de encontro ao pretendido por cada cliente. Cabe ao cliente informar, em função do projeto previamente definido, o número de contentores de cada equipamento. O fabricante, no caso de possuir sistemas modulares, apenas necessita de acrescentar elementos à estrutura intermédia. Os diversos tipos equipamentos existentes também contêm peças comuns entre eles, permitindo assim ao fabricante ter algumas peças em *stock* para responder a necessidades imediatas.

Por forma a tratar toda esta problemática dos RSU, a Sitape apresenta uma vasta gama de equipamentos enterrados e de superfície, de modo a colmatar as necessidades dos clientes, necessidades essas que se prendem habitualmente com os locais onde se inserem os equipamentos ou com o tipo de veículos que existem localmente para procederem à recolha dos resíduos depositados nos diferentes contentores.

Com este trabalho pretende-se colmatar lacunas existentes atualmente em parte dos equipamentos enterrados, bem como encontrar possíveis soluções para reduzir o valor de custo do equipamento Hook System (HS). Diversos fabricantes propõem uma panóplia de soluções de equipamentos enterrados, mas apenas uma minoria destes

cumpra totalmente a legislação. Nesse sentido, a Sitape, enquanto empresa recentemente em afirmação no mercado das soluções enterradas de recolha de resíduos, preocupa-se em adaptar os seus equipamentos, para cumprir os requisitos de segurança estabelecidos pela legislação em vigor. A estética destes equipamentos tem, também, elevada importância, pelo que, a Sitape procura desenvolver este aspeto, destacando os marcos de deposição, uma vez que se tratam da parte visível mais difícil de enquadrar na zona urbana envolvente. Em resposta às tendências de mercado atuais, por forma a aumentar o número de soluções destes dispositivos, compatíveis com os diferentes equipamentos enterrados, a Sitape propôs o desafio de desenvolver o seu primeiro marco, cujo modo de abertura será através de uma tampa, em detrimento do sistema de tambor rotativo atualmente utilizado como entrada para deposição dos resíduos nas quatro diferentes versões atuais de marcos da empresa.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho teve como principal objetivo projetar uma solução completa para o equipamento enterrado de armazenamento de resíduos HS. Este equipamento, assim como grande parte dos equipamentos existentes no mercado, não cumpre um dos requisitos impostos pela legislação que diz respeito ao dispositivo de segurança necessário para evitar a queda de pessoas, animais e objetos no seu interior, durante o processo de recolha dos contentores. Posto isto, e dada a necessidade da constante atualização e melhoria contínua dos equipamentos existentes, definiram-se como fulcrais os seguintes objetivos:

- investigação e contextualização com os produtos existentes no mercado projetados para o fim de recolha e armazenamento de resíduos;
- averiguação da legislação europeia e nacional aplicável em termos estruturais, bem como de alguns decretos publicados no sentido de colmatar eventuais riscos através de requisitos estabelecidos especificamente em função dos diversos tipos de equipamentos e periféricos;
- desenvolver uma solução para tentar mitigar, no imediato, o problema da inexistência de dispositivo de segurança no equipamento HS. Esta solução deve ser possível de aplicar também em equipamentos já em funcionamento;
- validar a estrutura do HS, no caso de a implementação do dispositivo de segurança implicar alterações ao nível estrutural;
- reduzir, se possível, o custo de produção do equipamento, mediante o redimensionamento e simplificação de alguns elementos da estrutura. É importante ter em atenção os problemas atuais resultantes da aplicação do tratamento superficial da estrutura;
- projetar um novo marco de deposição de resíduos compatível com todos os equipamentos da empresa;
- por último, apresentar os valores de custo para os diversos itens desenvolvidos ao longo do trabalho e, se possível, propor um orçamento que contemple o equipamento HS, de quatro marcos (HS4), munido com todas estas adaptações.

### 1.3 Organização da dissertação

A estrutura da presente dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos.

1. o presente capítulo é referente à introdução e apresenta, sinteticamente, a contextualização do projeto, os seus objetivos, a estrutura da dissertação e uma breve apresentação da empresa de acolhimento;
2. o segundo capítulo é referente à revisão bibliográfica, onde se pretende enquadrar o leitor com a problemática dos resíduos, dando ênfase aos equipamentos de recolha como parte da resolução desse problema. Este capítulo apresenta alguns conceitos genéricos de projeto de estruturas metálicas e automatismos, bem como alguma legislação aplicável fundamental para os projetos a desenvolver no capítulo seguinte;
3. o terceiro capítulo é dedicado ao desenvolvimento propriamente dito, podendo ser dividido em três partes: o estudo de um equipamento enterrado de recolha de resíduos, efetuado com recurso a análises com o método de elementos finitos (MEF) e também com métodos de dimensionamento tradicionais. A primeira parte deste capítulo pode ainda ser subdividida no estudo da aplicação de um dispositivo de segurança e projeto do mesmo, e também no estudo detalhado da estrutura existente, quando sujeita às possíveis alterações requeridas para tornar possível a aplicação do dispositivo de segurança. A segunda parte consiste no desenvolvimento de um novo marco de deposição *standard*. Por último, será apresentada uma revisão à estrutura enterrada atual com o objetivo de reduzir os custos de produção da mesma. A garantia do cumprimento da legislação aplicável é, durante todo este capítulo, um dos pontos fulcrais para o sucesso da solução final;
4. o quarto capítulo diz respeito às conclusões e propostas de trabalhos futuros, e vem dar resposta ao delineado nos objetivos, bem como à definição de aspetos a serem tratados futuramente na empresa. Na conclusão é realizado o balanço final de todo o trabalho e também enfatizados alguns dos resultados obtidos no decorrer do mesmo. O estabelecimento de possíveis trabalhos futuros que devem ser realizados a curto/médio prazo pela empresa no seguimento desta dissertação também está patente neste capítulo.

### 1.4 Empresa de acolhimento

O presente trabalho encontra-se em desenvolvimento na Sitape - Indústria Metalúrgica, S.A., situada em Vale de Cambra, constituindo parte do trabalho desenvolvido pelo mestrando nesta empresa.

Fundada em 1969, a Sitape (Figura 1) está integrada no universo de empresas do Grupo Vicaima, dedicado, na sua grande maioria, à transformação e distribuição de madeira e seus derivados. A Sitape é uma empresa do ramo da metalomecânica especializada na área de atividade ambiental, dividindo-se fundamentalmente em duas áreas distintas: os Sistemas de Tratamento de Emissões Gasosas (STEG), e os Sistemas Integrados de

Resíduos Sólidos Urbanos (SIR). Os SIR são a aposta mais recente da empresa no mercado, dispondo atualmente de quatro diferentes equipamentos enterrados de recolha de resíduos, versáteis e capazes de responder às necessidades de diversos nichos de mercado.



Figura 1 - Logotipo da entidade acolhedora e alguns trabalhos realizados (adaptado de Sitape (2019)).

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Resíduos urbanos
- 2.2 Estruturas metálicas
- 2.3 Projeto de contentores



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Resíduos urbanos

#### 2.1.1 Definição

A Diretiva 2018/851/CE, no artigo 3.º, define resíduos urbanos como:

- a) Resíduos de recolha indiferenciada e resíduos de recolha seletiva das habitações, incluindo papel e cartão, vidro, metais, plásticos, bio resíduos, madeira, têxteis, embalagens, resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos, resíduos de pilhas e de acumuladores, bem como resíduos volumosos, incluindo colchões e mobiliário;
- b) Resíduos de recolha indiferenciada e resíduos de recolha seletiva de outras origens, caso sejam semelhantes aos resíduos das habitações em termos de natureza e composição.

Estes resíduos representam potencialmente uma enorme perda de recursos materiais e energéticos. Para além desta perda, a gestão e a eliminação dos mesmos pode ter impactos ambientais graves. A deposição destes resíduos em aterros preenche um espaço significativo e, para além disso, pode dar origem a poluição atmosférica, dos solos e também dos lençóis de água. Em alternativa, os resíduos podem também ser incinerados, podendo daí resultar emissões de poluentes atmosféricos perigosos (Eurostat, 2017).

Com base nestes fatores, a União Europeia (UE) instaurou políticas de gestão de resíduos visando reduzir o impacto dos resíduos no ambiente e na saúde, bem como melhorar a eficiência dos recursos da UE. Prevê-se com estas políticas, a longo prazo, reduzir a quantidade de resíduos produzidos. Se a produção dos mesmos for inevitável, devem ser utilizados recursos recicláveis, por forma a elevar os níveis de reciclagem e promover a eliminação segura dos resíduos (Eurostat, 2017).

#### 2.1.2 Relevância e atualidade

Segundo os dados estatísticos mais recentes do Eurostat, relativos ao ano de 2017, cada português produz, em média, 487 kg de lixo doméstico urbano por ano. Este valor encontra-se em linha com a média da UE (486 kg).

Assim, com base na Figura 2, verifica-se que, até 2013, existiu uma tendência decrescente no valor dos resíduos urbanos *per capita* a nível nacional. Desde então, até à obtenção dos últimos dados estatísticos (2017), este valor tem vindo a aumentar.

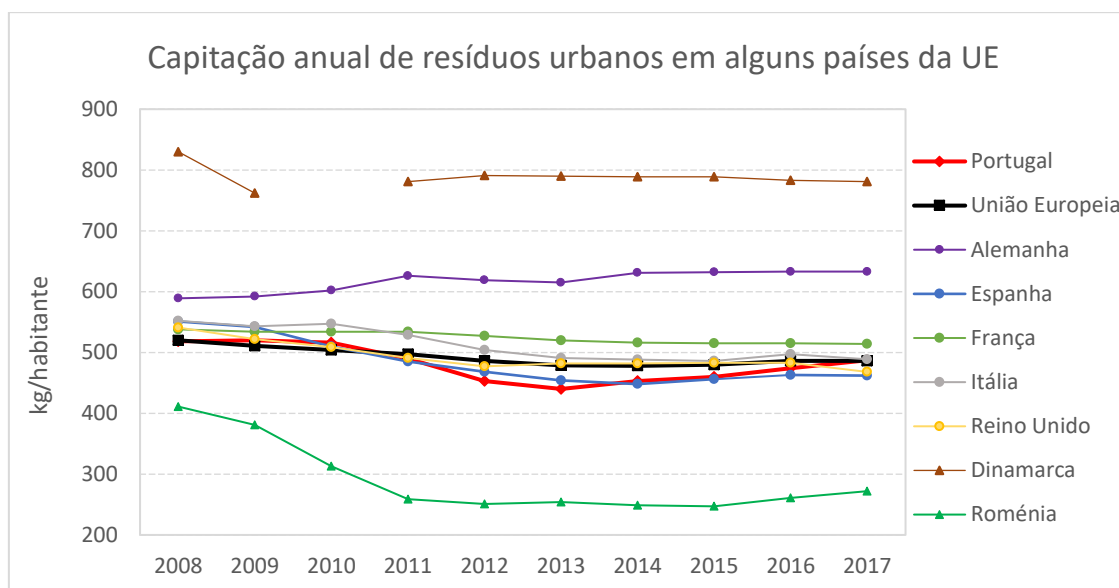


Figura 2 - Capitação anual de resíduos urbanos em alguns países da UE (adaptado de Eurostat (2019)).

Enquadrando a nível Europeu, verifica-se que Dinamarca é o país membro que produz mais resíduos, tendo como último valor *per capita* 781 kg/habitante. Relativamente a este país, para o ano de 2010, não existem dados referentes aos valores *per capita*. Em contraste, o país que gera menos resíduos é a Roménia, com cerca de 272 kg/habitante. Países como a Alemanha excedem significativamente a média europeia, enquanto países como a Espanha, França, Itália e Reino Unido se encontram relativamente próximos da mesma.

No Anexo I constam, detalhadamente, os valores tidos em conta para a realização gráfica da Figura 2.

#### 2.1.2.1 Resíduos recicláveis

No que diz respeito a resíduos recicláveis, no caso do plástico, cada português consome, em média, cerca de 31 kg, sendo que desse valor apenas 42% é reciclada (Eurostat, 2017). Relativamente ao vidro e papel, em termos nacionais, as taxas de reciclagem destes rondam os 58% no caso do vidro e 70% para o cartão. Enquadrando num contexto europeu, Portugal encontra-se na média, no que diz respeito ao plástico, mas o mesmo não acontece relativamente ao vidro e ao papel, onde as taxas de reciclagem europeias rondam os 78% e 85%, respetivamente (Eurostat, 2017).

Em suma, podem traduzir-se os valores anteriormente mencionados, para todos os estados membros da UE, na Figura 3, relativamente ao ano de 2017. Neste gráfico, é possível observar que, em Portugal, são reciclados cerca de 28% dos resíduos recolhidos, dos quais 19% são incinerados e, por fim, a maioria (47%) é encaminhada para aterros sanitários. Dos 5% em falta, não existem dados concretos que os permitam enquadrar.

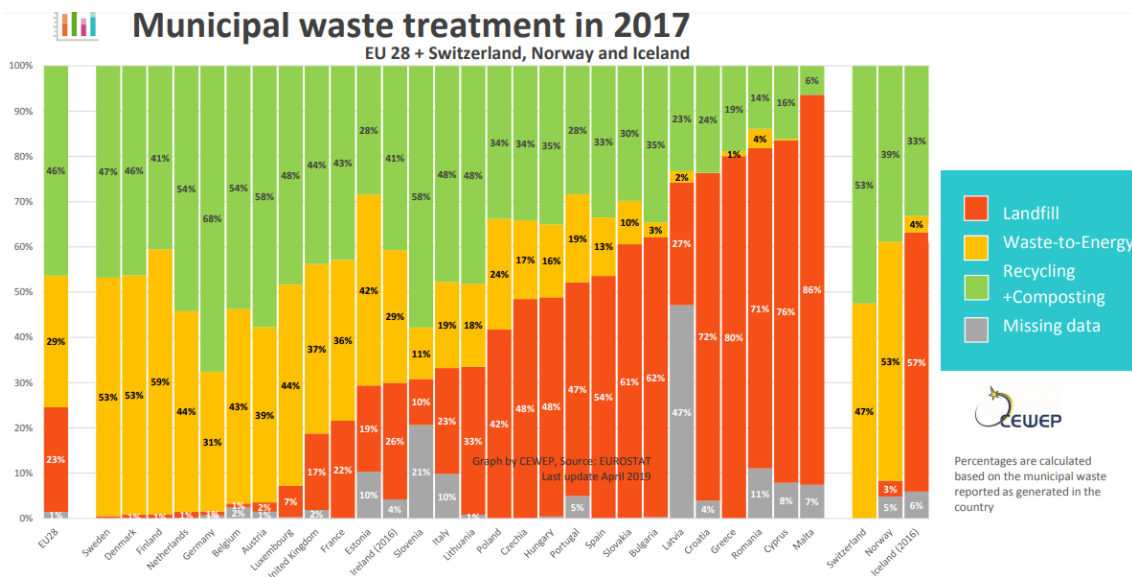


Figura 3 - Tratamento de resíduos municipais 2017 (Eurostat, 2019).

Como se pode observar na Figura 3, a Alemanha é pioneira no que toca à reciclagem, com cerca de 68% dos seus resíduos a serem reciclados, e apenas 1% a ser encaminhado para aterros sanitários.

Como exemplo ilustrativo, no que diz respeito à reciclagem de plástico, na Figura 4 apresenta-se um mapa da Europa onde consta a taxa de reciclagem do mesmo, distribuído pelos diferentes estados membros.

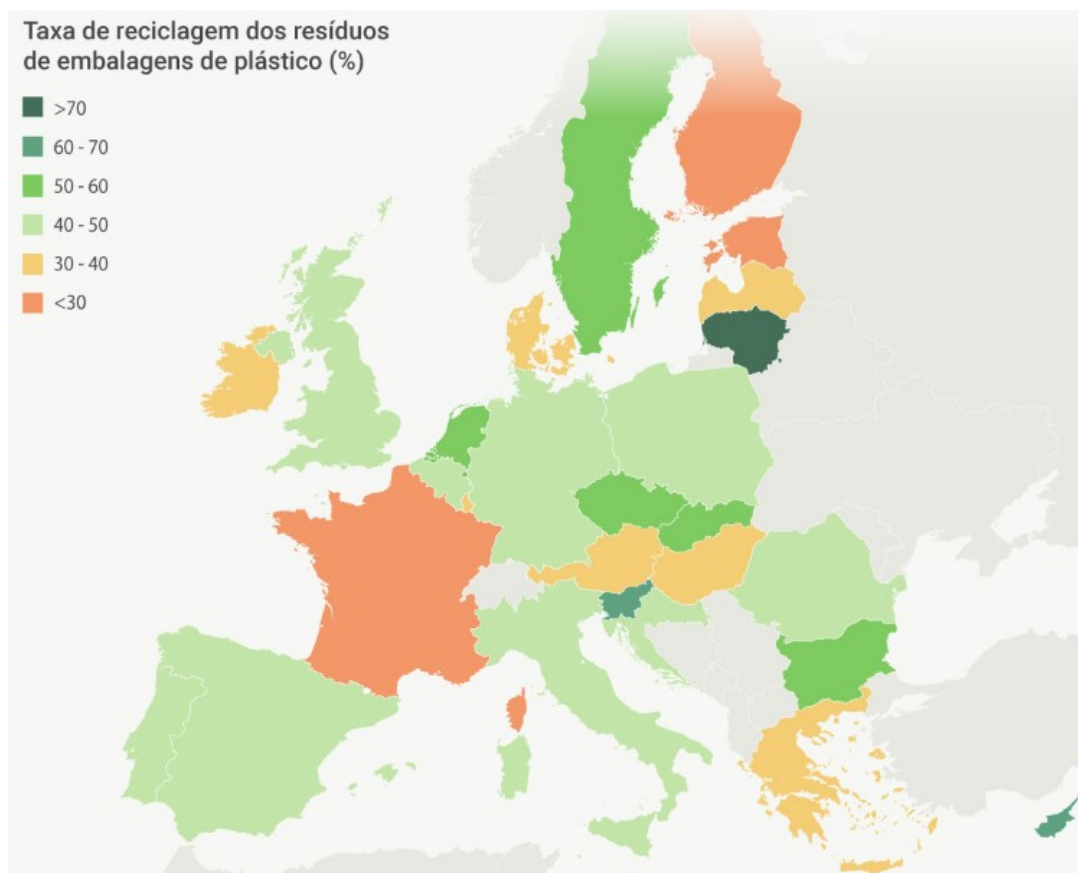


Figura 4 - Taxa de reciclagem dos resíduos de embalagens plásticas na Europa (PE, 2018d).

### 2.1.2.2 Enquadramento legislativo

A Diretiva de aterros 2018/850/CE estabelece como objetivo aos estados membros para 2035, a redução da quantidade total de resíduos urbanos depositados em aterros sanitários para, pelo menos, 10%. No momento deste estudo, ainda era possível observar sete estados membros com taxas superiores a 60%, como se observou anteriormente na Figura 3.

No domínio da reciclagem, a Diretiva 2018/852/CE estabelece um objetivo comum para os estados membros, de se prepararem para reutilizar e reciclar 65% dos resíduos de embalagens, até 2025, com as seguintes metas diferenciadas por materiais (APA, 2018):

- 50% plásticos;
- 25% madeira;
- 70% metais ferrosos (aço);
- 50% alumínio;
- 70% vidro;
- 75% papel/cartão.

Até 31 de dezembro de 2030, devem ser reciclados pelo menos 70%, em peso, de todos os resíduos de embalagens, com as seguintes metas por materiais (APA, 2018):

- 55% plástico;
- 30% madeira;
- 80% metais ferrosos (aço);
- 60% alumínio;
- 75% vidro;
- 85% papel/cartão.

De forma a cumprir os requisitos anteriormente mencionados, bem como delinear ações a implementar progressivamente, foi criado um plano estratégico, que proporciona a implementação de um conjunto de ações que se revelaram fundamentais na concretização da política de resíduos urbanos. Este Plano Estratégico constitui um instrumento para a gestão de resíduos urbanos para 2014-2020, que atualmente se designa PERSU 2020 (Teixeira et al., 2014).

No PERSU 2020 constam medidas que consubstanciam princípios de eficiência e de reconhecimento dos resíduos como recursos, favorecendo a atuação a montante da cadeia de valor e a integração do Programa de Prevenção de Resíduos Urbanos. Da mesma forma, estas medidas propiciam também um aumento da recolha seletiva e da reciclagem, impulsionando uma redução progressiva da deposição direta em aterro, promovendo um aumento da eficiência das infraestruturas e sistemas de gestão de RSU, com consequente racionalização, redução e recuperação sustentável de custos (ERSAR, 2016).

A implementação deste plano estratégico deverá permitir atingir níveis ambiciosos de reciclagem e preparação para a reutilização de resíduos em Portugal continental, destacando-se as seguintes metas globais estabelecidas para 2020 (ERSAR, 2016):

- reduzir de 63% para 35% a deposição, em aterro, dos resíduos urbanos biodegradáveis, relativamente ao ano de referência 1995;
- aumentar de 24% para 50% a taxa de preparação de resíduos para reutilização e reciclagem;
- assegurar níveis de recolha seletiva de 47 kg/habitante/ano.

A visão para a gestão dos resíduos, preconizada neste instrumento de referência da política de gestão do setor, conduz à definição de oito objetivos (ERSAR, 2016):

- prevenção da produção e perigosidade dos resíduos urbanos;
- aumento da preparação para reutilização, da reciclagem e da qualidade dos resíduos recicláveis;
- redução da deposição de resíduos urbanos em aterro;
- valorização económica e escoamento dos resíduos recicláveis e outros materiais do tratamento dos resíduos urbanos;
- reforço dos instrumentos económico-financeiros;
- incremento da eficácia e capacidade institucional e operacional do setor;
- reforço da investigação, do desenvolvimento tecnológico, da inovação e da internacionalização do setor;
- aumento do contributo do setor para outras estratégias e planos nacionais.

De modo a enquadrar, de uma forma sintetizada, alguma da legislação mais relevante publicada neste contexto, no Anexo II são indicadas algumas das decisões (Diretivas, Decretos-Lei, entre outros) divulgadas ao longo do tempo, sendo apresentada uma breve descrição do que é abordado nas mesmas.

### 2.1.2.3 Gestão dos resíduos urbanos

A política de resíduos da UE tem como objetivo, assegurar que os mesmos sejam utilizados, sempre que possível, como matéria-prima para fabricar novos produtos. A reciclagem reduz a quantidade de resíduos que acaba em aterro, e assim a quantidade de matérias-primas necessárias, tornando-se fundamental numa Europa dependente da importação de matérias-primas escassas, ao proporcionar às indústrias materiais recuperados a partir de resíduos, como papel, vidro, plástico e metais, bem como metais preciosos (CE, 2010).

Os ecopontos são a opção para a recolha seletiva de RSU, sendo o suporte financeiro e tratamento dos resíduos de embalagens gerido pela Sociedade Ponto Verde (SPV). A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) é a entidade licenciadora dos operadores e, a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), a entidade responsável por regular a gestão dos RSU. Na Figura 5 apresenta-se o esquema de gestão de RSU adotado em Portugal.

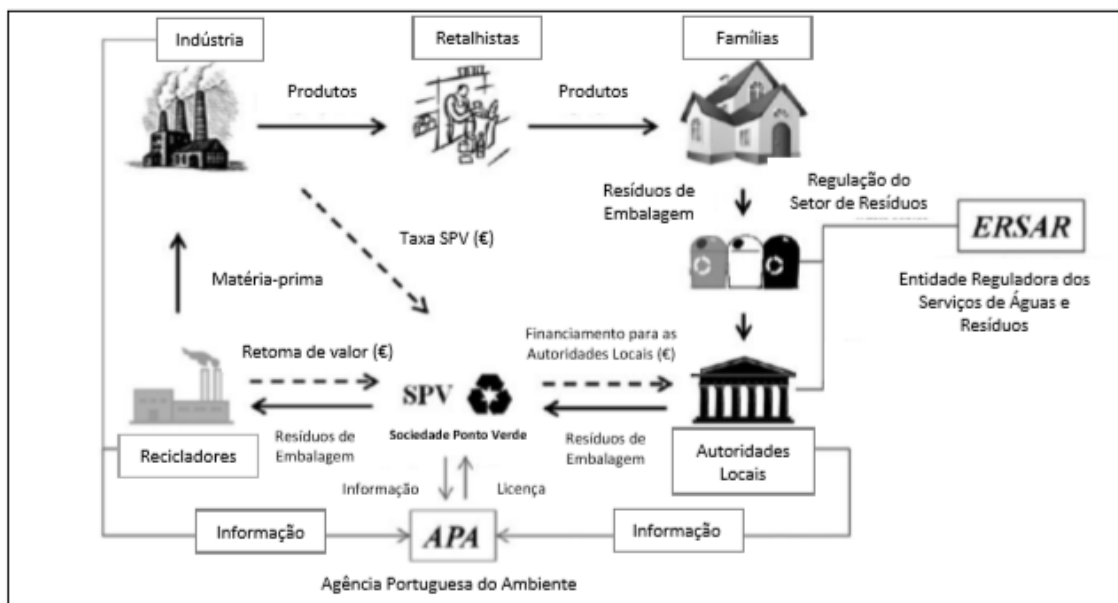


Figura 5 - Esquema de gestão de RSU em Portugal (Cruz *et al.*, 2012).

## 2.2 Estruturas metálicas

Em Portugal, durante vários anos, assistiu-se a um aumento progressivo da construção metálica, o que se refletiu num aumento da competitividade deste tipo de solução estrutural em diversas áreas da indústria da construção, como sejam as pontes, os edifícios industriais, os edifícios de escritórios, estruturas de plataformas enterradas, os parques de estacionamento, as coberturas de recintos desportivos, entre outras. Atualmente, tem-se assistido a um ligeiro decréscimo, mas, ainda assim, vão surgindo novos nichos de mercado, como por exemplo o setor da indústria de desenvolvimento e produção de equipamentos, energia e do mar (Santos, 2018). Estes factos exigem cada vez mais às empresas, uma grande versatilidade ou estabelecimento de parcerias, por forma a tornar as mesmas mais competitivas no mercado.

As propriedades físicas e mecânicas do aço levam à conceção de estruturas com esbelteza considerável, cujo dimensionamento tende a ser, de uma forma geral, condicionado pela verificação da estabilidade e/ou deformabilidade global da estrutura ou dos seus elementos.

### 2.2.1 Tipos de estruturas e materiais utilizados

Dependendo de fatores como a função, tipo de solicitação, condições de implantação, meio envolvente, entre outros, são definidos tipos de estruturas. Estes tipos podem ser enquadrados de várias formas, em vários grupos. Classificando as estruturas segundo as dimensões, estas podem ser de:

1. **Grande e médio porte:** pórticos de edifícios (Figura 6), gruas, pontes (Figura 7), estruturas treliçadas de coberturas, mezaninos.

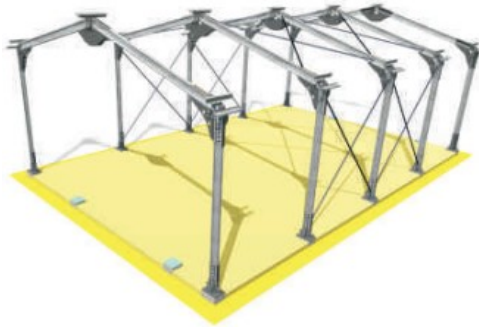


Figura 6 - Exemplo de estrutura composta por pórticos (Belchior, 2019).

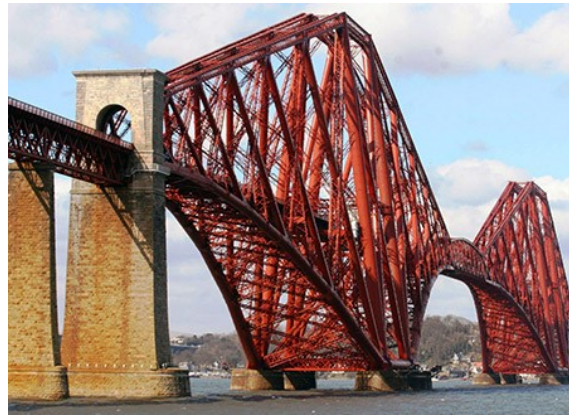


Figura 7 - Exemplo de Ponte contruída em estrutura tubular - Ponte Forth (Travel Sygic, 2019).

Estes tipos de estruturas são maioritariamente construídos em:

- a. **Perfis de secções laminadas do grupo H (HEA, HEB, HEM) e I (IPE, IPN):** estes possuem abas que facilitam ligações. Os perfis do grupo H são preferencialmente aplicados em situações com constrangimento geométrico (menor rendimento), enquanto os perfis do grupo I apresentam um máximo rendimento para material mais distante do centro geométrico. Estes perfis são habitualmente utilizados em pórticos de pavilhões, plataformas, pontes e mezaninos;
- b. **Perfis de secções laminadas do grupo L e U (UPN, UPE):** o facto de serem perfis abertos leva a secção a ter uma constante de empenamento e uma rigidez de torção muito reduzidas, formando elementos bastante sensíveis a fenómenos de instabilidade. Este fator leva a que estes perfis apenas sejam utilizados em situações onde o sentido e a aplicação dos esforços sejam conhecidos, por forma a evitar solicitações que estes perfis não suportam. Estes perfis são normalmente usados em guias, estruturas interiores, tirantes, escadas verticais, entre outros;
- c. **Secções tubulares:** são normalmente aplicadas em situações de compressão centrada. A sua ligação é normalmente mais complexa quando comparada com os perfis mencionados no tópico anterior. Estes perfis podem ser usados em pilares solicitados principalmente a esforços axiais,
- d. **Secções compostas:** consistem na combinação de perfis laminados soldados. O fabrico destas secções é bastante complexo pelo que, sempre que possível, deve optar-se por perfis simples. Estas secções são normalmente usadas quando a estrutura é sujeita a elevadas solicitações de esforço (grandes vãos, por exemplo) e não é possível garantir as condições de funcionamento com perfis normalizados. Estes perfis compostos requerem também um maior esforço na fase de projeto, uma vez que não existem especificações detalhadas como no caso dos perfis normalizados, estas têm de ser determinadas analiticamente.

e. **Perfis conformados a frio:** perfis obtidos principalmente através de quinagem e calandragem. Estes perfis são fabricados através de chapa, que é conformada, ficando com comportamento estrutural bastante robusto. Quando se constroem estes perfis há que ter sempre em consideração os custos, de mão de obra e máquinas, e ponderar a relação custo/benefício. Em alguns casos é mesmo necessário recorrer a estes perfis, dadas as limitações geométricas dos perfis normalizados. Deste processo podem ser obtidos tubos, placas quinadas, calhas, entre outros.

2. **Estruturas ligeiras e caldeiraria:** Escadas e barreiras (Figura 8), portões, passerelles e reservatórios (Figura 9).



Figura 8 - Exemplo de estrutura metálica de varandim e escada (Inocambra, 2019).



Figura 9 - Exemplo de instalação de equipamentos em aço inoxidável na Indústria Alimentar (Arsopi, 2019).

Estes tipos de estruturas são maioritariamente construídos em perfis de aço inoxidável. Os perfis mais usuais neste tipo de estruturas são semelhantes aos mencionados nos tópicos iii) e v) acima, mais ou menos robustas, em função do tipo de solicitação e aplicação.

3. **Estruturas de máquinas:** Este tipo de estruturas engloba uma grande variedade de perfis e materiais, que vão desde guiamentos de tolerâncias muito exatas a perfis de alumínio e estruturas maciças de ferro fundido.

No caso das máquinas mais usuais no chão de fábrica, como por exemplo uma fresadora convencional (Figura 10), a sua estrutura é composta por vários elementos. Possui como base uma estrutura maioritariamente em ferro fundido, existindo depois constituintes como: sistemas de guias, fusos e todos os elementos de fixação e manutenção inerentes aos mesmos, um motor que irá permitir o movimento de rotação da bucha, blindagens em chapa quinada, mesas de trabalho, entre outros. Estes elementos podem ser obtidos através de processos como a fundição, maquinagem, conformação plástica, entre outros.



Figura 10 - Exemplo de fresadora convencional (Castro&Alves, 2019).



Figura 11 - Exemplo de estrutura de máquina em alumínio (Estrutural, 2019).

A utilização de máquinas CNC, Robots, entre outras cujos movimentos podem provocar lesões a operadores ou meio envolvente, requer a utilização de estruturas que têm como função a redução da exposição ao risco de acidente (exemplo da Figura 11). Estas estruturas podem ser construídas em perfis de alumínio extrudidos, com mecanismos e automatismos que possibilitam o seu correto funcionamento para o desempenho das funções, existindo, para além das barreiras limitadoras de acesso, sistemas de segurança.

#### 2.2.1.1 Aço utilizado no fabrico de estruturas

O tipo de aço é definido na siderurgia, mediante a sua composição química, que é definida em função de cada aço. Os aços podem ser classificados em: aços-carbono, aços de baixa liga, ou aços de liga.

Em estruturas metálicas, os mais utilizados são os aços-carbono, laminados a quente (também designados por aços macios), caracterizados por baixas percentagens de carbono (na ordem dos 0,2%). Na Figura 12, extraída do Quadro 3.1 do EC3-1-1, são definidos os valores nominais da tensão de cedência ( $f_y$ ) e da tensão de rotura à tração ( $f_u$ ) dos aços mais correntes, definidos segundo a norma EN-10025-2.

Norma e classe de aço	Espessura nominal $t$ do componente da secção [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	490	335	470
S 450	440	550	410	550

Figura 12 - Valores nominais da tensão de cedência ( $f_y$ ) e da tensão de rotura à tração ( $f_u$ ) dos aços macios correntes (CEN, 2010a).

Ao utilizar os métodos de análise e dimensionamento plásticos na fase de projeto, é fundamental que os aços possuam ductilidade suficiente, esta deve ser assegurada segundo os requisitos estabelecidos no EC3-1-1.

### 2.2.2 Legislação

A nível nacional, a atividade de projeto de estruturas metálicas foi, durante um longo período, regulamentada pelo Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE), aprovado pelo Decreto-Lei N.º 211/86, de 31 de julho. Este documento, além de tecnicamente desatualizado, apresenta limitações em áreas como a análise plástica de estruturas, encurvadura, encurvadura lateral ou bambeamento, análise e dimensionamento de ligações, entre outras (Simões, 2005). Segundo a publicação do Diário da República (DR) de 17 de setembro de 2019, para o projeto e dimensionamento de estruturas, devem ser cumpridos os Eurocódigos criados para esse efeito, ou seja, o REAE não pode ser considerado um documento de validação dos projetos em causa.

Os Eurocódigos foram concebidos, a nível europeu, com o objetivo de desenvolver e uniformizar regras de cálculo e dimensionamento para diversos tipos de estruturas. Motivada por este fim, a Comissão Europeia, em 1975, começou a desenvolver os Eurocódigos que, a partir de 1990, ficaram a cargo da Comissão Técnica CEN/TC 250 da Comissão Europeia de Normalização (CEN) e, como resultado deste trabalho, surgiram os diversos Eurocódigos Estruturais, designados da seguinte forma (Simões, 2005):

- EN 1990 Eurocódigo: bases de projeto;
- EN 1991 Eurocódigo 1: ações em estruturas;
- EN 1992 Eurocódigo 2: projeto de estruturas de betão;
- EN 1993 Eurocódigo 3: projeto de estruturas de aço;
- EN 1994 Eurocódigo 4: projeto de estruturas mistas aço-betão;
- EN 1995 Eurocódigo 5: projeto de estruturas de madeira;
- EN 1996 Eurocódigo 6: projeto de estruturas de alvenaria;
- EN 1997 Eurocódigo 7: projeto geotécnico;
- EN 1998 Eurocódigo 8: disposições para projeto de estruturas resistentes aos sismos;
- EN 1999 Eurocódigo 9: projeto de estruturas de alumínio.

Estes documentos são ainda completados por anexos, da responsabilidade dos organismos de normalização nacionais (em Portugal o Instituto Português da Qualidade (IPQ) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), através do Comité Técnico CT 115), os quais incluem disposições específicas aplicáveis a cada país aderente.

Para o desenvolvimento deste trabalho, o mais relevante será o Eurocódigo 3. Este está dividido em seis partes, das quais se destaca a Parte 1 (EN1993-1), que diz respeito a regras gerais e regras para edifícios. Esta Parte 1 ainda se encontra subdividida em doze subpartes, sendo as mais relevantes a primeira (EN1993-1-1), relativa a regras gerais, vulgarmente designada EC3-1-1, e a oitava (EN1993-1-8), relativa a ligações, usualmente designada EC3-1-8.

### 2.2.3 Métodos de união

As ligações são dispositivos utilizados para transmitir forças entre elementos estruturais e podem ser divididas em dois grupos: permanentes e desmontáveis. Na maior parte dos casos, estas uniões estruturais são asseguradas por meio de soldadura e aparafusamento entre os elementos, constituindo um meio de ligação permanente e desmontável, respetivamente.

Na Figura 13 apresenta-se um esquema resumo classificativo dos diversos tipos de ligações mecânicas.



Figura 13 - Classificação dos vários tipos de ligações (adaptado de Tavares (2012)).

#### 2.2.3.1 Ligações aparafusadas

O recurso a ligações aparafusadas permite inúmeras vantagens comparativamente a outras ligações. As ligações aparafusadas, para além de serem desmontáveis, facilitando assim processos posteriores, possibilitam também montagens onde existem constrangimentos, como por exemplo a impossibilidade de soldar. Perante estes e outros fatores, as ligações aparafusadas são normalmente o tipo de ligação desmontável mais utilizado.

Na Figura 14 apresentam-se as classes de parafusos, definidas no EC3-1-8, sendo também as mais utilizadas em ligações metálicas. De um modo geral, nas ligações sujeitas a forças e momentos estáticos, podem ser utilizadas todas as classes de parafusos. Como exemplo, para a classe 6.8, o dígito 6 significa que  $f_{ub} = 6 \times \frac{100 N}{mm^2}$ , enquanto o dígito 8 significa que  $\frac{f_{yb}}{f_{ub}} = 0,8$ . Nas ligações sujeitas a forças cíclicas suscetíveis de induzir fenómenos de fadiga, devem utilizar-se parafusos com elevada resistência à fadiga e deformabilidade reduzida, nomeadamente os parafusos de classes 8.8 e 10.9 ou superiores (Silva & Santiago, 2003).

Classe do parafuso	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (MPa)	240	300	480	640	900
$f_{ub}$ (MPa)	400	500	600	800	1000
Material e tratamento	baixa ou média percentagem de carbono, total ou parcialmente recozido.			Liga de aço com uma percentagem média de carbono, temperado – parafusos de alta resistência.	

Figura 14 - Características mecânicas dos parafusos (Silva & Santiago, 2003).

A zona menos resistente de um parafuso encontra-se na parte roscada (Figura 15). A resistência de um parafuso é normalmente avaliada utilizando a “secção resistente à tração” ( $d_{res}$ ) definida pela média entre o diâmetro do núcleo da espiga,  $d_n$ , e o diâmetro médio,  $d_m$ :  $d_{res} = \frac{d_n + d_m}{2}$ .

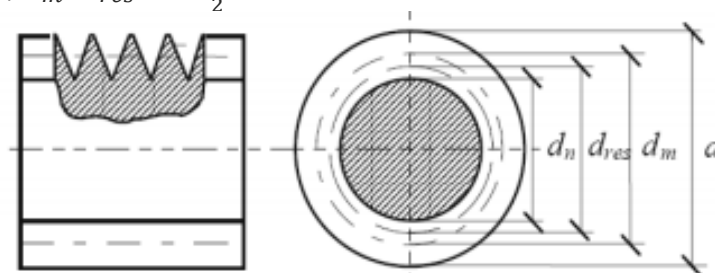


Figura 15 - Seção transversal e seção resistente de um parafuso (Silva & Santiago, 2003).

O tamanho de um parafuso é definido em função do seu diâmetro nominal, do comprimento abaixo da cabeça e do comprimento da parte roscada.

### 2.2.3.2 Ligações soldadas

As soldaduras são o tipo de ligação ideal para união de peças com geometria complexa, e para ligações de elevada rigidez. No caso de ligações com transmissão de momento, o custo dos componentes de uma ligação (parafusos, placas, entre outros) pode não ser significativo quando comparado com as soldaduras. O processo de soldadura resulta num processo de elevado valor acrescentado, não só pelo ato da sua execução (mão de obra e materiais), mas também pelo controlo posterior necessário (Kempfer, 2006). Em obra, a soldadura ainda possui maior valor acrescentado, para além das condições serem normalmente mais difíceis. Os processos mais usados em ligações estruturais são as soldaduras a arco elétrico, sendo que os metais de adição a usar deverão ser equivalentes ou superiores aos valores especificados para o material base (SCI, 2013). Os cordões de soldadura podem ser divididos em diversos tipos (CEN, 2010b): i) soldaduras de ângulo e soldaduras em contornos de orifícios; ii) soldaduras de topo; iii) soldaduras de bujão e iv) soldaduras em bordos arredondados. Na Figura 16 apresentam-se alguns destes tipos de soldadura.

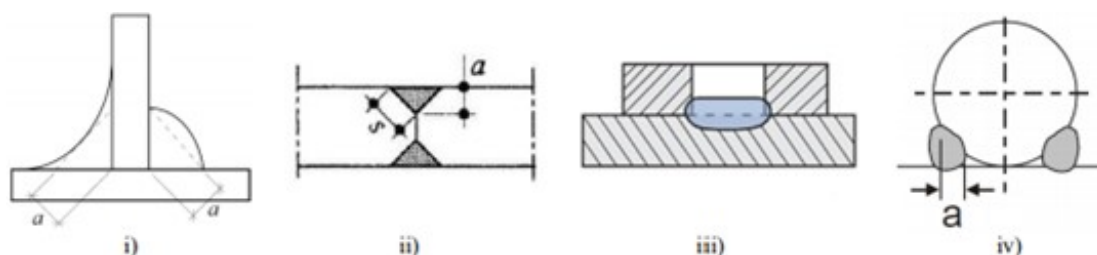


Figura 16 - Exemplos de alguns tipos de soldadura abrangidos pelo EC3-1-8 (adaptado de CEN (2010b)).

Para que se tenha um maior controlo de qualidade, as soldaduras devem ser, sempre que possível, executadas em oficina.

### 2.2.3.3 Outras ligações

Existe uma quantidade significativa de tipos de ligações, tal como demonstrado no esquema da Figura 13. Perante este facto, nas Figura 17, Figura 18 e Figura 19 são demonstrados mais alguns tipos de ligações não abordadas nos dois subcapítulos anteriores.

Dentro das ligações permanentes, na Figura 17, mostram-se exemplos de ligações rebitadas aplicadas, por exemplo, em pontes; ligações por dobragem de junta (Figura 18), normalmente aplicadas a chapas de espessuras finas, como por exemplo chapas de alumínio e folha de flandres; e ligações adesivas, que têm capacidade de ligar uma vasta gama de materiais, inclusive materiais dissimilares desde que estes sejam compatíveis com o adesivo a aplicar (Figura 19).



Figura 17 - Exemplo de ligação rebitada (Bigstockphoto, 2019).

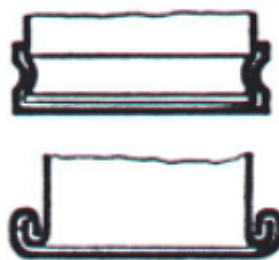


Figura 18 - Juntas dobradas (adaptado de Tavares (2012)).

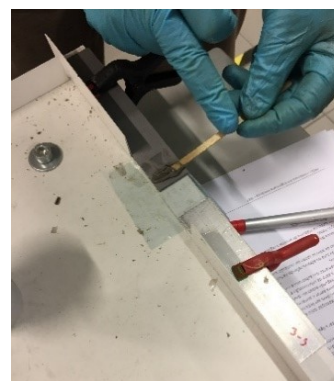


Figura 19 - Exemplo de ligação adesiva entre provetes de aço.

As ligações desmontáveis dividem-se fundamentalmente em três tipos:

- Completas: Ligações cujo movimento relativo entre as peças é inexistente.
  - Diretas: este tipo de ligação é assim considerado pois apenas intervêm as peças a ligar, ou seja, não intervêm elementos para além dos de base, como é exemplo um rolamento (Figura 20 a) a ser montado num veio com aperto; a fixação de brocas numa bucha (Figura 20 b); a aplicação de *graceros* (Figura 20 c) de lubrificação no furo roscado do elemento a lubrificar e posicionamento de um componente com recurso a um grampo (Figura 20 d).



Figura 20 - Ligações completas diretas: a) rolamento (Schaeffler, 2019); b) bucha (Banggood, 2019); c) *grasseres*; d) grampo (Kipp, 2019).

- Indiretas: consideradas assim por necessitarem de outra peça ou elemento intermediário para se concretizar a ligação. São exemplos deste tipo de ligações, para além das ligações aparafusadas com parafusos e porcas, as ligações com enchavetamentos forçados (Figura 21 e); as ligações com pinos (Figura 21 f) e as ligações com pinos bifurcados (Figura 21 g).

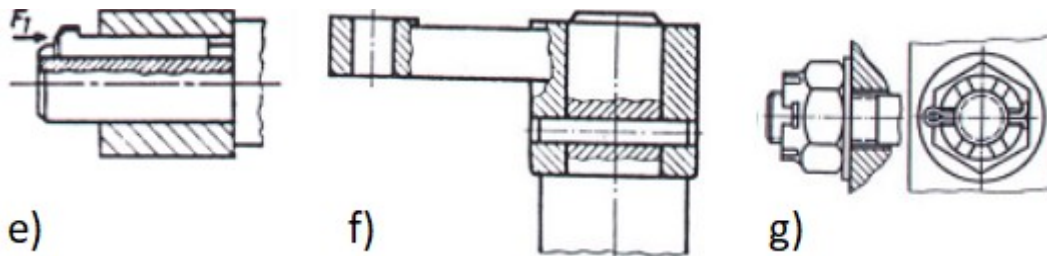


Figura 21 - Ligações completas indiretas: e) enchavetamento forçado, f) ligação com pino, g) ligação com pino bifurcado (adaptado de Tavares (2012)).

- Parciais: Ligações onde existe movimento relativo entre as peças.
  - Ligações sem translação: Quando os elementos de ligação desempenham a função de bloquear o movimento de translação entre as peças. Elementos como os anéis elásticos (Figura 22 h); as rótulas (Figura 22 i) ou os parafusos de guiamento (Figura 22 j), permitem a formação de articulações.

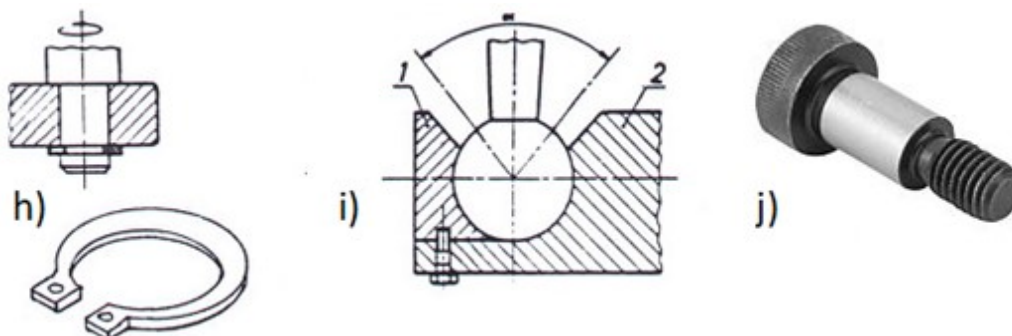


Figura 22 - Ligações parciais sem translação: h) anéis elásticos i) rótulas j) parafusos de guiamento (adaptado de Tavares (2012)).

- Ligações sem rotação: Quando os elementos de ligação desempenham a função de bloquear o movimento de rotação das peças. Elementos como os enchavetamentos livres (Figura 23 h); elementos estriados (Figura 22 i) ou os parafusos de guiamento (Figura 23 j), restringem a rotação das peças.

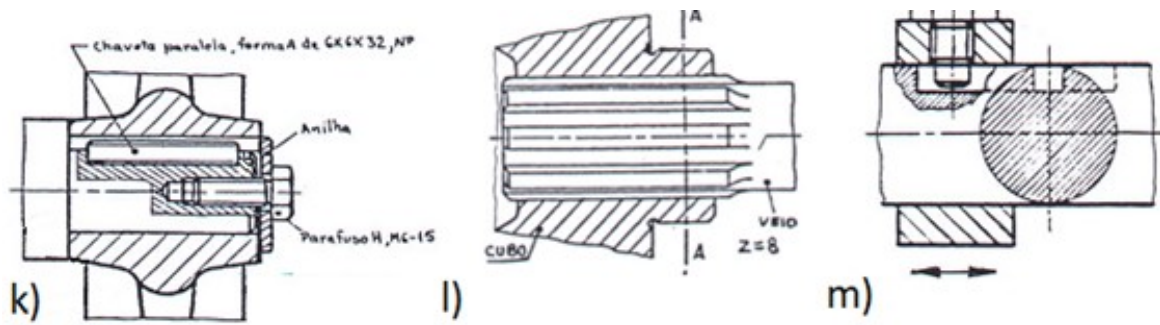


Figura 23 - Ligações parciais sem rotação: k) enchavetamento livre, l) com elementos estriados, m) com parafuso de guiamento (adaptado de Tavares (2012)).

- Elásticas: Ligações não rígidas onde existe uma distância controlada entre as peças fixas. Este tipo de ligação tem a capacidade de absorver vibrações, restringindo a sua transmissão à estrutura envolvente.

Este tipo de fixação pode ser realizado com molas (Figura 24 m) e o)); ou, no caso de o curso ser mais restringido ou com objetivo de amortecer vibrações de outro grau de significância, pode optar-se por uma ligação sem molas, recorrendo a uma anilha de borracha (Figura 24 p)).

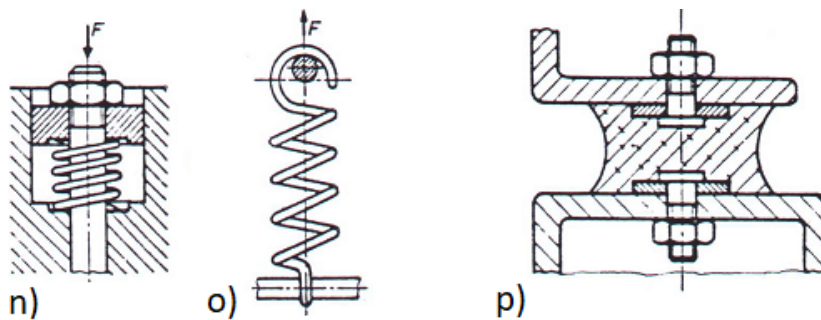


Figura 24 - Ligações elásticas: n) com mola de compressão, o) com mola de tração; p) sem molas (borracha) (adaptado de Tavares (2012)).

#### 2.2.4 Métodos de dimensionamento base de mecânica

Um ponto qualquer de um corpo está, geralmente, submetido a um estado de tensão triaxial. Existe sempre a possibilidade de encontrar um sistema de eixos relativamente ao qual todas as componentes tangenciais do tensor das tensões se anulam, sendo, nestas circunstâncias, as componentes normais designadas por tensões principais,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , com  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  (Budynas & Nisbett, 2010). A questão que se coloca, em termos de avaliação de resistência, é a de como comparar o nível de tensão instalado num ponto de um corpo com o limite de resistência, que é determinado por ensaios laboratoriais em provetes que estão sujeitos a um estado de tensão uniaxial bastante diferente (Domingues, 2003). Esta questão exige a adoção de uma metodologia para encarar o problema e que, habitualmente, consiste em considerar que existe (ficticiamente) um estado de tensão uniaxial equivalente ao estado de tensão triaxial em análise. Esse estado de tensão uniaxial equivalente pode então ser comparado diretamente com o estado de tensão existente em qualquer ponto do provete do ensaio de tração. A Figura 25 ilustra a metodologia adotada.

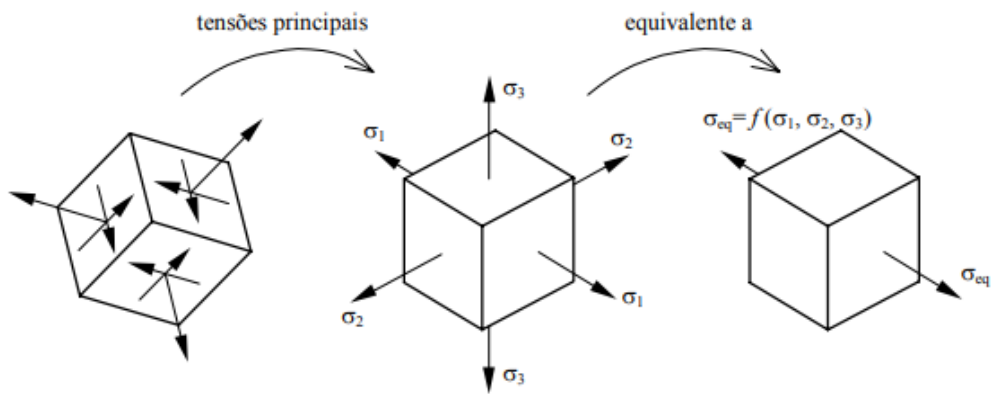


Figura 25 - Metodologia de transformação de tensões (Domingues, 2003).

Com base nesta metodologia, o limite de resistência num ponto é atingido quando se verifica a igualdade:  $\sigma_{eq} = \sigma_{lim}$ .

Existem diferentes critérios para determinar o estado de tensão equivalente. Cada critério é fundamentado num dado pressuposto que explica o mecanismo da cedência (ou da rotura) do material.

#### 2.2.4.1 Critério da Tensão Tangencial Máxima, ou de Tresca.

O critério da tensão tangencial máxima foi postulado por Tresca, sendo um critério aplicável somente a materiais com comportamento dúctil. A tensão limite de resistência é  $\sigma_{lim} = \sigma_{ced}$ , sendo a condição limite de resistência definida como:  $\sigma_{eq} = \sigma_{ced}$ .

Este critério estabelece que a cedência ocorre num dado ponto de uma peça, quando o valor da tensão tangencial máxima instalada nesse ponto iguala a tensão tangencial máxima instalada num ponto do provete do ensaio de tração, isto é, quando:

$$\tau^{max} = \tau_{ced}^{max} \quad (1)$$

considerando que a tensão tangencial máxima é determinada em função da maior e da menor das três tensões principais pela relação:

$$\tau^{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2)$$

então a tensão tangencial máxima no momento da cedência de um provete é:

$$\tau^{max} = \frac{\sigma_{ced}}{2} \quad (3)$$

como a tensão tangencial máxima no momento da cedência do provete é  $\tau_{ced}^{max} = \frac{\sigma_{ced}}{2}$  através da substituição na expressão (1), obtém-se a equação da tensão equivalente, segundo o critério de Tresca:

$$\sigma_{ced} = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (4)$$

### 2.2.4.2 Critério da Energia de Distorção, ou de von Mises

Este critério foi postulado por von Mises e por Huber, sendo um critério aplicável somente a materiais com comportamento dúctil. Assim, tal como para o critério anterior, a tensão limite de resistência é  $\sigma_{lim}=\sigma_{ced}$ , e a condição limite de resistência é definida como:  $\sigma_{eq}=\sigma_{ced}$ .

Este critério estabelece que a cedência ocorre, num dado ponto de uma peça, quando o valor da energia específica de distorção instalada nesse ponto iguala a energia específica de distorção instalada num ponto do provete do ensaio de tração, no momento da cedência, isto é, quando:  $u^f=u_{ced}^f$ .

Considerando que a energia específica de distorção é determinada em função das três tensões principais pela relação:

$$u^f = \frac{1+\nu}{6E} [(\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2 + (\sigma_1-\sigma_3)^2] \quad (5)$$

então a energia específica de distorção no momento da cedência do provete é dada por:

$$u^f = \frac{1+\nu}{6E} 2\sigma_{ced}^2 \quad (6)$$

que significa que a tensão equivalente, segundo o critério de von Mises, se obtém pela expressão:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2 + (\sigma_1-\sigma_3)^2} \quad (7)$$

### 2.2.5 Critérios de dimensionamento segundo o Eurocódigo

Uma estrutura deve ser dimensionada e executada de forma a desempenhar com eficácia as funções para as quais foi concebida, durante um período de vida útil pré-estabelecido. Para isso devem ser verificadas as condições que impeçam o seu colapso (estados limites últimos), condições que assegurem um adequado desempenho em serviço (estados limites de utilização) e ainda condições relativas à sua durabilidade (proteção contra corrosão, entre outras).

**Estados limites últimos:** Estão associados a situações em que a estrutura, ou parte dela, atinge o colapso, colocando em causa a segurança de pessoas ou de equipamentos. Neste grupo distinguem-se as seguintes situações: perda de equilíbrio estático, rotura devido a tensões elevadas nos materiais, instabilidade resultante de efeitos de segunda ordem e fadiga provocada por ações elevadas repetidas (consultam-se as seções 5 e 6 do EC3-1-1).

**Estados limites de utilização:** Estão associados a situações em que a estrutura, ou parte dela, apresenta danos que, embora limitados, a deixam fora de serviço por razões funcionais, de durabilidade ou estética. Os estados limites de utilização têm como principal objetivo controlar o funcionamento das estruturas em condições de uso

corrente. Esse controlo é realizado através da limitação de tensões, da abertura de fendas ou da ausência de deformações, vibrações, entre outros. Em estruturas metálicas consideram-se geralmente estados limites de deformação e de vibração (secção 7 do EC3-1-1).

### 2.2.6 Método de elementos finitos (MEF)

A resolução de problemas pela solução exata das equações diferenciais apenas é possível para geometrias muito simples que raramente interessam no mundo real, onde os problemas a analisar são muito mais complexos. O MEF permite uma estimativa numérica das equações constitutivas integrais ou diferenciais, que se estabelecem para a estrutura ou para os elementos da estrutura individualmente, pela utilização de equações algébricas que retornam soluções aproximadas para as variáveis de campo, para um número discreto de pontos do domínio: os nós dos elementos finitos. Adicionalmente, consideram-se as leis de variação pré-estabelecidas das variáveis do campo interior dos elementos finitos, dadas pelas chamadas funções de interpolação ou de forma (Campilho, 2012). A formulação MEF resulta assim num sistema de equações a serem resolvidas em detrimento das funções integrais ou diferenciais originais.

Este processo de modelar um domínio, pela sua divisão num sistema equivalente de domínios de dimensão inferior – os elementos finitos – interconectados pelos nós comuns a um ou mais elementos ou sujeitos a condições fronteira, é denominado de discretização (Sedaghatjoo *et al.*, 2018). O MEF permite a obtenção de soluções numéricas de problemas de engenharia como análise de tensões, temperaturas, escoamento de fluidos e aerodinâmica, eletromagnética e eletrónica, entre muitos outros casos.

Dado o grande potencial de modelação numérica do MEF e grande aplicação nos diversos domínios da Engenharia, grandes empresas recorrem a *software* existente no mercado para esta análise. *Softwares* como o Solidworks®, Abaqus®, Ansys®, Inventor®, Nastran™ ou Femap®, permitem a resolução das operações matemáticas associadas. Para além das versões comerciais, a maior parte destes *softwares* possui ainda versões de estudante com funcionalidades e custos reduzidos.

Segundo Campilho (2012), estes *softwares* apresentam capacidades/potencialidades como:

- desenho dos componentes a modelar através de comandos de desenho paramétrico;
- montagem de componentes para estrutura multicompetente;
- atribuição de propriedades materiais aos componentes (rígido, com ou sem atrito) para especificações do tipo de interação entre estes no decorrer da análise;
- atribuição de esforços concentrados, distribuídos, térmicos ou deslocamentos;
- algoritmos de geração automática de nós e elementos e atribuição das condições fronteira;

- escolha do tipo de problema a analisar (análise estática, dinâmica, fadiga, modal, entre outros);
- diferentes teorias de deslocamentos, como pequenos e grandes deslocamentos ou encurvadura;
- construção matemática e resolução do problema pela sua conversão num conjunto de expressões;
- visualização dos resultados, em termos de configuração original, deformada, distribuições de tensões nos componentes em forma gráfica ou output seletivo em nós, elementos ou caminhos específicos, coeficientes de segurança ou ainda valores máximos e mínimos no modelo.

### 2.2.7 Sistemas de acionamento

Existem várias formas de transmitir movimentos aos elementos mecânicos, ou entre eles. Antes de existirem sistemas capazes de animar estes elementos, eles eram movidos manualmente, sendo que, na atualidade, esta opção seria inviável para a grande maioria dos mecanismos, tendo sido desenvolvidas e aprimoradas, ao longo dos tempos, diversas alternativas para realizar estas operações sem intervenção humana direta.

#### 2.2.7.1 Sistemas eletromecânicos

Por definição, um sistema eletromecânico é um sistema que integra componentes elétricos e mecânicos no seu mecanismo, sendo a eletromecânica o ramo da ciência e tecnologia no qual são realizadas a análise, o projeto, o desenvolvimento, a produção e a manutenção de sistemas e dispositivos que integrem componentes elétricos e mecânicos no seu mecanismo. Entre os exemplos de dispositivos eletromecânicos encontram-se os motores elétricos dos ventiladores, frigoríficos, máquinas de lavar, secadores de cabelo, máquinas elétricas, transformadores geradores e instalações de máquinas e outros aparelhos elétricos, os relés, interruptores e comutadores, entre muitos outros. Todos estes dispositivos têm como função converter energia elétrica em energia mecânica ou vice-versa.

#### 2.2.7.2 Sistemas óleo-hidráulicos

A óleo-hidráulica é o ramo da ciência que estuda a transmissão e controlo de energia por meio de um fluido pressurizado (óleo), sendo que esta energia não é gerada pelo sistema óleo-hidráulico, este apenas o transmite.

Os sistemas óleo hidráulicos são capazes de assegurar movimentos lineares e rotativos (ver exemplos das Figura 26 e Figura 27, respetivamente), desenvolvendo forças elevadas e assegurando rigor de movimentos e velocidades. Estes sistemas tornaram-se indispensáveis nos domínios das técnicas modernas de transmissão, comando e controlo de movimentos, tendo como principais vantagens (Silva, 2017):

- fácil instalação;
- movimentos suaves e possibilidade de inversão;
- início do movimento logo com carga;
- precisão e velocidade dos movimentos;
- sistemas auto lubrificados;
- pequena relação peso/potência;
- pequena relação tamanho/potência e proteção simples contra sobrecargas.

Como desvantagens, estes sistemas (Silva, 2017):

- possuem elevado custo de implementação;
- têm baixo rendimento devido às várias transformações de energia que ocorrem. Existem perdas de carga e fugas internas, que resultam num rendimento de aproximadamente 65%);
- exigência de alta qualidade mecânica dos órgãos hidráulicos;
- impurezas presentes no óleo e ruído devido a fenômenos de vibração hidrodinâmica e mecânica nas máquinas rotativas.

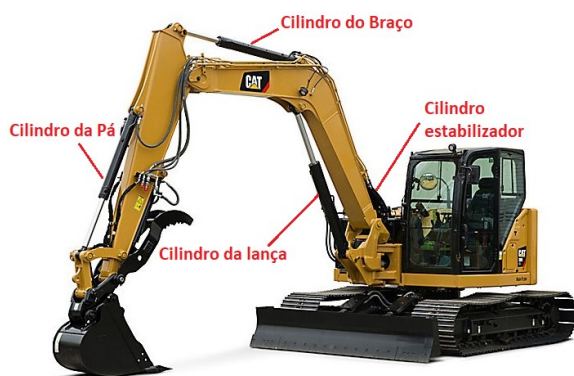


Figura 26 - Exemplo de aplicação de vários cilindros com solicitações de esforço (adaptado de Cat (2019)).



Figura 27 - Motor hidráulico de 23,5 cv - 5600 rpm (Silva, 2017).

### 2.2.7.3 Sistemas pneumáticos

A Pneumática é o ramo da engenharia que estuda a aplicação do ar comprimido para a tecnologia de acionamento e comando. No século XX, a pneumática começou a ser aplicada na automação industrial e desenvolveu-se até ao ponto que é conhecida hoje.

Os atuadores pneumáticos são utilizados quando estão envolvidas cargas até uma tonelada, onde se desejam movimentos (normalmente rápido) entre duas posições, limitadas por batentes mecânicos, como no caso das máquinas de fixação ou transporte de peças, ou quando se deseja altas rotações, como no caso de fresadoras pneumáticas, brocas de dentista, entre outros (Technological Studies 2019).

Atualmente, existem várias aplicações de sistemas pneumáticos (Figura 28) no meio industrial e no quotidiano. Entre alguns exemplos de aplicações atuais de pneumática podem-se citar: prensas pneumáticas; dispositivos de fixação de peças em máquinas

ferramenta e esteiras; parafusadoras, berbequins e lixadoras; brocas de dentista e pistolas de pintura (IFCE, 2008).



Figura 28 - Instalação de um sistema pneumático (Azpneumatica, 2019).

### 2.3 Projeto de equipamentos enterrados de armazenamento de resíduos

Segundo os últimos levantamentos da ERSAR (2018), em 2017, existiam em Portugal 334 mil contentores para recolha de lixo indiferenciado e cerca de 43,6 mil ecopontos. Como é possível observar na Figura 29, este número tem vindo a aumentar desde 2013. Segundo a ERSAR, este aumento reflete o investimento das entidades gestoras para aumentar as quantidades de embalagens recolhidas seletivamente.

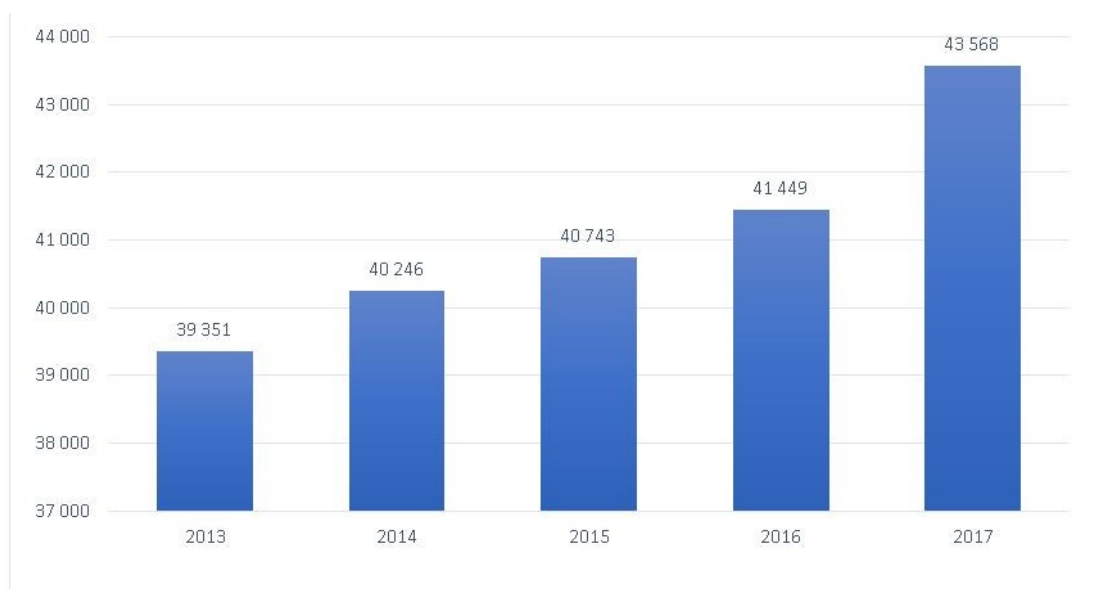


Figura 29 - Número de ecopontos instalados em Portugal (ERSAR, 2018b).

Considerando os ecopontos existentes em todo o país, verifica-se que as concessões multimunicipais são o submodelo de gestão que apresenta o maior número de equipamentos de deposição seletiva (Figura 30). Este valor é expectável face ao valor mais elevado de população que é servido por estas concessões (54%) (ERSAR, 2016).

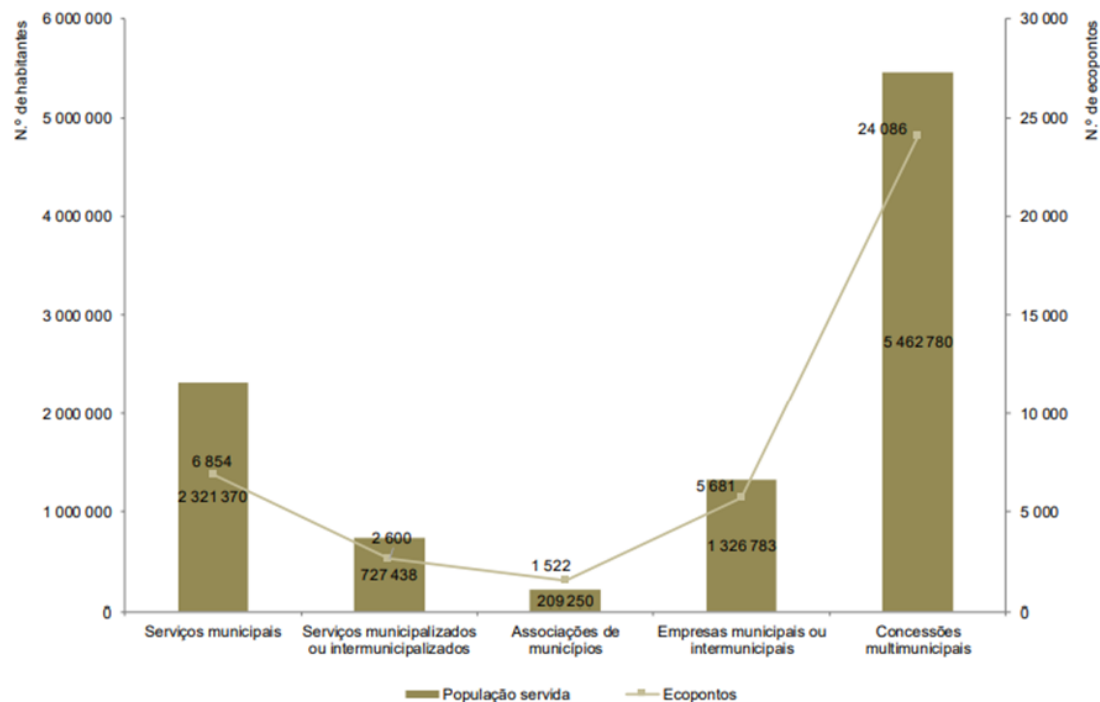


Figura 30 - Número de ecopontos e população servida por entidades gestoras, por submodelo de gestão (ERSAR, 2016)

No que diz respeito à análise por tipologia de área de intervenção, o maior número de ecopontos encontra-se nas áreas mediantemente urbanas (16262), seguido muito de próximo pelo número de ecopontos existentes nas áreas predominantemente urbanas (16600) e, por fim, as áreas rurais apresentam 7881 ecopontos, como se pode observar na Figura 31.

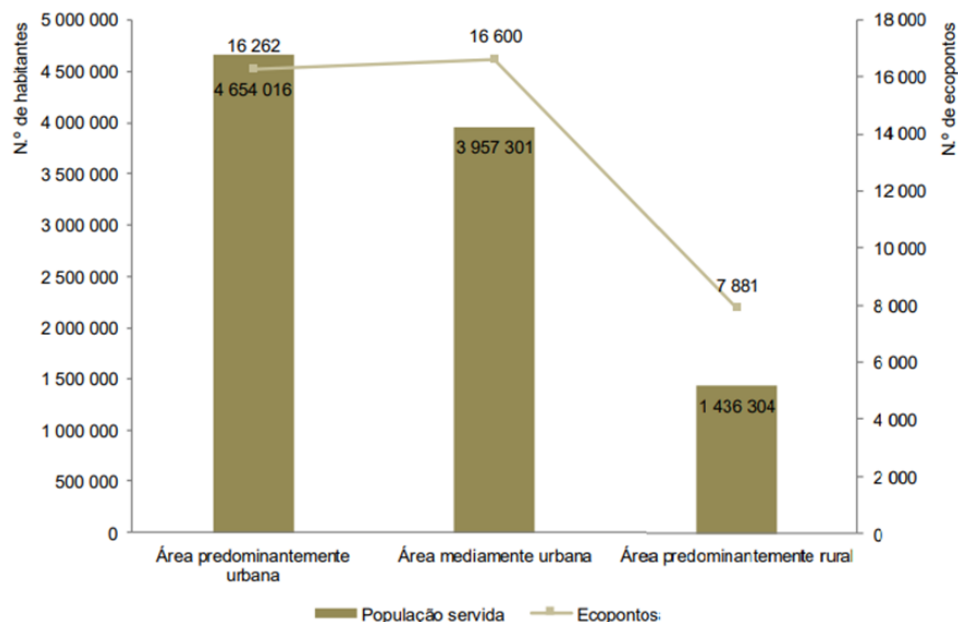


Figura 31 - Número de ecopontos e população servida por entidades gestoras, por tipologia de área de intervenção (ERSAR, 2016).

Segundo a ERSAR, este facto pode ser explicado por alguns municípios com área predominantemente urbana, como Lisboa e Maia, efetuarem maioritariamente recolha seletiva porta a porta.

No esquema da Figura 32 ilustram-se, resumidamente, as várias etapas o percurso posterior dos resíduos para ambas as hipóteses: recolha indiferenciada e recolha seletiva.



Figura 32 - Ilustração do ciclo de tratamento dos RSU (ERSAR, 2018).

### 2.3.1 Equipamentos de deposição e infraestruturas

As infraestruturas viárias e a distribuição dos equipamentos de deposição de resíduos desempenham um papel extremamente importante na dinâmica do sistema de recolha e transporte de resíduos (Martins, 2016).

A rede viária tem grande influência no rendimento do sistema de recolha de resíduos, devido sobretudo às seguintes características: sinuosidade, estado de conservação, largura e sentido de circulação (sentido único ou duplo sentido), existência de separador central e tráfego. Estas características irão determinar se uma viatura pode ou não circular em cada arruamento. É igualmente útil saber se os pontos de recolha estão localizados do lado direito ou do lado esquerdo da via, pois um contentor mal localizado pode forçar que uma viatura necessite de um percurso maior para executar a mesma tarefa (Martins, 2016). Todas estas características devem ser levadas em consideração, aquando do planeamento e definição de circuitos de recolha verdadeiramente eficientes.

Para a deposição dos resíduos, existem vários tipos de contentores, com diferentes capacidades e diferentes sistemas de recolha. A opção por um tipo em detrimento de outros deve ter em conta qual o que mais se adequa a cada situação específica, sem esquecer as seguintes condicionantes (Martinho & Gonçalves, 2000): o tipo de habitação; o tipo de recolha; as características urbanas locais; a capacidade de deposição; o número de recipientes necessários; o tipo de viaturas de recolha; a flexibilidade do sistema (recipientes/veículos); o grau de participação a esperar da população; os tempos de carga/descarga; os custos de implementação e exploração; a higiene e a segurança dos trabalhadores.

As quantidades de resíduos recolhidas e o tempo necessário a despende por ponto de recolha são condicionados principalmente pelo tipo de equipamento de deposição. Os equipamentos de deposição existentes no mercado enquadram-se nas seguintes categorias: sacos reutilizáveis, contentores de superfície e contentores enterrados ou semienterrados. É sempre possível optar pela recolha indiferenciada ou pela recolha seletiva, independentemente do tipo de categoria do equipamento de deposição (Martins, 2016).

### 2.3.1.1 Contentores de superfície

Os contentores de superfície podem ser despejados no depósito da viatura de recolha superiormente, pela sua traseira ou lateralmente (Figura 33).



Figura 33 - Ilustração dos diferentes modos de carregamento dos contentores (adaptado de Sitape (2019)).

Os contentores de superfície de recolha traseira (Figura 34) são normalizados, de fundo quadrado ou retangular, não permitindo a redução de volume. A sua capacidade varia entre os 90 e os 1100 litros, sendo fabricados em polietileno de alta densidade (PEAD). Possuem pegas e saliências próprias de modo a serem carregados para os veículos de recolha. As principais vantagens da utilização deste tipo de contentores são a sua resistência à carga com um peso reduzido, a facilidade de manuseamento e a facilidade de limpeza (Martinho & Gonçalves, 2000). Estes contentores podem ser utilizados tanto na recolha de resíduos indiferenciados como na recolha seletiva, variando a sua cor consoante os resíduos a que se destinam. Em alguns municípios, devido ao hábito de, em algumas regiões, depositarem as cinzas e brasas nos contentores, por forma a evitar o incendimento do contentor, na recolha de resíduos indiferenciados, são ainda utilizados contentores metálicos. A sua capacidade pode variar entre 0,8 e 1,1 m<sup>3</sup>.



Figura 34 - Contentores carga traseira a) C-120, b) C-1000 (Contenur, 2019) e c) Multibox (Sitape, 2019).

Os contentores de carga lateral (Figura 35 e Figura 36) têm normalmente 2,4 ou 3,2 m<sup>3</sup> de capacidade, podendo ser adotados na deposição indiferenciada e na deposição seletiva. A maior capacidade destes contentores permite diminuir o número de equipamentos a colocar na via pública, sendo a solução ideal para locais com grande aglomeração populacional e grande produção de resíduos. A sua utilização pode representar ganhos efetivos, em termos de tempo de recolha e dos recursos envolvidos, trazendo algumas desvantagens, tais como a necessidade de viaturas específicas para este tipo de recolha e um investimento inicial elevado em contentores e viaturas (Fernandes, 2009).



Figura 35 - Contenedor carga lateral C-2400 (Contenur, 2019).



Figura 36 - Descarga de contenedor de carga lateral (Contenur, 2019).

Os equipamentos de superfície, com o sistema de recolha superior ou vertical, destinam-se essencialmente a ecopontos (Figura 37 e Figura 38). Por definição, um ecoponto é um conjunto de contentores, colocados na via pública, escolas, ou outros espaços públicos, destinados à recolha seletiva de papel, vidro, embalagens de plástico e metal ou outros materiais (DR, 2019c). As estruturas dos ecopontos, bem como os contentores de resíduos indiferenciados, podem encontrar-se enterrados ou à superfície. Estes podem ser do tipo *igloo*, prismáticos ou *cyclea* com capacidades entre os 1,1 e os 4 m<sup>3</sup> (Martins, 2016).

Para a recolha dos resíduos, o motorista do veículo de recolha alinha o elevador com a marca existente no centro do corpo do contenedor, através do uso de câmaras instaladas no exterior do veículo (Fernandes, 2009). Assim, os resíduos são recolhidos diretamente por um sistema elevatório robotizado situado na lateral do veículo, não necessitando de intervenção de cantoneiros.



Figura 37 - Contenedor carga vertical "Iglú Ágora" (Contenur, 2019).



Figura 38 - Vidrão de carga vertical.

Como a recolha destes contentores apenas pode ser realizada por viaturas equipadas com grua, estes não podem ser colocados em qualquer lugar, pois é necessário garantir que não existe qualquer obstáculo que impossibilite a aproximação da viatura de recolha ao contentor. A sua principal característica é possuírem uma argola metálica no topo, o que possibilita que sejam içados e descarregados na viatura pela base (Martinho & Gonçalves, 2000).

### 2.3.1.2 Contentores enterrados ou semienterrados

Os equipamentos cujos contentores de armazenamento dos resíduos se encontram totalmente ou parcialmente abaixo da cota do piso (de parques, passeios ou outros locais onde estes se encontram aplicados), designam-se semienterrados (Figura 39 e Figura 40) ou enterrados (Figura 41). Ambos são destinados tanto à deposição indiferenciada, como à seletiva. A sua capacidade pode variar entre os 3 e os 5 m<sup>3</sup>.



Figura 39 - Contentor semienterrado “Engels” (Plasticolors, 2019).

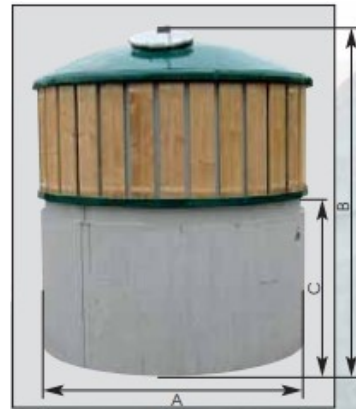


Figura 40 - Esquema de implantação de um contentor semienterrado (Vialgo, 2019).

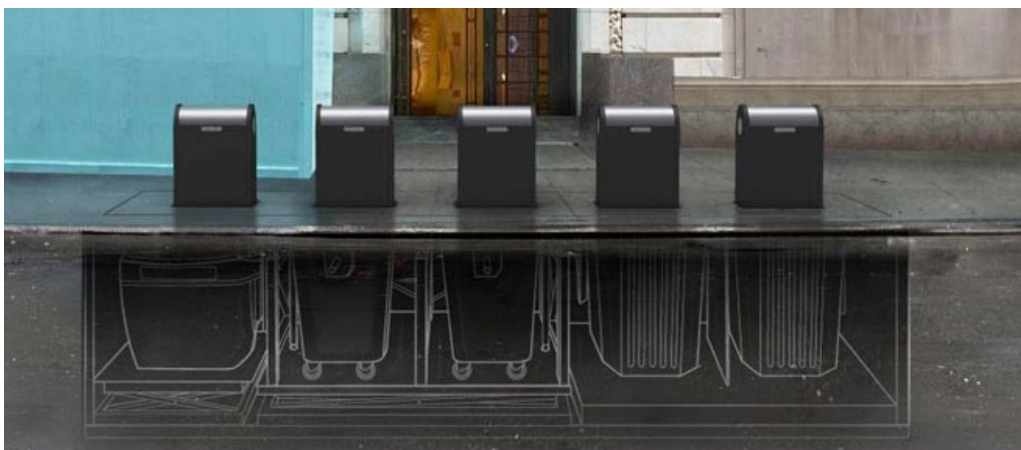


Figura 41 - Contentores enterrados (Formato Verde, 2019).

Estes equipamentos possuem um elevado número de vantagens face aos contentores tradicionais. Seguidamente apresenta-se um resumo das principais vantagens e desvantagens.

**Vantagens:**

- **Estética:** integram-se de uma forma positiva no meio urbano ou rural, seja pelo seu aspeto exterior, seja por estarem enterrados ou parcialmente enterrados, não ocupando muito espaço na via pública, minimizando o mobiliário urbano visível. Eliminam também o impacto que é gerado pelo lixo na rua, conseguindo espaços diáfanos e transitáveis, permanecendo só o marco visível;
- **Ergonomia:** a sua dimensão, altura e posição da abertura, estão desenhadas de forma a permitir um fácil acesso, com o máximo conforto e segurança para os utilizadores, sendo mais acessíveis para os cidadãos, sejam eles crianças, idosos ou deficientes;
- **Capacidade de armazenamento:** estes equipamentos possuem duas capacidades distintas: 5 m<sup>3</sup> e 3 m<sup>3</sup>. Para além do armazenamento de maior quantidade de resíduos do que os contentores de superfície, nos enterrados ou semienterrados os resíduos ainda são compactados por gravidade, permitindo armazenar ainda maiores quantidades, reduzindo substancialmente os custos de operação;
- **Salubridade:** o fosso em betão ou fibra de vidro (FV) assegura uma total estanquicidade de derrames, evitando assim a contaminação do solo. O facto dos resíduos se encontrarem armazenados abaixo do solo confere também a vantagem de retardar a decomposição dos resíduos devido à temperatura ser inferior à presente ao nível da superfície, minimizando os odores, melhorando assim as condições de higiene;
- **Durabilidade:** os contentores têm uma durabilidade mais elevada e necessidade reduzida de manutenção. Este facto deve-se a fatores como: os contentores estarem expostos a temperaturas mais baixas quando o clima está quente e temperaturas mais quentes quando a temperatura à superfície é mais fria; a abertura destes é realizada por abertura dos fundos, sendo assim reduzido o risco de ficarem depositados resíduos em decomposição no contentor após a sua descarga, reduzindo assim os custos de manutenção (lavagem); os contentores não estarem expostos a intempéries, radiação ultravioleta, atos de vandalismo, embates de veículos ou de outros objetos;
- **Recursos humanos necessários:** para o processo de esvaziamento destes equipamentos, podem ser, no máximo, necessários dois operadores (condutor e ajudante), sendo que, se for apenas o condutor, também é possível executar esta tarefa. A razão pela qual é possível, deve-se ao facto de o processo de levantamento da tampa, o posicionamento da grua no local do engate na argola do contentor, seguido da sua descarga e posterior colocação novamente na cuba, ser controlado remotamente.

### **Desvantagens**

- **Energia de acionamento:** o veículo de recolha, na maior parte dos casos de contentores enterrados, necessita de estar equipado com uma grua e, noutros casos, também necessita de possuir um sistema hidráulico que permita ativar o mecanismo de acionamento da tampa. O sistema hidráulico, em alguns equipamentos também efetua a ativação do mecanismo de tesouras que permite a elevação dos contentores até ao nível do piso para posterior descarga. No caso dos enterrados da Sitape, o sistema hidráulico, pode ser acionado por comando ou chave, abdicando do *kit* hidráulico no camião; Deve ser assegurada uma uniformização no tipo de equipamentos por zona, a fim de permitir ao mesmo tipo de veículo o processo de recolha dos diferentes contentores instalados. A opção por estes tipos de equipamento resulta também, numa fase inicial, num investimento avultado em viaturas adequadas;
- **Fosso e localização:** é necessário realizar um estudo do local onde serão instalados os equipamentos. Nestes locais tem de ser considerado o espaço ocupado pelos contentores, estes locais também podem possuir alguma pendente (passeios com algum tipo de inclinação). Desta forma, é necessário um estudo pormenorizado do local, por forma a instalar o equipamento com sucesso. Os equipamentos da Sitape acompanham as pendentes dos passeios, evitando degraus ao redor dos equipamentos, o que permite o acesso por parte de pessoas de mobilidade reduzida;
- **Segurança:** existem alguns equipamentos implementados que não possuem todos os requisitos de segurança, como por exemplo o bloqueio do acesso ao fosso após a abertura da tampa, podendo daí decorrer algum risco para as pessoas que circulam ao seu redor;
- **Recolha:** o perímetro em redor do equipamento deve estar bem sinalizado, por forma a permitir que o estacionamento do veículo de recolha esteja desimpedido, uma vez que este tipo de descarga dos contentores não permite grande mobilidade em termos de posicionamento do veículo.

#### *2.3.1.2.1 Terminologia adotada*

A designação dos elementos constituintes de um equipamento é, em grande parte dos casos, semelhante para os diversos equipamentos dos diferentes fabricantes. Na Figura 42 são identificados os vários constituintes num desenho, onde constam diferentes tipos de equipamentos da Formato Verde. O dispositivo de segurança não é representado em nenhum destes equipamentos uma vez que, o único equipamento que necessitaria deste dispositivo pelo facto da exposição direta ao fosso (o equipamento representado do lado direito da Figura 42), não possui este dispositivo de segurança.

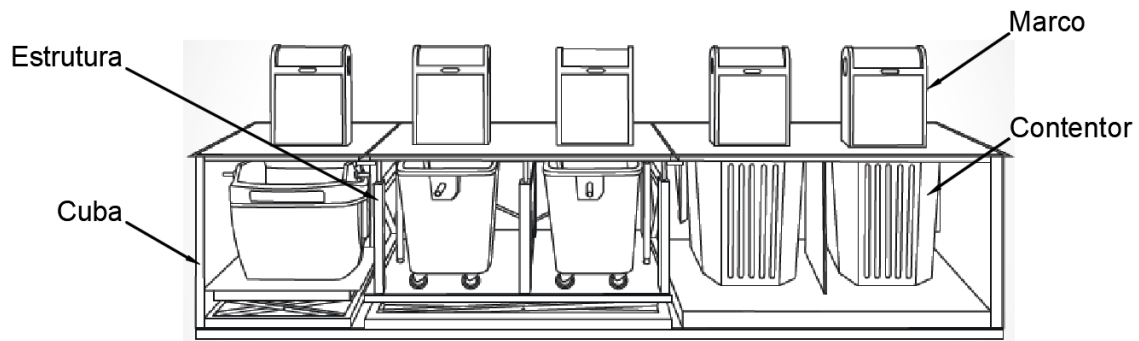


Figura 42 - Identificação dos vários constituintes numa vista representativa de vários equipamentos (adaptado de Formato Verde (2019)).

**Cuba em betão ou FV:** tem como função alojar a estrutura do equipamento, bem como sustentar as terras circundantes e níveis freáticos.

**Estrutura do equipamento:** consiste na infraestrutura dos equipamentos. Esta é o conjunto mais complexo, permitindo a elevação da estrutura, da tampa e dos marcos até à posição de carregamento.

**Contentor:** normalmente em material polimérico, este elemento armazena os resíduos depositados através da entrada do marco. Existem diferentes tipos de contentores, tendo em conta a capacidade e o tipo de recolha a efetuar pelo veículo.

**Dispositivo de segurança:** responsável por bloquear o acesso ao fosso no momento em que é levantada a tampa. Este dispositivo irá garantir que não existe risco de queda de pessoas animais ou até objetos que circulem no meio envolvente.

**Marco de deposição:** o marco é o único elemento visível do equipamento e é o responsável pela interface do utilizador com o equipamento. O marco possui uma tampa estanque, de abertura manual através de uma pega ou pedal, com ou sem tambor.

### 2.3.2 Outros trabalhos académicos desenvolvidos

Existem trabalhos académicos desenvolvidos no sentido melhorar, ou colmatar, algumas lacunas existentes no projeto dos contentores de recolha e nos equipamentos enterrados. Estes trabalhos surgem normalmente associados às grandes empresas produtoras destes equipamentos, como é possível observar na Tabela 1, onde se apresentam, resumidamente, três exemplos de trabalhos desenvolvidos neste âmbito.

Tabela 1 - Exemplos de estudos desenvolvidos por outros autores.

Autor	Descrição
(Aisa <i>et al.</i> , 2006)	<p>Os autores desenvolveram, em parceria com a Contenur, um novo contentor para resíduos sólidos de 2 m<sup>3</sup> de capacidade. O estudo combinou a utilização de várias ferramentas CAE (<i>design</i>, projeto mecânico e simulação reológica). O principal objetivo do projeto era a fabricação rápida de contentores plásticos de grande capacidade, por forma a competir com os mesmos fabricados em chapa metálica soldada ou através de moldagem rotacional, contendo reforços estruturais de elevado custo.</p> <p>Estes contentores foram obtidos por injeção. Foram estudados parâmetros como a pressão de injeção e força de fecho <i>versus</i> a espessura e formato da peça. Deste estudo resultaram, numa primeira fase, mais de 6000 amostras, nas quais não foram detetados nenhuns problemas na injeção, ejeção ou na vida do componente até à data da publicação do artigo.</p>
(Laranjeira, 2008)	<p>O autor recorreu ao MEF, utilizando o <i>software</i> Pro-Engineer com o módulo Pro-Mechanism para dimensionar um contentor de um equipamento enterrado (Citytainer-TNL), fabricado através de rotomoldagem. Por forma a diminuir a espessura, foram colocados, em locais estratégicos, reforços e nervuras, tendo em conta os valores de solicitações obtidos para diversas espessuras.</p> <p>Com estas alterações, o autor, para além de eliminar algumas deficiências no contentor estudado, conseguiu uma redução da massa do contentor de, aproximadamente, 10% face aos requisitos impostos.</p>
(Guimarães, 2015)	<p>O autor realizou um trabalho na área da automação de uma plataforma de elevação de um equipamento enterrado (Bigtainer-TNL). Foi proposta uma solução para as fugas de óleo provenientes do sistema hidráulico dos equipamentos, resultando nova solução de sincronismo dos cilindros hidráulicos, onde cada um possui a sua válvula direcional e um divisor de caudal que torna as pressões em cada cilindro independentes, existindo um inclinómetro para medir a diferença relativa entre as posições dos cilindros.</p> <p>O autor concluiu ainda que seria possível eliminar a tesoura e a base fixa do equipamento, uma vez que os cilindros hidráulicos passariam a ser elementos estruturais. Com estas alterações iria ser possível uma redução de custo de 2595 € por equipamento.</p>

### 2.3.3 Soluções existentes

Existem várias soluções de equipamentos enterrados ou semienterrados. Os sistemas das várias empresas, que comercializam ou fabricam os próprios equipamentos, são semelhantes em vários aspetos. Estes podem ser divididos, tal como os contentores de superfície, em contentores de carga lateral, vertical e traseira.

#### 2.3.3.1 Propostas de equipamentos enterrados Sitape

Os equipamentos são habitualmente designados pelo seu modelo e também pelo número de contentores alojados, como por exemplo o HS4 que é possível observar na Figura 45, onde se observam os 4 marcos correspondentes aos respetivos contentores enterrados.

Na Tabela 2 são descritas as soluções da Sitape para equipamentos enterrados. São também apresentadas imagens elucidativas de cada modelo e do seu funcionamento.

Tabela 2 - Soluções Sitape para equipamentos enterrados.

O **Compact System (CS)** é o sistema com maior capacidade e tecnologicamente mais avançado atualmente (Figura 43). O compactador tem como função o armazenamento temporário dos resíduos, sendo elevado ao nível da rua no momento da recolha (Figura 44) com duas capacidades distintas, 10 e 20 m<sup>3</sup> (Sitape, 2019).



Figura 43 - CS1: estruturação – cilindros hidráulicos avançados (Sitape, 2019).

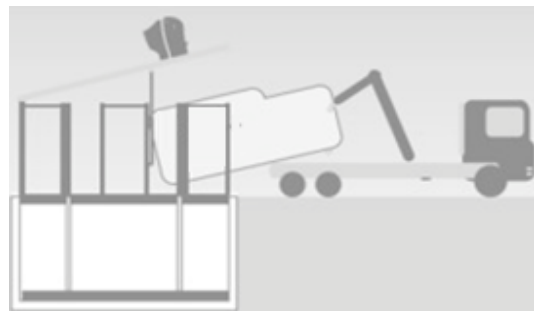


Figura 44 - CS1: ilustração do carregamento do contentor (Sitape, 2019).

O **Hook System (HS)** é composto por uma plataforma metálica única, capaz de alojar desde 1 até 4 contentores, sendo esta configuração ideal para reciclagem, com capacidade de 3 ou 5 m<sup>3</sup> por contentor. A estrutura situa-se sob a superfície da via pública e a tampa permite um acabamento igual à área envolvente do local onde é instalado (Figura 45 e Figura 46). Os contentores são compatíveis com gruas *standard* ou volteio, que estejam em conformidade com a norma EN 14071-1. O HS está em conformidade com a norma EN 13071-2 (Sitape, 2019).



Figura 45 - HS4: início do levantamento da tampa mediante a pressurização hidráulica nos cilindros (Sitape, 2019).

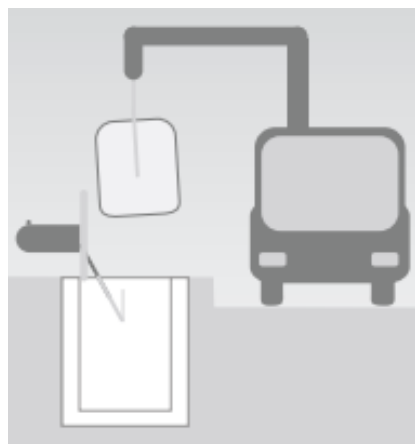


Figura 46 - HS: ilustração do carregamento do contentor (Sitape, 2019).

O **Side System (SS)** tem capacidade para 1 (SS1) ou 2 (SS2- ver Figura 47) contentores enterrados de 3,2 e 4 m<sup>3</sup>. Estes são elevados ao nível da rua no momento da recolha. A plataforma tem espaço suficiente para que o camião manobre o contentor. Este sistema é compatível com os veículos de carga lateral (Figura 48), construídos de acordo com a norma EN 1501-2 (Sitape, 2019).



Figura 47 - SS2: posição de recolha dos resíduos (estrutura ao nível do piso) – cilindros hidráulicos avançados (Sitape, 2019).

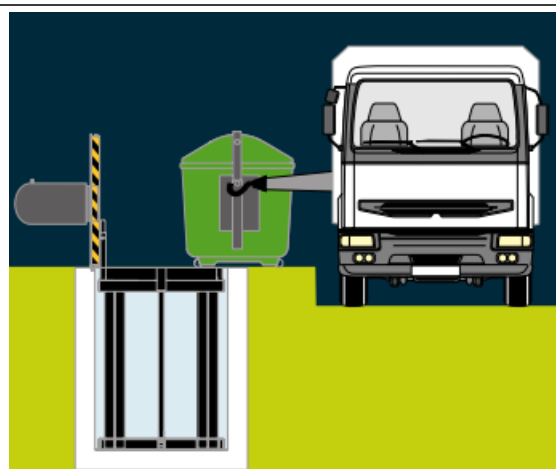


Figura 48 - SS: ilustração do carregamento lateral do contentor (Sitape, 2019).

O **Mobile Garbage Bin System (MGBS)** é capaz de albergar até 4 contentores do tipo MGB (EN 840) de 0,8; 1 ou 1,1 m<sup>3</sup>. O movimento vertical da plataforma (Figura 49 e Figura 50) transporta os contentores enterrados ao nível da rua no momento da recolha, compatível com os veículos de lixo de recolha traseira (Sitape, 2019).



Figura 49 - MGBS2: posição de funcionamento (estrutura enterrada) – cilindros hidráulicos recuados (Sitape, 2019).



Figura 50 - MGBS2: posição de recolha do lixo (estrutura ao nível do piso) – cilindros hidráulicos avançados (Sitape, 2019).

### 2.3.3.2 Propostas de equipamentos semienterrados

Relativamente a soluções de equipamentos semienterrados, existe também uma grande variedade de oferta, mas a variação destes equipamentos resume-se apenas ao seu *design* e sistema de elevação, como é possível observar na Figura 51, dado que não é necessário qualquer sistema mecânico auxiliar para o seu funcionamento.

Este equipamento, normalmente de geometria cilíndrica, foi desenvolvido para a recolha com grua (com ou sem compactação). O equipamento assumiu o nome do primeiro modelo que surgiu no mercado e mais comercializado, sendo vulgarmente designado por *Molok*.

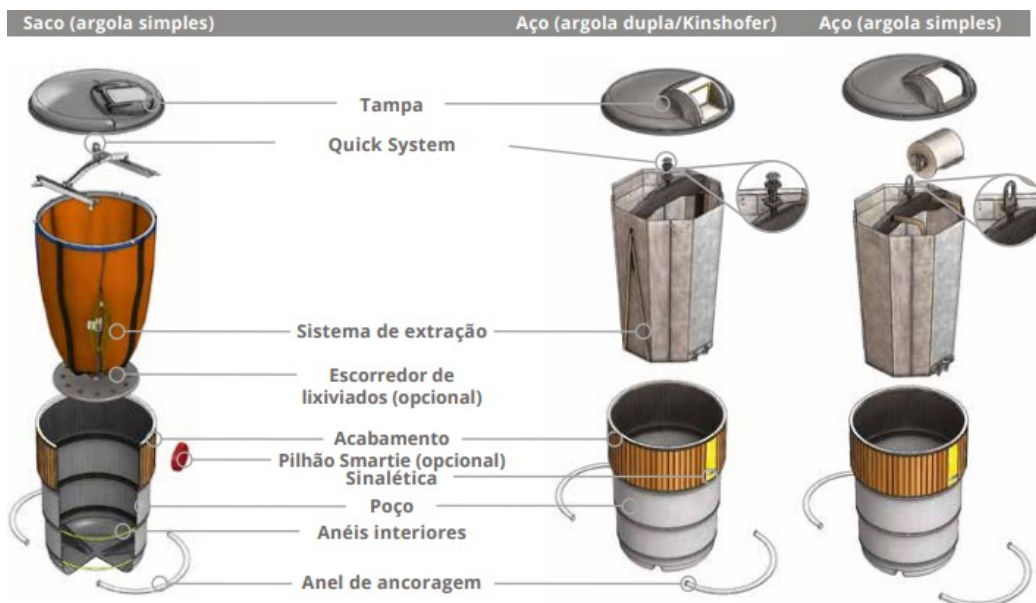


Figura 51 - Diferentes soluções contentores de semienterrados *Molok* (Sopso, 2019).

Os *Molok* têm uma gama de capacidades desde 0,3 a 5 m<sup>3</sup>, sendo, no entanto, as capacidades maiores as mais usadas a nível nacional, geralmente de 3 m<sup>3</sup> para o vidro e 5 m<sup>3</sup> para as restantes valências.

### 2.3.3.3 Materiais comumente utilizados

**Cuba técnica:** normalmente são utilizados módulos pré-fabricados em betão (Figura 52) ou FV (Figura 53). Estas cubas são inseridas nos fossos previamente realizados e assentes sob certas condições, mediante as pendentes, distância ao piso de circulação, entre outras.



Figura 52 - Cuba prefabricada de betão – 3 módulos (Aclweb, 2019).



Figura 53 - Cuba prefabricada de FV – 1 módulo (Tropical Hobbies, 2019).

**Estrutura do equipamento:** normalmente é composta maioritariamente por uma estrutura em perfis tubulares e/ou conformados a frio e perfil UPN. Habitualmente estes elementos são em aço S235JR ou S275JR, com tratamento anticorrosivo obtido por galvanização a quente, de acordo com a norma EN ISO 1461. Nestes aços, a sigla “S” classifica o aço como sendo estrutural, os caracteres numéricos indicam a tensão de cedência do material em MPa e o “JR” indica a resistência de, pelo menos, 27 Joule (J) a uma temperatura de 20° C.

As ligações entre diferentes componentes são maioritariamente soldadas e aparafusadas e os mecanismos de elevação são normalmente acionados por cilindros hidráulicos.

**Contentor:** pode ser fabricado em polietileno (Figura 54), cuja aplicação poderá ser em contentores de superfície ou em enterrados de carga traseira ou lateral. Podem também ser fabricados em aço, como é exemplo o contentor do CS da Figura 55, ou ainda em PEAD (Figura 56), aplicado no HS. Estes últimos podem encontrar-se suportados numa estrutura auxiliar de nivelamento em aço localizada fundo da cuba. No caso do contentor da Figura 54, quando aplicado em contentores enterrados, apenas é necessário garantir a abertura permanente da tampa ou então a sua remoção, como é exemplo o MGBS, onde, caso existisse tampa, os resíduos após depositados pelo marco não cairiam dentro do contentor.



Figura 54 - Contentor, em polietileno, carga traseira (Ovo Solutions, 2012).



Figura 55 - Contentor CS (Sitape, 2019).



Figura 56 - Contentor 5 m<sup>3</sup>, em PEAD, argola simples, aplicado no HS (Laranjeira, 2008).

**Dispositivo de segurança:** não tem especificamente materiais definidos, o importante é obedecer aos parâmetros impostos pela normalização.

**Marco:** pode ser apresentado de várias formas, sendo a mais habitual uma estrutura maioritariamente em aço ao carbono, com chapa inoxidável, pelo menos na zona que está em contacto com o local de depósito do lixo (normalmente o tambor). Existem também detalhes em material polimérico com funções estéticas, como por exemplo a identificação dos resíduos através da cor normalizada. O marco possui uma tampa ou tambor estanque, de abertura manual, através de uma pega, com ou sem tambor. Pode também ser aberta manualmente (Figura 57) ou através de um mecanismo com pedal como se observa na Figura 58 e Figura 59. Nesta última (Figura 59) é usada uma tampa em detrimento do tambor. As soluções com pedal são mais simples e higiénicas para o utilizador.



Figura 57 - Marco "Sky" com tambor (Sitape, 2019).



Figura 58 - Marco "Mini Sun" com Tambor e Pedal (Sitape, 2019).



Figura 59 - Marco com tampa e pedal (Estudio D1, 2019).

Por forma a serem mais versáteis, nos equipamentos enterrados, normalmente, as dimensões da base dos marcos (elementos dos marcos fazem a ligação à estrutura do equipamento – ver Figura 58) são padronizadas. Este facto permite seja possível seleccionar entre várias alternativas de marcos, cujas bases possuem as mesmas dimensões da abertura que existe na tampa do equipamento, ficando assim ao critério do cliente a seleção do marco que lhe seja preferencial.

**Pavimento do local onde é inserido o equipamento:** na maior parte dos equipamentos, a sua tampa é revestida com os paralelos do passeio ou semelhantes. Poucos são os casos onde esta tampa é realizada em chapa antiderrapante.

O enquadramento do equipamento, no local onde é implementado, é um fator a ser levado muito em consideração aquando da fase da venda do equipamento. Para tal, o piso que irá sobrepor a chapa da estrutura terá de ser igual ou muito semelhante ao circundante. Este piso, embora não faça parte do equipamento, tem uma importância muito significativa no comportamento estrutural do mesmo. Em função do tipo de piso e material, e das solicitações de carga, a estrutura poderá ser mais ou menos robusta.

Atualmente, com o desenvolver da tecnologia, é possível ter um piso cerca de duas vezes e meia mais leve, com um aspeto muito semelhante, como é possível concluir da comparação entre a Figura 60 e a Figura 61. Este tipo de material permite ter uma estrutura bastante mais aligeirada, reduzindo assim o custo em perfis e materiais de montagem. No projeto há que ter em conta essas variáveis, o que, na maior parte dos casos, não acontece. De facto, na maior parte dos casos, é estabelecida uma solução padronizada, o que faz com que exista, muito vulgarmente, um sobredimensionamento destes elementos.



Figura 60 - Calçada portuguesa.

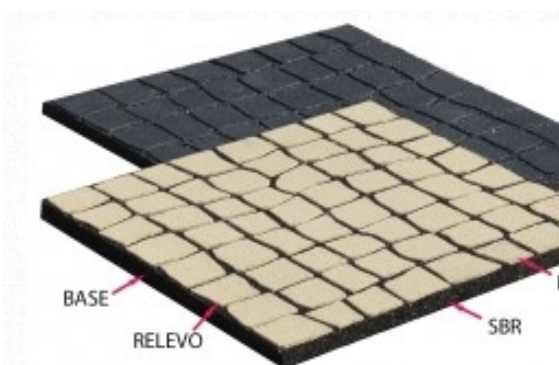


Figura 61 - Alternativa a calçada portuguesa "EcoKalçada" (Eco-solutions, 2019).

A EcoKalçada (Figura 61) foi desenvolvida pela empresa Eco Solutions e é um produto inovador que surgiu no desenvolvimento no âmbito do prémio inovação da Valorpneu 2009. Desde 2015 que a Eco Solutions comercializa este produto, tendo por base granulado de borracha de pneu 100% reciclada e borrachas coloridas virgens ou recicladas, que posteriormente é transformada em placas cujo aspeto superficial (em relevo) é semelhante ao da calçada portuguesa (Eco-solutions, 2019).

Os relevos, formas e cores podem ser alterados conforme a necessidade de recriar padrões tradicionais (Eco-solutions, 2019).

Para além da menor massa volúmica, a utilização da Ecolalçada tem ainda outras vantagens, como (Eco-solutions, 2019):

- Absorção de impacto;
- Menor risco de lesões;
- Antiderrapante;
- Fácil aplicação e manutenção;
- Reduzida manutenção;
- Padronização de desenhos;
- Sinalizador de obstáculos a pessoas com deficiência visual.

#### 2.3.3.4 Sistemas de acionamento

Os equipamentos possuem diversos mecanismos, uns facilitam o sistema de recolha enquanto outros facilitam a deposição dos resíduos por parte da população.

##### 2.3.3.4.1 Estruturas

O sistema que permite levantar a tampa do equipamento, atualmente, resume-se a três diferentes formas construtivas. A execução desta tarefa pode ser realizada com recurso a:

- **Cilindros Hidráulicos:** ligados com um dos extremos à estrutura colocada dentro da cuba e com o outro à tampa, como é possível observar na Figura 62, o número de cilindros é igual a três no caso do equipamento HS4 e igual a dois no caso do equipamento HS1. O seu acionamento é realizado através da pressurização do cilindro, mediante a injeção de óleo. Para tal, terá de ser ligada a mangueira hidráulica do veículo através da tomada de força observada na Figura 62;
- **Cilindros a gás e força manual:** esta alternativa é usada nos equipamentos de apenas um módulo com piso antiderrapante (diferente da calçada, com objetivo de ser mais leve, facilitando assim a abertura), ou em conjuntos de vários equipamentos inseridos em cubas independentes, como se observa na Figura 63 e na Figura 64. Estes cilindros são colocados à compressão, e não conseguem ser independentes, pelo que necessitam de auxílio do operador para poderem iniciar o curso de extensão (levantamento da tampa) e posterior fecho;
- **Força manual:** neste caso, o funcionamento é semelhante ao do tópico anterior, sendo que, apenas requer um esforço bastante mais significativo do operador para abrir a tampa. O operador por vezes recorre à grua do veículo para realizar este esforço.



Figura 62 - Momento da abertura do HS4 através de cilindros hidráulicos ligados à tampa.



Figura 63 - Exemplo de equipamentos acionados por cilindros a gás com auxílio manual (JFPSI, 2017).



Figura 64 - Extração de contendor num equipamento acionado por cilindros a gás com auxílio manual (Wattson, 2018)

No caso do equipamento exemplificado na Figura 65, existem dois grupos de cilindros distintos, os indicados a amarelo são responsáveis pela elevação da plataforma com o contendor, desde o subsolo até à cota do piso, enquanto os cilindros de cor vermelha têm como tarefa rodar a tampa, por forma a não interferir com a extração do contendor no momento do seu carregamento para o veículo.

Na Figura 66, os dois cilindros representados a amarelo são incumbidos de elevar a plataforma até à cota do piso.

Em ambos os exemplos, os marcos, bem como a tampa, permanecem ligados à plataforma.



Figura 65 - Demonstração dos cilindros hidráulicos do CS (Sitape, 2019).



Figura 66 - Demonstração dos cilindros hidráulicos do MGBS System (Sitape, 2019).

#### 2.3.3.4.2 Contentores

Outro mecanismo distinto é o responsável pela abertura do fundo do contentor, aquando do momento do seu posicionamento de descarga no veículo de transporte dos resíduos. Este mecanismo pode ser de cogumelo, argola simples ou argola dupla, como se observa na Figura 67. Os sistemas de argola dupla ou cogumelo possuem vários elementos que transmitem movimentos entre si, resultando na abertura do fundo do contentor, como se observa na Figura 68 e Figura 69. No caso do sistema de argola simples, a abertura do fundo é acionada manualmente, sendo normalmente usada uma corda que possibilita ao operador abrir o fundo do contentor à distância ou através de um alçapão.

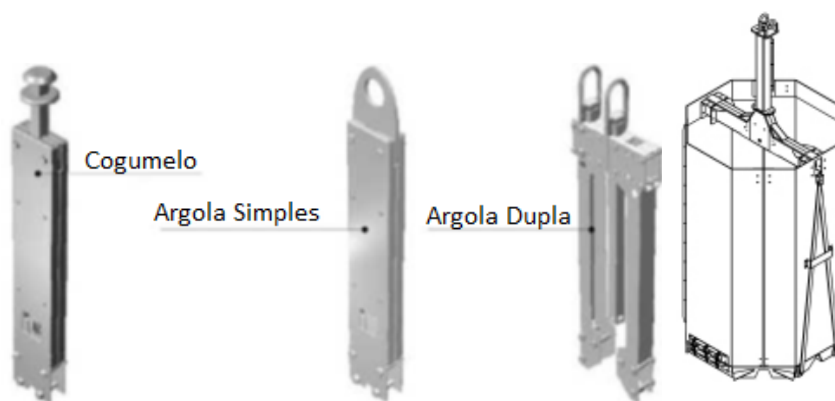


Figura 67 - Sistemas de acoplamento para grua (Ovo Solutions, 2012).

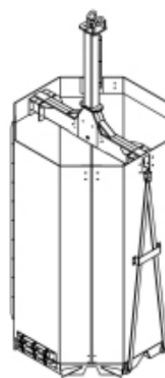


Figura 68 - Desenho do sistema de argola dupla (Sopsa, 2019).



Figura 69 - Abertura do fundo com sistema de argola dupla (Sopsa, 2019).

No caso dos contentores semienterrados, a recolha é efetuada por um veículo equipado com uma grua, que eleva o contentor através de um sistema de argola simples. Os resíduos estão normalmente contidos numa manga que, após ser posicionada no veículo, na posição da descarga, o fundo da manga é aberto e os resíduos são aí despejados.

Os contentores em PEAD (normalmente amarelos) utilizados no equipamento HS têm normalmente um sistema de abertura com argola simples ou dupla.

#### 2.3.3.4.3 Marcos

Os marcos são constituintes do equipamento que necessitam, para além da função estética, uma melhoria constante por forma a responder às constantes necessidades do mercado.

Um marco completo é constituído por:

- Tambor ou tampa;
- Pedal de acionamento;
- Porta comercial.

O primeiro e segundo tópicos estão interligados normalmente por mecanismos de alavancas. O pedal irá fazer com que o tambor (Figura 70), ou tampa, se abram sempre que o depositante dos resíduos o pressionar. Desta forma, para além do utilizador conseguir abrir a tampa quando está com ambas as mãos ocupadas, também não existirá o contacto deste com possíveis zonas sujas com resíduos.

A porta comercial, mostrada na Figura 71, é outra funcionalidade opcional, tal como o pedal. Esta porta é normalmente requisitada pelas autarquias em zonas comerciais, por forma a dar resposta à necessidade de os comerciantes colocarem sacos de resíduos mais volumosos.

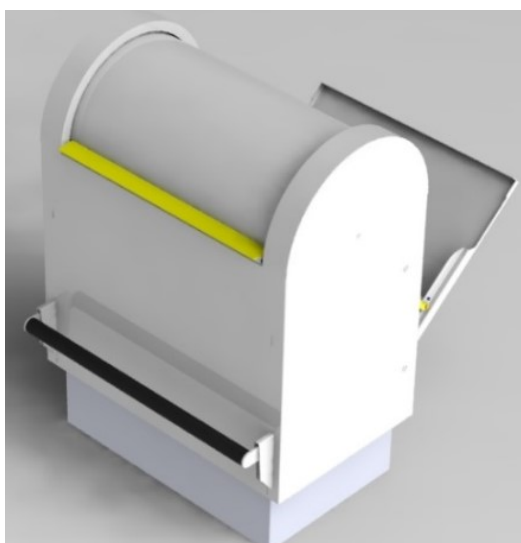


Figura 70 - Perspetiva frontal do marco "Star Pro" com pedal (Sitape, 2019).

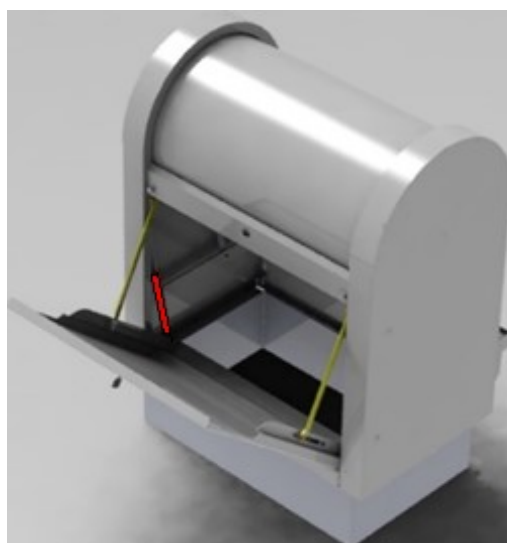


Figura 71 - Perspetiva traseira marco "Star Pro" com fechadura (Sitape, 2019).

No marco com tambor normalmente existe o sistema de contrapesos por forma a abrandar a rotação do tambor, diminuindo assim a probabilidade de o depositante se entalar. Com o mesmo objetivo, o marco com tampa possui normalmente dois cilindros a gás ligados da tampa à estrutura fixa.

Como se observa na Figura 71, a vermelho, existem dois cilindros a gás responsáveis por garantir que a porta é sempre fechada após o momento de deposição dos resíduos. Por forma a não ser permitido o acesso a pessoas não autorizadas a esta porta, dado que a sua posição e dimensão pode dar azo a situações de perigo ou má utilização, a mesma só pode ser normalmente aberta com uma chave (Figura 72 e Figura 73) ou com cartão RFID ou NFC (Figura 74 e Figura 75), cuja principal diferença é a distância necessária para deteção do leitor de cartões. No caso da segunda opção, o marco necessita estar munido com um leitor de cartões e todos os automatismos e mecanismos necessários para o funcionamento correto da abertura da porta.



Figura 72 -Fechadura de impacto cilíndrica (Puzzle Advance, 2019)



Figura 75 - Exemplo de cartão NFC (Sitape, 2019).



Figura 73 - Marco "Evolution" da Contenur com fechadura (Contenur, 2019).



Figura 74 - Marco "Alvalade" com leitor de cartões (Sitape, 2019).

### 2.3.4 Legislação

Os equipamentos necessitam de obedecer a normas específicas europeias e/ou Internacionais. Posteriormente, necessitam ainda de cumprir os requisitos especificados pela memória descritiva estabelecida pelo cliente. Existem ainda, no caso de concursos públicos, publicações do DR que estipulam as dimensões para o local de deposição de resíduos urbanos efetuado, como é possível observar no Anexo III.

#### 2.3.4.1 Contentores

Na UE, atualmente, as dimensões, o *design*, os critérios de desempenho e testes, a saúde e segurança, bem como as especificações dos requisitos para o fabrico de contentores estacionários de resíduos, são regidas pelas normas europeias EN840 e EN 12574. Nestas normas, são classificados os tipos de dispositivos de elevação e capacidades, bem como os métodos de ensaio e requisitos de saúde e segurança (Rodrigues, 2017). Elas

contêm a terminologia, dimensões e requisitos, bem como informações sobre os métodos de ensaio a realizar aos contentores.

Referentes a contentores móveis (MGB – *Mobile Garbage Containers*), as normas EN840 subdividem-se para os diversos tipos de contentores, sendo a:

- DIN EN 840-1 aplicável nas dimensões e *design* de contentores de duas rodas, com uma capacidade até 0,4 m<sup>3</sup> para dispositivos de elevação frontal com pente;
- DIN EN 840-2 e DIN EN 840-3 aplicáveis a contentores de quatro rodas, cuja capacidade vai até 1,3 m<sup>3</sup>, com tampa plana ou curva, respetivamente, e para dispositivos de elevação laterais e/ou frontais, com pente;
- DIN EN 840-4 aplicável a contentores de quatro rodas, com capacidade até 1,7 m<sup>3</sup> e tampa plana, para dispositivos de elevação laterais e/ou dispositivos de elevação frontal com pente mais largos (Rodrigues, 2017);
- EN 12574-1, aplicável a contentores de tampas de maiores dimensões, planas ou curvas ou com dispositivos de elevação com grua.

Para contentores fixos com capacidade até 5 m<sup>3</sup>, elevados na extremidade superior e esvaziados na extremidade inferior, deve ser cumprida a norma EN 13071:2008, cuja parte 1 refere os requisitos gerais e a parte 2 trata dos requisitos adicionais para sistemas parcialmente ou totalmente enterrados.

#### 2.3.4.2 Estrutura

O conjunto da estrutura do equipamento enterrado, com todos os seus constituintes, deverá estar conforme segundo os requisitos estabelecidos pelas diretivas indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Diretivas a ter em atenção no projeto e acompanhamento das estruturas, comercialização e implantação.

Diretiva	Descrição
<b>2006/42/CE (Diretiva máquinas)</b>	Estabelece normas para a comercialização e a colocação em serviço das máquinas.
<b>2000/14/CE (Diretiva de emissões sonoras)</b>	Relativa à matéria de emissões sonoras para o ambiente dos equipamentos para utilização no exterior.
<b>2006/95/CE (Diretiva de material elétrico)</b>	Relativa aos requisitos de segurança do material elétrico destinado a ser utilizado em certos limites de corrente alternada.
<b>2004/108/CE (Diretiva de compatibilidade eletromagnética)</b>	Regula a compatibilidade eletromagnética dos equipamentos elétricos e eletrónicos.

Para além das diretivas mencionadas na Tabela 3, também deverá respeitar ou seguir as normas técnicas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Normas a ter em atenção no projeto e acompanhamento das estruturas, comercialização e implantação.

<b>Norma</b>	<b>Descrição</b>
<b>DIN ISO 2768 (Toleranciamento)</b>	Regulamento para tolerâncias. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parte 1 - Tolerâncias para limites de comprimento.</li> <li>• Parte 2 - Tolerâncias para arestas e limites redondos.</li> </ul>
<b>DIN EN 10025 (Produtos laminados a quente de aços estruturais)</b>	Norma pela qual se regulam os fornecedores dos perfis em aço laminado estrutural. Nesta estão especificadas as condições técnicas do material.
<b>DIN EN ISO 13920 (Soldadura)</b>	Norma que especifica tolerâncias gerais para dimensões lineares e angulares, forma e posição de estruturas soldadas em quatro classes de tolerância, baseando-se na precisão oficial corrente.
<b>UNE-EN ISO 12100 2004/A1:2010 (Segurança de máquinas)</b>	Princípios gerais de projeto - Avaliação e redução de riscos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parte 1 - Terminologia básica e metodologia.</li> <li>• Parte 2 - Princípios técnicos, segurança integrada, medidas de proteção e outras complementares.</li> </ul>
<b>EN ISO 14121-1:2007 (Segurança de máquinas)</b>	Estabelece princípios gerais que devem ser usados para avaliação e redução de risco.
<b>ISO 13857:2008 (Segurança de máquinas)</b>	Distâncias de segurança delimitadoras de zonas de risco dos membros superiores e inferiores.
<b>EN 10327 (Condições técnicas de fornecimento)</b>	Placas e tiras de aço de baixo teor de carbono para moldagem a frio, revestidas continuamente por imersão a quente.
<b>EN 10130 (Condições técnicas de fornecimento)</b>	Produtos planos de baixo teor de carbono, laminados a frio, destinados a conformação a frio.

<b>EN ISO 1461 (Especificações e métodos de teste)</b>	Revestimentos de zinco por imersão a quente sobre produtos acabados de ferro e aço.
<b>ISO 4413: 2010 (Potência do fluido hidráulico)</b>	Regras gerais e requisitos de segurança para sistemas e seus componentes.
<b>ISO 1219-1:2012 (Sistemas e componentes de energia fluida)</b>	Estabelece símbolos gráficos para uso convencional e aplicações de processamento de dados utilizados em diagramas de circuitos.
<b>NP-EN 206-1:2008 (Betão)</b>	Aplica-se a betão destinado a estruturas betonadas no local, estruturas prefabricadas e produtos estruturais prefabricados para edifícios e estruturas de engenharia civil. Define parâmetros para o desempenho, produção e conformidade destas estruturas.

### 2.3.4.3 Dispositivo de segurança contra a queda

O dispositivo de segurança deve ser contruído em conformidade com a norma EN 13071. Esta forma de restringir o acesso ao fosso ou contentores, pode apresentar-se sob a forma de uma barreira, uma plataforma ou outro mecanismo que restrinja o acesso de pessoas, animais e objetos, no momento da existência de perigo de queda.

#### 2.3.4.3.1 Soluções existentes

Os equipamentos cuja plataforma de elevação é responsável pela subida dos contentores cumprem, à partida, a legislação em vigor. Este facto deve-se à subida simultânea da plataforma com o contentor, como é possível observar na Figura 76 e Figura 77, impedindo assim a possibilidade de algo cair no fosso.



Figura 76 - MGBS com a plataforma de elevação ao nível do piso (Sitape, 2019).



Figura 77 - SS com a plataforma de elevação ao nível do piso (Sitape, 2019).



Figura 78 - CS com a plataforma de elevação ao nível do piso (Sitape, 2019).

Na Figura 78, correspondente à recolha do contentor do equipamento CS, é possível observar que, em simultâneo com a elevação da plataforma, também está acoplada à mesma uma barreira, que impedirá o acesso ao fosso por parte de pessoas, animais ou objetos.

Outra solução, embora menos eficaz, é aplicada nos equipamentos enterrados cujos contentores são de elevação por grua. Nestes casos, em simultâneo com o içamento dos contentores sobe também uma plataforma, solidária com o fundo dos mesmos, como se observa nas Figura 79 e Figura 80. Esta elevação da plataforma é possível devido a um sistema de cabos e contrapesos, cilindros hidráulicos ou a gás. Esta plataforma ao atingir o nível do solo, é bloqueada através de um sistema composto por linguetes, como se observa nos exemplos das Figura 81 e Figura 82. Estes linguetes impossibilitam que a mesma desça antes de ser colocado o contentor, vazio, que irá descruvar os linguetes, possibilitando assim a descida dos dois elementos (contentor e plataforma).



Figura 79 - Modelação dos elementos do equipamento com plataforma "Standard Underground System" da Sotkon (Sotkon, 2019).



Figura 80 - Esquema de Montagem do conjunto (Sotkon, 2019).

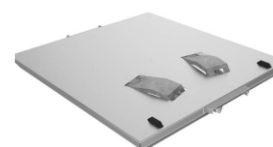


Figura 81 - Plataforma do equipamento "Standard Underground System" da Sotkon (Sotkon, 2019).



Figura 82 - Plataforma do equipamento "Ingenio" da ESE (Expertise, 2019).

Esta situação não cumpre totalmente os requisitos estabelecidos pela norma e, nos casos em que existem mais do que um contentor, existe a agravante dos restantes permanecerem de acesso desimpedido. Os contentores, ao permanecerem acessíveis, correspondem a um perigo semelhante ao do fosso, ou seja, a plataforma só atua no local que é desocupado pelo retiro do contentor, não interferindo nos restantes.

#### 2.3.4.4 Marco

Os marcos de deposição não têm atribuída nenhuma norma específica a cumprir. O seu projeto rege-se, essencialmente, pelos requisitos (estruturais e estéticos) estabelecidos pelo cliente. Sempre que possível, a entidade comercial propõe um dos seus marcos, por forma a ir de encontro às expectativas do cliente. Quando o mesmo não aceita esta

opção, o comercial (e/ou fabricante) tenta alterar um dos seus marcos, por forma a ir de encontro às expectativas do cliente ou, em último caso, desenvolve um novo produto.

Na fase de projeto existem parâmetros necessários de levar em conta, como é o caso do fecho dos elementos móveis (tambor ou tampa), onde é necessário reduzir ao máximo o risco de esmagamento das mãos. Também devem ser cumpridas as cotas da abertura (boca) de entrada dos resíduos, por forma a ser permitida a deposição de sacos de maiores dimensões. No momento do projeto, o interior do marco deve ser idealizado por forma a facilitar o deslocamento do saco (por gravidade) em direção ao contentor, evitando desta forma que fique preso no interior do marco. Deve também ser considerada uma altura mínima de segurança da cota de abertura da entrada de resíduos, no caso dos marcos de tampa, onde o utilizador fica diretamente exposto ao fosso, por forma impedir a possibilidade de alguém cair no local de entrada dos resíduos.

### 2.3.5 Recolha dos resíduos pelos operadores

A recolha de resíduos é uma das atividades profissionais de maior relevo para a sua gestão municipal, definindo-se como uma coletividade de trabalho duro, geralmente pouco qualificado, mas essencial para o bem-estar de todos (Kuijer & Frings, 2004).

Um dos parâmetros essenciais neste tipo de equipamentos é o tempo de vida útil dos mesmos, este depende de alguns fatores que contribuem significativamente para o seu decréscimo, tal como:

- o dimensionamento na fase de projeto e execução em fábrica;
- a implantação do equipamento no terreno;
- a manutenção periódica realizada;
- a forma como é realizado o ciclo de esvaziamento dos contentores.

Acerca do último tópico referido, existe, por parte das entidades comerciais de equipamentos, uma preocupação constante com este ciclo de descarga. Após a venda de um novo produto, é realizada uma formação pela entidade vendedora aos elementos da entidade compradora. Nesta formação, especificam-se diversos parâmetros que devem ser seguidos pelos operadores, para que não existam equipamentos danificados ou, mais grave ainda, problemas que resultem em danos na segurança dos mesmos e que coloquem em perigo os utilizadores.

# DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Estrutura do equipamento Hook System (HS)
- 3.2 Marco de deposição de resíduos
- 3.3 Equipamento HS4



## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Estrutura do equipamento Hook System (HS)

Este subcapítulo irá debruçar-se sobre a estrutura do equipamento HS da Sitape.

O HS, tal como mencionado na revisão bibliográfica, pode possuir desde um a quatro contentores no subsolo, tal como se observa no exemplo da Figura 83, onde consta um equipamento HS com 4 marcos (HS4). Cada contentor possui uma entrada de resíduos (marco), que irá conduzir o resíduo desde a abertura existente no marco até ao contentor correspondente ao resíduo em causa.



Figura 83 - Vista do equipamento HS4 com a tampa fechada.

#### 3.1.1 Contextualização do problema

Dadas as exigências estabelecidas, o fabricante deste equipamento, garantia, numa fase inicial de entrada do produto no mercado, que este equipamento suportaria uma carga equivalente à de um veículo sobre a sua tampa, quando esta se encontrava fechada.

Com a necessidade de mudança de paradigma imposta pela competitividade, existindo uma concorrência cada vez maior neste tipo de soluções, surge uma constante necessidade em reduzir custos dos produtos, por forma a aumentar a competitividade das soluções da empresa existentes atualmente no mercado.

Dado este problema, neste subcapítulo irá analisar-se também a possibilidade de reduzir os custos de matéria prima, bem como de fabrico deste equipamento. Para tal, decidiu-se verificar o equipamento tendo por base os requisitos mínimos estabelecidos na legislação (subcapítulo 3.1.1.1.1). Caso se verifique a possibilidade de realizar alterações

que reduzam consideravelmente o custo dos materiais sem provocar alterações negativamente significativas nos custos de mão de obra, proceder-se-á às alterações implícitas no projeto atual.

Outro dos fatores a abordar é a inexistência atual de dispositivos de segurança neste tipo de equipamentos. Pretende-se não só estudar a possibilidade de comercializar equipamentos munidos com estes dispositivos, mas também tentar propor uma solução que seja viável de implementar nos equipamentos que já se encontram em funcionamento e que, ao longo do tempo, também já foram alvo de melhorias a nível de projeto até ser atingida a versão modular atualmente comercializada.

A estrutura resistente do HS atualmente consiste num conjunto de chapas quinadas e ao cutelo, perfis UPN e cantoneiras que irão dar suporte à chapa de assentamento do piso (em paralelo ou chapa lagrimada). Existem também vários varões nervurados de diâmetro 8 mm (Figura 84), soldados na chapa da tampa, por forma a permitirem uma melhor adesão do betão de fixação dos paralelos do piso, que são, no local da instalação, aplicados na tampa.



Figura 84 - Vista do lado da tampa do equipamento HS4 preparado para expedição.

O sistema de abertura da tampa, no caso do exemplo do HS4, consiste em três cilindros hidráulicos, conectados a apoios rígidos, que são ligados ao betão e ao perfil de chapa quinada que une as laterais do aro em pontos intermédios. Do lado da tampa, o cilindro é ligado entre dois suportes soldados na mesma, através de um pino que permite a rotação entre os elementos. Na Figura 85 apresenta-se um exemplo onde se visualiza o equipamento pronto para expedição, onde é possível observar, de uma forma geral, a estrutura de suporte constituída pelo aro, onde são ligados os atuadores hidráulicos que permitem a abertura da tampa, também esta mostrada, do seu lado interior, na Figura 85.



Figura 85 - Vista do lado interior do equipamento HS4 preparado para expedição.

Por forma a elucidar de uma melhor forma o funcionamento do equipamento quando este se encontra instalado, na Figura 86 mostra-se um equipamento já em funcionamento há algum tempo. Este equipamento encontra-se, tal como a maioria, localizado num passeio de uma zona com uma afluência considerável. Na Figura 87 observa-se o cilindro hidráulico atuado, sendo posteriormente iniciado o processo de recolha dos resíduos presentes nos contentores. Tal como mencionado anteriormente, o equipamento foi sendo alvo de melhorias ao longo do tempo. De referir que o equipamento da Figura 86 e Figura 87 não é modular, e a sua estrutura é constituída essencialmente por elementos tubulares. Este modo de construção corresponde a um equipamento antigo, instalado há cerca de dez anos. Atualmente este modelo encontra-se descontinuado em detrimento das alternativas modulares.



Figura 86 - Vista do equipamento HS4 com a tampa aberta.



Figura 87 - Cilindros hidráulicos de abertura da tampa.

Resumidamente, pode dizer-se que a análise deste equipamento pode ser dividida nos seguintes aspetos:

- enquadrar na legislação aplicável o equipamento com o seu conjunto da estrutura e dispositivo de segurança (posteriormente é abordada a situação dos marcos);
- conceção de um dispositivo de segurança que, para além da sua implementação em equipamentos futuros, também seja possível de adaptar em equipamentos existentes;
- obtenção de um estudo detalhado do comportamento da estrutura quando solicitada às cargas de serviço e impostas na legislação;
- redução, caso possível, do custo global do equipamento e apresentação de análises de custos.

### 3.1.1.1 Enquadramento legislativo

O equipamento tratado neste capítulo, bem como outros similares, cujos contentores são levantados e esvaziados pelo seu fundo, têm obrigatoriamente de cumprir os requisitos das normas EN 13071-1:2008 e EN 13071-2:2008, referentes a este tipo de equipamentos enterrados ou semienterrados.

Na Figura 88 apresentam-se, resumidamente, as designações utilizadas na norma no que diz respeito a equipamentos enterrados.

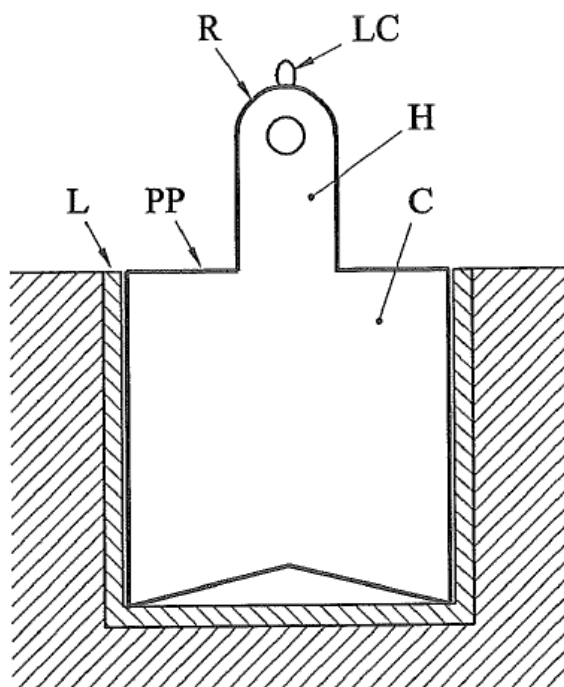


Figura 88 - Esquema ilustrativo de sistema enterrado segundo a EN 13071-2:2008 (CEN, 2008).

- L: *liner* (cuba técnica de inserção do equipamento);
- PP: *pedestrian platform* (plataforma pedestre para acesso dos utilizadores ao marco – vulgarmente designada como tampa no equipamento em estudo);
- R: *roof* (cobertura);

- LC: *lifting connection* (argola para levantamento do equipamento – não aplicável no HS);
- H: *housing/top bin* (marco - parte do recipiente que é fixa à plataforma pedestre/estrutura do equipamento e que é utilizado para deposição de resíduos no contentor);
- C: *container* (contentor - parte móvel do sistema enterrado ou semienterrado com a função de receber os resíduos).

A norma EN 13071-2:2008 especifica as características gerais do equipamento e dos seus acessórios, bem como estabelece métodos de ensaio e requisitos de segurança.

Esta norma estabelece que os dispositivos de segurança aplicados nestes equipamentos devem ser resistentes a todas as condições meteorológicas, humidade e sujidade que possam afetar negativamente o seu funcionamento.

Para manutenção e limpeza, todas as partes do sistema enterrado ou semienterrado devem ser facilmente acessíveis.

#### 3.1.1.1.1 *Requisitos de segurança*

Para as diferentes partes que compõe o sistema enterrado, a norma define uma série de parâmetros e requisitos que devem ser cumpridos, nomeadamente:

- **Fosso:** Durante as operações supervisionadas, o fosso, se for mais profundo do que 500 mm, medido em qualquer ponto, deve encontrar-se equipado com dispositivos de segurança, com a finalidade de evitar uma possível queda accidental de peões, evitando assim que estes possam ser feridos por qualquer parte móvel do sistema (CEN, 2008). O dispositivo de segurança pode ter como base uma plataforma ou uma barreira. Se, quando o recipiente for removido, a parte emergente subir pelo menos 900 mm acima do nível do solo em qualquer ponto, nenhum outro dispositivo de segurança será necessário para proteger quedas accidentais ao fosso (CEN, 2008). Esta situação ocorre normalmente só em equipamentos semienterrados. Em todos os casos, os dispositivos de segurança devem ser altamente visíveis ou sensíveis aos peões;
- **Plataforma pedestre (ou tampa):** Quando o contentor estiver implantado, a circulação do tráfego pedonal na zona superficial do equipamento (normalmente calçada ou outro piso antiderrapante) deve ser assegurada com segurança. Devem ser tomadas todas as precauções necessárias no momento da definição da localização do sistema, por forma à plataforma pedestre estar localizada num local de acesso restrito a veículos. A plataforma deve ser submetida a um ensaio cujo objetivo é verificar a resistência da mesma a sobrecargas accidentais causadas por veículos ou outros objetos pesados. Após o ensaio, não é permitida qualquer deformação permanente ou rotura capaz de impossibilitar a utilização para a qual a plataforma foi concebida. Procedimento

de ensaio: O ensaio consiste na aplicação de uma carga de 500 kgf, aplicada verticalmente, numa superfície cujo diâmetro não poderá exceder os 200 mm (CEN, 2008). Esta carga deve aplicada em 8 pontos da plataforma pedestre. Ao selecionar os locais, deve ser tido em conta o desenho da plataforma pedestre focando o ensaio nas zonas possivelmente mais vulneráveis. A duração mínima do ensaio é de 10 min (CEN, 2008).

Relativamente ao dispositivo de segurança a aplicar, existem vários aspetos que deverão ser cumpridos, mediante a seleção do tipo de dispositivo. No subcapítulo 3.1.2 é aprofundado o estudo destes dispositivos em concreto.

### 3.1.2 Dispositivo de segurança

Com o objetivo de restringir o acesso a pessoas não autorizadas, tendo especial atenção às crianças, uma vez que já ocorreram acidentes com estas, a CE implementou normas que regulamentam sistemas de proteção que devem atuar no momento em que existe possibilidade de queda ao fosso ou aos contentores dos resíduos (Figura 89). Por esta razão, a limitação do acesso ao interior do equipamento, no momento em que se procede à recolha do lixo, é, por questões de segurança, uma regra imposta na norma EN 13071-2:2008.



Figura 89 - Recolha de resíduos de um dos contentores do equipamento HS4 (Sitape, 2019).

Para a realização do estudo, partiu-se do modelo existente do HS4, como se pode observar na Figura 90 a) e b). Este modelo é constituído essencialmente por três diferentes tipos de módulos que formam a tampa, dois módulos de extremidade (esquerda e direita) e três módulos intermédios.

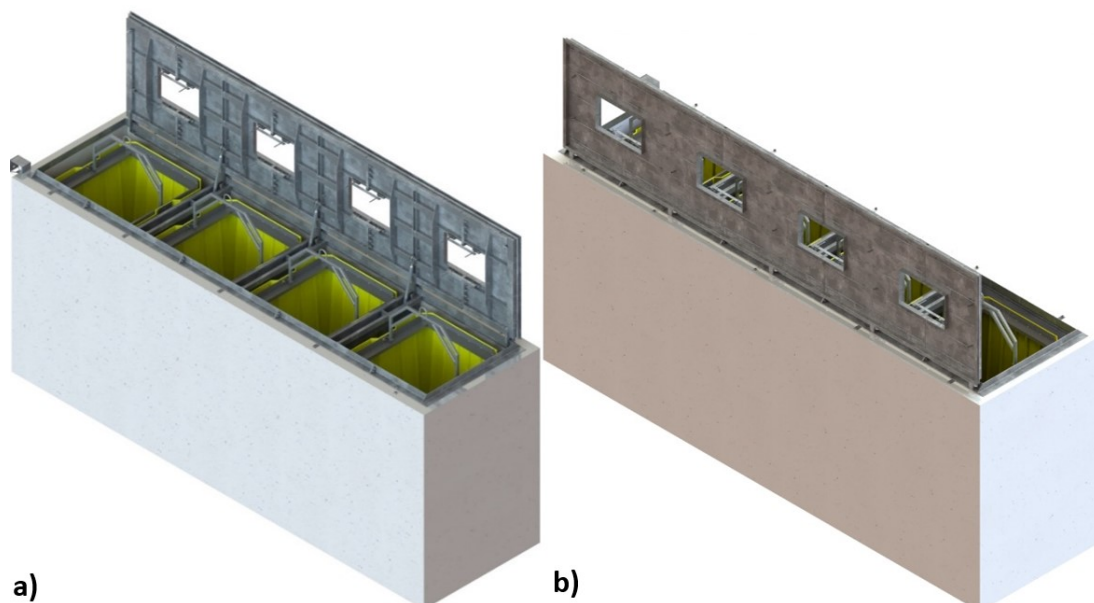


Figura 90 - Modelação com o equipamento inserido na cuba técnica: a) perspectiva frontal e b) perspectiva traseira.

### 3.1.2.1 Formas de abordagem do problema

Existem pelo menos duas formas de eliminar o risco de queda ao fosso ou ao contentor, através de um dos seguintes dispositivos: plataforma de segurança ou barreira de segurança. Para estes dispositivos, estabeleceram-se parâmetros na norma que regem os critérios de dimensões e os ensaios necessários de realizar, para que os mesmos estejam em conformidade com o estabelecido pela UE.

#### 3.1.2.1.1 Plataforma de segurança

Segundo a norma EN 13071-2:2008, a plataforma de segurança (ver exemplo da Figura 91) deve deslocar-se automaticamente para a posição de segurança quando o recipiente for retirado da cuba técnica, por forma a limitar o risco de queda ao fosso.



Figura 91 - Exemplo de plataforma de segurança (Merlin Industrial, 2019).

Na sua posição de segurança, a plataforma não deve estar posicionada a uma distância superior a 210 mm, referente à cota do passeio, medida em relação a todos os pontos do passeio na periferia do equipamento (CEN, 2008).

A plataforma de segurança deve ser sujeita a um ensaio por forma a verificar a resistência do seu piso a sobrecargas, enquanto o contentor não estiver presente.

#### **Procedimento de ensaio**

O ensaio consiste na aplicação de uma carga de 150 kgf, numa superfície cujo diâmetro não poderá exceder 200 mm (CEN, 2008).

A carga deve ser aplicada num mínimo de 8 pontos da barreira de segurança. Ao seleccionar os locais, deve ser tida em conta a concepção do pavimento de segurança, sendo o ensaio mais focado nas zonas mais vulneráveis à circulação ou à rotura (CEN, 2008).

A duração mínima de cada ensaio deve ser de 1 minuto (CEN, 2008).

Durante este ensaio, o piso de segurança não deve descer mais do que 150 mm. Após o ensaio, a plataforma deve permanecer totalmente funcional, não sendo permitida qualquer deformação ou rotura permanente, capaz de dificultar a utilização para o qual foi concebida (CEN, 2008).

#### *3.1.2.1.2 Barreira de segurança*

No caso de se optar por uma barreira de segurança em detrimento da plataforma, a barreira deve deslocar-se, tal como a plataforma, automaticamente para a posição de segurança quando o recipiente for removido da cuba técnica.

As barreiras de segurança devem ter uma altura mínima de 900 mm, desde o nível do solo até ao topo da barreira, em todos os pontos à volta do equipamento, sem interrupções verticais superiores a 200 mm. Caso as barreiras de segurança sejam, por exemplo, constituídas por perfis tubulares, devem ter uma distância máxima de 400 mm entre os elementos horizontais (CEN, 2008).

A barreira deve ser sujeita a um ensaio cujo objetivo é verificar a resistência da barreira a choques ou a forças enquanto o recipiente não estiver presente.

#### **Procedimento de ensaio**

O ensaio consiste na aplicação de uma carga horizontal de 180 N (CEN, 2008).

A força de 180 N deve ser aplicada perpendicularmente ao plano da barreira, numa superfície de diâmetro máximo de 200 mm. No caso de barreiras quadradas ou retangulares, a força deve ser aplicada no meio de cada face das mesmas. Para as barreiras circulares, a força de 180 N será aplicada em 4 pontos da barreira, a cada 90° (CEN, 2008).

A duração mínima do ensaio deve ser de 1 minuto (CEN, 2008).

Após o ensaio, a barreira deve permanecer plenamente operacional, não sendo permitida qualquer deformação permanente, nem qualquer outro tipo de deformação que possa dificultar a utilização para a qual esta foi concebida (CEN, 2008).

### 3.1.2.1.3 Funcionalidade da plataforma segurança e da barreira de segurança

O objetivo dos ensaios realizados nos dois diferentes dispositivos de segurança é verificar a funcionalidade dos mesmos ao longo da vida útil do sistema enterrado ou parcialmente enterrado.

O equipamento é composto por um dispositivo de elevação, pelo qual pode ser efetuado o ciclo operacional completo do dispositivo de segurança, de acordo com as especificações do fabricante.

O ciclo operacional completo de remoção e substituição do recipiente, ativando o dispositivo de segurança, deverá ser realizado 250 vezes (CEN, 2008).

### 3.1.2.2 Anteprojeto

Após a primeira abordagem ao problema, na qual foram debatidos assuntos relacionados com a legislação em vigor e com a possibilidade de adaptar o dispositivo de segurança nos equipamentos já instalados, realizou-se um estudo mais aprofundado sobre qual é o dispositivo mais conveniente a projetar para a resolução do problema em causa.

Como resultado deste estudo, realizaram-se as análises SWOT relativas aos dois diferentes dispositivos de segurança, como se observa na Figura 92 e Figura 93.

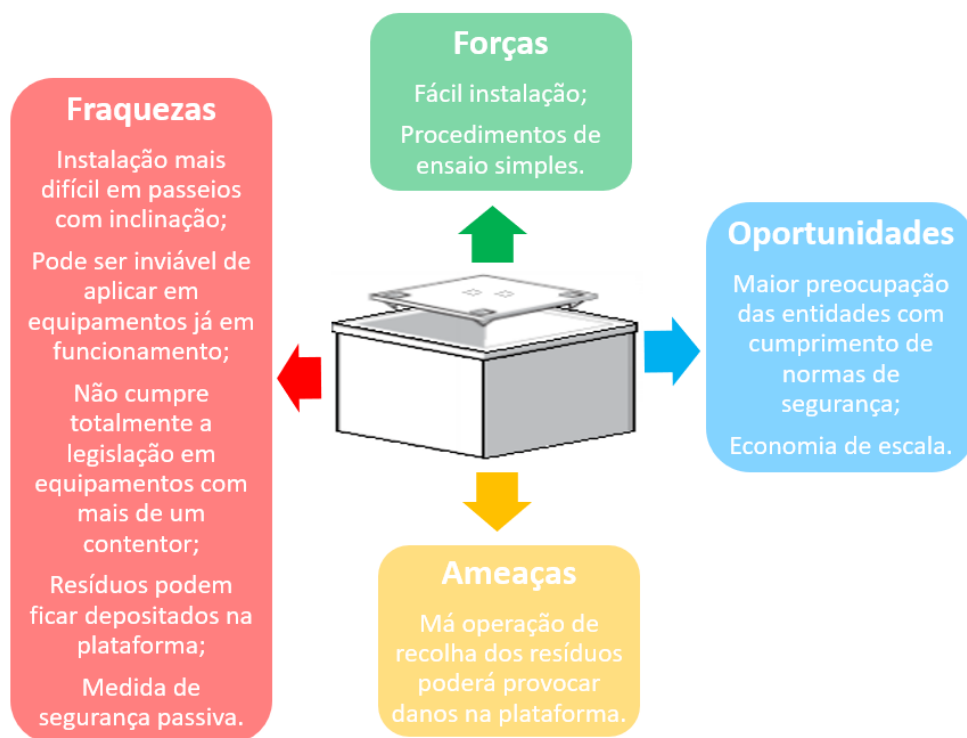


Figura 92 - Análise SWOT do dispositivo de segurança com plataforma.

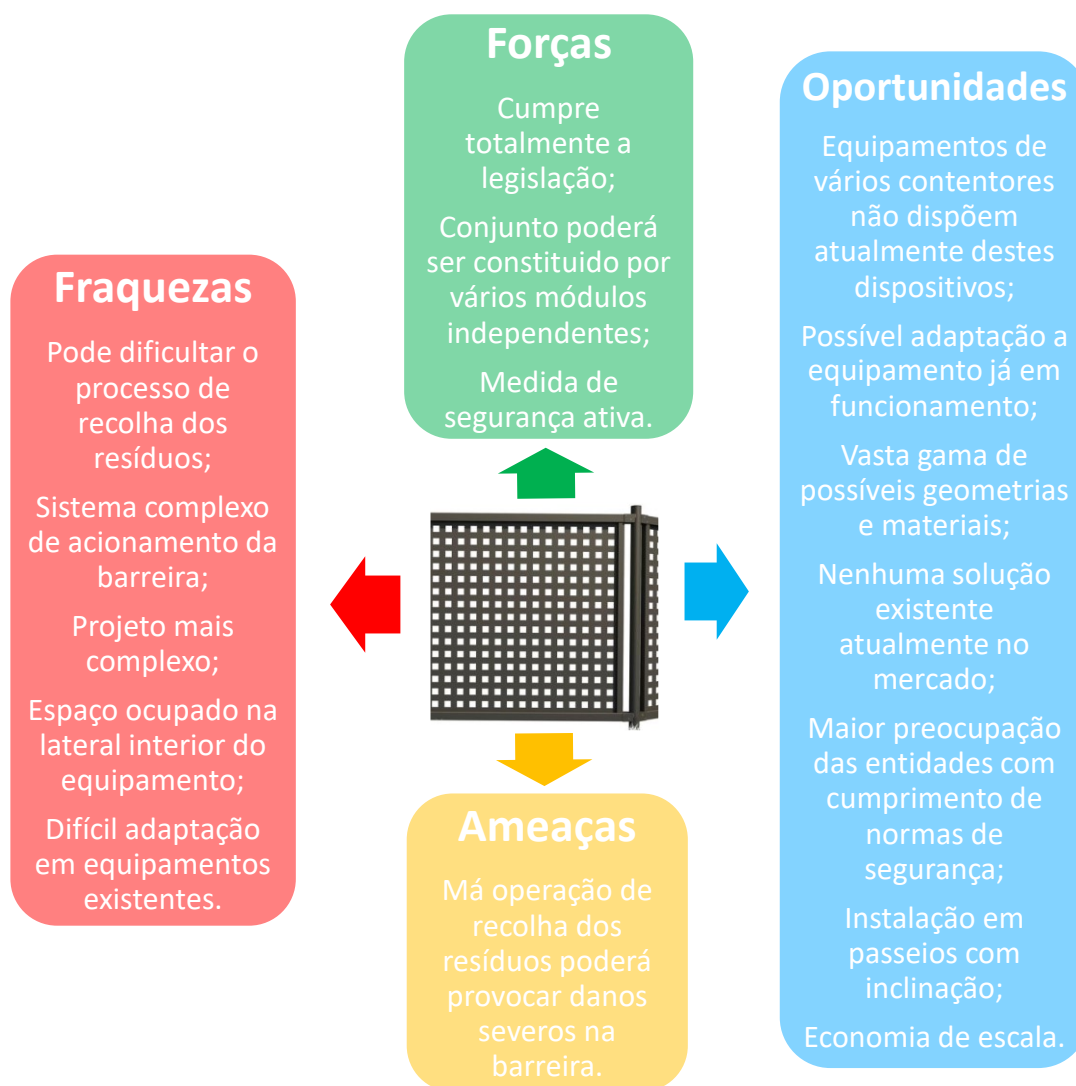


Figura 93 - Análise SWOT do dispositivo de segurança com barreira.

### 3.1.2.2.1 Matriz de seleção

Por forma a ter em linha de conta todas as variáveis fundamentais aos dois processos, bem como estabelecer a importância (“peso”) de cada uma em relação aos dois dispositivos, foi decidida a realização de uma matriz de seleção.

As variáveis ou critérios definidos como sendo mais importantes resumiram-se a:

- versatilidade da solução (em relação aos vários equipamentos);
- complexidade e tempo de projeto;
- facilidade de construção;
- facilidade da realização dos ensaios;
- espaço requerido;
- capacidade de adaptação em equipamentos já em funcionamento;
- dificuldade acrescentada ao processo de recolha dos resíduos;
- custo de produção;
- manutenção.

Para a elaboração da matriz de seleção, foi necessária a construção da matriz da Tabela 5 que classifica os critérios de 0 a 4, sendo que, como estes valores são relativos a diferentes fatores que influenciam os critérios, a pontuação atribuída pode encontrar-se num dos extremos. Para além da matriz de classificação, foi ainda necessária a matriz de comparação entre os critérios, apresentada na Tabela 6.

Na construção da matriz de seleção da Tabela 7, atribuiu-se uma pontuação a cada critério, por forma a obter os índices da mesma. No final, mediante os valores obtidos para cada dispositivo, registaram-se as conclusões.

Após a análise dos dois dispositivos, recorrendo à matriz seleção da Tabela 7, pode concluir-se que ambas as soluções apresentam bons resultados. Sendo a diferença entre os valores obtidos para as duas soluções relativamente pequena, é possível concluir que, como previsto, o que uma solução tem de melhor, a outra não tem (e vice-versa). Não se observam convergências significativas entre os aspetos mais positivos das duas.

No que diz respeito à versatilidade, parâmetro muito importante uma vez que permite a aplicação desta solução numa vasta gama de equipamentos, a barreira apresenta vantagens significativas. Relativamente ao espaço útil requerido e dificuldade acrescentada ao processo de recolha dos resíduos, a barreira apresenta resultados bastante desfavoráveis, uma vez que estes valores deveriam ser os mais baixos possíveis. Nos restantes aspetos, embora existam algumas divergências, como não possuem uma importância muito significativa, podem, nesta fase, considerar-se separadamente.

Tabela 5 - Matriz de classificação de critérios.






Critérios de Avaliação	Pontuação				
	0	1	2	3	4
<b>Versatilidade da solução</b>	Aplicável apenas a monoblocos				Aplicável a todos equipamentos
<b>Complexidade e tempo de projeto</b>	Nada complexo				Extremamente complexo
<b>Facilidade de construção</b>	Muito fácil				Extremamente complexa
<b>Facilidade na realização de ensaios</b>	Não necessita de ensaio	Possibilidade de ensaiar internamente	Requer aquisição de equipamentos específicos	Requer equipamentos específicos e entidades externas	Validado apenas por entidades externas certificadas
<b>Espaço útil requerido</b>	Não interfere nada com o existente	Ligeiras interferências	Necessárias alterações em obra à estrutura	Necessárias alterações em estaleiro à estrutura	Necessária aquisição de nova estrutura de equipamento
<b>Capacidade de adaptação em equipamentos já em funcionamento</b>	Alterações apenas ao nível de fixação	Necessárias alterações ligeiras na estrutura	Necessárias alterações significativas na estrutura	Necessária substituição de parte da estrutura	Necessária aquisição de nova estrutura de equipamento
<b>Dificuldade acrescentada ao processo de recolha dos resíduos</b>	Não interfere				Interfere significativamente, aumentando claramente o tempo necessário para a tarefa
<b>Custo de produção</b>	Muito baixo				Muito elevado
<b>Manutenção</b>	Diária	Semanal	Mensal	Semestral	Anual

Tabela 6 - Matriz de comparação entre critérios.

	Critérios de avaliação	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Versatilidade da solução (em relação aos vários equipamentos)		1	1	1	2	2	3	1	2
2	Complexidade e tempo de projeto	3		3	3	3	3	3	3	3
3	Facilidade de construção	3	1		1	1	3	3	2	2
4	Facilidade na realização dos ensaios	3	1	3		1	1	1	2	2
5	Espaço útil requerido	2	1	3	3		2	2	1	1
6	Capacidade de adaptação em equipamentos já em funcionamento	2	1	1	3	2		2	1	1
7	Dificuldade acrescentada ao processo de recolha dos resíduos	1	1	1	3	2	2		1	1
8	Custo de produção	3	1	2	2	3	3	3		3
9	Manutenção	2	1	2	2	3	3	3	1	
Somatório		19	8	16	18	17	19	20	12	15
Pesos		0,132	0,056	0,111	0,125	0,118	0,132	0,139	0,083	0,104
Pesos (Porcentagem)		13,2%	5,6%	11,1%	12,5%	11,8%	13,2%	13,9%	8,3%	10,4%
Escala										
3	mais importante do que									
2	tão importante como									
1	menos importante do que									

Tabela 7 - Matriz de seleção.

Critérios de Avaliação	W (Peso)	Plataforma de segurança		Barreira de segurança	
		A	B	A	B
		C		C	
Versatilidade da solução (em relação aos vários equipamentos)	0,132	0	0	4	100
		0		13,2	
Complexidade e tempo de projeto	0,056	2	100	4	50
		5,6		2,8	
Facilidade de construção	0,111	2	100	2	100
		11,1		11,1	
Facilidade na realização dos ensaios	0,125	2	100	2	100
		12,5		12,5	
Espaço útil requerido	0,118	2	100	4	67
		11,8		7,87	
	0,132	2	66,7	3	100

Capacidade de adaptação em equipamentos já em funcionamento		8,8	13,2
Dificuldade acrescentada ao processo de recolha dos resíduos	0,139	2	100
		4	50
		13,9	7,0
Manutenção	0,083	3	100
		3	100
		8,3	8,3
Custo de produção	0,104	2	100
		2	100
		10,4	10,4
<b>I (Índice de desempenho)</b>	1,00	82,4	86,4

W: Peso (importância) de cada critério (extraído da Tabela 6);

A: Valor do critério (extraído da Tabela 5);

B: Propriedade ponderada:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Quando é desejável que o valor do critério seja o maior possível } (\uparrow): B = \frac{\text{Valor numérico do critério do dispositivo em causa}}{\text{Maior valor do critério entre os dois dispositivos}} \times 100 \\ \text{Quando é desejável que o valor do critério seja o menor possível } (\downarrow): B = \frac{\text{Menor valor do critério entre os dois dispositivos}}{\text{Valor numérico do critério do dispositivo em causa}} \times 100 \end{array} \right.$$

C:  $W_i \times B_i$

Índice de desempenho:  $I = \sum (W_i \times B_i)$ .

### 3.1.2.2.2 Estudo dos requisitos da barreira de segurança

Após observar os resultados da matriz seleção da Tabela 7, observa-se que o dispositivo que apresenta maior índice de desempenho é a barreira de segurança, com 86,4% face aos 82,4% obtidos para a plataforma de segurança. Com base nesta abordagem justificada, optou-se pela barreira de segurança em detrimento da plataforma.

Dada a necessidade de a barreira de segurança estar em conformidade com a norma EN 13071-2:2008, recorreu-se a um esquema simplificado da barreira instalada no interior da cuba técnica de betão (Figura 94), com o objetivo de prever os valores dos esforços atuantes resultantes do funcionamento da barreira. Partiu-se do pressuposto que o dispositivo deveria conter quatro patins deslizantes, sendo que estes teriam de ser fixos ao betão. Os patins, numerados como 1 e 2 na vista frontal da Figura 94, normalmente funcionam acoplados na parte móvel do sistema mas, se estes estivessem fixos à barreira, quando esta fosse acionada, os mesmos sairiam da guia de deslizamento, dado que a barreira teria de se encontrar ligeiramente abaixo do nível do solo por forma a permitir a abertura e o fecho da tampa do equipamento enterrado. Desta forma, optou-se por considerar os patins fixos.

Por forma a estimar os esforços a atuar nos elementos mais frágeis (patins), procedeu-se ao cálculo aproximado das reações nestes componentes por forma a dimensionar os mesmos tendo em conta o ensaio a realizar. Na Figura 94 apresenta-se o esquema de base para o dimensionamento dos patins. Nesta figura são apresentados valores e variáveis que representam:

- **180 N**: força a aplicar no ensaio;
- **P**: massa do conjunto móvel da barreira (aplicada no centro de massa);
- **$M_i^x$** : momento resistente do patim “i” segundo o eixo do x (“i”=1 ou 2);
- **$M_i^y$** : momento resistente do patim “i” segundo o eixo do y (“i”=1 ou 2);
- **$M_i^z$** : momento resistente do patim “i” segundo o eixo do z (“i”=1 ou 2);
- **$R_i^y$** : reação do patim “i” segundo o eixo do y (“i”=1 ou 2);
- **$R^z$** : reação ou força necessária para o equilíbrio ou acionamento da barreira;
- **T**: espessura total da barreira de segurança;
- **D**: espaço necessário para funcionamento da barreira de segurança (mm).

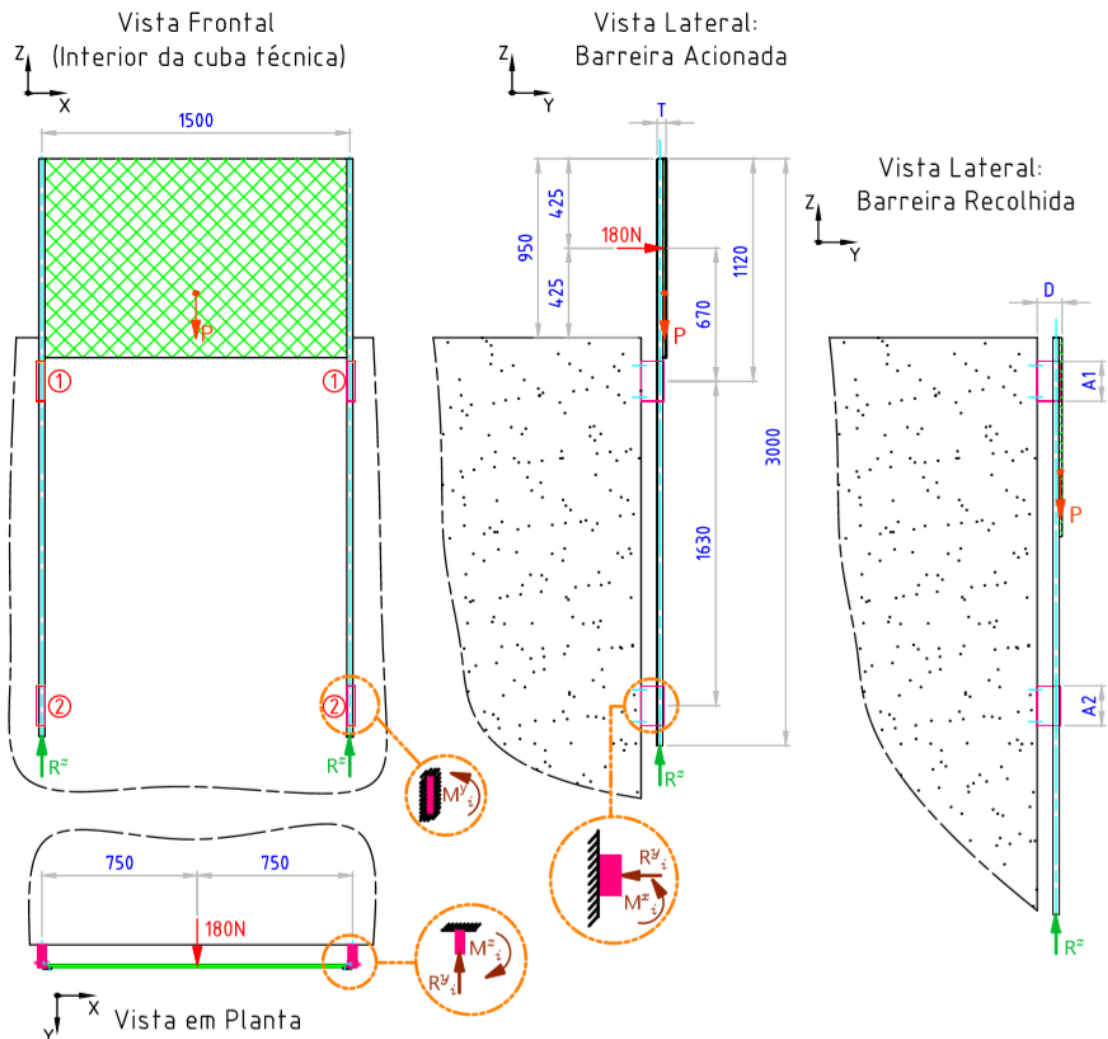


Figura 94 - Esquema de base para o pré-dimensionamento dos patins da barreira de segurança.

No momento do ensaio da barreira, e também posteriormente aquando a sua utilização, existem duas possibilidades de funcionamento do patim (assinalado a lilás na Figura 94):

1. permite algum movimento, no eixo de  $y$ , das guias da barreira no interior do patim, o que possibilita que as variáveis que dizem respeito aos momentos resistentes ( $M_i$ ) possam ser desprezadas – este fenómeno ocorre quando existe uma folga considerável no acoplamento da guia com o patim;
2. restringe significativamente movimento das guias no eixo de  $y$ . Neste caso é necessário considerar os momentos ( $M_i$ ) que atuam nos patins para o dimensionamento dos mesmos – esta possibilidade ocorre quando a folga no acoplamento da guia com o patim é muito reduzida;

Por forma a ter em conta as duas situações, optou-se por verificar, para o caso mais crítico do plano  $YoZ$ , as duas possibilidades, resultando o DCL da Figura 95 a), que simplificado para as duas situações mais críticas, divide-se nos DCL da Figura 95 b) e Figura 95 c). Importa destacar também que o patim 2, funciona quase como apoio, uma vez que a maior parte das reações irão ser suportadas pelo patim 1. Não sendo o patim 2

o mais solicitado, o dimensionamento de ambos os patins irá ser regulamentado pelo patim que sofre as cargas mais elevadas. As forças axiais serão desprezadas para este cálculo.

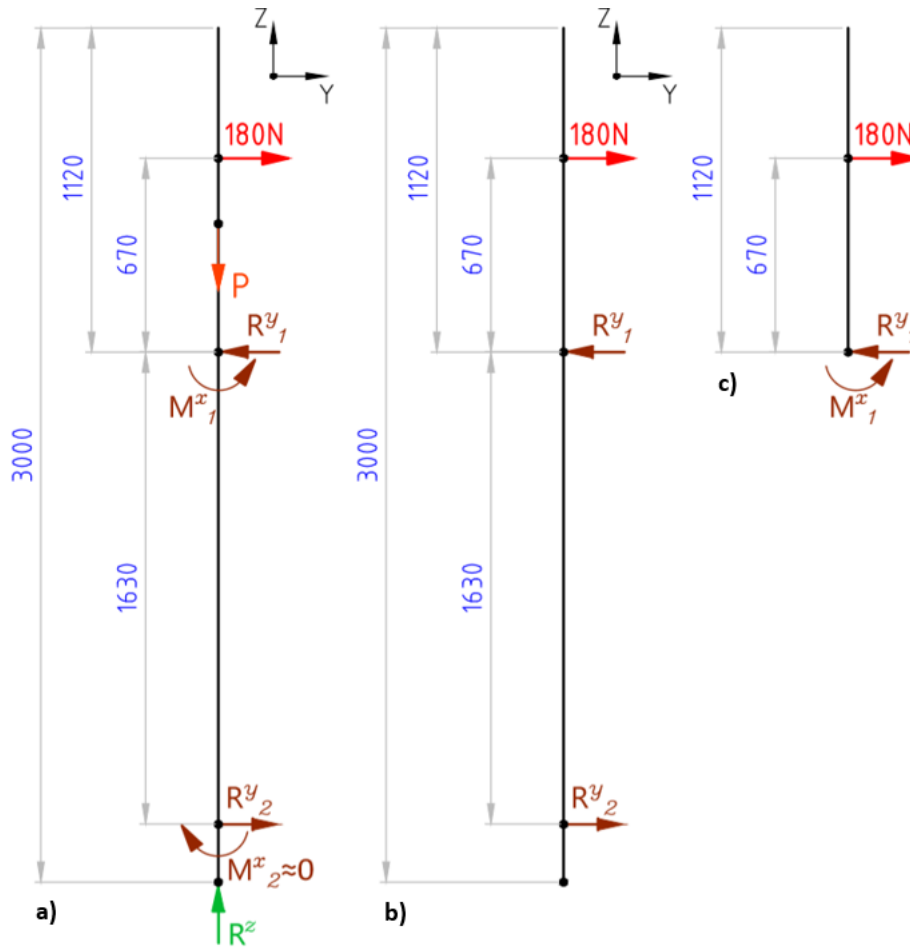


Figura 95 - DCL's da barreira segundo no plano  $YoZ$ : a) DCL com todos os esforços atuantes, b) DCL para o caso de possível rotação no patim 1 e c) DCL no caso de o patim 1 não permitir rotação.

Através do DCL da Figura 95 b), onde se assume que o patim 1 permite algum movimento segundo  $y$ , obtêm-se os seguintes valores de dimensionamento do patim:

$$\sum M_1^x = 0 \Leftrightarrow 180 \times 0,67 - R_2^y \times 1,63 = 0 \Leftrightarrow R_2^y = 74,0 \text{ N} \quad (8)$$

$$\sum F^y = 0 \Leftrightarrow -R_1^y + R_2^y + 180 = 0 \Leftrightarrow R_1^y = 256,0 \text{ N} \quad (9)$$

Do DCL da Figura 95 c), onde se assume que o patim 1 impede o movimento segundo  $y$ , podendo ser eliminado o patim 2 por simplificação, obtêm-se os seguintes valores de dimensionamento do patim:

$$\sum M_1^x = 0 \Leftrightarrow M_1^x - 180 \times 0,67 = 0 \Leftrightarrow M_1^x = 120,6 \text{ Nm} \quad (10)$$

$$\sum F^y = 0 \Leftrightarrow 180 - R_1^y = 0 \Leftrightarrow R_1^y = 180,0 \text{ N} \quad (11)$$

No que diz respeito aos planos  $XoY$  e  $XoZ$ , existem também as possibilidades de o patim restringir, ou não, a rotação segundo os respetivos eixos. Para o caso em estudo, por aproximação irá assumir-se que  $M_i^z$  é nulo (Figura 96), uma vez que se considera que a barreira é rígida.  $M_i^y$  também é nulo, dado que na fase de ensaio não existem forças aplicadas segundo o eixo do  $x$ . Estes momentos são aqui considerados uma vez que, na utilização corrente da barreira de segurança, a mesma pode estar sujeita a sollicitações de impacto ou forças aplicadas pelo contentor durante o processo de recolha do mesmo do interior da cuba técnica. Por forma a evitar danos nos patins, transmitidos pela barreira, na fase de seleção dos patins, se possível, devem ser conjugadas estas sollicitações e sobredimensionar o patim por forma a evitar danos no conjunto do dispositivo de segurança.

Visto em planta (plano  $XoY$ ), apresenta-se o DCL da barreira na Figura 96 com as respetivas variáveis cujos valores já são conhecidos.

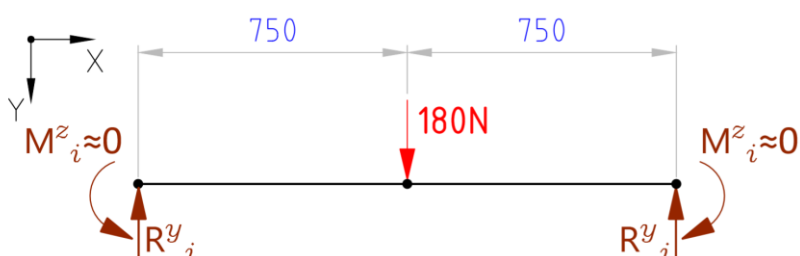


Figura 96 - DCL da barreira segundo o plano  $XoY$ , no caso de a rotação estar restringida pelo patim.

Como síntese desta análise, conclui-se que os esforços críticos atuantes nos patins para as duas abordagens anteriores são os destacados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resumo dos valores calculados dos esforços críticos a atuar nos patins.

Reação	Valor total	Valor por patim
$R_1^y$	256,0 N	128,0 N
$M_1^x$	120,6 Nm	60,3 Nm
$M_i^y$	0 Nm	0 Nm
$M_i^z$	0 Nm	0 Nm

### 3.1.2.2.3 Realização e validação de um protótipo

A instalação de um protótipo de dispositivo de segurança num dos equipamentos instalados nas proximidades da empresa foi, desde a identificação da necessidade deste dispositivo, uma das prioridades da empresa no que diz respeito a encontrar uma solução para todos os equipamentos enterrados, não só para equipamentos comercializados futuramente, mas também para os equipamentos já em funcionamento.

A barreira de segurança idealizada tem por objetivo aplicar os conceitos estudados no anteprojeto, bem como estudar outros fatores no terreno como o espaço e a compatibilidade com o processo de recolha dos contentores. Na Figura 97 e Figura 98, apresenta-se a simulação do movimento de abertura da tampa. Através de cabos de aço a barreira de segurança é içada, permanecendo ativa no momento em que a tampa está totalmente levantada.

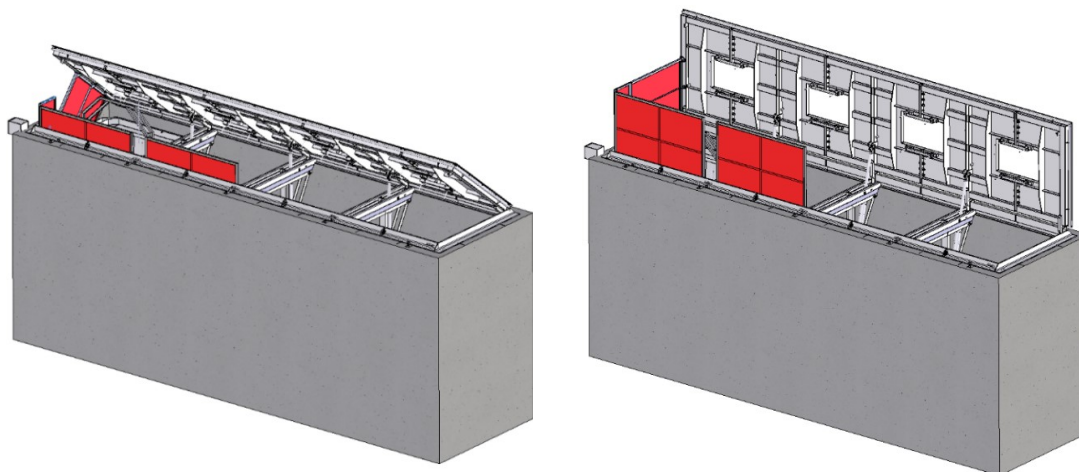


Figura 97 - Modelação do equipamento enterrado com a tampa em processo de abertura. Figura 98 - Modelação do equipamento enterrado com a tampa totalmente aberta.

Na Figura 99 e Figura 100 observa-se a barreira pelo lado interior. A Figura 100 a) mostra a barreira num corte longitudinal enquanto a Figura 100 b) mostra a barreira num corte transversal, sendo possível visualizar a ligação da barreira de topo que necessita de ser fixa ao perfil da tampa, uma vez que não é possível, neste alinhamento, colocar um sistema de cabos de aço devido à trajetória que a tampa descreve (abertura radial). Para estes testes apenas foram aplicadas duas barreiras na lateral e duas num dos topos, tendo em conta que, com estes elementos, é possível extrapolar os resultados para todo o perímetro do equipamento.

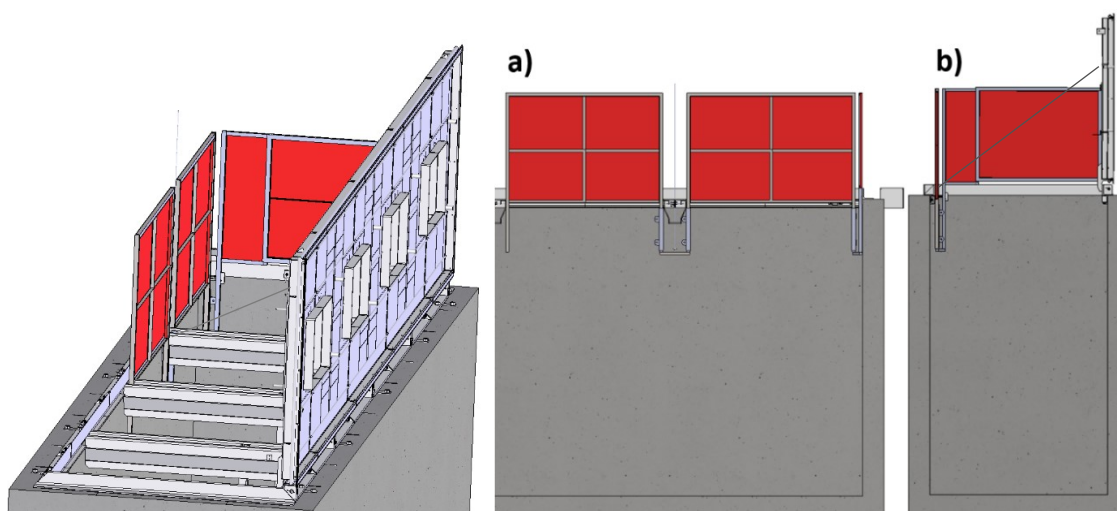


Figura 99 - Perspetiva do interior do equipamento com a tampa totalmente aberta. Figura 100 - a) vista em corte longitudinal do interior da cuba técnica na zona da barreira e b) vista em corte transversal do interior da cuba técnica na zona da barreira.

A barreira deverá reunir as melhores condições para respeitar os seguintes aspetos:

- ocupar o menor espaço possível;
- ser leve;
- possuir geometria lisa ou favorável ao deslizamento do contentor;
- ser robusta ao nível de suportar esforços resultantes das condições de ensaio e colisões com o contentor.

Tendo em conta os aspetos referidos anteriormente, definiu-se que a barreira deveria ser construída em tubo de secção quadrada de 40x2 mm<sup>2</sup> com um revestimento de chapa com aproximadamente 60% de área perfurada e com reforços em cantoneira no seu interior. Os elementos que irão permitir o deslizamento das guias laterais (em tubo) serão, nesta fase, constituídos por calhas em “U”, com uma folga significativa, por forma a possibilitar o deslizamento entre a guia e o “patim” improvisado (calha U). O resultando do protótipo destas barreiras é apresentado na Figura 101.



Figura 101 - Aspeto do protótipo da barreira após o fabrico.

A implantação da barreira no equipamento já existente requereu que os seus contentores fossem extraídos do interior da cuba técnica, por forma a aceder ao seu interior. Primeiramente procedeu-se à aplicação da barreira num dos topos (Figura 102). Quando se chegou ao local, constatou-se que o equipamento não era o correspondente à versão atualmente comercializada pela empresa, uma vez que se tratava de uma versão não modular do equipamento que já se encontra obsoleta há algum tempo. Uma vez que a barreira foi projetada tendo em consideração os equipamentos modulares atualmente fabricados, foi necessário cortar parte da barreira que colidia com um reforço existente no equipamento e faria com que a barreira, no seu movimento solidário com a tampa, colidisse com a parte enterrada da estrutura. Seguidamente procedeu-se à fixação ao betão dos varões roscados recorrendo a uma ancoragem química. Assim que as calhas foram posicionadas na parede de betão da cuba técnica, procedeu-se à montagem da barreira nas mesmas (Figura 103) e à ligação do cabo de aço. O cabo de aço encontra-se fixo à tampa num ponto que permite a elevação de 900 mm da barreira, como estipulado na norma. O guiamento do cabo de aço desde a base da barreira até à tampa é realizado através de uma polia.



Figura 102 - Instalação da barreira do topo.



Figura 103 - Instalação da barreira lateral.

Após a montagem do protótipo do dispositivo de segurança, procedeu-se ao teste do mesmo. Verificou-se desde logo que a estrutura era bastante rígida e resistente e que suportava uma carga muito superior aos 180 N requeridos na norma. Após a verificação desta conformidade, bem como de outras ilações relacionadas com a montagem e levantamento de necessidades, procedeu-se à inserção do contentor no interior da cuba técnica, como se observa na Figura 104 e Figura 105.



Figura 104 - Teste da inserção do contentor na cuba técnica com a barreira acionada (lateral).

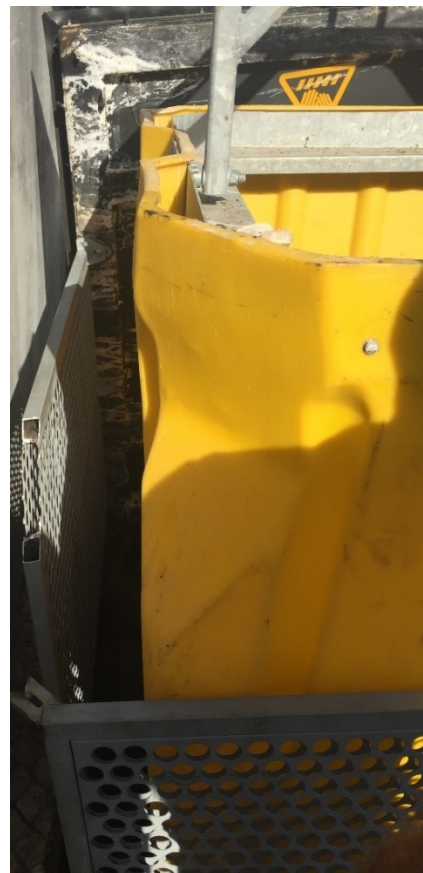


Figura 105 - Teste da inserção do contentor na cuba técnica com a barreira acionada (topo).

Após o teste da inserção do contentor na cuba técnica é possível concluir os seguintes aspetos:

- na versão descontinuada do equipamento não modular, a folga insuficiente entre o contentor e a barreira lateral não permite a montagem da mesma, tal como se observa na Figura 104;
- existe uma folga significativa entre o contentor e a barreira localizada no topo, não existindo interferências entre estes dois elementos, como se observa na Figura 105;
- a barreira pode ser aligeirada em vários aspetos;
- o atrito entre a calha (ou patins) e a guia deve ser reduzido ao máximo.

### 3.1.2.3 Projeto

Tendo como objetivo colmatar as lacunas identificadas no anteprojecto, bem como conseguir superar as dificuldades levantadas no momento do teste da barreira protótipo, procedeu-se à pesquisa de possíveis soluções para o problema.

Como concluído no capítulo de anteprojecto, para uma força de ensaio de 180 N obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 9, onde também são mencionadas as incógnitas que dependerão do tipo(os) de solução(ões) estudada(s). As incógnitas são definidas de acordo com os DCL apresentados na Figura 94, Figura 95 e Figura 96.

Tabela 9 - Resumo dos valores calculados e incógnitas resultantes da análise dos patins.

Valores conhecidos		Valores desconhecidos (em função da solução adotada)	
Reação	Valor por patim	Incógnita	
$R_1^y$	128,0 N	$R^z$	
$M_1^x$	60,3 Nm	$T$	
$M_i^y$	0 Nm	$D$	
$M_i^z$	0 Nm	$P$	

Com base nos valores obtidos, optou-se por fazer uma seleção, mediante o(os) material(ais) e características da barreira, bem como a conjunção da barreira com o seu mecanismo de acionamento: as guias e os patins. Uma vez que estes últimos não dependem diretamente da barreira, estando apenas dependentes do tipo de guia e respetivo modo de fixação, optou-se por proceder à seleção de conjuntos patim/guia para um correto funcionamento de todo o mecanismo de segurança. Como tal, estabeleceram-se os seguintes requisitos:

- custo;
- manutenção;
- resistência ao impacto;
- resistência mecânica;
- classificação do movimento;
- modo de fixação (à barreira e à cuba).

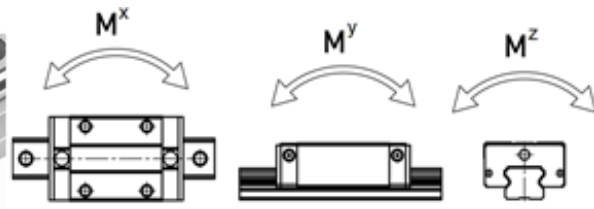
#### *3.1.2.3.1 Estudo de mecanismos*

Dada a aplicação em causa, existem vários tipos de mecanismos possíveis de aplicar, embora alguns sejam excluídos logo à partida. O tipo de utilização, o custo, a capacidade de resistir a solicitações de esforço, bem como o facto de os movimentos necessitarem de alguma folga e não exigirem elevado rigor, são fatores que excluem logo à partida algumas das soluções possíveis de implementar.

Como primeira hipótese, e logo após se ter ensaiado a barreira protótipo no equipamento já instalado, surgiu a ideia de se usarem sistemas mecânicos compostos por patins e guias lineares. Nesse contexto, partiu-se para a procura no mercado de soluções que cumprissem ao máximo os requisitos estabelecidos. Após análise de várias cotações, para diferentes tipos de guias de diferentes fabricantes, chegou-se à conclusão de que as guias lineares da Hiwin apresentavam boas propriedades, e que as mesmas, numa primeira fase, poderiam solucionar o problema. Na Figura 106 apresenta-se uma vista representativa de patins da série QE. O movimento dos patins desta série é garantido através de esferas que possibilitam a redução significativa do coeficiente de atrito. Existem também séries de patins de roletes, mais adequados para cargas elevadas. No entanto, os patins de roletes têm um custo de, aproximadamente, o dobro dos patins de esferas, optando-se numa primeira fase por estes últimos, uma vez que poderiam suportar as solicitações de esforço e o seu custo é significativamente inferior. Com base na ficha técnica dos patins, optou-se por seleccionar o patim QEH20, cujas características se observam na Figura 107. A guia correspondente a este patim possui a referência EGR20R.



Figura 106 - Detalhe do conjunto do patim e guia da série QE (adaptado de Hiwin (2020)).



**Capacidade de carga do patim Hiwin QEH20**

$C_d$ (N)	$C_e$ (N)	$M^x$ (Nm)	$M^y$ (Nm)	$M^z$ (Nm)
16500	20210	150	150	210

Figura 107 - Momentos atuantes nos patins Hiwin da série QE e caraterísticas do patim QEH20 (adaptado de Hiwin (2020)).

De entre vários sistemas de patim/guia, destacou-se também um conjunto de outro fabricante. Os sistemas da Rollon, empresa que adquiriu recentemente a empresa TRace, especialista neste tipo de mecanismos, são também soluções igualmente válidas no que diz respeito ao cumprimento dos requisitos estabelecidos. Na Figura 108 ilustra-se, em perspetiva, a montagem de dois diferentes patins inseridos numa guia linear. De entre as várias possibilidades de sistemas comercializados, optou-se pelo patim NTE43-L-3-A, cujas caraterísticas se mostram resumidas na Figura 109. Para este patim, a guia correspondente possui a referência TLV43.

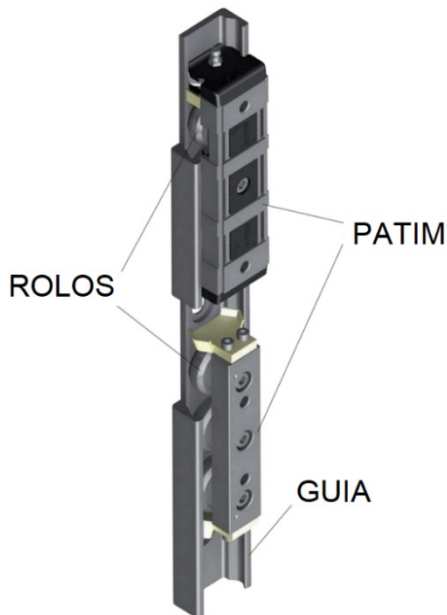
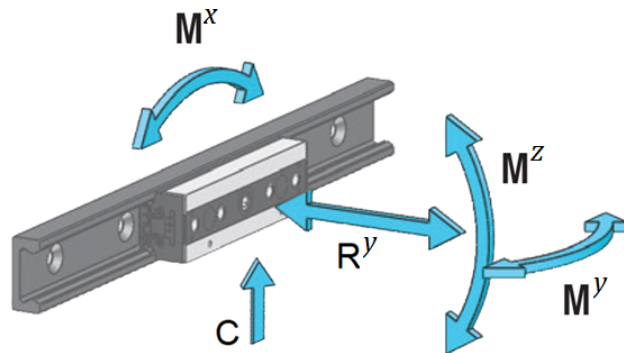


Figura 108 - Esquema do conjunto dos patins com guia (adaptado de Rollon (2020)).



**Capacidade de carga do patim Rollon NTE43-L-3-A**

$C$ (N)	$R^y$	$M^x$ (Nm)	$M^y$ (Nm)	$M^z$ (Nm)
5500	1570	209	108,6	23,6

Figura 109 - Momentos atuantes nos patins Rollon da série N e caraterísticas do patim NTE43 (adaptado de TRace (2020) e Rollon (2020)).

Ambos os patins apresentados anteriormente possuem características estáticas que cumprem os requisitos estabelecidos no que diz respeito a solicitações em serviço provocadas por cargas equivalentes à de ensaio. Existe um coeficiente de segurança (FS) de, aproximadamente, 2,5 e 3,5 para os patins da Hiwin e Rollon, respetivamente. No cálculo deste coeficiente foi considerado que o momento fletor é distribuído uniformemente pelos patins superiores das duas laterais da barreira. Considera-se, de forma conservativa, que a força geradora do momento é aplicada alinhada com uma das laterais, não sendo esta força distribuída aplicada de forma uniforme. Desta forma, tal como anteriormente, o patim reduz-se a um encastramento, e o momento resistente à maior solicitação de esforço ( $M^x$ ), imposto pelo plano de fixação do patim, corresponde a 120,6 Nm, ao invés de 60,3 Nm. Considerando este cenário, existe ainda um FS de aproximadamente 1,25 e 1,75, para o patim Hiwin e Rollon, respetivamente. Esta margem de segurança tem como objetivo compensar eventuais solicitações de pouca magnitude provocadas pelos contentores no momento da recolha dos resíduos. Na Tabela 10 apresenta-se, tendo em conta o fabrico de quatro barreiras (considerando um equipamento HS4), a comparação entre os fatores estabelecidos como mais relevantes para a aplicação em causa.

Tabela 10 - Comparação entre fatores mais relevantes de ambos os patins, considerando um equipamento.

	<b>Sistema Hiwin</b>	<b>Sistema Rollon</b>
<b>Custo por equipamento</b>	4×223,80=895,20 €	4×956,14=3824,60 €
<b>Manutenção</b>	Lubrificação simples	Lubrificação vitalícia
<b>Resistência ao impacto</b>	Baixa	Baixa
<b>Resistência mecânica</b>	Baixa	Baixa
<b>Classificação do movimento</b>	Muito preciso	Muito preciso
<b>Modo de fixação (barreira e cuba)</b>	Simple c/ acessórios	Simple c/ acessórios

Com base na Tabela 10, é possível concluir que os sistemas são semelhantes no que diz respeito às características estabelecidas como mais relevantes. O sistema da Rollon destaca-se nesta aplicação por permitir uma maior capacidade de absorção de alguma deformação e também por possuir uma manutenção mais simples, devido ao facto de não existir necessidade de lubrificação durante o seu ciclo de vida.

Para além dos patins, optou-se ainda pelo estudo de outros mecanismos, como é o caso da roda e do trilho da Figura 110 a) e b), respetivamente.

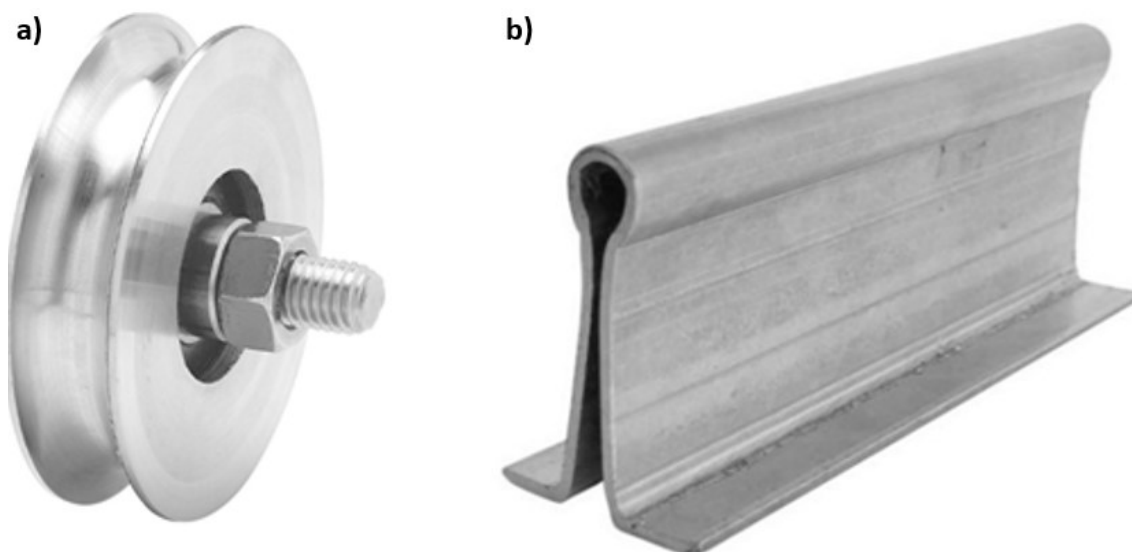


Figura 110 - Acessórios para portões suspensos: a) roda com rolamento e perfil em U e b) trilho de embutir para roda com perfil em U (Sá Castro 2020).

Para além do mecanismo formado pela roda e pelo trilho, surgiu também como hipótese a implementação de outro sistema, composto por um "carro", simples ou duplo (Figura 111 a) e b), respetivamente) e por uma calha (Figura 111 c). Este sistema, tal como o da Figura 110, é vulgarmente aplicado em portões suspensos.

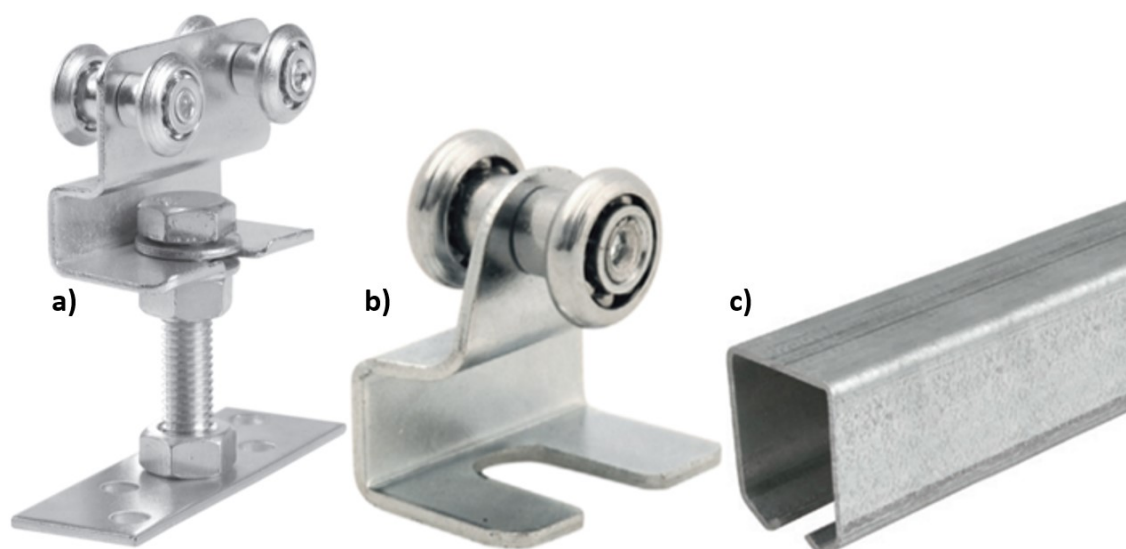


Figura 111 - Acessórios para portões suspensos: a) carro duplo nº 20; b) carro simples nº 21 e c) calha apolo F71 para carro nº 20 (adaptado de Dardo (2020)).

No que diz respeito aos mecanismos utilizados em portões, é mais complicado obter os valores detalhados de características em catálogos. No geral, os catálogos deste tipo de ferragens apenas indicam a carga que estes elementos suportam.

No caso de um sistema composto por roda e trilho em U, não é indicado pelo fabricante a carga que o conjunto suporta. No entanto, é possível estimar o valor da carga suportada pelo rolamento radial através da sua ficha técnica. Este valor só será válido caso se verifique que, dos elementos que constituem o conjunto, este é o mais suscetível ao dano.

Relativamente a um possível conjunto constituído por carros inseridos numa calha, é possível obter no catálogo do carro o valor de carga que este suporta. Neste mecanismo, dada a folga que existe entre a calha e o carro que desliza no seu interior, pode considerar-se que o momento resistente é aproximadamente zero, podendo assim a barreira ser dimensionada apenas com a segunda condição estudada na equação (9). Conclui-se que, no caso mais desfavorável de esforço, a carga máxima por patim é de 128 N. No catálogo do fabricante é indicado que cada carro duplo nº 20 tem capacidade de suportar uma carga de aproximadamente 500 N e cada carro simples nº 21 tem capacidade de suportar uma carga de aproximadamente 300 N.

Na Tabela 11 apresenta-se, para os dois sistemas, uma comparação entre si com os fatores estabelecidos como mais relevantes para a aplicação em estudo. Neste estudo foi tido em consideração o material necessário para as quatro barreiras necessárias para limitar o acesso no alinhamento da maior dimensão da estrutura.

Tabela 11 - Comparação entre os fatores mais relevantes da roda com trilho e do carro com calha, considerando um equipamento HS4 completo.

	<b>Sistema roda e trilho</b>	<b>Sistema carro e calha</b>
<b>Custo por equipamento</b>	4×67,61=270,43 €	4×30,71=122,85 €
<b>Manutenção</b>	Fácil e barata	Fácil e barata
<b>Resistência ao impacto</b>	Baixa	Baixa
<b>Resistência mecânica</b>	Baixa	Baixa
<b>Classificação do movimento</b>	Preciso	Suficiente
<b>Modo de fixação (barreira e cuba)</b>	Difícil nivelamento	Simple c/ acessórios

Considera-se que, de entre os dois mecanismos apresentados, a calha com o carro é a melhor opção, uma vez que garante melhores condições para o funcionamento da barreira, pelo facto da mesma se encontrar guiada através dos carros inseridos no interior das calhas. O sistema com roda e trilho requeria que o movimento do trilho fosse guiado lateralmente pela roda, de maneira ao trilho não se desacoplar da roda. Também requer um cuidado especial no nivelamento das rodas por forma a ficarem perpendiculares ao solo, uma vez que a face da cuba técnica onde a roda teria de fixar por vezes se encontra inclinada, inclinação essa que necessita de ser compensada.

O mecanismo com a calha e carro apresenta a principal vantagem de possuir folga, que será importante por forma a absorver alguma deformação, libertando assim os apoios de esforços desnecessários. Apresenta ainda as vantagens de alinhamento e nivelamento, conceção do conjunto da barreira mais facilitada mediante a utilização de perfis de faces lisas e ainda uma proteção superior à exposição a resíduos, dado que as rodas do carro se encontram blindadas pela calha. Uma vez que os dois carros do alinhamento inferior suportam esforços menores, os mesmos podem possuir características mecânicas inferiores aos do alinhamento superior caso justifique.

### 3.1.2.3.2 Seleção do mecanismo

Após a realização do estudo dos mecanismos apresentados anteriormente, procedeu-se a uma análise de seleção do que mais se adequaria à aplicação em causa. Para tal, selecionou-se o mecanismo, de cada tipo, que possuía melhores características. Procedeu-se a uma análise SWOT do mecanismo da Rollon (Figura 112) e do mecanismo de portão com carro (Figura 113).



Figura 112 - Análise SWOT do mecanismo da Rollon aplicado ao caso em estudo.

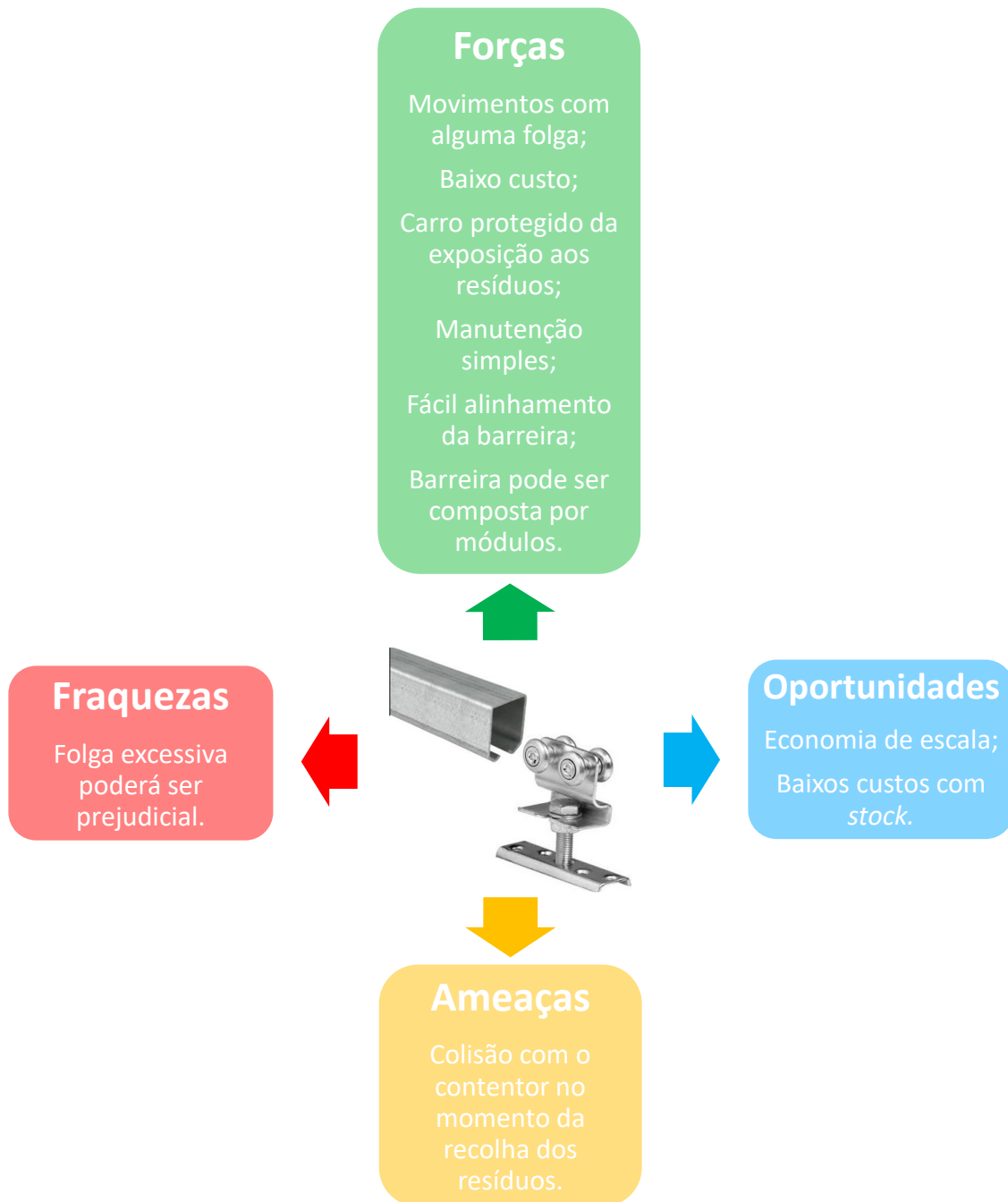


Figura 113 - Análise SWOT do mecanismo de portão aplicado ao caso em estudo.

Com base nas análises SWOT, verifica-se que o mecanismo vulgarmente utilizado nos portões apresenta vantagens mais significativas do que o mecanismo da Rollon, pelo que se decidiu optar pelo primeiro. Para além de reunir características mais relevantes, como esta solução possui um custo de aquisição baixo, o maior custo da solução final da barreira será proveniente da mão de obra necessária para a sua estruturação. A calha de guiamento do carro poderá ser ainda parte integrante da mesma. No caso da solução Rollon, a guia teria de ser preferencialmente fixa à barreira com parafusos.

### 3.1.2.3.3 Solução final

Após definido o mecanismo da barreira, procedeu-se ao projeto da mesma, tendo em conta as considerações registadas durante o ensaio da barreira protótipo, bem como os detalhes do projeto fundamentais para a inserção do mecanismo idealizado para a barreira. Na Figura 114 apresenta-se a modelação do equipamento modular com os contentores de armazenamento dispostos em diferentes posições para elucidar melhor a inserção dos mesmos no interior do equipamento. Na vista em alçado da Figura 115 evidencia-se o baixo valor da folga existente entre os diferentes constituintes (barreira e contentor), considerando uma barreira em tubo secção quadrada de 20 mm.

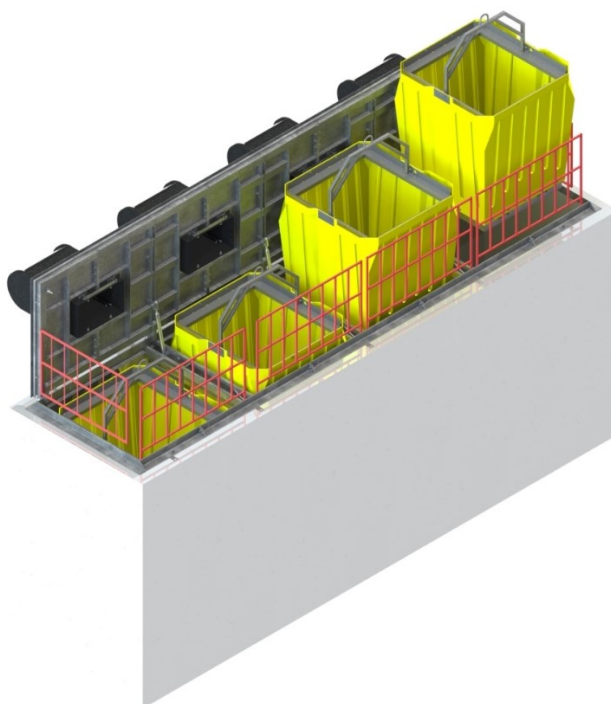


Figura 114 - Perspetiva HS4 com contentores dispostos em diferentes posições, equipado com barreira de segurança.

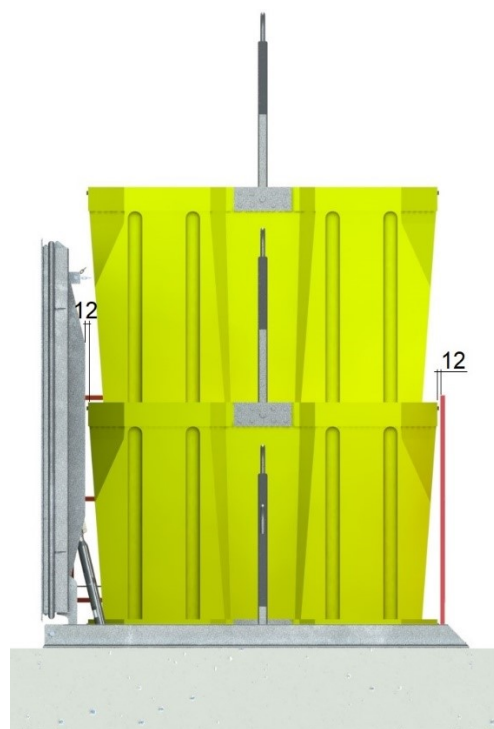


Figura 115 - Vista em corte com indicação das folgas existentes atualmente.

Tendo por objetivo verificar a possibilidade de alterações à estrutura existente, que possibilitem a instalação da barreira de segurança, realizou-se uma análise da estrutura e do seu conjunto em funcionamento. Como se pretende encontrar uma solução, não só para os equipamentos futuros, mas também para os equipamentos já em funcionamento, as alterações não podem implicar a substituição dos mesmos. Pode proceder-se à realização de possíveis alterações que não impliquem a remoção do equipamento do local onde se encontra instalado e que sejam compatibilizadas com o tipo de esforços a que o mesmo está sujeito, por forma a futuramente não causar danos na estrutura nem no meio envolvente.

Após uma longa análise, onde foram levantadas várias possibilidades, invalidadas pelo facto de a solução necessitar de ser transversal a todos os equipamentos HS (ou pelo menos às versões do HS cujo modelo seja compatível), chegou-se à conclusão de que a diminuição das chapas protetoras da base de ligação regulável do marco seriam a única

hipótese de solução para o problema. Estas chapas têm a função de impedir que o contentor ao ser depositado toque na base de ligação do marco à tampa. A base do marco possui este tipo de ligação afinável com o objetivo de compensar as inclinações dos pisos dos locais onde os equipamentos são instalados. Assim, se o passeio tiver uma inclinação de, por exemplo, seis graus, o conjunto composto pelos varões roscados e porcas, fixas à tampa (Figura 116), irá permitir o ajuste da altura por forma a nivelar os marcos. A melhor solução passaria, sem dúvida, pelo aumento da largura da estrutura, implicando esta alteração a modificação da cuba técnica e, conseqüentemente, o fabrico de um novo molde para fornecer à empresa cimenteira. O aumento da largura do equipamento, em alguns locais, como por exemplo em cidades históricas, também é de elevada complexidade, face às limitações do local, não só pela largura estreita dos passeios, mas também devido à passagem de tubagens subterrâneas destinadas a diversos fins.

Uma vez que a dimensão das chapas protetoras da base do marco tem uma estreita relação com o sistema ajustável da base do marco, para garantir que as proteções garantem que a base do marco não está sujeita a colisões com o contentor, propõe-se que este sistema seja alterado. Na Figura 117 apresentam-se as modificações propostas à estrutura atual. Representados a verde surgem os novos elementos para a fixação ajustável da base do marco e, a vermelho, sinaliza-se o volume que se pretende remover à barra de proteção contra colisões.

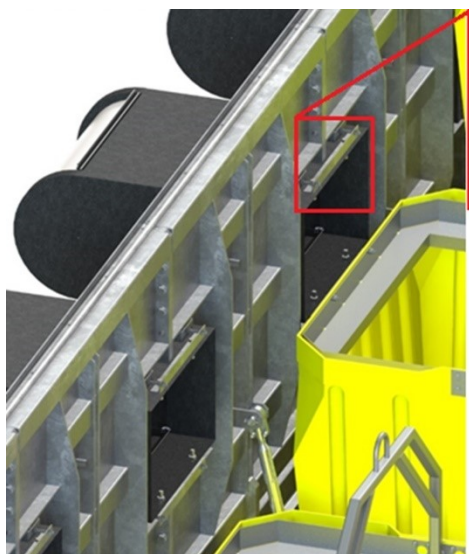


Figura 116 - Detalhe do sistema atual de ajuste da base do marco.

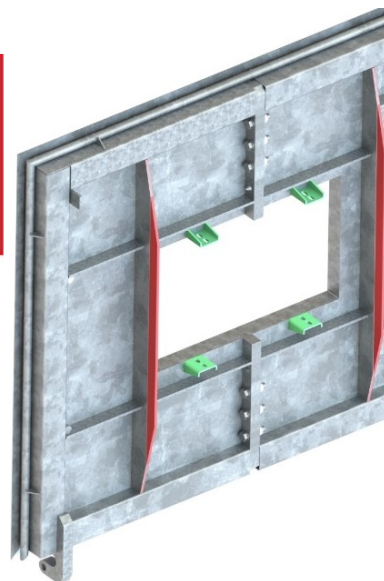


Figura 117 - Alterações propostas ao sistema de ajuste atual.

Na Figura 118, à semelhança da Figura 116, apresentam-se as alterações propostas à tampa do HS, tendo em consideração as alterações mencionadas anteriormente. Constata-se que, com estas alterações, é possível aumentar um total de 20 mm à folga existente em relação à zona mais larga do contentor, tal como se observa na Figura 119.

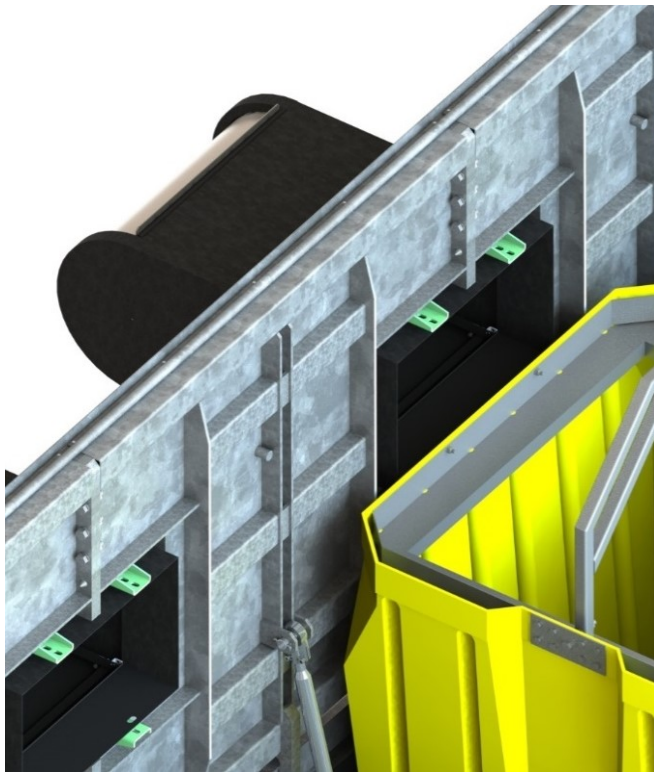


Figura 118 - Perspetiva HS4 com as alterações propostas.

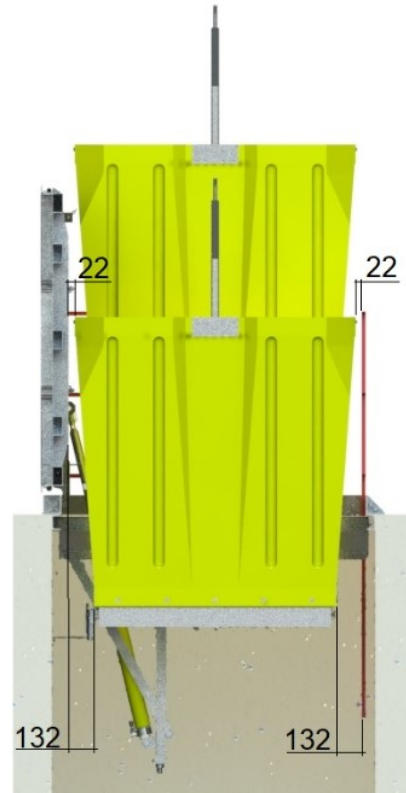


Figura 119 - Vista em corte com indicação das folgas após alterações.

Os valores de referência da espessura da barreira foram pressupostos mediante o objetivo da obtenção do menor espaço ocupado pela mesma na estrutura enterrada, sendo necessária uma posterior validação da estrutura da barreira.

Idealizou-se proceder à união entre as calhas laterais com tubos quadrados de  $20 \times 1,5 \text{ mm}^2$ , sendo o espaço livre entre eles inferior a 400 mm, medido perpendicularmente. As ligações ao tubo intermédio são realizadas em chapa quinada de espessura 2 mm, sendo o espaço entre estes elementos, dispostos na vertical, inferior a 200 mm, por forma a cumprir com os requisitos impostos pela legislação, resultando a estrutura que se observa na Figura 120 a). Nesta figura apresenta-se, com algumas dimensões, a barreira que se encontra posicionada lateralmente nos módulos mais próximos do topo. As duas barreiras intermédias (no caso do HS4) possuem um comprimento cerca de 170 mm inferior aos 1630 mm correspondentes às barreiras laterais da extremidade. A análise destas últimas permite tirar conclusões acerca das restantes barreiras menores.

No caso da barreira de topo, representada na Figura 120 b), os componentes intermédios serão os mesmos, sendo os perfis de contorno em tubo quadrado de  $20 \times 1,5 \text{ mm}^2$ , com um canto “quebrado” para evitar que a barreira colida com a estrutura enterrada no momento da abertura da tampa.

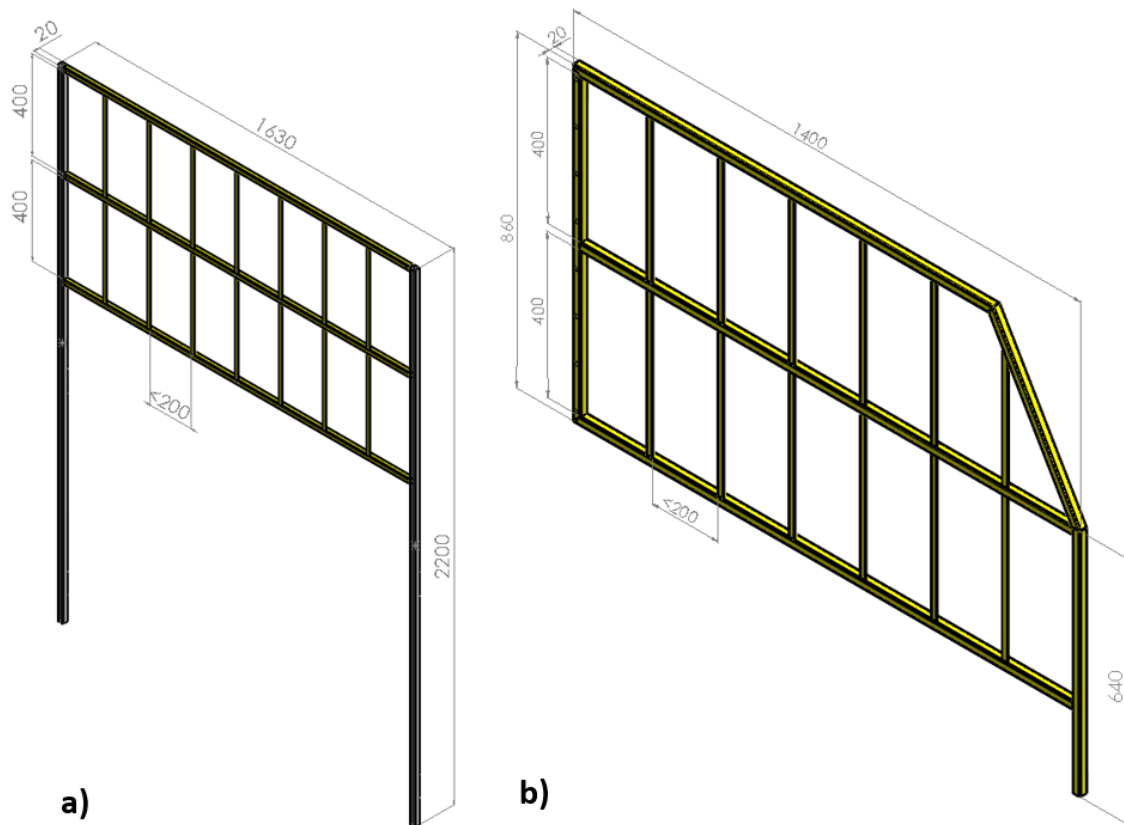


Figura 120 - Barreiras de segurança com algumas dimensões relevantes: a) barreira lateral e b) barreira de topo.

A ligação entre os elementos da barreira lateral foi, inicialmente, definida totalmente em construção soldada, apresentando-se o resultado desta solução numa perspetiva lateral e traseira na Figura 121 a) e b), respetivamente.

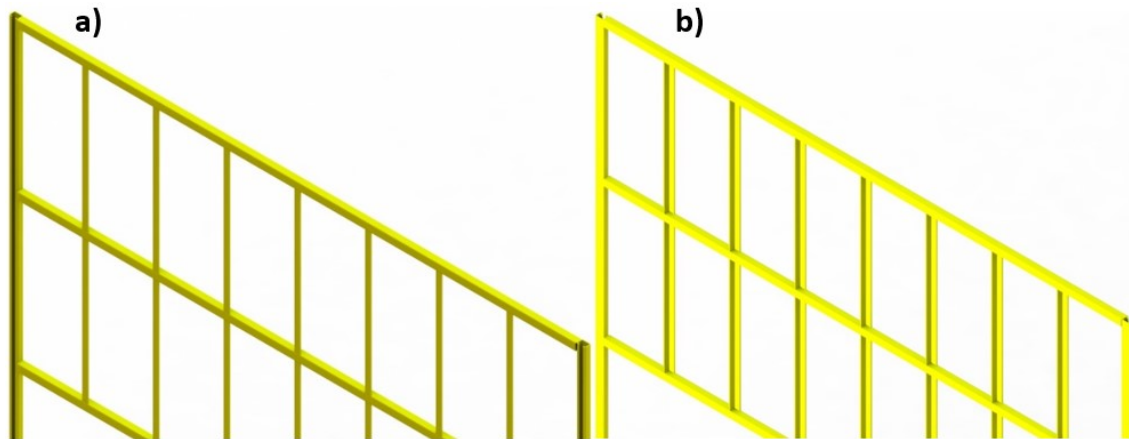


Figura 121 - Barreira lateral: a) perspetiva frontal e b) perspetiva traseira.

Após a discussão de algumas ideias com a empresa, achou-se por bem a verificação da possibilidade de a estrutura ser dividida em mais módulos para que, em caso de dano, não fosse necessária a substituição de toda a estrutura, mas sim apenas dos módulos danificados. Tendo em consideração este facto, procedeu-se então à idealização da estrutura modular, resultando a estrutura apresentada na Figura 122.

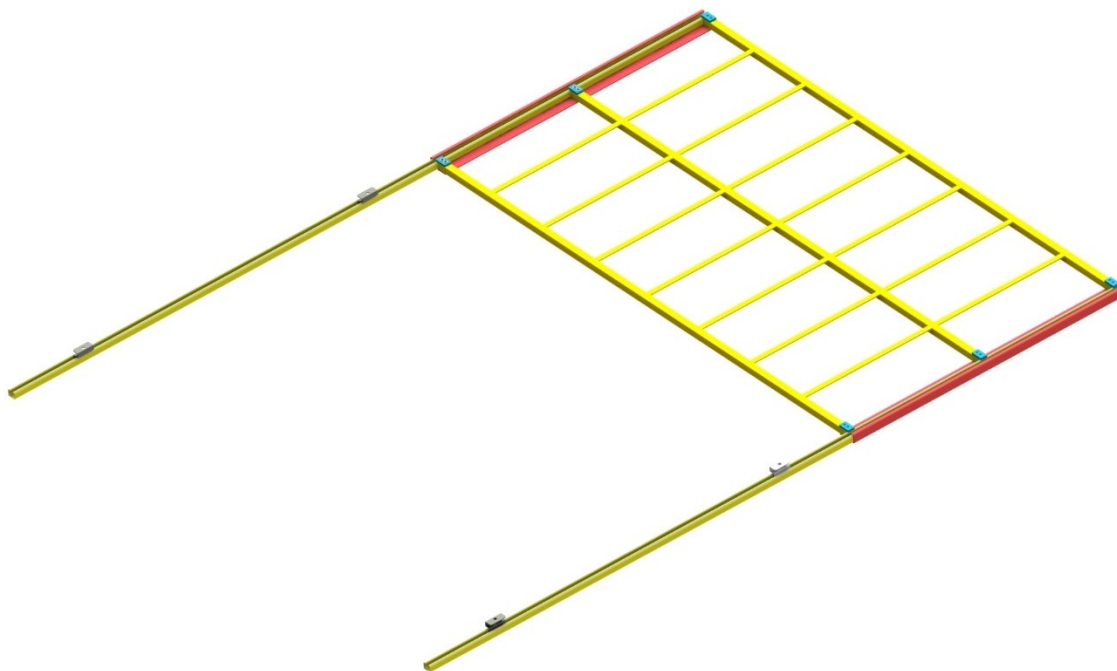


Figura 122 - Modelo modular da estrutura da barreira lateral.

A estrutura apresentada na Figura 122 divide-se essencialmente em três módulos e nos elementos de ligação respetivos. O elemento representado a vermelho consiste numa chapa conformada com o formato exterior da calha de suporte do carro. Esta chapa quinada irá envolver a calha, sendo posteriormente fixa à mesma através de rebites, por forma a não interferir com o funcionamento do carro. A ligação do componente vermelho ao tubo é realizada através de parafusos, existindo também uma barra de espessura superior do lado oposto (representada a azul) para tornar a ligação mais rígida. Na Figura 123 é possível observar o pormenor desta ligação. Os parafusos a utilizar devem ser de cabeça de embeber para não ficarem mais salientes do que a estrutura.

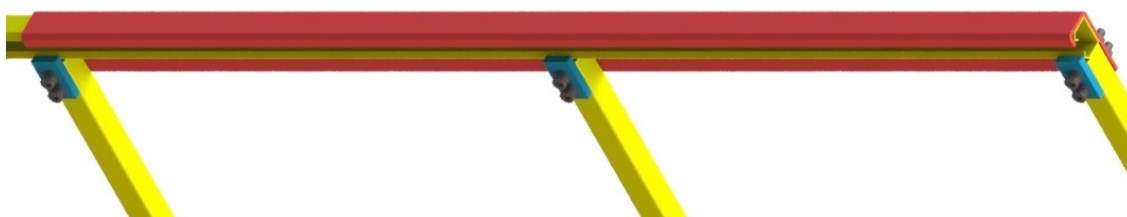


Figura 123 - Pormenor da ligação entre a calha e os tubos intermédios (vista rodada 90°).

Para validação desta solução, bem como da barreira de topo, recorreu-se a uma análise de MEF. Foram necessárias algumas modificações ao modelo atual da barreira lateral, por forma a permitir a formulação da análise por este método, bem como permitir a obtenção de resultados num menor espaço de tempo.

#### 3.1.2.3.4 Condições da análise por MEF

Uma vez que a barreira lateral consiste numa estrutura que pode ser vista como simétrica, aproveitou-se esse facto para reduzir a análise MEF apenas a metade da estrutura. Na Figura 124 apresenta-se uma perspetiva do modelo simplificado. o componente representado a cinza consiste num elemento rígido criado apenas para simular a aplicação de metade da carga (90 N) no modelo simplificado.

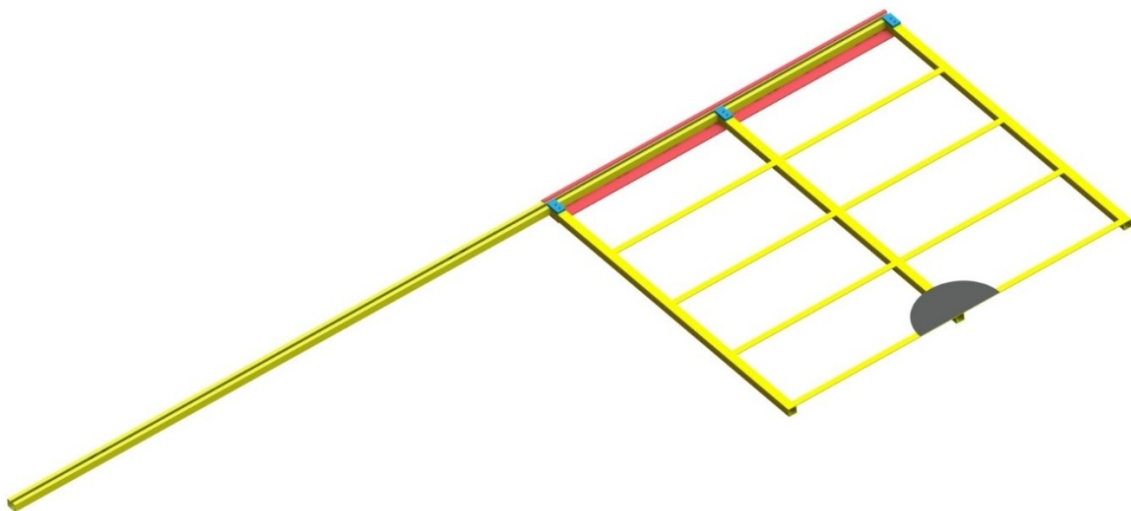


Figura 124 - Modelo simplificado da barreira lateral sujeito à análise MEF.

No que diz respeito à análise da barreira de topo, na Figura 125 apresenta-se o modelo sujeito à análise. Tal como no modelo da barreira lateral, o elemento a cinza tem apenas a função de possibilitar a aplicação da carga imposta na legislação (180 N).

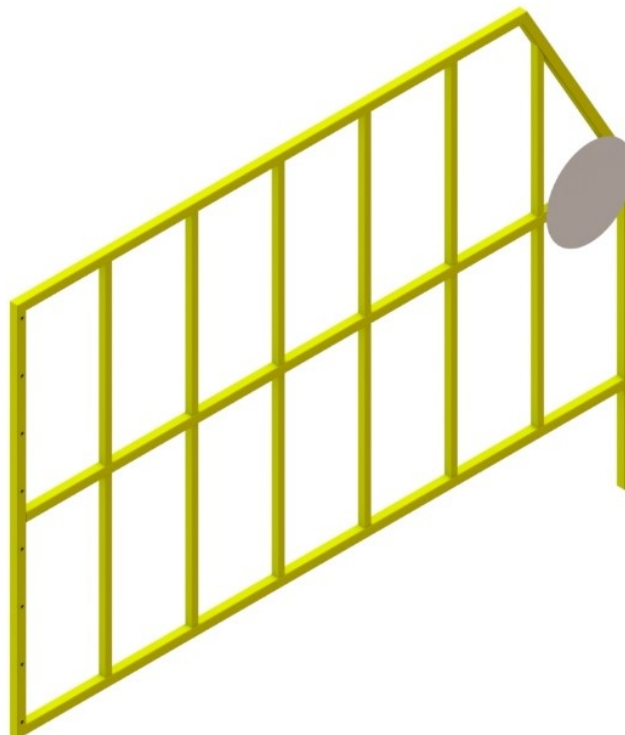


Figura 125 - Modelo da barreira de topo sujeito à análise MEF.

## Materiais

O material predominante neste tipo de estruturas é o aço S235JR. Este material foi selecionado face à sua relação custo/caraterísticas ser das melhores entre os aços. A disponibilidade deste aço no mercado é elevada, dado tratar-se de um material correntemente utilizado. Também se utiliza o material S275JR, uma vez que alguns fornecedores optam por generalizar o seu *stock* para esse aço e, dado tratar-se de um aço de caraterísticas superiores, apenas existem vantagens na utilização deste em detrimento do S235JR. No caso da estrutura da barreira lateral, as calhas onde deslizam as rodas dos carros são fornecidas no material DX51D (aço galvanizado). Na Tabela 12 apresenta-se um resumo das propriedades mais relevantes para os aços S235JR, S275JR e DX51D.

Tabela 12 - Características mecânicas mínimas dos aços S235JR, S275JR e DX51D à temperatura ambiente (adaptado de CEN (2005), CEN (2004) e Matweb (2020)).

Designação	Espessura nominal $t$ (mm)			
	Tensão de limite elástico $f_y$ (MPa)		Tensão de rotura (MPa)	
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$3 \leq t \leq 100$
<b>S235JR</b> <sup>1</sup>	235	225	215	360
<b>S275JR</b> <sup>1</sup>	275	265	255	410
<b>DX51D</b> <sup>2</sup>	$t \leq 3$		$t \leq 3$	$t \leq 3$
		140 – 280		270 – 500

<sup>1</sup> Chapa obtida por laminagem a quente, posteriormente conformada a frio;

<sup>2</sup> Aço galvanizado a quente em contínuo, para conformação a frio.

## Condições fronteira e esforços

Recorreu-se ao *software* Solidworks® para realizar uma análise MEF ao modelo simplificado da barreira (simétrica), tal como se pode observar na Figura 126, onde são também apresentadas as condições fronteira e carga aplicada.

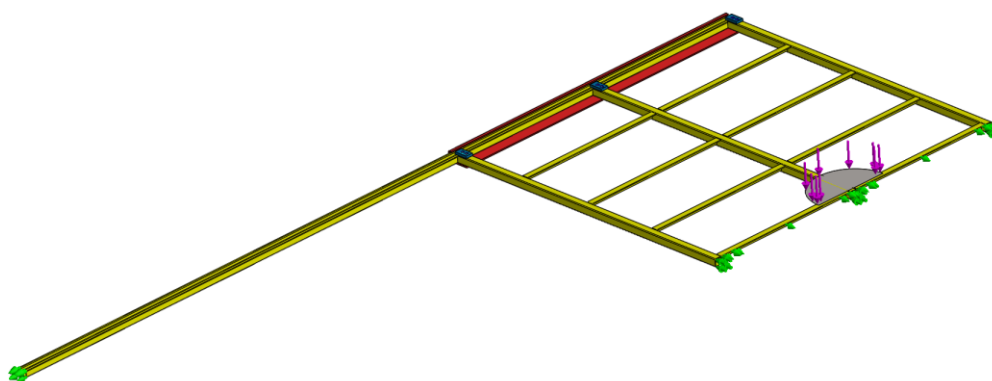
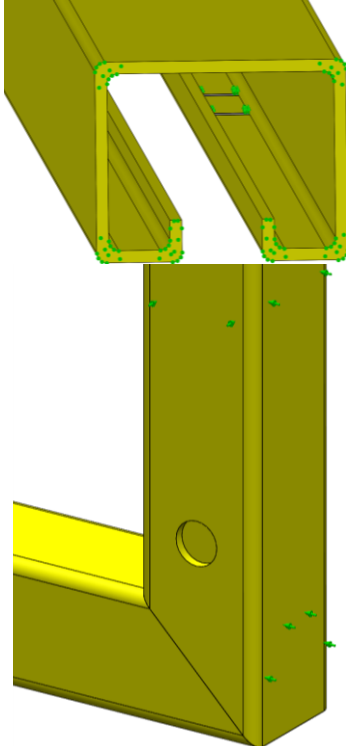
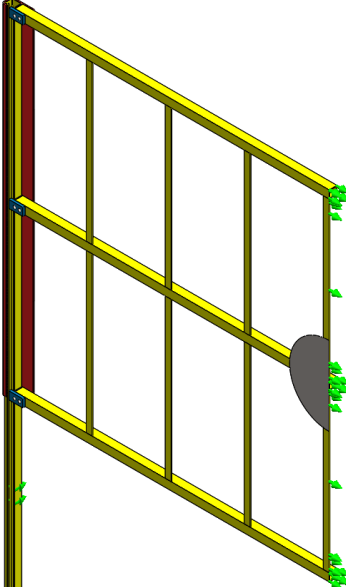


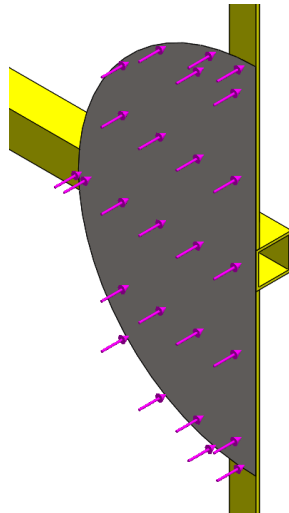
Figura 126 - Aplicação das condições fronteira e esforços no modelo simplificado.

Para a realização das análises, definiram-se as condições fronteira apresentadas na Tabela 13, bem como os locais mais relevantes da sua aplicação e uma breve justificação.

Tabela 13 - Condições fronteira aplicadas nas diferentes análises ao modelo em estudo.

Condição fronteira	Aplicação	Justificação
Apoio simples		<p>A aplicação desta condição cinge-se às faces onde se pretende restringir um grau de liberdade, podendo ser também designado por apoio deslizante. No modelo em estudo esta condição é aplicada no contacto com as rodas e com o elevador. Estes apoios irão permitir que a estrutura permaneça estática. Nas faces representadas nas imagens ao lado, é possível observar a condição fronteira aplicada para os dois tipos de barreiras: para a barreira lateral é aplicada na base de uma das calhas e no contacto com duas das rodas; na barreira de topo, o apoio é garantido pelo encosto do tubo lateral da barreira à estrutura.</p>
Simetria		<p>Por forma a aferir o comportamento global da estrutura, diminuindo a complexidade da análise, reduziu-se o modelo em análise a metade. Dado tratar-se de uma estrutura simétrica, restringiu-se o grau de liberdade perpendicular à face de simetria. Esta condição é garantida mediante a aplicação da condição de apoio deslizante (ou simples).</p>

Força  
distribuída



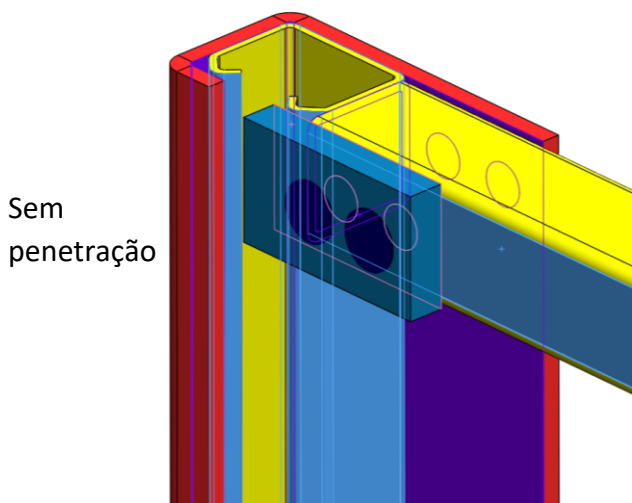
Por forma a cumprir um dos requisitos da norma, procedeu-se à aplicação de uma força de 90 N (metade da imposta) perpendicular à barreira, aplicada em meio círculo de diâmetro 200 mm. Este círculo, uma vez que apenas tem a função de distribuir a carga, é definido como sendo um elemento rígido. No caso da barreira de topo, a carga aplicada foi de 180N, uma vez que a estrutura não é simétrica.

### Ligações

Após a definição das condições fronteira e dos esforços atuantes, procedeu-se à atribuição de ligações entre componentes. A definição das ligações ou contactos é necessária uma vez que, na análise destes elementos, não são consideradas as relações geométricas da montagem. No modelo em estudo, para além das ligações soldadas e de pinos, existe a necessidade de especificar a relação entre as superfícies que, no decorrer da análise, se prevê que possam vir a entrar em contacto entre si (ligações sem penetração). Na Tabela 14 apresentam-se os tipos de ligação definidos no modelo em estudo, bem como alguns dos casos de aplicação e a respetiva justificação.

Tabela 14 - Ligações aplicadas nas análises ao modelo em estudo.

Ligação	Aplicação	Justificação
Soldada		<p>Esta ligação é assumida por defeito pelo <i>software</i> em casos onde as faces de diferentes componentes permanecem solidárias, não existindo deslizamento. Esta ligação é a solução mais expedita, uma vez que não é necessária a introdução de condições externas de contacto.</p> <p>Esta ligação também permite a geração de uma malha MEF contínua.</p> <p>Nas duas barreiras tipo, esta é a ligação predominante, uma vez que a estrutura é maioritariamente soldada, principalmente no caso da barreira de topo, tal como se observa na figura inferior ao lado.</p>



Nos casos onde não existe penetração entre diferentes faces de componentes em contacto, utilizou-se este tipo de ligação. Neste caso não é necessário especificar parâmetro de contacto uma vez que a fricção entre os componentes não é significativa para o estudo. Esta ligação também deve ser tida em conta para a fase de geração da malha, uma vez que pode não existir continuidade de material. No caso da barreira, os elementos em contacto com os perfis laterais em calha, bem como o contacto entre a barra e o tubo, são definidos com esta ligação uma vez que são elementos desmontáveis.

### **Malha**

A malha do MEF consiste na rede de elementos e nós que discretiza uma dada região. À medida que são inseridos elementos na região, maior é a densidade da malha. Quando se pretendem resultados mais próximos da realidade, a malha deve ser mais refinada. Nas análises realizadas considerou-se malha baseada na curvatura por forma a possibilitar um maior número de elementos finitos nas zonas de maior concentração de tensões como furos, entalhes, arestas de ligação, entre outros. A simplificação das zonas cuja secção é constante (onde se prevê um comportamento linear), através da redução do seu número de elementos finitos, permite uma otimização da análise, reduzindo assim a sua complexidade e, conseqüentemente, o tempo necessário para correr a simulação.

### **Análise de convergência**

A análise de convergência da malha permite verificar se os parâmetros da malha se adequam ao estudo em causa. A malha, caso seja muito grosseira, poderá levar a análises com resultados imprecisos. A melhor solução para verificar se a atribuição da malha se adequa ao caso de estudo, consiste em realizar uma análise de convergência de malha até se verificarem resultados a tenderem para um valor único.

A análise de convergência baseou-se na comparação dos deslocamentos resultantes (URES) e das tensões dos dois pontos de referência indicados na Figura 127.

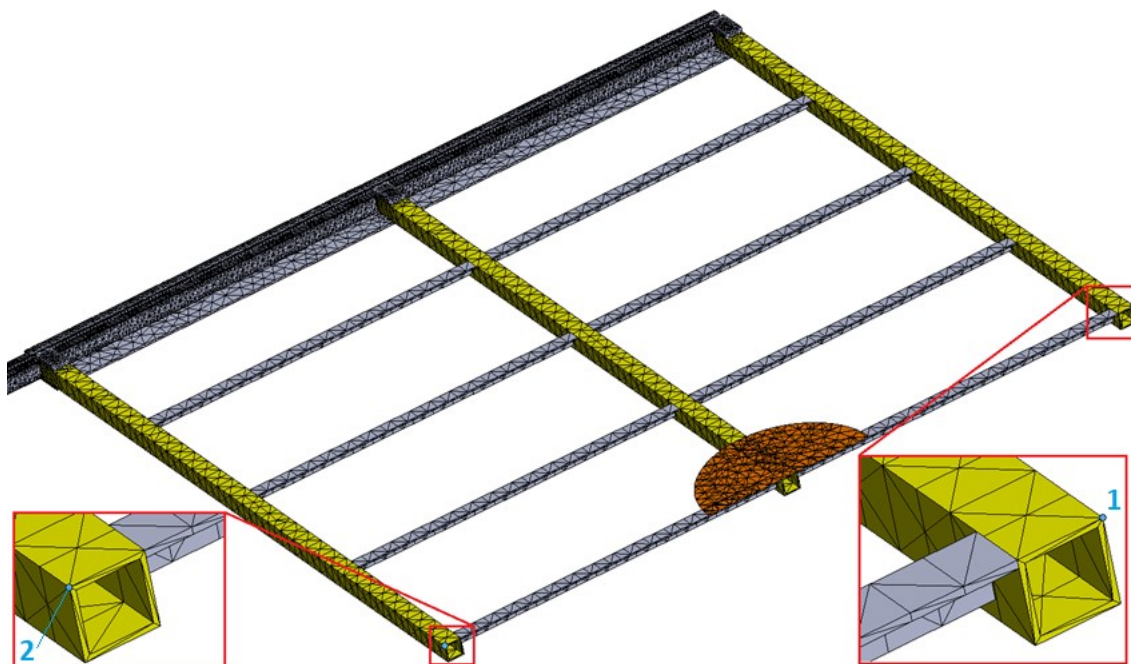


Figura 127 - Barreira após a geração de malha com localização dos pontos de convergência analisados.

Os valores obtidos para os diferentes parâmetros de malha são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Resumo dos parâmetros de cada análise e resultado das tensões e URES obtidos para dois pontos distintos.

	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4	Análise 5
<b>Dimensão máxima do elemento</b>	150	120	60	30	15
<b>Dimensão mínima do elemento</b>	30	24	12	6	3
<b>Mínimo de elementos de um círculo</b>	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
<b>Rácio de tamanho</b>	8	8	8	8	8
<b>Total de elementos</b>	12466	20316	39152	84653	201613
<b>URES no ponto 1 (mm)</b>	7,60	11,24	12,73	13,42	13,93
<b>Tensão no ponto 1 (MPa)</b>	7,15	17,33	22,54	25,99	27,20
<b>URES no ponto 2 (mm)</b>	2,02	3,38	4,02	4,19	4,26
<b>Tensão no ponto 2 (MPa)</b>	5,24	15,97	20,66	23,52	26,58

Para uma comparação mais fácil entre os resultados obtidos das diferentes análises, na Figura 128 e Figura 129, apresentam-se, respetivamente, os gráficos dos URES e tensões de von Mises, em função do número de elementos dos diferentes parâmetros de malha.

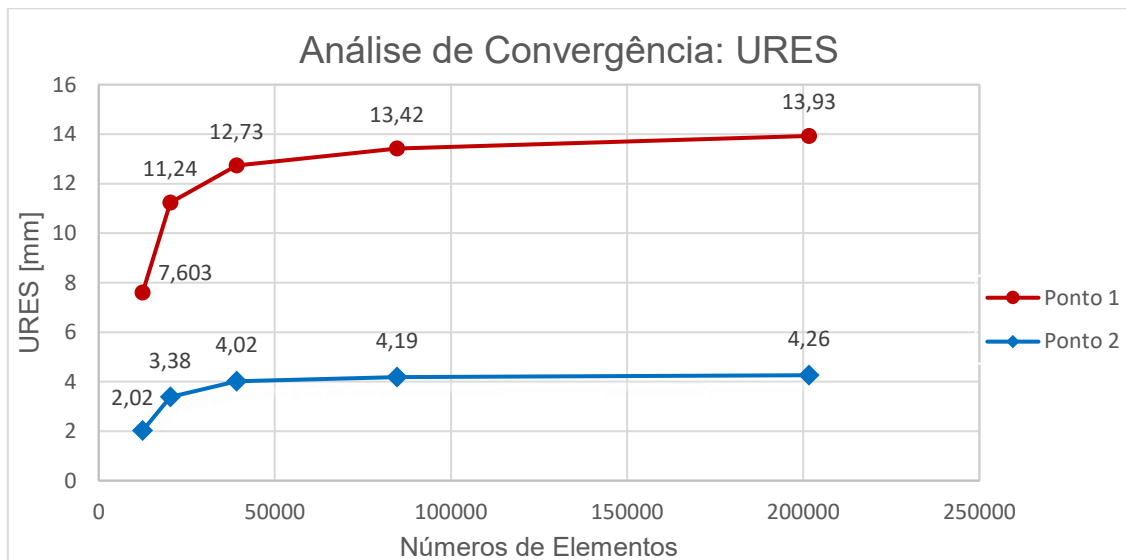


Figura 128 - Valores dos URES obtidos para os dois pontos de convergência da malha.

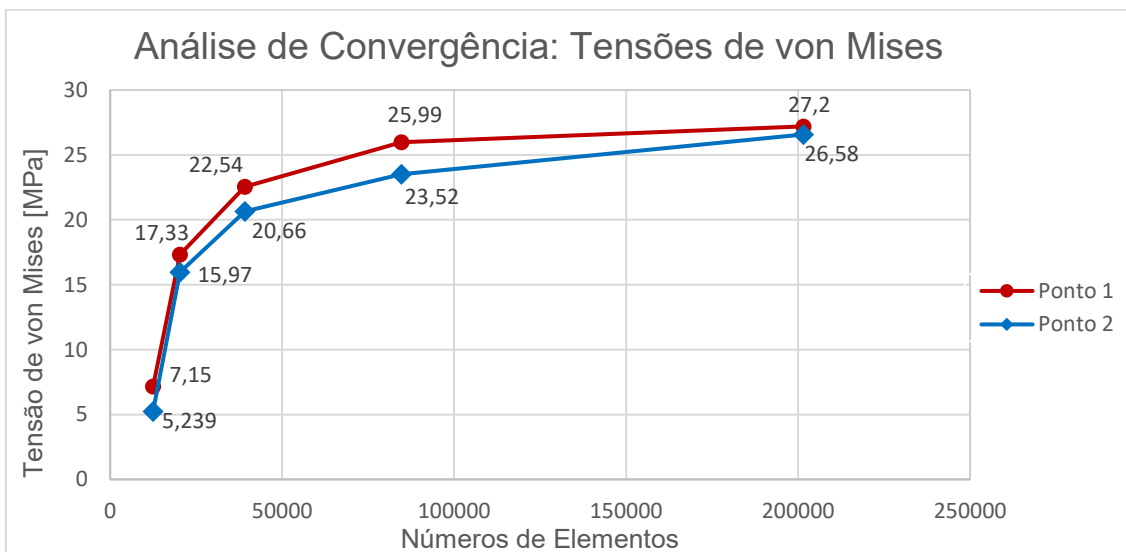


Figura 129 - Tensões de von Mises obtidas para os dois pontos de convergência da malha.

Através da análise de ambos os gráficos, é possível observar que após a quarta análise (aproximadamente 85000 elementos), o gráfico tende a estabilizar os seus valores, sendo denotado o início da convergência do mesmo. Este facto é mais elucidativo no gráfico dos URES (Figura 128). A variação entre dois URES consecutivos é comparada na Tabela 16. Encontrando-se esta variação acima de 5%, decidiu-se realizar uma quinta análise, reduzindo os parâmetros para metade. Desta análise concluiu-se que, com aproximadamente 200000 elementos, o valor da variação entre dois URES consecutivos desce para 3,80 % e 1,67% para os pontos 1 e 2, respetivamente. Este valor considera-se aceitável e será o utilizado para a análise da barreira lateral (onde se obteve esta análise de convergência), bem como para a barreira localizada nos extremos do equipamento (topos).

Tabela 16 - Variação entre URES consecutivos para ambos os pontos.

Análise	URES 1	Variação entre URES consecutivos ( $\Delta_1$ )	URES 2	Variação entre URES consecutivos ( $\Delta_2$ )
1	7,60	-	2,02	-
2	11,24	47,84%	3,38	67,32%
3	12,73	13,26%	4,02	18,93%
4	13,42	5,42%	4,19	4,23%
5	13,93	3,80%	4,26	1,67%

A decisão relativamente aos parâmetros de malha teve maior enfoque nos resultados dos URES devido ao facto de os valores obtidos para as tensões por vezes não tenderem a convergir devido a singularidades de tensão.

### 3.1.2.3.5 Resultados

A definição dos parâmetros de malha, tidos em consideração para a análise das barreiras laterais e de topo, são apresentados seguidamente.

#### **Barreira lateral**

Com o objetivo de validar a estrutura da barreira perante a norma, procedeu-se à realização do estudo da tensão equivalente e URES quando a barreira é sujeita à carga nas condições explicitas na norma, resultando o modelo da Figura 126.

Os resultados obtidos de tensões equivalentes de von Mises são os apresentados na Figura 130.

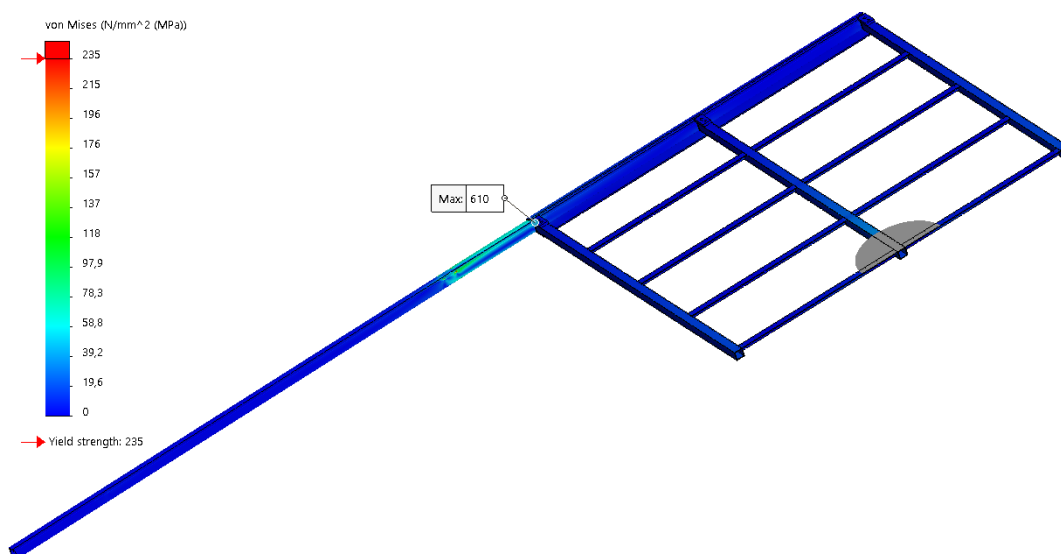


Figura 130 - Tensão de von Mises: perspetiva frontal da simulação da barreira lateral simétrica.

Dos resultados obtidos na Figura 130, é possível verificar que a zona de maior concentração de tensões localiza-se no local da soldadura entre o perfil tubular e a calha. Uma vez que esta tensão poderá não corresponder à realidade, dado que naquele local irá existir um cordão de soldadura e que os resultados das simulações nos vértices não tendem a ser muito rigorosos, procedeu-se a uma segunda análise, reduzindo dez vezes a escala das tensões, por forma a denotar mais facilmente as zonas de maior tensão, tal como se mostra na Figura 131. Nesta figura foi ocultado o elemento rígido de distribuição da carga imposta na legislação.

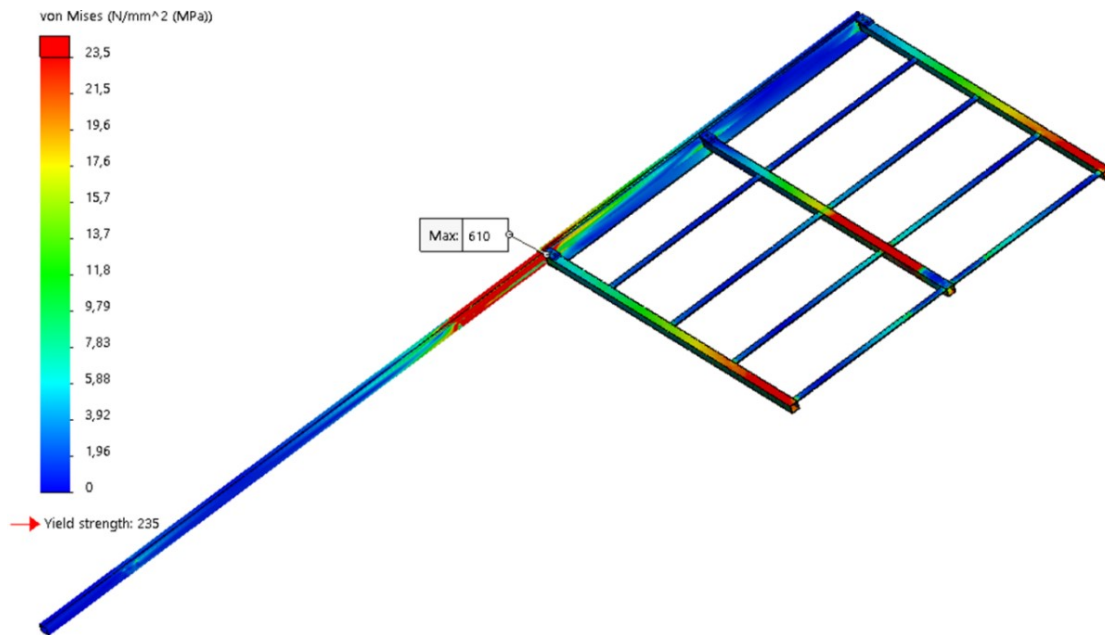


Figura 131 - Tensão de von Mises: perspetiva frontal da simulação da barreira lateral simétrica, com escala inferior.

Verifica-se que a zona onde ocorre maior tensão é algures na ligação entre a calha e o tubo inferior. Para uma maior perceção do local exato, na Figura 132 mostra-se o resultado ampliado com o tubo horizontal oculto. Neste local obtém-se uma tensão máxima de magnitude 610 MPa.

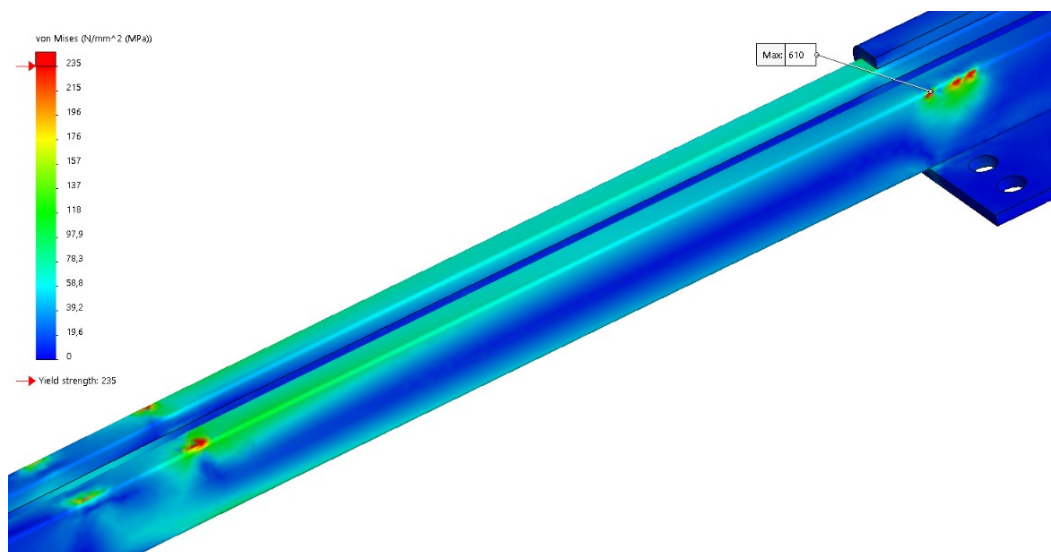


Figura 132 - Detalhe da zona de maior concentração de tensões.

Para validação da estrutura, procedeu-se a uma análise do FS, tendo como referência o valor de 1,5. Com esta análise verifica-se que apenas existe um valor de FS abaixo de 1,5 nas zonas mostradas na Figura 133, localizadas em locais pontuais e que podem não corresponder à realidade, face ao mencionado anteriormente. Os quatro pontos mais próximos e com tensões mais elevadas correspondem ao contacto da calha com a roda.

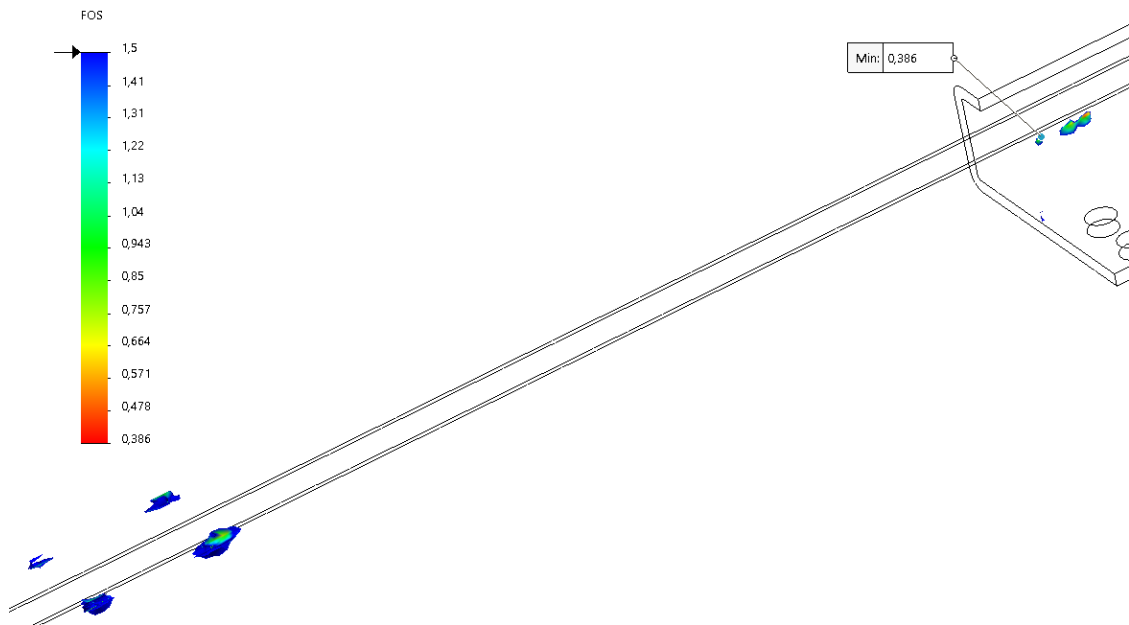


Figura 133 - Zonas críticas considerando FS=1,5.

Por fim apresenta-se na Figura 134 o resultado dos URES obtidos da simulação. Como espectável, o valor máximo é obtido a meio da barreira, no tubo superior, sendo o seu valor de aproximadamente 14 mm.

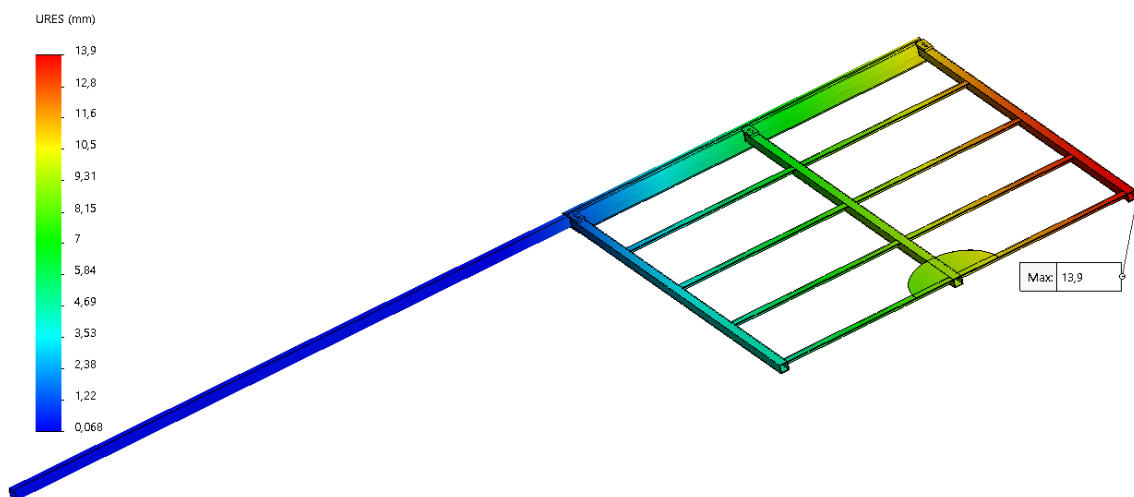


Figura 134 - URES: perspectiva frontal da simulação da barreira lateral simétrica.

O valor do URES obtido não representa problemas uma vez que a deformação é elástica e, dado que não se prevê que elementos da estrutura entrem na zona da deformação plástica, a estrutura recupera até à posição inicial assim que deixe de ser aplicado o esforço, não resultando assim nenhuma contrapartida que invalide a estrutura em causa.

### **Barreira de topo**

Perante a necessidade da validação da estrutura da barreira de topo perante a norma, procedeu-se à realização do estudo da tensão equivalente e URES quando a barreira é sujeita à carga nas condições explícitas na norma. Esta análise teve por base os parâmetros de malha definidos anteriormente para a barreira lateral, dando origem a uma malha com os restantes parâmetros mostrados na Figura 135.

Study name	Static 2 (-Default-)
Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 points
Jacobian check for shell	On
Max Element Size	15 mm
Min Element Size	3 mm
Mesh quality	High
Total nodes	559364
Total elements	280861
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:12
Computer name	

Figura 135 - Detalhes da malha utilizada na análise MEF da barreira de topo.

Para a realização desta análise definiu-se a localização da aplicação da força imposta na legislação como sendo na extremidade da barreira, alinhada com o elemento intermédio. A legislação refere que a sobrecarga deve ser aplicada no centro da barreira, mas, uma vez que se trata de uma barreira cuja localização dos apoios não é simétrica, decidiu-se, conservativamente, aplicar a força num local mais crítico. Na Figura 136 apresenta-se o modelo sujeito à simulação, com as respetivas condições fronteira, esforço atuante.

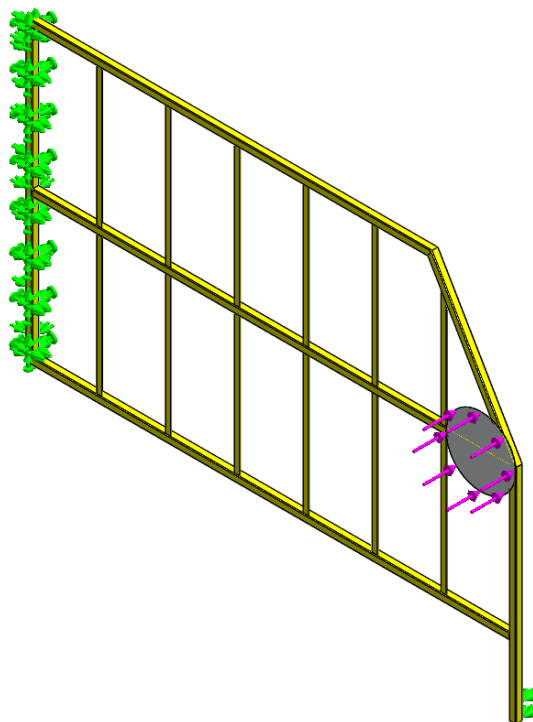


Figura 136 - Aplicação das condições fronteira e esforço atuante no modelo da barreira de topo.

Os resultados obtidos de tensões equivalentes de von Mises são os apresentados na Figura 137.

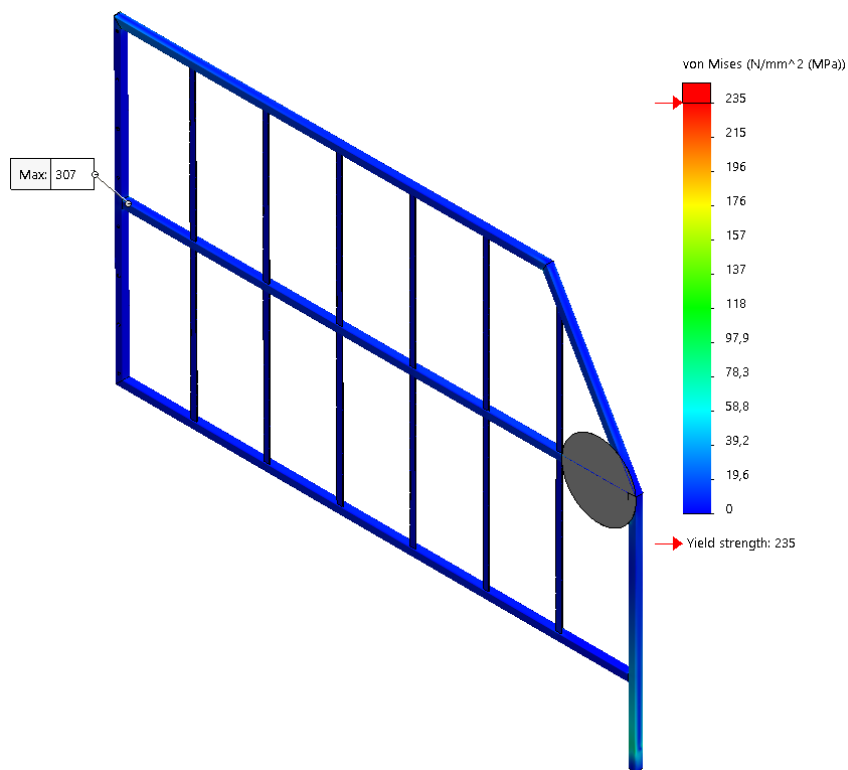


Figura 137 - Tensão de von Mises: perspectiva frontal da simulação da barreira de topo.

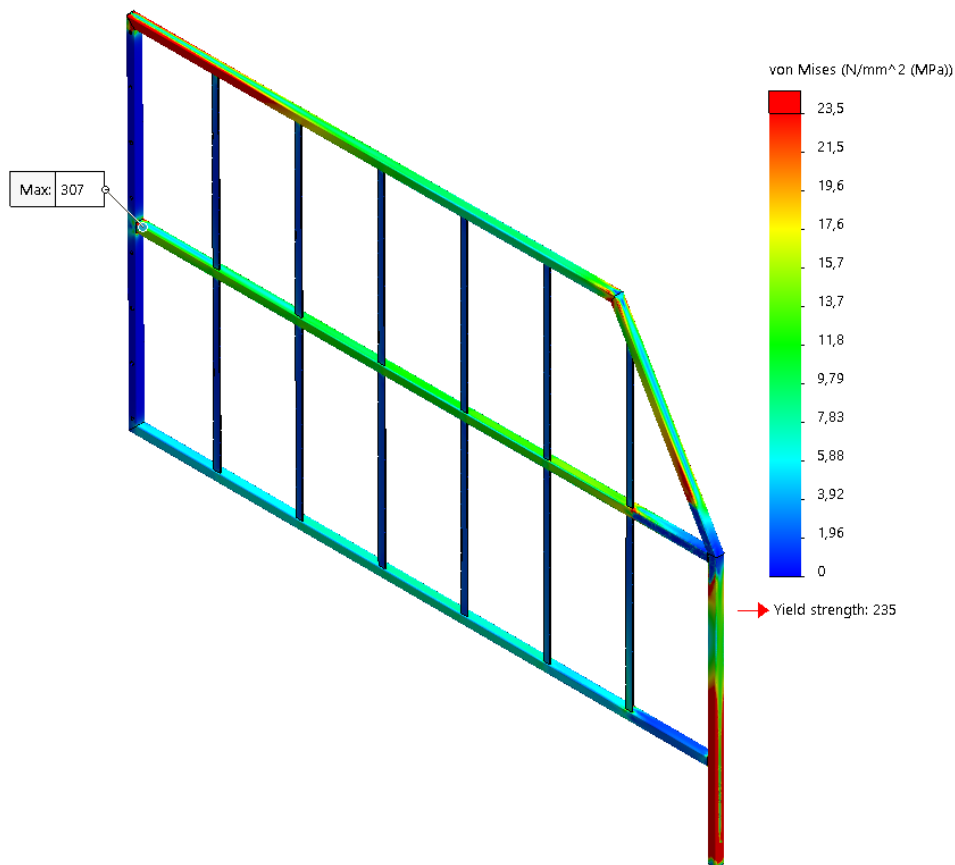


Figura 138 - Tensão de von Mises: perspectiva frontal da simulação da barreira de topo com escala reduzida.

Dos resultados obtidos na Figura 137, é possível verificar que a zona de maior concentração de tensões se localiza no local da soldadura entre os perfis tubulares horizontal e vertical. Esta tensão, tal como na análise da barreira anterior, poderá não corresponder à realidade, uma vez que naquele local irá existir um cordão de soldadura com características superiores ao material de base. Procedeu-se assim a uma análise, reduzindo dez vezes a escala das tensões, por forma a denotar mais facilmente as zonas de maior tensão, tal como se mostra na Figura 138. Nesta figura foi ocultado o elemento rígido de distribuição da carga imposta na legislação.

Verificada a zona onde ocorre maior tensão, com esta a apresentar localmente um valor de 307 MPa, procedeu-se a uma análise global do FS da barreira. Definindo o valor máximo da escala como dez, filtrando os resultados apenas para os locais onde existe FS inferior a 1,5, na Figura 139 apresentam-se os locais onde esse FS é inferior. Tal como referido anteriormente, estas tensões são atingidas onde o contacto entre os tubos poderá ser inexistente, dado não existirem cordões de soldadura definidos na análise.

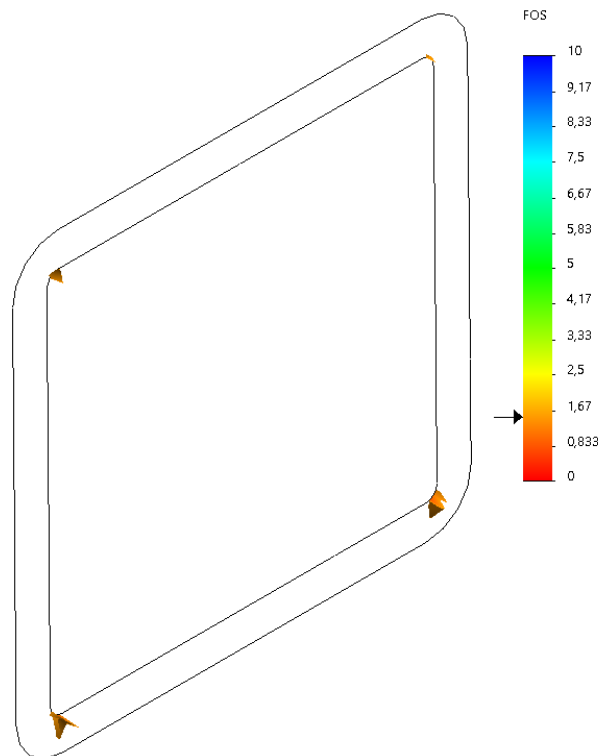


Figura 139 - Zonas críticas considerando FS=10.

Por fim apresenta-se na Figura 140 o resultado dos URES obtidos da simulação. Como espectável, o valor máximo é obtido no extremo intermédio da barreira, sendo o seu valor de aproximadamente 7 mm.

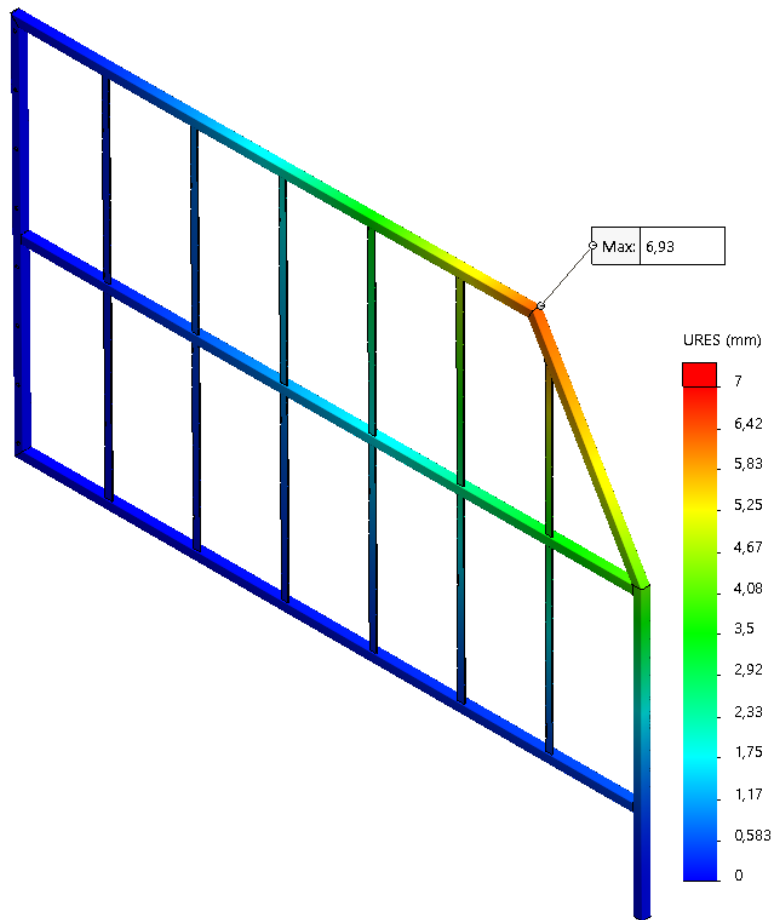


Figura 140 - URES: perspectiva frontal da simulação da barreira de topo.

Tal como na barreira anterior, este valor não representa problemas uma vez que a deformação é elástica e, prevendo-se assim que a estrutura recupere após a aplicação do esforço em causa.

#### 3.1.2.4 Conclusões do estudo

Através dos resultados obtidos das análises das duas barreiras é possível verificar que as barreiras estudadas cumprem estruturalmente os requisitos impostos pela norma.

Salienta-se que, com recurso a este tipo de solução (aplicação de barreiras), é impossível cumprir na totalidade os requisitos geométricos impostos na norma, uma vez que entre as barreiras é necessário um espaço, dado que as mesmas não podem ser contínuas ao longo de toda a lateral e topos do equipamento. Nos locais onde existem as ligações entre os componentes de reforço do aro, onde também são aplicados os cilindros hidráulicos, existe a necessidade de interrupção da barreira para permitir estes elementos estruturais, bem como a aplicação dos sistemas de acionamento da barreira. Este problema pode ser diminuído com a inserção de um elemento intermédio. Neste caso, propõe-se que exista um tirante circular ligado entre o elemento de elevação da barreira (onde é amarrado o cabo de aço) e uma chapa existente que permitirá a ligação entre barreiras, como se observa na Figura 141. Esta chapa terá de possuir uma espessura que permita uma interferência reduzida no contacto entre o aro e a tampa,

no momento em que esta se encontra fechada. Com a aplicação deste tirante, será possível cumprir a distância máxima de 200 mm entre elementos verticais imposta na norma. O mesmo não se poderá dizer em relação à distância entre elementos horizontais, que não pode ser superior a 400 mm. Neste caso, será considerada uma distância de aproximadamente 900 mm, como se observa na Figura 142. A aplicação do elemento vertical reduz a zona aberta para aproximadamente 125 mm, distância esta que já será suficiente para impedir a passagem de pessoas ou objetos. Com esta análise detalhada da norma verifica-se que este requisito é impossível de cumprir em determinadas circunstâncias. Será de considerar uma proposta de revisão à norma, dado que se entende que, se a distância entre elementos verticais for diminuta, os riscos daí oriundos podem ser desprezáveis.



Figura 141 - Perspetiva do interior do equipamento na zona de acionamento da barreira.



Figura 142 - Perspetiva do exterior do equipamento: detalhe da montagem do tirante entre barreiras.

A outra situação onde se prevê uma solução difícil encontra-se nas barreiras de topo. Estas barreiras, dado que se encontram solidárias com a tampa, a trajetória descrita na abertura da mesma não permite às barreiras ter uma geometria retangular. Ao definir um recorte na barreira por forma a evitar a colisão com a estrutura, durante o seu funcionamento passará a existir um espaço livre, no caso mais crítico, de aproximadamente 350 mm (ver Figura 143). Com base na simulação testada no modelo, existe uma distância de 150 mm, medida na horizontal do nível inferior (sem inclinação), entre as duas extremidades das barreiras lateral e de topo. Com esta solução, é possível verificar que, acima de uma cota de 600 mm a barreira protetora, neste local, encontra-se em incumprimento perante a legislação. Também existe o problema de o espaçamento entre os elementos horizontais que, tal como entre as barreiras laterais, é superior a 400 mm, não sendo possível, neste caso, uma vez que se trata de uma zona de transição de planos, suprimir este incumprimento. Na Figura 144 mostra-se a tampa no seu momento de abertura onde, para além dos factos mencionados anteriormente,

se visualiza o movimento coordenado de ambas as partes. O elemento de apoio fixo ao betão garante uma melhor estabilidade da barreira do topo, permitindo que esta tenha algum apoio na sua extremidade, uma vez que o seu comprimento sem qualquer amparo é elevado.



Figura 143 - Perspetiva exterior do topo do equipamento, totalmente aberto, na zona de interseção das barreiras lateral e de topo.

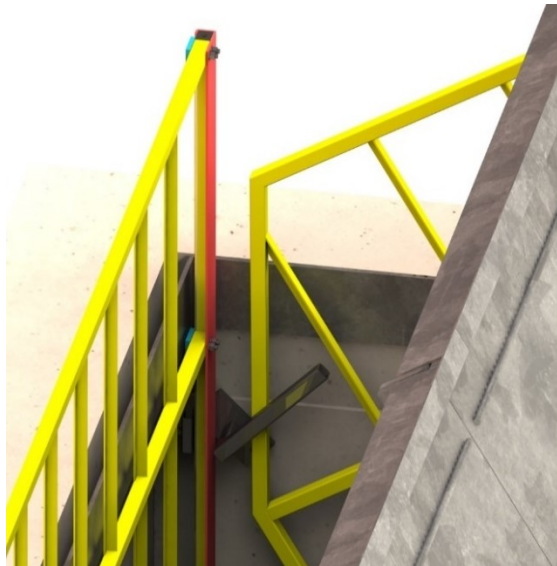


Figura 144 - Perspetiva interior do topo do equipamento, na zona de interseção das barreiras, no momento da abertura.

Após as observações realizadas anteriormente, e sendo tomadas todas as precauções possíveis para reduzir o perigo de queda ao fosso, este risco é praticamente nulo. Após a implementação das alternativas sugeridas, por forma a minimizar o risco nos locais de transição, onde não é possível cumprir integralmente a norma, assume-se que esta barreira apresenta características suficientes que lhe permitem cumprir totalmente os requisitos de segurança impostos.

No Anexo IV constam os desenhos técnicos de suporte ao fabrico das barreiras do HS4.

Com a elaboração deste estudo é ainda possível aferir que, caso seja mais vantajoso aplicar outro tipo de solução para garantir as distancias máximas entre elementos horizontais e verticais, como por exemplo a aplicação de uma malha de rede em aço, ou outro material, em detrimento das cantoneiras verticais, essa solução pode ser aplicada desde que apresente propriedades capazes de garantir o cumprimento da legislação ao nível da resposta à solicitação de carga imposta na norma EN 13071-2.

#### 3.1.2.4.1 *Análise de custos*

Tendo como base o projeto de ambas as barreiras, é possível estimar os custos de matéria prima e mão de obra para a produção destes dispositivos de segurança. Na análise de custos apresentada na Tabela 17, os dados relativos à matéria prima são calculados tendo em conta os valores reais da matéria prima necessária. Os valores da mão de obra e pintura são estimados mediante o estabelecido pela empresa perante a sua cadência produtiva, equipamentos e custo de mão de obra.

Tabela 17 - Custos de fabrico das barreiras do equipamento HS.

<b>Tipo de custo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Custo</b>
<b><u>Barreira lateral</u></b>		
<b>Matéria prima</b>	Chapa, barra e tubo <sup>1</sup>	14,50 €
	Calhas e carros	30,71 €
	Elementos de fixação	3,40 €
	Consumíveis	1,60 €
	<b>Somatório</b>	43,71 €
<b>Mão de obra</b>	<b>Total</b>	50,00 €
<b>Pintura</b>	<b>Total</b>	5,50 €
<b>Custo de uma barreira lateral</b>		105,71 €
<b>Custo total das barreiras laterais no HS4</b>		403,34 €
<b><u>Barreira de topo</u></b>		
<b>Matéria prima</b>	Chapa, barra e tubo <sup>1</sup>	12,50 €
	Elementos de fixação	1,70 €
	Consumíveis	1,10 €
	<b>Somatório</b>	9,80 €
<b>Mão de obra</b>	<b>Total</b>	37,50 €
<b>Pintura</b>	<b>Total</b>	3,50 €
<b>Custo de uma barreira de topo</b>		56,30 €
<b>Custo total das barreiras de topo</b>		112,60 €
<b>Custo de implantação dos dispositivos em obra</b>		245,00€
<b>HS4</b>	<b>Custo total com dispositivos de segurança<sup>2</sup></b>	760,94 €

<sup>1</sup> Matéria prima no seu estado de fornecimento;

<sup>2</sup> Valor de custo do dispositivo com respetiva aplicação em novos equipamentos.

Após a análise de custos da Tabela 17 é possível prever um custo com todo o dispositivo de aproximadamente 761 €. Este custo terá de ser mais elevado no caso de se tratar de implementações em equipamentos já em funcionamento, uma vez que acarreta maiores custos com alterações a realizar no local. Exemplos dessas alterações são o corte das chapas de proteção dos marcos e da alteração da sua forma fixação, bem como o acréscimo de peças soldadas na tampa do equipamento para fixação de componentes necessários ao funcionamento do mecanismo. No caso de se tratar de uma alteração a um equipamento já em funcionamento, o valor de custo rondará os 900 €.

### 3.1.3 Modelo simplificado da estrutura do equipamento

Perante a necessidade de alterar a estrutura, por forma a tornar possível a implementação da barreira de segurança, foi necessária uma validação da estrutura do equipamento quando esta é sujeita às solicitações de trabalho e aos requisitos impostos na norma. Tendo em vista os resultados detalhados do comportamento da estrutura quando sujeita às cargas definidas como equivalentes às condições requeridas, espera-se também que seja possível uma melhoria da estrutura e uma redução dos custos de fabrico da mesma.

Solicitando o modelo da estrutura (Figura 90 a) e b)) à ação dos esforços atuantes, é possível prever o seu o comportamento em alguns campos, como é o caso das deformações, tensões resultantes, coeficientes de segurança, entre outros, recorrendo a uma análise estática através do MEF. Para esta análise partiu-se de uma estrutura simplificada, cujo modelo simplificado é destacado na Figura 145. Para a obtenção deste modelo, foram estudadas as zonas onde existiriam maiores cargas atuantes. Uma vez que a estrutura em estudo possui também elementos mecânicos para acionamento da mesma, foi possível selecionar uma parte da estrutura que reúne os vários fatores mais críticos.

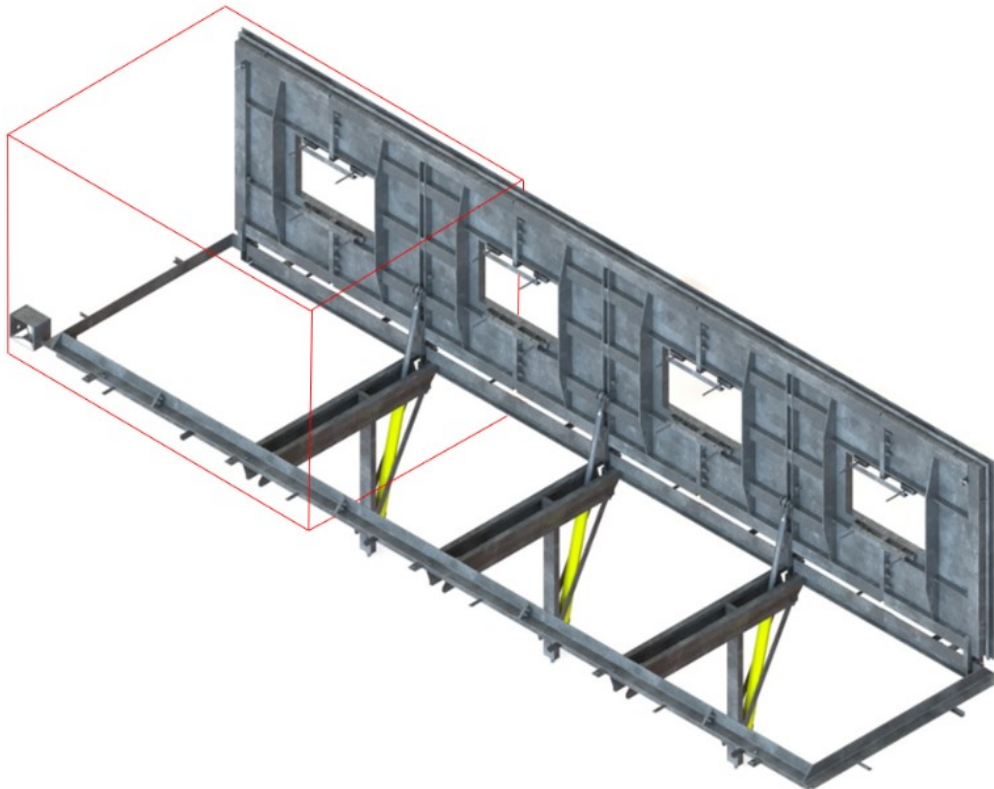


Figura 145 - Perspetiva da estrutura fora da cuba técnica, realçando o modelo simplificado a adotar no estudo.

No momento em que a tampa se encontra fechada, o seu apoio é realizado no aro e nas travessas intermédias que fazem parte do mesmo. Quando o equipamento se encontra fechado, a interação entre o aro e a tampa garantirá a vedação através do esmagamento do perfil de borracha existente no contorno da tampa. A abertura da tampa é realizada através dos cilindros hidráulicos representados a amarelo na Figura 145.

O modelo simplificado (Figura 146 a) e b)) consiste nos dois módulos da estrutura que se encontram numa das extremidades. Este modelo possui o cilindro com maior zona de abrangência, sendo este o mais solicitado em termos de esforço, uma vez que, para além de suportar o equivalente a um dos módulos intermédios da estrutura, ainda terá de suportar o módulo da extremidade que corresponde, em termos de carga, a aproximadamente metade de um módulo intermédio. A análise desta parte da estrutura permite ainda a extrapolação de resultados para a outra extremidade, cujas solicitações são simetricamente as mesmas.

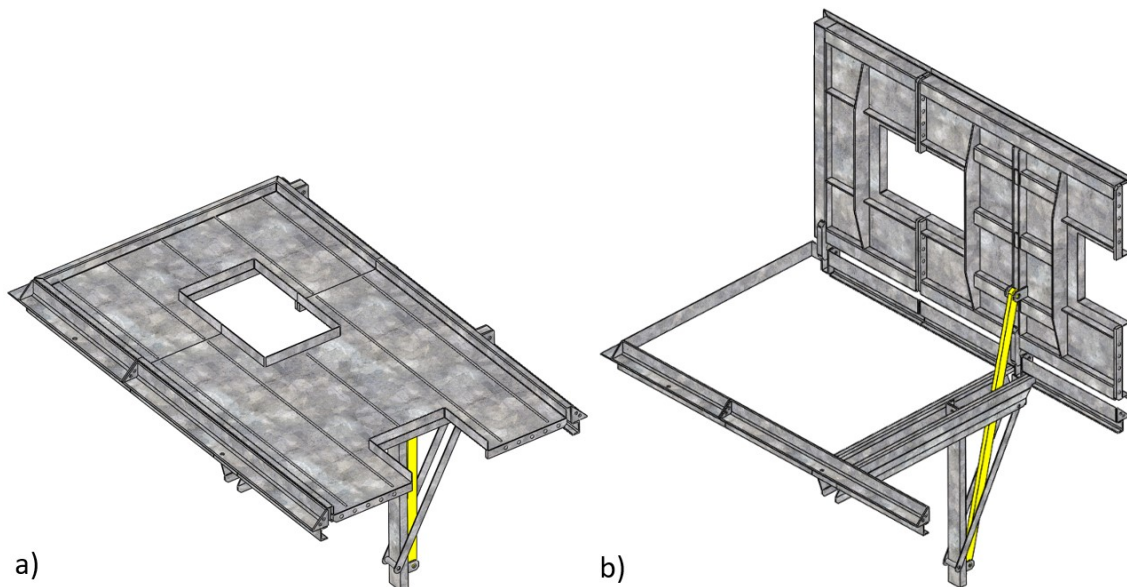


Figura 146 - Perspetiva do modelo simplificado: a) tampa fechada e b) tampa aberta.

### 3.1.3.1 Estudo das cargas atuantes na tampa

Por forma a calcular os valores em falta para verificar a magnitude dos esforços atuantes na tampa, procedeu-se ao tratamento de dados de fornecedores de matéria prima como é o caso do granito e do betão que compõem o piso assente na tampa da estrutura. Os valores a ter em consideração são os seguintes:

- área total da estrutura de receção do piso: 8,74 m<sup>2</sup>;
- área da estrutura do modelo simplificado para receção do piso: 3,29 m<sup>2</sup>;
- valor aproximado da massa específica dos paralelos de granito: 2700 kg/m<sup>3</sup> (Granitos Urbanos, 2020);
- massa específica do betão leve (Mota-Engil, 2016): 800 a 2000 kg/m<sup>3</sup>;
- massa específica do betão aplicado: 2000 kg/m<sup>3</sup>.

Na Figura 147 apresenta-se um desenho ilustrativo da disposição dos paralelos no piso, juntamente com outras cotas médias relativas à disposição do betão, entre outros elementos relevantes para a perceção da estrutura da tampa associada ao modelo simplificado.

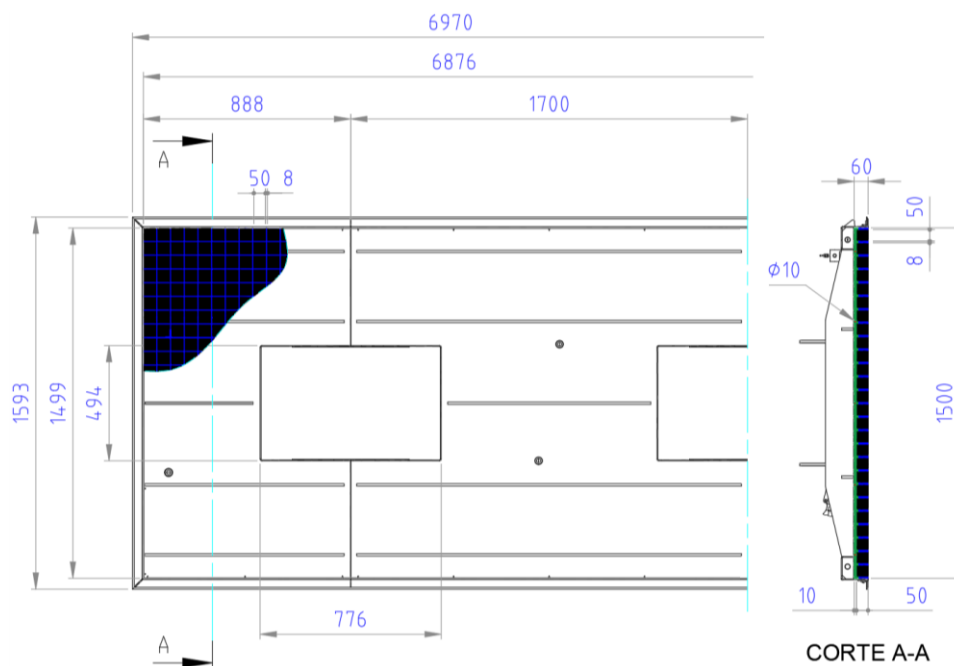


Figura 147 - Esquema da estrutura com a composição do piso da tampa.

Considerando que, cada  $m^2$  de piso, possui aproximadamente 290 paralelos (área de superfície igual a  $0,725 m^2$ ), a massa por  $m^2$  de paralelo é dada por:

$$0,725 \times 0,05 \times 2700 \approx 98 \text{ kg/m}^2 \quad (12)$$

O valor da massa por  $m^2$  de betão é dada por:

$$[(1 - 0,725) \times 0,05 + 0,01] \times 2000 \approx 20 \text{ kg/m}^2 \quad (13)$$

É possível assim aferir a massa e a carga resultante da calçada por  $m^2$ . Neste cálculo, bem como ao longo do trabalho, por simplificação, considera-se a aceleração da gravidade aproximadamente  $10 \text{ m/s}^2$ :

$$98 + 20 = 118 \text{ kg/m}^2 \approx 1180 \text{ N/m}^2 \quad (14)$$

Desta forma, a carga resultante relativa ao suporte do piso da estrutura completa e pela parte de estrutura correspondente ao modelo simplificado são respetivamente:

$$1180 \times 8,74 \approx 10313 \text{ N} \quad (15)$$

$$1180 \times 3,29 \approx 3882 \text{ N} \quad (16)$$

Os restantes valores a ter em consideração, são:

- massa aproximada de um marco: 100 kg por unidade (considerando o marco mais pesado);
- sobrecarga imposta na legislação: 500 kgf, aplicados em círculo de diâmetro máximo 200 mm (0,159 MPa).

### 3.1.3.2 Materiais

O material predominante neste tipo de estruturas é o aço S235JR. Para além deste aço, cujas propriedades já foram detalhadas na Tabela 12, para elementos de fixação como pinos e eixos de rotação, normalmente sujeitos a maquinação, o material utilizado é o aço C45E. Na Tabela 18 são apresentadas as propriedades mecânicas deste aço à temperatura ambiente, em função do diâmetro fornecido.

Tabela 18 - Características mecânicas mínimas do aço C45E à temperatura ambiente (adaptado de Ramada Aços (2020)).

Designação	Diâmetro nominal $\varnothing$ (mm)			
	Tensão de limite elástico $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )		Tensão de rotura $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	
	$\varnothing \leq 16$	$\varnothing \leq 100$	$\varnothing \leq 16$	$\varnothing \leq 100$
<b>C45E</b> <sup>1</sup>	340	305	620	580

<sup>1</sup>Varão redondo estirado a frio, fornecido no estado normalizado.

### 3.1.3.3 Condições fronteira e esforços

Recorreu-se ao *software* Solidworks® para realizar uma análise MEF ao modelo simplificado. Para a verificação deste modelo são necessárias análises estáticas em três fases distintas, são elas:

- 1) verificação da estrutura do equipamento quando fechado e sem atuação do cilindro hidráulico;
- 2) verificação da estrutura do equipamento na sua fase inicial de abertura da tampa (com atuação do cilindro hidráulico);
- 3) verificação da estrutura do equipamento com a sua tampa totalmente aberta (com atuação do cilindro hidráulico).

Os esforços atuantes no equipamento são, resumidamente, apresentados na Tabela 19.

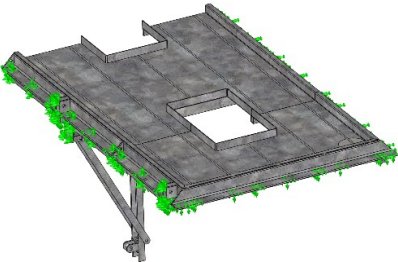
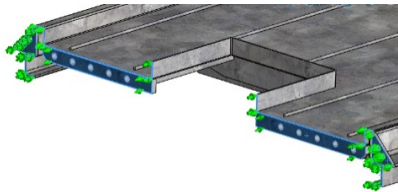
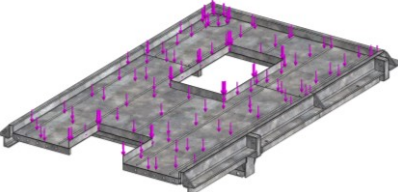
Tabela 19- Resumo dos esforços atuantes na tampa e transmitidos à estrutura de suporte.

Origem do esforço atuante	Valor
<b>Estrutura metálica da tampa</b>	248 kg (valor intrínseco)
<b>Piso</b>	390 kg
<b>Marcos</b>	100 kg
<b>Sobrecarga imposta</b>	500 kgf (aplicados num $\varnothing_{\max}=200$ mm)

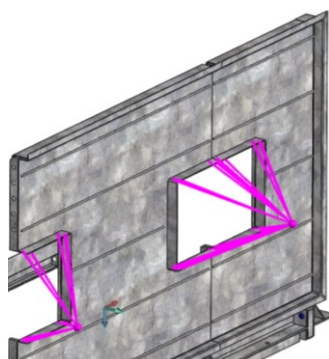
A sobrecarga imposta pela legislação apenas necessita de ser aplicada no caso de a tampa permanecer fechada. Foi assim definido devido à supervisão que existe no momento de abertura e de fecho do equipamento ser assegurada pelos operadores que executam a recolha dos resíduos. Estes operadores são instruídos para verificar se o equipamento se encontra (ou não) em condições para a abertura da tampa e precederem em conformidade. Assim sendo, apenas faz sentido aplicar a sobrecarga na análise estática com a tampa fechada, sem qualquer acionamento dos cilindros hidráulicos.

Para a realização das análises, definiram-se condições fronteira que serão comuns, parcialmente, aos três casos em estudo. Na Tabela 20 apresentam-se as condições fronteira utilizadas, bem como os locais mais relevantes de aplicação e uma breve justificação.

Tabela 20 - Condições fronteira aplicadas nas diferentes análises ao modelo em estudo.

Condição fronteira	Aplicação	Justificação
Encastramento		<p>A estrutura inferior é pousada na cuba técnica, sendo posteriormente (no local) nivelada e chumbada com betão. Posteriormente, a cantoneira do aro é rodeada de paralelos assentes com betão, não permitindo assim nenhum grau de liberdade de movimento.</p>
Simetria		<p>Considerando que se trata de um modelo simplificado, com continuidade num dos extremos assegurada pelos módulos adjacentes, considera-se que estes asseguram o constrangimento do grau de liberdade resultante do contacto entre ambos.</p>
Carga distribuída		<p>Os esforços provenientes da carga imposta pelos paralelos, marco e sobrecarga são substituídos por este tipo de esforços. As faces onde são aplicados os esforços podem assumir diversas geometrias. A orientação do esforço é sempre na vertical o que pode resultar numa carga normal, tangencial ou inclinada relativamente à superfície.</p>

Massa remota



Na terceira análise, em substituição do marco de deposição aplicou-se no seu centro de massa uma carga remota com o seu peso. Este tipo de cargas apenas é necessário na análise com a tampa aberta, uma vez que só nesta simulação é que esta força tem uma componente diferente da perpendicular ao solo. Esta força aplicada gera um momento na tampa.

### 3.1.3.4 Ligações

Após a definição das condições fronteira e dos esforços atuantes, procedeu-se à atribuição de ligações entre componentes. A definição das ligações ou contactos é necessária uma vez que, na análise destes elementos, não são consideradas as relações geométricas da montagem. No modelo em estudo, para além das ligações soldadas e de pinos, existe a necessidade de especificar a relação entre as superfícies que, no decorrer da análise, se prevê que possam vir a entrar em contacto entre si (ligações sem penetração). Na Tabela 21 apresentam-se os tipos de ligação definidos no modelo em estudo, bem como alguns dos casos de aplicação e a respetiva justificação.

Tabela 21 - Ligações aplicadas nas análises ao modelo em estudo.

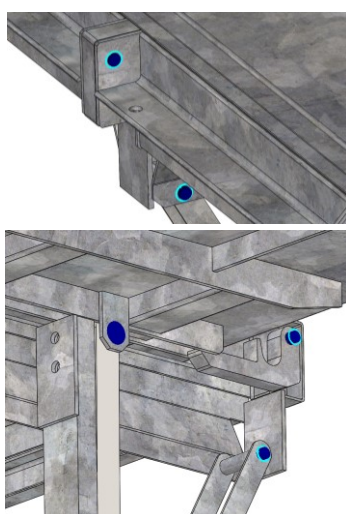
Ligação	Aplicação	Justificação
Soldada		<p>Nas duas figuras ao lado, observa-se que, na estrutura de suporte, os elementos se encontram maioritariamente soldados. Nos casos onde se verifica que não existe deslizamento entre os componentes, por simplificação, pode considerar-se esta ligação desde que não se prevejam resultados muito dispares do comportamento da ligação, face à conexão real.</p>

Sem  
penetração



No caso do contacto da tampa com componentes do aro, onde não existe penetração entre as diferentes faces de componentes em contacto, utilizou-se este tipo de ligação. Os parâmetros de contacto podem ser omissos uma vez que a fricção entre os componentes não é significativa para o estudo.

Pino



Por forma a possibilitar uma análise mais expedita, que permita fazer uma geração da malha e ligação entre componentes sem a presença física de um pino, as ligações onde existem cavilhas e parafusos foram substituídas por ligações do tipo pino. Recorrendo a este tipo de ligação também é mais fácil a obtenção dos valores de esforços atuantes no pino, sendo apenas desconhecida a distribuição dos esforços ao longo do mesmo.

### 3.1.3.5 Análise de convergência da malha

Na análise de convergência da malha do modelo simplificado, foi definida uma malha baseada na curvatura (Figura 148), tal como na análise de convergência realizada para a barreira de segurança apresentada no subcapítulo 3.1.2.3.4.

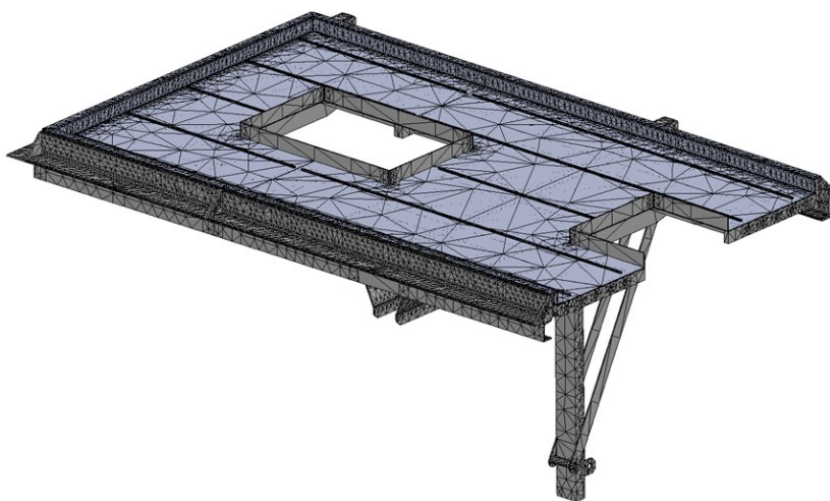


Figura 148 - Exemplo de malha do modelo simplificado do HS gerada com base na curvatura.

Por forma a optar pelos parâmetros de malha com a melhor relação de rigor/tempo despendido no estudo, procedeu-se a uma análise de convergência baseada na comparação dos URES e das tensões obtidas de várias análises ao modelo simplificado da estrutura do HS, tendo como referência os dois pontos indicados na Figura 149. Os parâmetros de malha irão assim ser extrapolados para as duas análises similares realizadas posteriormente à estrutura nas duas restantes posições de ensaio.

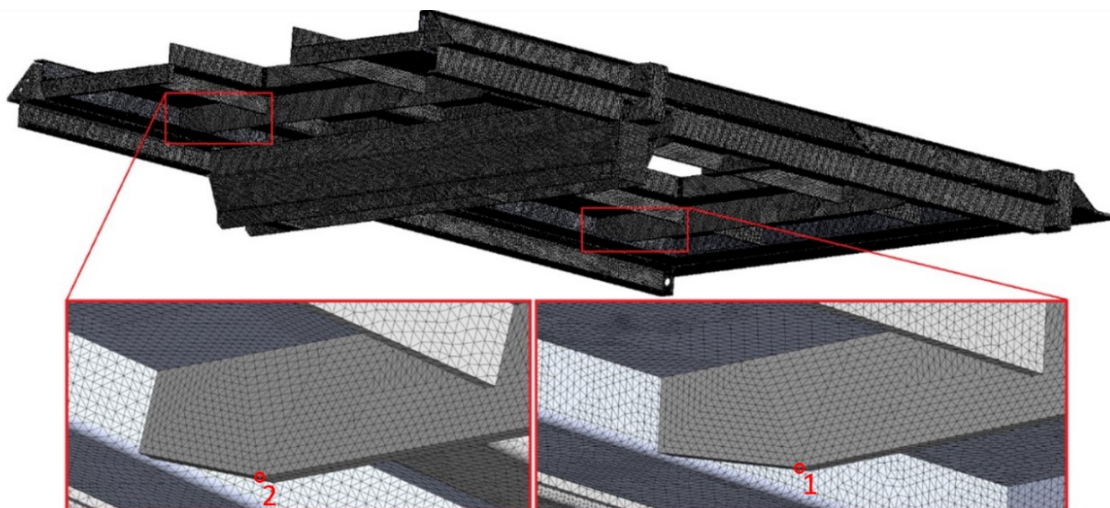


Figura 149 - Localização dos pontos de convergência analisados – exemplo com parâmetros da análise 5.

Para as diversas análises, cujos parâmetros de malha são indicados na Tabela 22, a comparação entre os URES das diferentes abordagens irá possibilitar a verificação da convergência dos resultados obtidos.

Tabela 22 - Resumo dos parâmetros de cada análise e resultado das tensões de von Mises e URES obtidos para dois pontos distintos.

	<b>Análise 1</b>	<b>Análise 2</b>	<b>Análise 3</b>	<b>Análise 4</b>	<b>Análise 5</b>
<b>Dimensão máxima do elemento</b>	150	60	30	15	7,5
<b>Dimensão mínima do elemento</b>	30	12	6	3	1,5
<b>Mínimo de elementos de um círculo</b>	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
<b>Rácio de tamanho</b>	8	8	8	8	8
<b>Total de elementos</b>	87812	233837	524001	1040872	2217620
<b>URES no ponto 1 (mm)</b>	4,30	4,38	4,45	4,50	4,45
<b>Tensão no ponto 1 (MPa)</b>	12,3	9,54	7,47	6,83	5,71
<b>URES no ponto 2 (mm)</b>	2,50	2,53	2,54	2,53	2,53
<b>Tensão no ponto 2 (MPa)</b>	7,30	6,03	4,57	4,01	3,68

Para os dois pontos em estudo, nos gráficos da Figura 150 e Figura 151 apresentam-se, respetivamente, os gráficos dos URES e das tensões de von Mises, em função do número de elementos estabelecidos em cada análise.

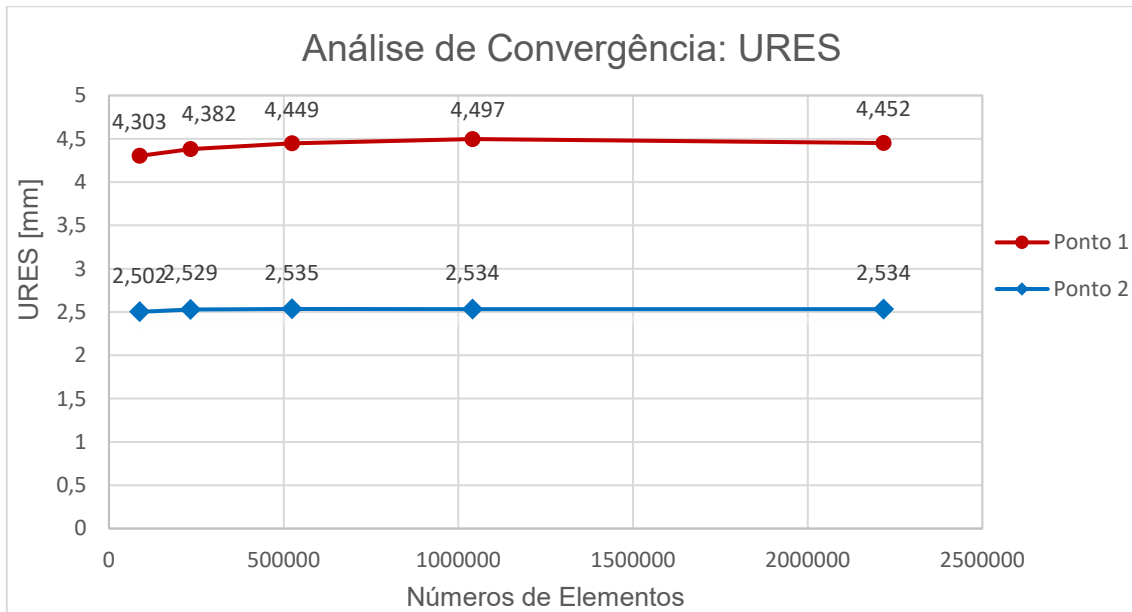


Figura 150 - Valores dos URES obtidos para os dois pontos de convergência da malha.

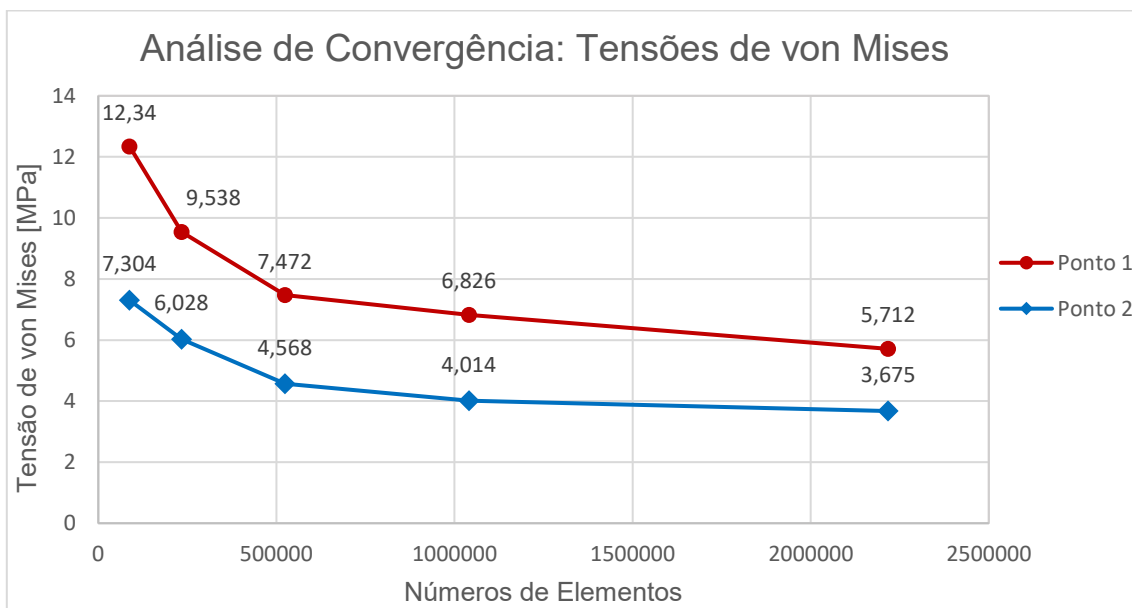


Figura 151 - Tensões de von Mises obtidas para os dois pontos de convergência da malha.

Através da análise dos gráficos, é possível observar que a partir da análise 3 (aproximadamente 500000 elementos), os valores tendem a convergir. Este comportamento é mais evidente no gráfico dos URES (Figura 150), sendo a variação entre dois URES consecutivos comparada na Tabela 23. Pode ser constatado, para a análise 3, que as variações comparativas à análise anterior são da ordem dos 1% e 0,2% para os URES do ponto 1 e 2 respetivamente.

Tabela 23 - Variação entre URES consecutivos para ambos os pontos.

Análise	URES 1	Variação entre URES consecutivos ( $\Delta_1$ )	URES 2	Variação entre URES consecutivos ( $\Delta_2$ )
1	4,303	-	2,502	-
2	4,382	1,529%	2,529	1,079%
3	4,449	1,079%	2,535	0,237%
4	4,497	-1,001%	2,534	-0,039%
5	4,452	1,836%	2,534	0%

A decisão de assumir os parâmetros da análise 3 baseou-se nos principalmente nos resultados obtidos nos diferentes pontos para os URES. O facto de os valores não convergirem de igual forma no gráfico das tensões pode ser justificado pelo local selecionado para a medição das tensões, uma vez que este local se encontra situado num vértice. Esta escolha poderá acarretar dificuldades na convergência do gráfico dada a variedade de valores de tensões possíveis de obter num vértice que se encontra nas extremidades de todos os elementos. Este fenómeno ocorre também vulgarmente em entalhes, onde os valores das tensões podem tender para infinito.

### 3.1.3.6 Resultados

Após da análise de convergência de malha, onde se definiram os parâmetros a utilizar (Figura 152), comuns para as diferentes análises desta estrutura, procedeu-se ao estudo detalhado das três posições mais críticas para o dimensionamento da estrutura do equipamento enterrado e de alguns dos seus componentes mais relevantes.

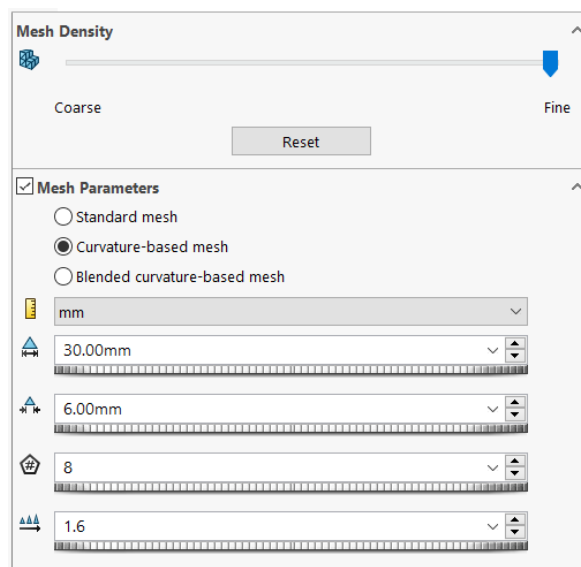


Figura 152 - Parâmetros da malha em estudo.

### 3.1.3.6.1 Análise da tampa fechada com sobrecarga

A análise da tampa fechada tem como principal objetivo validar a estrutura, mais propriamente a sua tampa (plataforma pedestre). Dado que esta primeira análise teve como função também o estudo dos parâmetros da malha, os resultados são apresentados no seguimento do estudo da convergência da malha definida no subcapítulo 3.1.3.5, onde foi necessário, na fase preliminar, obter de valores referência de deslocamentos. Nesta análise são aplicadas as condições fronteira, contactos e ligações mencionadas na Tabela 20 e Tabela 21.

Os resultados obtidos de tensões equivalentes de von Mises são os apresentados na Figura 153 e Figura 154.

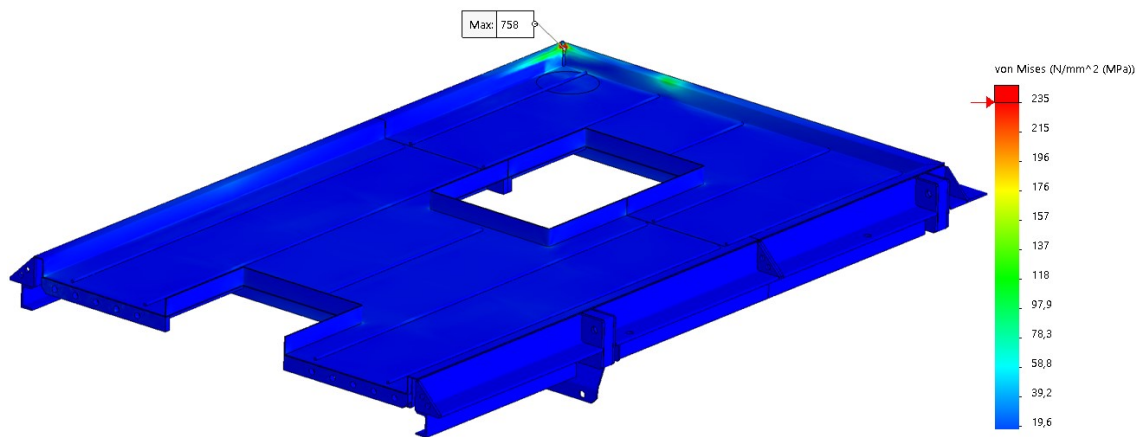


Figura 153 - Tensão de von Mises: perspectiva superior da simulação com tampa fechada e sujeita a sobrecarga.

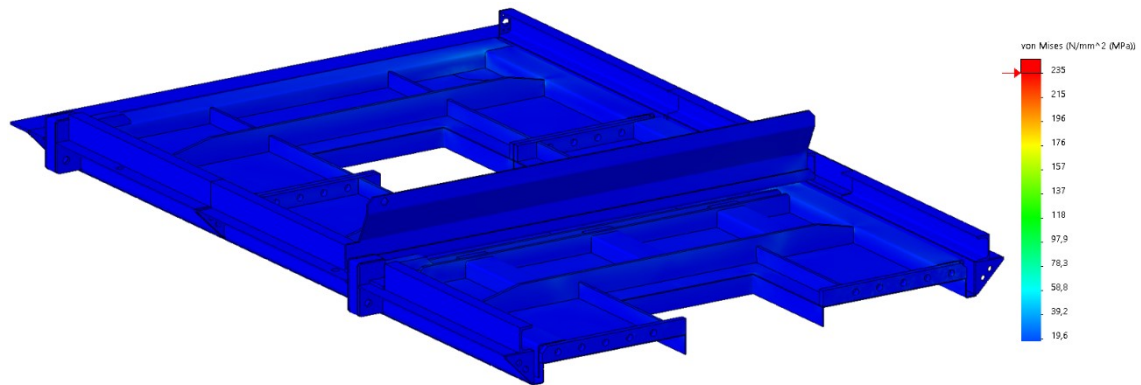


Figura 154 - Tensão de von Mises: perspectiva inferior da simulação com tampa fechada e sujeita a sobrecarga.

A zona de maior concentração de tensões localiza-se essencialmente no local mais crítico, onde se aplicou a sobrecarga imposta no regulamento. Nesta zona, tal como se pode ver de forma ampliada na Figura 155, as tensões equivalentes podem atingir um pico de 760 MPa, próximo do cordão de soldadura.

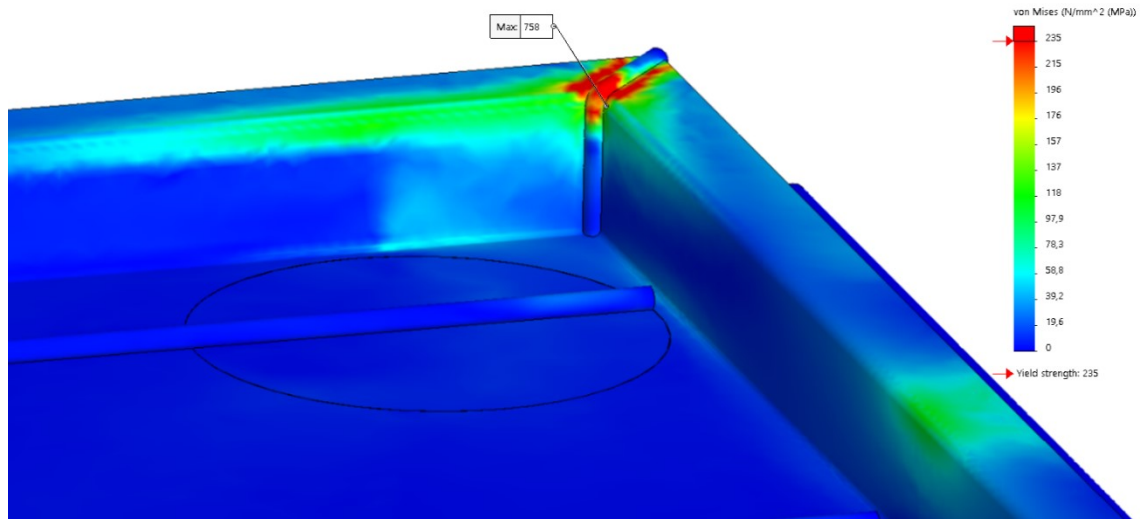


Figura 155 - Detalhe da tensão de von Mises máxima (perspetiva superior da tampa fechada).

Na Figura 156 apresenta-se o resultado da análise na zona de maior concentração de tensões com a escala até FS=10, por forma a verificar, de uma forma mais ampla, os coeficientes de segurança existentes nesta zona.

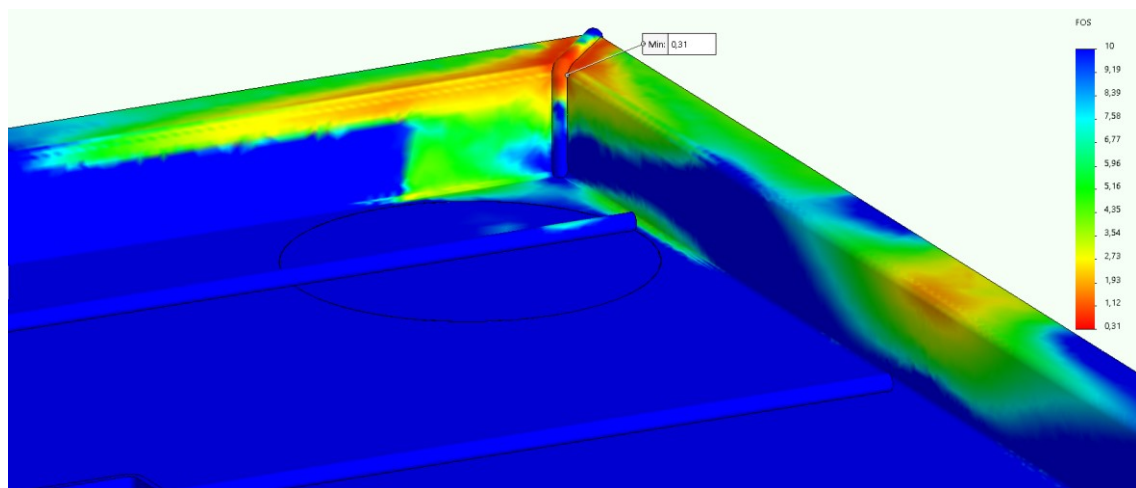


Figura 156 - Zona crítica da tampa fechada com sobrecarga, considerando FS=10.

De uma forma mais restrita, apresentam-se em escala de cores, os locais onde  $FS < 1,5$ . O valor mais baixo localiza-se no cordão de soldadura (local onde normalmente existe uma tensão de cedência superior) e corresponde a aproximadamente 0,3. O restante da estrutura apresenta  $FS > 1,5$ .

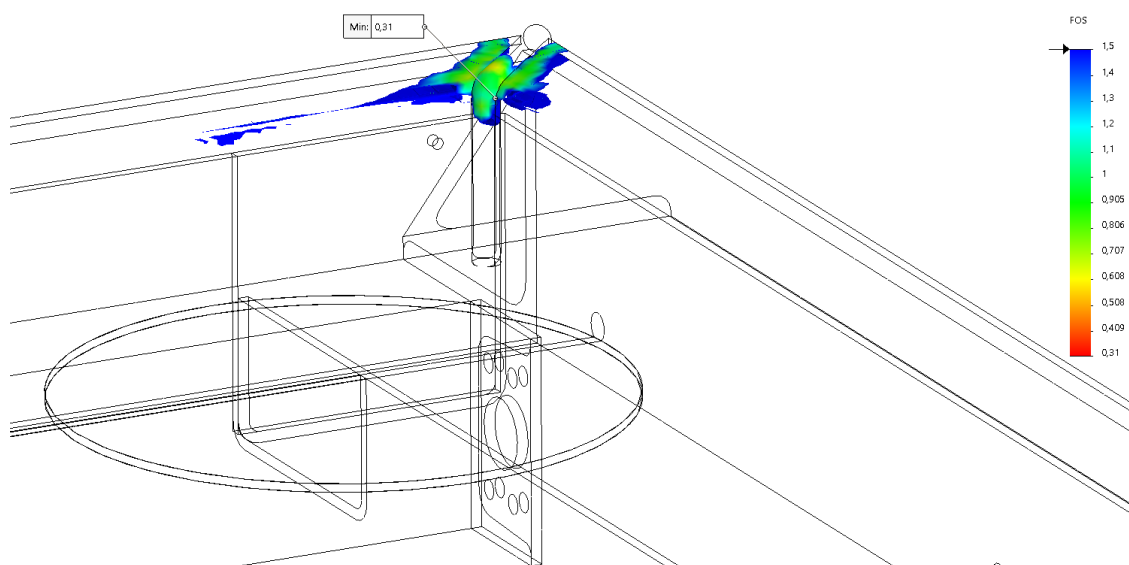


Figura 157 - Zona crítica considerando FS=1,5.

No que respeita a URES, não muito relevantes para este estudo, na Figura 158 e Figura 159 apresentam-se os resultados obtidos numa perspetiva superior e inferior, respetivamente.

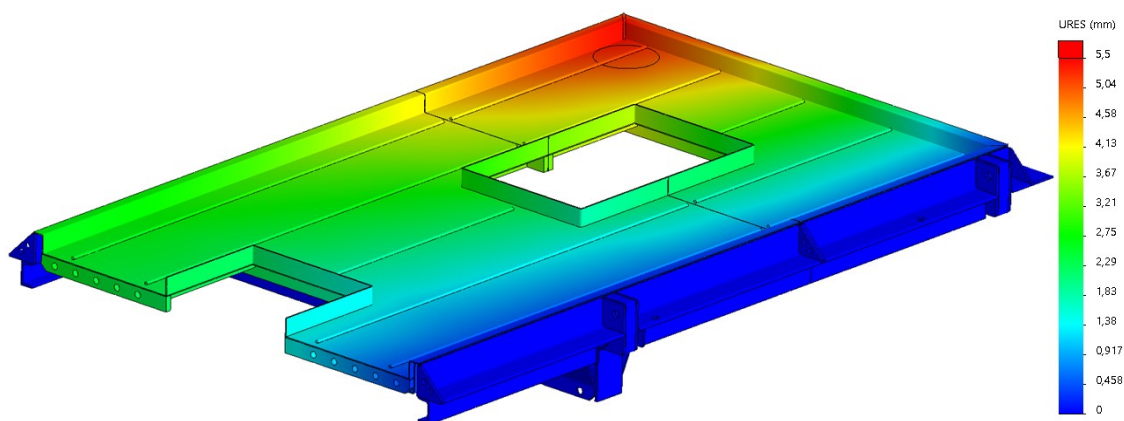


Figura 158 - URES: perspetiva superior da simulação com tampa fechada e sujeita a sobrecarga.

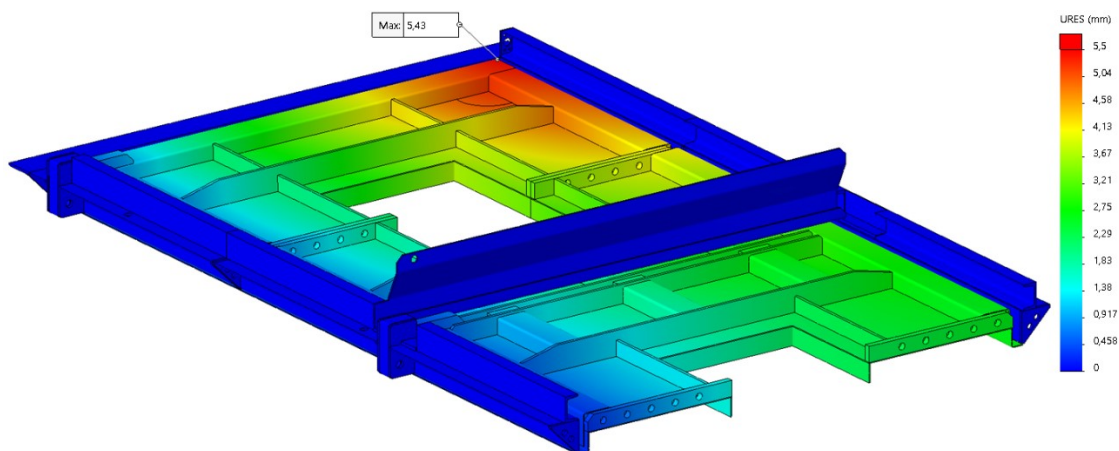


Figura 159 - URES: perspetiva inferior da simulação com tampa fechada e sujeita a sobrecarga.

O valor dos URES máximo obtido foi de cerca de 5,4 mm, próximo do local de aplicação da sobrecarga. Este valor não é relevante, uma vez que aquele local irá ser uma zona de contacto com o passeio onde irá estar inserido o equipamento, sendo este valor de deslocamento máximo limitado pelo piso.

Após análise dos esforços e URES, procedeu-se à análise de componentes, neste caso dos pinos das dobradiças (Figura 160 a) que permitem a abertura do equipamento. Na Figura 160 b) apresenta-se uma legenda da nomenclatura utilizada para designar os componentes. O lado exterior refere-se aos componentes mais próximos do término do equipamento (topo do equipamento que não tem continuidade).

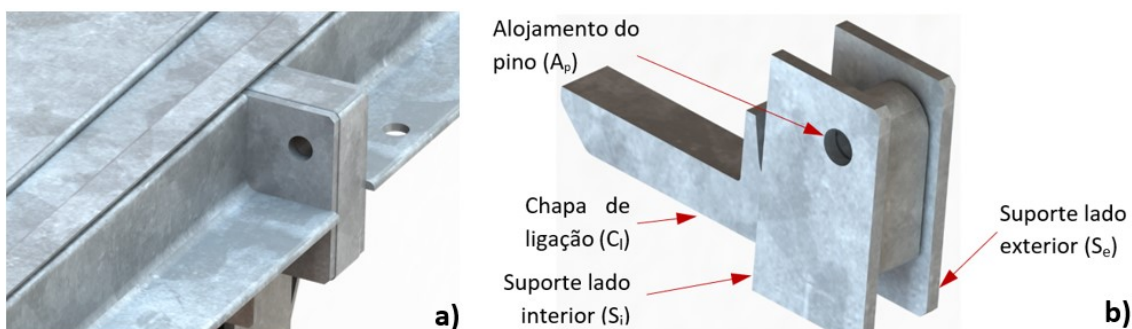


Figura 160 - Estrutura e elementos da dobradiça: a) perspectiva de montagem e b) nomenclatura dos componentes.

Na Tabela 24 mostram-se os valores máximos obtidos para os esforços atuantes nos pinos, medidos na zona do contacto com a chapa de ligação (C<sub>i</sub>).

Tabela 24 - Esforços atuantes nos pinos das dobradiças no ensaio da tampa fechada sujeita a sobrecarga.

Elemento	Corte (N)	M. Fletor (Nm)
<b>Dobradiça: lado exterior</b>	1411,4	62,4
<b>Dobradiça: lado interior</b>	1679,7	83,9

Com base nos valores registados na Tabela 24, irá proceder-se ao levantamento dos mais críticos, obtidos das três análises e, na conclusão deste estudo, irá realizar-se uma verificação destes pinos.

### 3.1.3.6.2 *Análise da estrutura no início da abertura*

A análise da tampa, no momento inicial da sua abertura, tem como principal objetivo verificar o cilindro aplicado, bem como os seus elementos de fixação. Se for possível diminuir o custo do cilindro tendo por base esta análise, deve ponderar-se esta situação no custo final do equipamento.

Os resultados obtidos das tensões equivalentes de von Mises são os apresentados na Figura 161 e Figura 162.

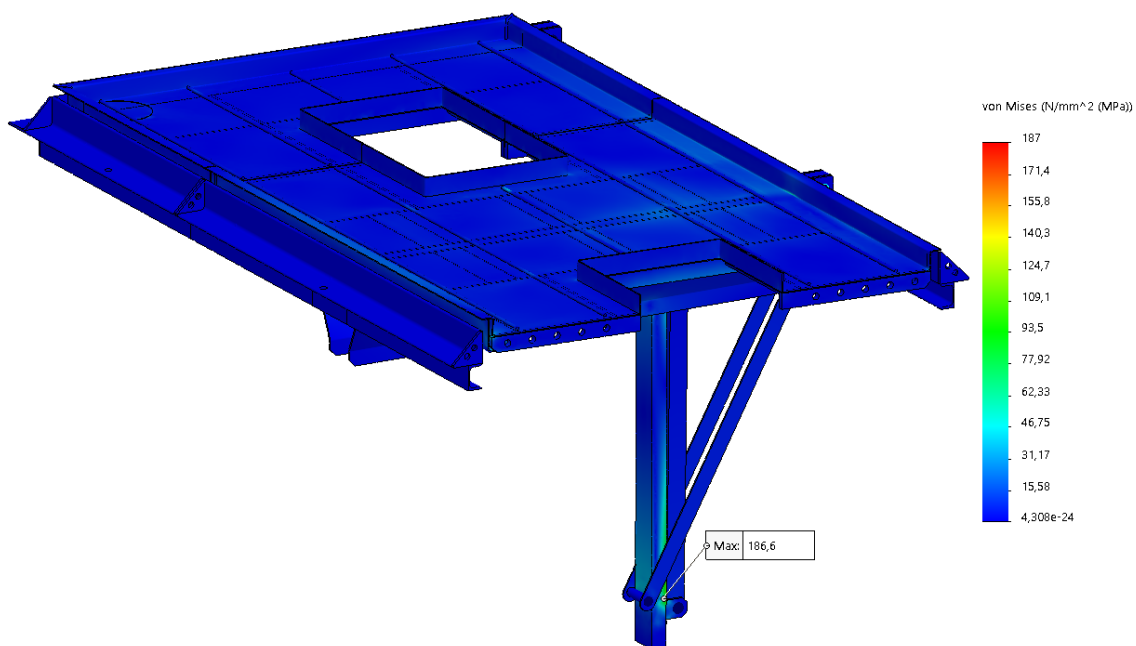


Figura 161 - Tensão de von Mises: perspetiva superior da simulação com a tampa em início de abertura.

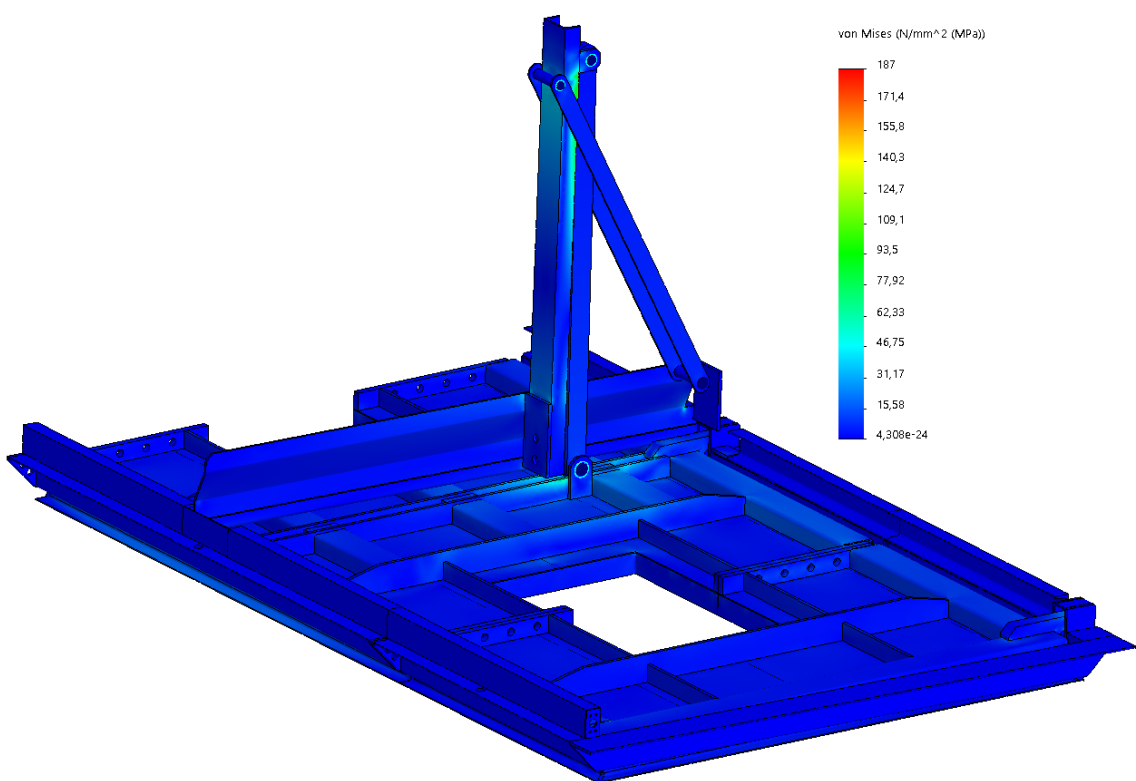


Figura 162 - Tensão de von Mises: perspetiva inferior da simulação com a tampa em início de abertura.

As zonas de maior concentração de tensões localizam-se na ligação do cilindro hidráulico. A tensão é maior na ligação inferior do cilindro onde, tal como se pode ver na Figura 163, existe uma tensão equivalente de von Mises de cerca de 187 MPa, o que corresponde a um FS mínimo de aproximadamente 1,3.

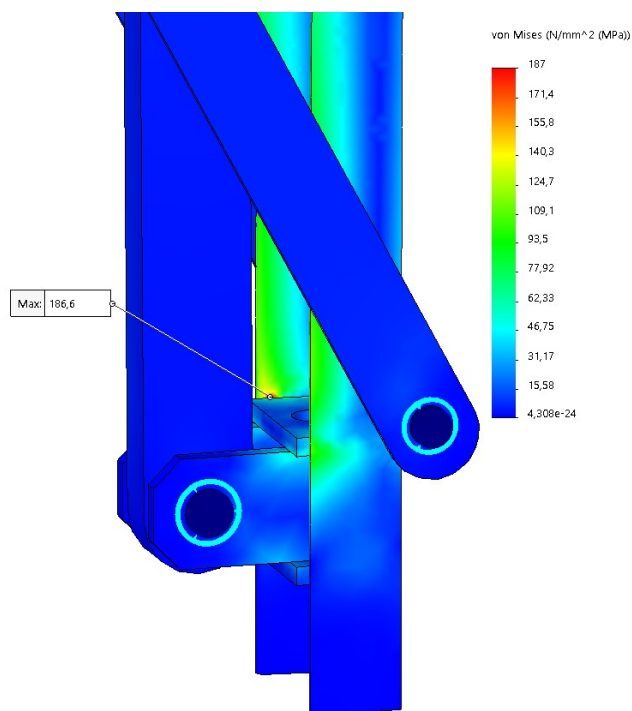


Figura 163 - Detalhe localizado da tensão de von Mises máxima na simulação com a tampa em início de abertura.

Relativamente aos URES obtidos, estes apresentam um valor pouco superior aos da análise anterior, o que se deve ao facto de a tampa da estrutura não se encontrar apoiada, dado que a mesma apenas se encontra suportada pelo cilindro hidráulico e pela dobradiça. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 164 e Figura 165, sendo o seu valor máximo aproximadamente 8 mm.

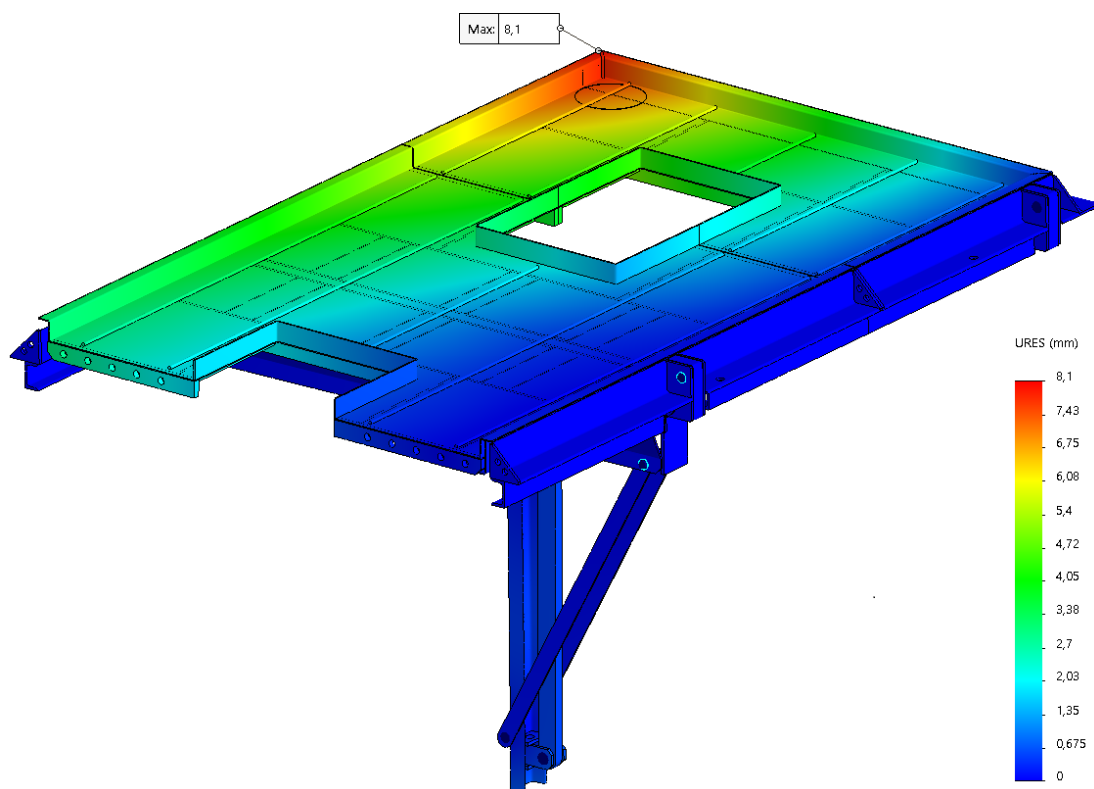


Figura 164 - URES: perspectiva superior da simulação com a tampa em início de abertura.

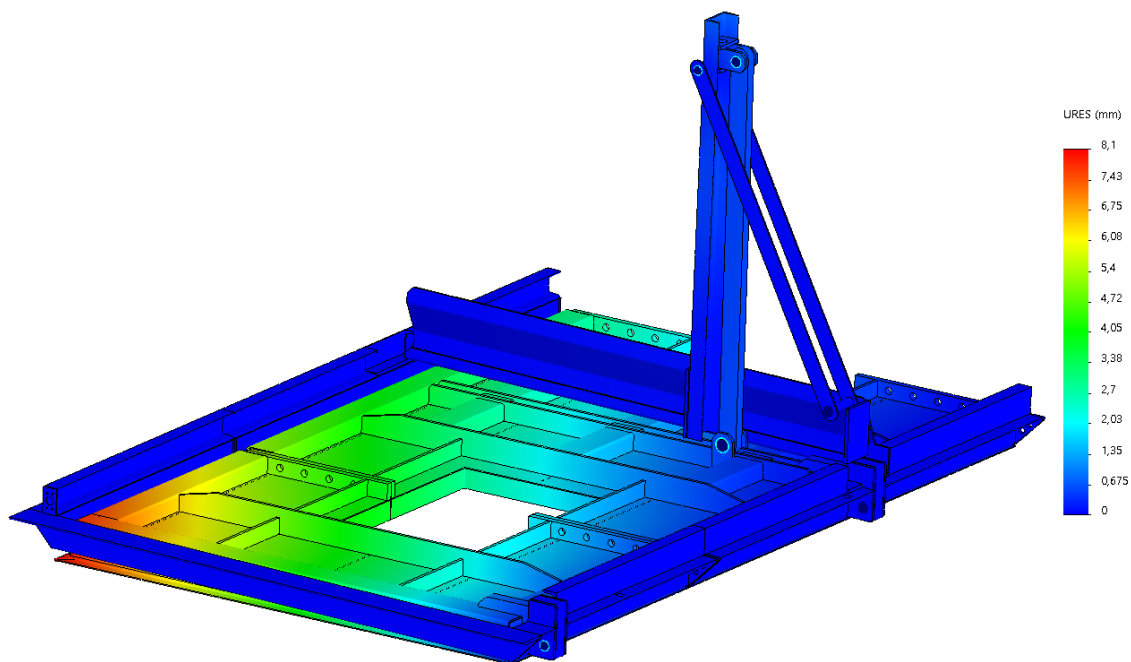


Figura 165 - URES: perspectiva inferior da simulação com a tampa em início de abertura.

Na análise da estrutura no início da abertura existe uma maior quantidade de elementos a dimensionar, nomeadamente elementos do tipo pino. Estes elementos, com a função de eixos de rotação, necessitam de suportar as cargas resultantes da ação do cilindro no momento da abertura. O valor máximo dos esforços atuantes nos pinos que unem os vários elementos é apresentado na Tabela 25.

Tabela 25 - Esforços atuantes nos pinos do equipamento no ensaio da tampa em início de abertura.

Elemento	Corte (N)	M. Fletor (Nm)
<b>Dobradiça: lado exterior</b>	3196,7	105,9
<b>Dobradiça: lado interior</b>	5468,5	193,1
<b>Cilindro: fixação superior</b>	9174,5	49,9
<b>Cilindro: fixação inferior</b>	9174,5	21,2
<b>Travamento: fixação superior</b>	3082,7	0,1
<b>Travamento: fixação inferior</b>	3085,7	5,8

### 3.1.3.6.3 *Análise da estrutura totalmente aberta*

A análise da tampa no momento em que esta se encontra totalmente aberta tem como principal objetivo verificar os esforços atuantes nas dobradiças e na estrutura de suporte.

Os resultados obtidos de tensões equivalentes de von Mises são os apresentados na Figura 166 e Figura 167.

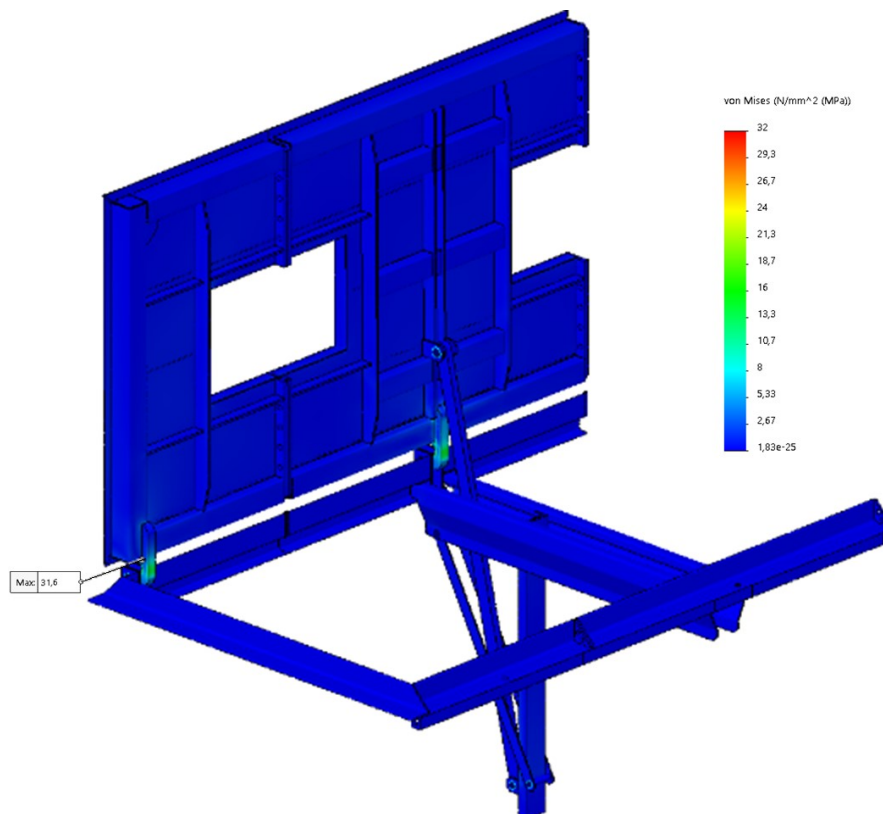


Figura 166 - Tensão de von Mises: perspetiva frontal da simulação com a tampa totalmente aberta.

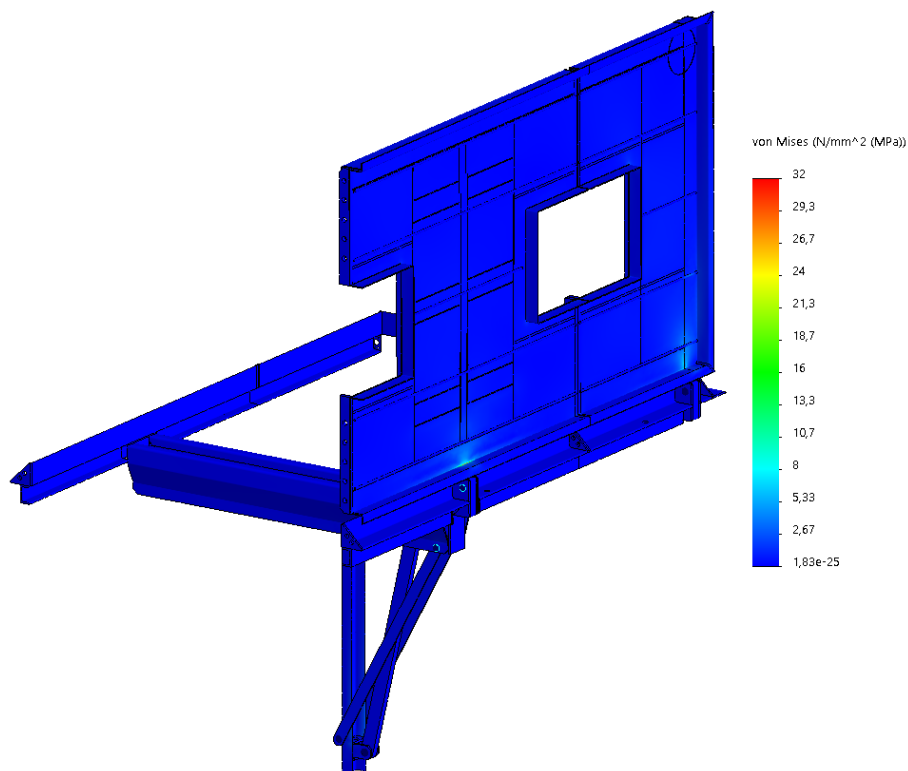


Figura 167 - Tensão de von Mises: perspetiva traseira da simulação com a tampa totalmente aberta.

As zonas de maior concentração de tensões localizam-se na chapa de ligação da estrutura às chapas laterais de suporte (chapa intermédia da dobradiça), sendo a sua magnitude 31,6 MPa, correspondendo a um  $FS \approx 7,4$ .

Os URES obtidos para ambos lados da estrutura são mostrados na Figura 168 e Figura 169. Os valores obtidos são quase desprezáveis uma vez que a estrutura se encontra apoiada perpendicularmente ao solo, existindo neste sentido uma inércia elevada da estrutura da tampa.

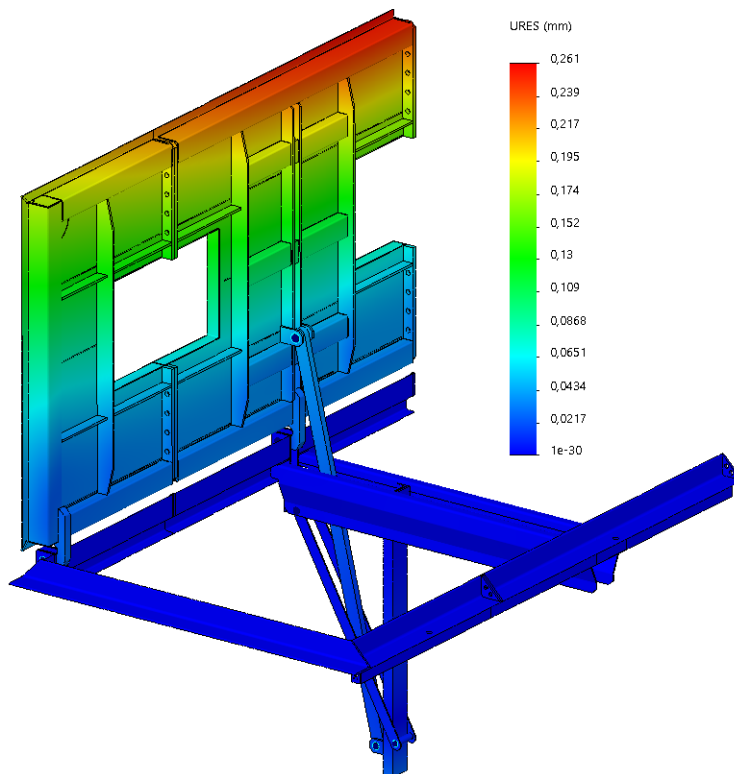


Figura 168 - URES: perspectiva frontal da simulação com a tampa totalmente aberta.

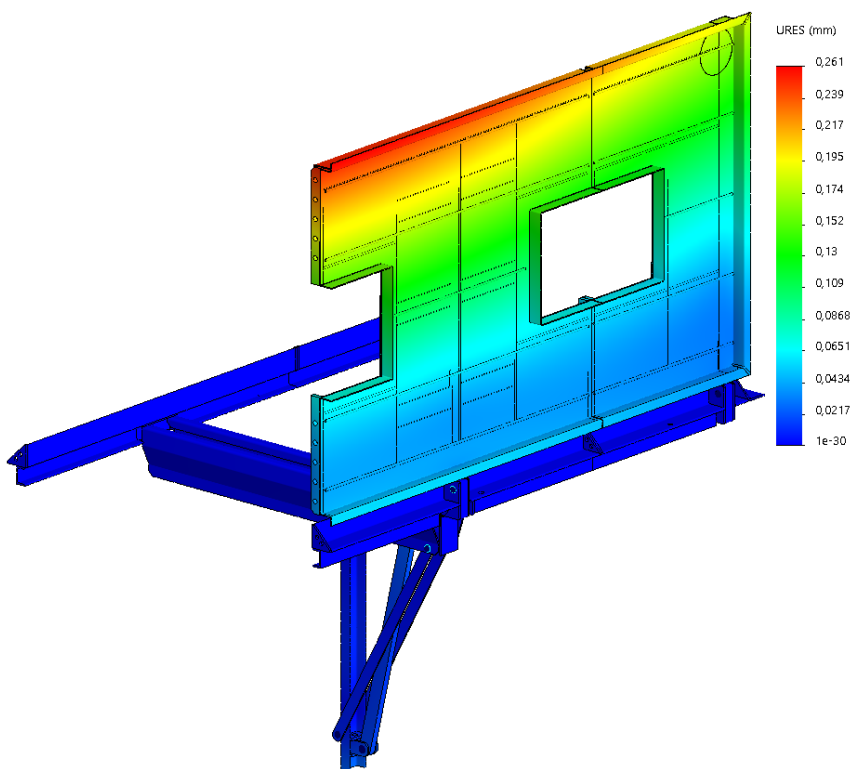


Figura 169 - URES: perspectiva traseira da simulação com a tampa totalmente aberta.

Na análise da estrutura totalmente aberta, é espectável que os elementos mais solicitados sejam as dobradiças, uma vez que o cilindro hidráulico apenas desempenha a função de manter a tampa perpendicular ao aro. Na Tabela 26 pode verificar-se este facto, bem como os esforços atuantes nos pinos das dobradiças.

Tabela 26 - Esforços atuantes nos pinos do equipamento no ensaio da tampa totalmente aberta.

Elemento	Corte (N)	M. Fletor (Nm)
<b>Dobradiça: lado exterior</b>	1769,3	18,4
<b>Dobradiça: lado interior</b>	1938,5	6,2
<b>Cilindro: fixação superior</b>	198,1	0
<b>Cilindro: fixação inferior</b>	198,0	0
<b>Travamento: fixação superior</b>	83,7	0
<b>Travamento: fixação inferior</b>	166,5	0

### 3.1.3.7 Verificações a realizar mediante os resultados obtidos

Das três análises realizadas, para além das conclusões a nível das tensões e deslocamentos na estrutura, com os valores obtidos como esforços nos pinos, elaborou-se a síntese da Tabela 27. Estes valores são os mais relevantes para a verificação de alguns elementos que serão validados ao longo do presente subcapítulo.

Tabela 27 - Valores mais relevantes para dimensionamento obtidos nas diversas análises.

Elemento	Corte (N)	M. Fletor (Nm)	Nº da análise	Ø <sub>Pino</sub> (mm)
<b>Fixação das dobradiças</b>	5468,5	193,1	2	22
<b>Fixação dos cilindros</b>	9174,5	21,2	2	32
<b>Fixação dos travamentos</b>	3085,7	5,8	2	22

#### 3.1.3.7.1 Verificação do diâmetro dos pinos

A verificação dos pinos que possibilitam a rotação dos elementos articulados foi um dos pontos estabelecidos como necessários. Nesse estudo foram tidos em conta os seguintes aspetos:

- a comprimento dos pinos de ligação;
- a folga existente entre as chapas laterais fixas e o elemento intermédio rotativo;
- a folga entre o pino e o furo existente no elemento intermédio.

As folgas definidas têm como objetivo possibilitar alguma liberdade para compensar desalinhamentos entre os vários elementos durante o seu funcionamento normal. Considerando os vários aspectos descritos, definiu-se, conservativamente, que seria mais adequado realizar uma análise tendo em conta a flexão existente no pino. Para esta abordagem ao problema, na Figura 170 apresentam-se os diagramas DCL, de esforços transversos e momentos fletores genéricos para a solicitação em causa.

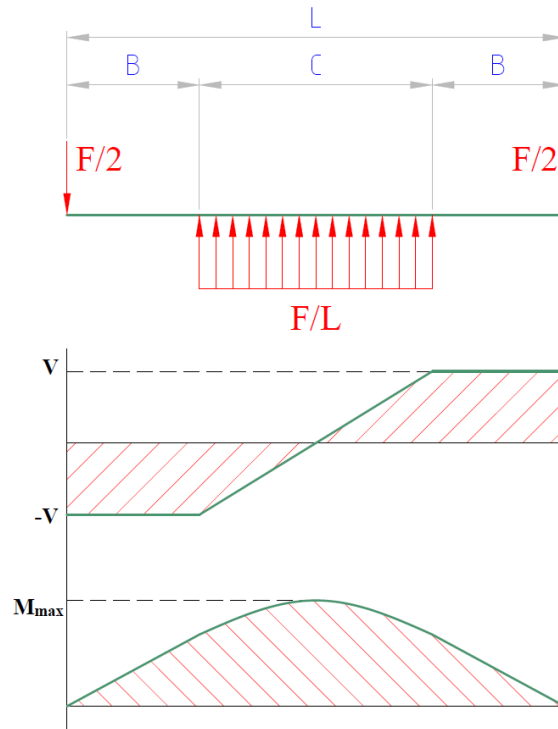


Figura 170 - DCL, diagrama de esforços transversos e momentos fletores simplificados para os pinos de ligação.

### **Pino do cilindro hidráulico**

No caso do pino do cilindro hidráulico as variáveis assumem os valores:  $\varnothing_{\text{Pino}}=32$  mm;  $F=9174,50$  N;  $L=60$  mm;  $B=14$  mm;  $C=32$  mm.

O valor da área ( $A$ ), momento de inércia ( $I$ ) e esforço cortante ( $V$ ), respetivamente, são dados por:

$$A = \pi r^2 = \pi \times 16^2 = 804,25 \text{ mm}^2 \quad (17)$$

$$I = \frac{\pi}{4} r^4 = \frac{\pi}{4} \times 16^4 = 51472,85 \text{ mm}^4 \quad (18)$$

$$V = \frac{F}{2} = \frac{9174,50}{2} = 4587,25 \text{ N} \quad (19)$$

Observando os diagramas de esforço transversal e de momento fletor da Figura 170, é possível concluir que existem três situações distintas de solicitações mais elevadas, são elas: corte puro, flexão ou combinação de ambos.

Verificando a sollicitação de corte puro, o valor de  $\tau_{Max}$  obtém-se da expressão:

$$\tau_{Max} = \frac{V}{A} = \frac{4587,25}{804,25} = 5,70 \text{ MPa} \quad (20)$$

Substituindo o valor de  $\tau_{Max}$  na expressão da tensão equivalente de von Mises:

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\sigma_M^2 + 3\tau_v^2} = \sqrt{3} \times \tau = \sqrt{3} \times 5,70 = 9,87 < 305 \text{ MPa} \quad (21)$$

O valor de  $M_{max}$ , obtido da equação deduzida para o momento fletor máximo, bem como o valor de  $\sigma_{Max}$ , que é atingido no mesmo ponto são, respetivamente, obtidos por:

$$M_{max} = -\frac{F}{2C} \left(\frac{C}{2}\right)^2 + \frac{F}{2} \left(\frac{C}{2}\right) + \frac{FB}{2} = -\frac{9174,50}{2 \times 32} \left(\frac{32}{2}\right)^2 + \frac{9174,50}{2} \left(\frac{32}{2}\right) + \frac{9174,50 \times 14}{2} = 100920 \text{ Nmm} \quad (22)$$

$$\sigma_{Max} = \frac{M \times y}{I} = \frac{100920 \times 16}{51472,85} = 31,37 \text{ MPa} \quad (23)$$

Substituindo o valor de  $\sigma_{Max}$  na expressão da tensão equivalente, verifica-se que:

$$\sigma_{vM} = \sigma_{Max} = 31,37 < 305 \text{ MPa} \quad (24)$$

No ponto limite onde  $V$  ainda é constante, os valores de  $M$ ,  $\sigma$  e  $\sigma_{vM}$  são dados por:

$$M_{(B=14, C=0)} = \frac{FB}{2} = \frac{9174,5 \times 14}{2} = 64221,50 \text{ Nmm} \quad (25)$$

$$\sigma_{(B=14, C=0)} = \frac{M \times y}{I} = \frac{64221,5 \times 16}{51472} = 19,96 \text{ MPa} \quad (26)$$

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\sigma_{(B=14, C=0)}^2 + 3\tau_v^2} = \sqrt{19,96^2 + 3 \times 5,70^2} = 22,27 < 305 \text{ MPa} \quad (27)$$

Recorrendo à equação (24), cujo valor de tensão equivalente obtido foi mais elevado, considerando  $FS=1,5$ , é possível calcular o diâmetro inferior de um pino que cumpra os requisitos:

$$\sigma_{vM} \leq \frac{\sigma_{ced}}{S} \Leftrightarrow \frac{4 \times M \times r}{\pi \times r^4} \leq \frac{305}{1,5} \Leftrightarrow r \geq \sqrt[3]{\frac{4 \times 100920}{\pi \times 203,33}} \Leftrightarrow r \geq 8,58 \text{ mm} \Rightarrow \phi \geq 18 \text{ mm} \quad (28)$$

Após a análise do pino em estudo, é possível concluir que, em novos equipamentos, caso seja benéfico, é possível satisfazer as solicitações de esforço do cilindro com um pino de calibre  $\varnothing 18$  mm.

### **Pino da dobradiça**

Para o caso do pino da dobradiça, as variáveis assumem os seguintes valores:

$\varnothing_{\text{Pino}}=22$  mm;  $F=5468,50$  N;  $L=46$  mm;  $B=3$  mm;  $C=40$  mm.

O valor de  $A$ ,  $I$  e  $V$ , são dados por:

$$A = \pi \times 11^2 = 380,13 \text{ mm}^2 \quad (29)$$

$$I = \frac{\pi}{4} \times 11^4 = 11499,01 \text{ mm}^4 \quad (30)$$

$$V = \frac{5468,50}{2} = 2734,25 \text{ N} \quad (31)$$

Após obter o valor das equações (29), (30) e (31), tal como no dimensionamento anterior, são estudadas as três situações distintas de maior esforço atuante no pino.

Cálculo de  $\tau_{\text{Max}}$  e  $\sigma_{vM}$ , obtidos mediante a solicitação única de corte puro:

$$\tau_{\text{Max}} = \frac{2734,25}{380,13} = 7,19 \text{ MPa} \quad (32)$$

$$\sigma_{vM} = \sqrt{3} \times \tau = \sqrt{3} \times 7,19 = 12,46 < 305 \text{ MPa} \quad (33)$$

O valor de  $M_{\text{max}}$ , obtido da equação deduzida para o momento fletor máximo, bem como o valor de  $\sigma_{\text{Max}}$ , que é atingido no mesmo ponto, são, respetivamente, obtidos por:

$$M_{\text{max}} = -\frac{5468,50}{2 \times 40} \left(\frac{40}{2}\right)^2 + \frac{5468,50}{2} \left(\frac{40}{2}\right) + \frac{5468,50 \times 3}{2} = 35545,25 \text{ Nmm} \quad (34)$$

$$\sigma_{\text{Max}} = \frac{M \times y}{I} = \frac{35545,25 \times 11}{11499,01} = 34,00 \text{ MPa} \quad (35)$$

Substituindo o valor de  $\sigma_{\text{Max}}$  na expressão da tensão equivalente, verifica-se que:

$$\sigma_{vM} = \sigma_{\text{Max}} = 34,00 < 305 \text{ MPa} \quad (36)$$

No ponto limite onde  $V$  ainda é constante, os valores de  $M$ ,  $\sigma$  e  $\sigma_{vM}$  são dados por:

$$M_{(B=3,C=0)} = \frac{5468,50 \times 3}{2} = 8202,75 \text{ Nmm} \quad (37)$$

$$\sigma_{(B=14,C=0)} = \frac{8202,75 \times 11}{11499,01} = 7,85 \text{ MPa} \quad (38)$$

$$\sigma_{vM} = \sqrt{7,85^2 + 3 \times 7,19^2} = 14,72 < 305 \text{ MPa} \quad (39)$$

Recorrendo à equação (36), cujo valor de tensão equivalente obtido foi mais elevado, considerando  $FS=1,5$ , é possível calcular o diâmetro inferior de um pino que cumpra os requisitos:

$$\sigma_{vM} \leq \frac{\sigma_{ced}}{1,5} \Leftrightarrow \frac{4 \times M \times r}{\pi \times r^4} \leq \frac{305}{1,5} \Leftrightarrow r \geq \sqrt[3]{\frac{4 \times 35545,25}{\pi \times 203,33}} \Leftrightarrow r \geq 6,06 \text{ mm} \Rightarrow \phi \geq 13 \text{ mm} \quad (40)$$

Após a análise do pino em estudo, é possível concluir que, em novos equipamentos, caso seja benéfico, é possível satisfazer as solicitações de esforço do cilindro com um pino de calibre  $\phi 13$  mm.

### 3.1.3.7.2 Dimensionamento do cilindro hidráulico

O dimensionamento do cilindro hidráulico de simples efeito que tem como função o levantamento da tampa é possível mediante a verificação de duas condições de solicitações de esforço no pino: no momento inicial de abertura da tampa e quando a tampa se encontra totalmente aberta (análises 2 e 3 do subcapítulo 3.1.3.6, respetivamente). A opção por um cilindro de simples efeito tem por objetivo reduzir custos uma vez que, no momento em que a tampa se encontra aberta, apenas é necessária uma pequena força para permitir que a mesma não assuma uma posição de equilíbrio quando se encontra perpendicular ao solo.

Para verificar a posição mais relevante para o dimensionamento do cilindro, foi necessário calcular a constante elástica da mola ( $k_{mola}$ ) utilizada atualmente na construção dos cilindros:

$$k_{mola} = \frac{\phi_{esp}^4 G}{8 \phi_{int}^3 N_e} = \frac{9^4 \times 78,6 \times 10^3}{8 \times 60^3 \times 18} = 16,58 \text{ N/mm} \quad (41)$$

onde:

$\varnothing_{\text{esp}}$ : diâmetro de uma espira (mm);

$\varnothing_{\text{int}}$ : diâmetro intermédio da mola (mm);

$G$ : módulo de elasticidade transversal do material EN 10270-1 DM: 78,6 GPa (Budynas & Nisbett, 2010);

$N_e$ : número total de espiras.

Através do  $k$  da mola, considerando que o comprimento total da mola é de 300 mm e que apenas irão ser comprimidos 115 mm da mola ( $L_c$ ), a força de compressão da mola ( $F_{cm}$ ) é dada por:

$$F_{cm} = k_{mola} \times L_c = 16,58 \times 115 = 1906,70 \text{ N} \quad (42)$$

Uma vez que o cilindro com a tampa aberta (análise 3) suporta um valor ( $F_{an3}$ ) de 198,10 N, somando ambos os componentes determina-se a força total necessária exercer pelo cilindro:

$$F_{total} = F_{cm} + F_{an3} = 1906,70 + 198,10 = 2104,80 \text{ N} \quad (43)$$

Uma vez que 2104.80 N é significativamente menor que os 9174,5 N obtidos na análise inicial de abertura da tampa (análise 2), a força de projeto a considerar no dimensionamento deve ser esta última.

Com este valor de força de projeto ( $F_p$ ), aproximadamente 917 kgf, e considerando um fator de carga ( $\eta$ ) de 0,5, atribuído mediante a carga ser aplicada ao longo de todo o curso do cilindro (Silva, 2017), é possível chegar à força de avanço ( $F_a$ ) necessária para o cilindro.

$$F_a = \frac{F_p}{\eta} = \frac{917}{0,5} = 1834,00 \text{ kgf} \quad (44)$$

Através da pressão de trabalho ( $P_t$ ) de 150 bar, é possível obter o diâmetro mínimo do interior do cilindro ( $\varnothing_c$ ):

$$\varnothing_c = 2 \times \sqrt{\frac{F_a}{\pi \times P_t}} = 2 \times \sqrt{\frac{1834}{\pi \times 150}} = 3,95 \text{ cm} \approx 40 \text{ mm} \quad (45)$$

O valor da pressão de trabalho requerida em condições normais estimadas no projeto (sem fatores de segurança), considerando um pistão de diâmetro 40 mm é dado por:

$$P_t' = \frac{F_a \times 4}{\pi \times \varnothing_c^2} = \frac{917 \times 4}{\pi \times 4^2} \approx 80 \text{ bar} \quad (46)$$

Este valor de pressão é aproximadamente metade da pressão de trabalho. No entanto, e visto que o acionamento dos cilindros irá ocorrer mediante a aplicação de pressão por parte de diferentes veículos de recolha, cujas bombas hidráulicas se podem encontrar em diferentes estados de conservação, entende-se que este valor é adequado.

Uma vez que os cilindros irão também ser solicitados à compressão, deverá também verificar-se a resistência da haste à encurvadura para evitar a sua deformação e possível rotura. Antes da verificação do diâmetro da haste, aplica-se, sobre o valor da força, um FS que deve ser de 3,5 (Cudell, 2014), obtendo-se o valor majorado da força admissível:

$$F_{adm} = F_a \times FS = 18340 \times 3,5 = 64190 \text{ N} \quad (47)$$

O diâmetro da haste ( $\phi_h$ ) mínimo necessário para validar a mesma à encurvadura é obtido da expressão:

$$F_{adm} = \frac{\pi^2 \times E \times J}{Le^2} \Leftrightarrow \phi_h = \sqrt[4]{\frac{Le^2 \times F_{adm} \times 64}{\pi^2 \times E \times \pi}} = \sqrt[4]{\frac{72,5^2 \times 64190 \times 64}{\pi^3 \times 2,1 \times 10^7}} = 2,40 \text{ cm} = 24 \text{ mm} \quad (48)$$

Onde:

$Le$ : Comprimento, em cm, segundo o Critério de Euler, obtido da Figura 171 (Caso 2);

$E$ : Módulo de elasticidade do aço:  $2,1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$ .

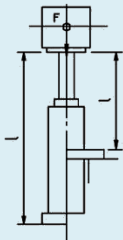
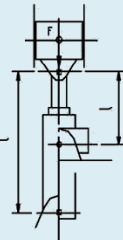
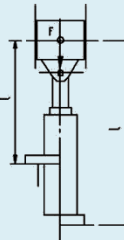
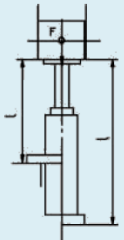
Solicitações Segundo EULER				
Casos	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Descrição	Uma extremidade livre. Uma extremidade fixa.	Duas extremidades articuladas.	Uma extremidade articulada. Uma extremidade fixa.	Duas extremidades fixas.
Tipo de Fixação				
Solução	$Le = 2.l$	$Le = l$	$Le = 0,7.l$	$Lp = 0,5.l$
Legenda	l = comprimento de encurvadura com a haste completamente estendida (* ) com olhal na ponta da haste			

Figura 171 - Critério de encurvadura: diagrama de Euler (excerto de Cudell (2014)).

Por fim, para a validação da parede do tubo do corpo do cilindro hidráulico (Figura 172), procedeu-se à verificação da mesma quando sujeita à pressão interna ( $p$ ) de 150 bar (15 MPa). Segundo a teoria dos cilindros de paredes espessas, esta pressão interna provoca uma distribuição de tensões ao longo da parede do tubo, como mostra a Figura 173 para a tensão tangencial ( $a$ ) e tensão radial ( $b$ ).

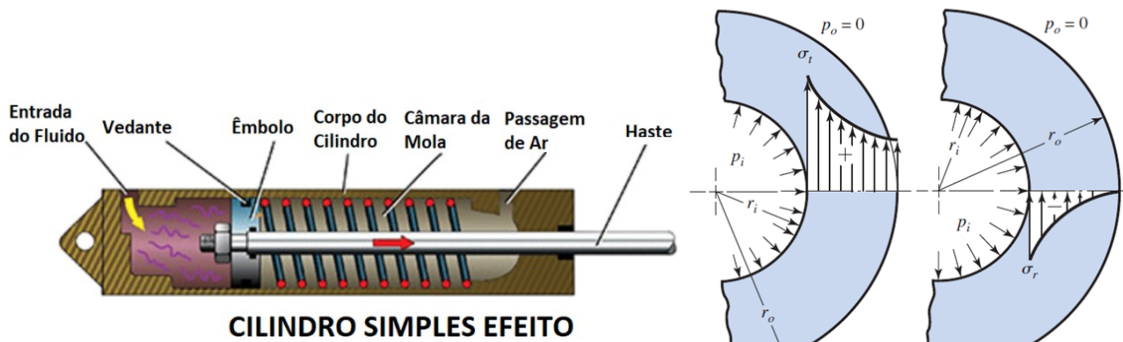


Figura 172 - Representação esquemática de um cilindro de simples efeito (adaptado de Gonzalez (2015)).

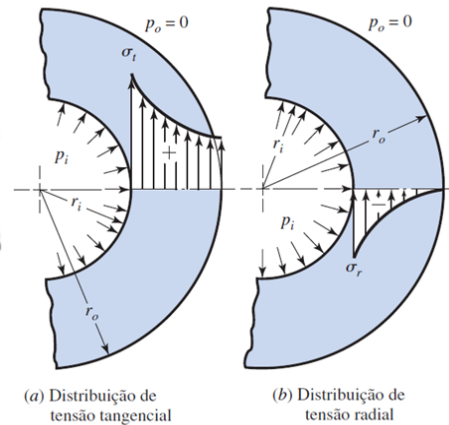


Figura 173 - Distribuição de tensões num cilindro de parede grossa sujeito a pressão interna (Budynas & Nisbett, 2010).

O valor máximo da tensão tangencial ( $\sigma_t$ ) e radial ( $\sigma_r$ ) é obtido na parede interior do tubo ( $r_i$ ). A tensão normal ( $\sigma_z$ ) é zero, uma vez que a força é exercida do êmbolo do cilindro. Como esta verificação tem por objetivo verificar a mínima espessura ( $t$ ) do cilindro que cumpre os requisitos, as expressões das três tensões terão de ser substituídas na expressão da tensão equivalente ( $\sigma_{VM}$ ), onde o raio exterior ( $r_o$ ) é igual a  $r_i+t$ , sendo a incógnita a espessura ( $t$ ). Dado tratar-se da análise da parede interna,  $r=r_i$ .

$$\sigma_t = \frac{pr_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left[ 1 + \left( \frac{r_o}{r} \right)^2 \right] = \frac{15 \times 20^2}{(20+t)^2 - 20^2} \left[ 1 + \left( \frac{20+t}{20} \right)^2 \right] \quad (49)$$

$$\sigma_r = \frac{pr_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \left[ 1 - \left( \frac{r_o}{r} \right)^2 \right] = \frac{15 \times 20^2}{(20+t)^2 - 20^2} \left[ 1 - \left( \frac{20+t}{20} \right)^2 \right] \quad (50)$$

$$\sigma_z = 0 \text{ MPa} \quad (51)$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_t - \sigma_z)^2 + (\sigma_t - \sigma_r)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2}{2}} \leq \frac{\sigma_{ced}}{FS} \quad (52)$$

Considerando o aço S235JR, ( $\sigma_{ced}=235$  MPa) e  $FS=2$ , substituindo (49), (50) e (51) em (52), obtém-se o mínimo valor de  $t$ :

$$t \geq 2,96 \approx 3 \text{ mm} \quad (53)$$

Após a verificação do cilindro, é possível concluir que este pode assumir outras combinações de parâmetros, desde que sejam cumpridos os mínimos estabelecidos na Tabela 28.

Tabela 28 - Valores mínimos aceitáveis para diferentes parâmetros do cilindro hidráulico.

<b>Diâmetro interior do cilindro (<math>\phi_c</math>)</b>	40 mm*
<b>Espessura da parede do tubo (<math>t</math>)</b>	3 mm*
<b>Força de atuação requerida (<math>F_p</math>)</b>	9170 N
<b>Diâmetro da haste (<math>\phi_h</math>)</b>	$\geq 24$ mm
<b>Distância entre eixos do cilindro fechado</b>	1098 mm
<b>Distância entre eixos do cilindro aberto</b>	1823 mm
<b>Curso do cilindro</b>	725 mm
<b>Comprimento da mola</b>	300 mm
<b>Força exercida pela mola quando comprimida 150 mm</b>	1907 N

\* Estes valores são dependentes um do outro, sendo necessária a sua validação no momento da alteração de algum deles. A modificação de algum destes parâmetros deve ser validada. Por forma a simplificar esta validação, visto tratar-se de cilindros com a relação  $\phi_c/t \leq 20$ , pode fazer-se a análise simplificada pela fórmula simplificada de Lamé, onde:

$$t \geq \frac{\phi_c}{2} \left[ \sqrt{\frac{\sigma_{ced} / S + p}{\sigma_{ced} / S - p}} - 1 \right] \quad (54)$$

Mediante o cumprimento desta condição, pode ser validada a opção por outros cilindros com diferentes combinações dos parâmetros assinalados com \*.

### 3.1.3.7.3 Dimensionamento de cordões de soldadura mais relevantes

Em todo o conjunto da estrutura, entende-se como o cordão mais relevante o que permite a ligação do cilindro ao perfil vertical (UPN 100) de suporte do mesmo. Esta ligação é ajustável, dada a necessidade de ajustes futuros na montagem em obra. A ligação consiste em duas chapas soldadas no perfil, unidas através de varão roscado e porcas M24 de classe 8.8. Entre as duas chapas é posicionado o conjunto soldado que irá permitir a ligação do cilindro, formado por quatro chapas, duas das quais semelhantes às referidas anteriormente, tal como se observa na Figura 174.

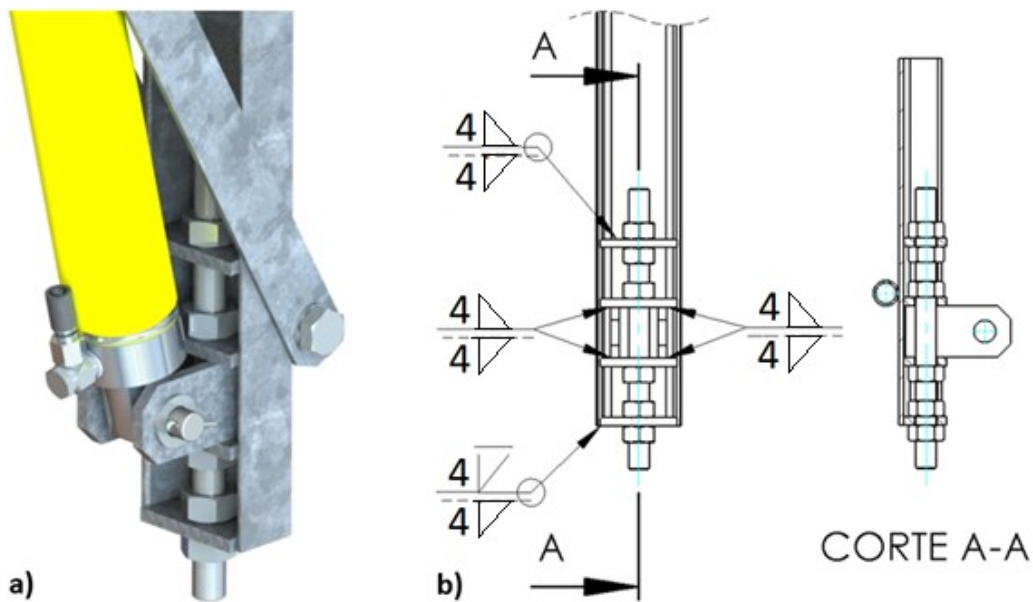


Figura 174 - Ligação inferior do cilindro à estrutura: a) perspectiva de montagem, b) representação das soldaduras e vista em corte.

Para a verificação da resistência do cordão de soldadura, procedeu-se a uma pesquisa, por forma a enquadrar a forma de aplicação do esforço transmitido pelas porcas às chapas de suporte. Budynas e Nisbett (2010) definem como tensões em ligações soldadas em torção e flexão, os casos de carga apresentados na Figura 175 a) e Figura 175 b), respetivamente. No caso em estudo, é possível verificar que existe uma combinação de ambas estas solicitações que, dada a dimensão reduzida da chapa, bem como a distância do ponto de aplicação da força até ao cordão de soldadura, por aproximação, se pode reduzir às componentes de tensão normal perpendicular à espessura ( $\sigma_{\perp}$ ) e tangencial perpendicular ao eixo da soldadura ( $\tau_{\perp}$ ), tal como se mostra na Figura 175 c).

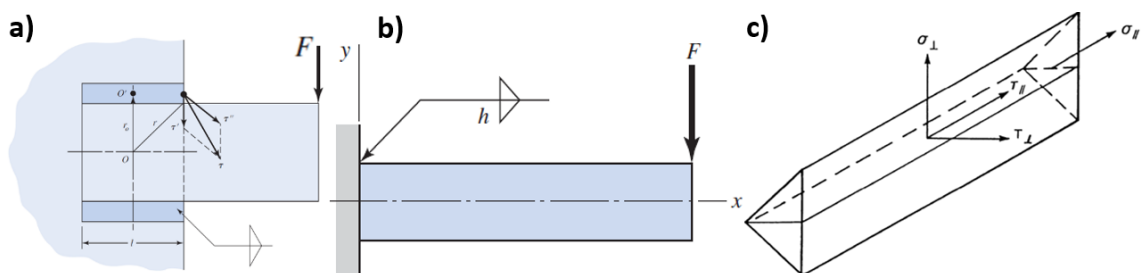


Figura 175 - Tensões em ligações soldadas provocadas por: a) torção, b) flexão (adaptado de Budynas e Nisbett (2010)) e c) tensões no plano que define o cordão (CEN, 2010b).

ANSI (2016) define, em função da espessura da chapa mais grossa, comprimentos para a perna de filetes (cota “ $b$ ” da Figura 176). Na Tabela 29 apresentam-se os comprimentos de  $b$  para espessuras das chapas mais grossas superiores a 6,3 mm.

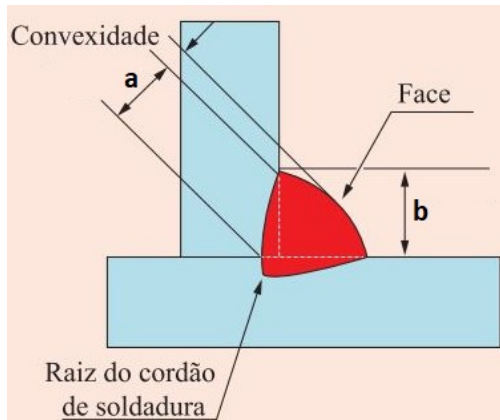


Figura 176 - Nomenclatura da geometria dos cordões de soldadura (adaptado de Silva, 2016).

Tabela 29 - Dimensões mínimas para pernas ( $b$ ) de filetes (ANSI, 2016).

Espessura da chapa grossa (mm)	Comprimento da perna do filete ( $b$ ) (mm)
Até 6,3	3
6,3 - 12	5
12,5 - 19	6
> 19	8

Tendo por base o EC3-1-8, procedeu-se à verificação da resistência do cordão de soldadura. Após se ter definido  $b=5$ , tendo em consideração que a chapa mais grossa a soldar tem 10 mm de espessura, define-se a garganta efetiva ( $a$ ):

$$a = \cos 45^\circ \times b = \cos 45^\circ \times 5 \approx 4 \text{ mm} \quad (55)$$

Por sua vez, a área efetiva da solda,  $A_w$ , é dada por:

$$A_w = \sum a \times L_{eff} = 4 \times [(100 + 2 \times 50) - 2 \times 4] = 768 \text{ mm}^2 \quad (56)$$

Onde:

$L_{eff}$ : Comprimento efetivo do cordão = comprimento total de cordão –  $2 \times a$ ;

Tendo em conta a existência de quatro cordões de soldadura, dois em cada placa, dividindo a força total pelo número de cordões, tem-se  $\sigma_\perp$  e  $\tau_\perp$ :

$$\sigma_\perp = \frac{F_\perp}{A_w} = \frac{(9174,5 / 4) \times \cos 45^\circ}{768} = 2,11 \text{ MPa} \quad (57)$$

$$\tau_\perp = \frac{F_\perp}{A_w} = \frac{(9174,5 / 4) \times \cos 45^\circ}{768} = 2,11 \text{ MPa} \quad (58)$$

Fazendo a verificação das duas condições finais imposta no EC3-1-8 para cordões de ângulo, obtém-se:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3 \times \tau_\perp^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{M2}} \Leftrightarrow \sqrt{2,11^2 + 3 \times 2,11^2} \leq \frac{360}{0,8 \times 1,25} \Leftrightarrow 4,22 \leq 360 \text{ MPa} \quad (59)$$

$$\sigma_\perp \leq 0,9 \times \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \Leftrightarrow 2,11 \leq 0,9 \times \frac{360}{1,25} \Leftrightarrow 2,11 \leq 259,2 \text{ MPa} \quad (60)$$

Onde:

$\beta_w$  – fator de correlação do aço S235 (Figura 177);

$g_{M2}$  – fator parcial de segurança da ligação soldada (Figura 178).

Norma e classe de aço			Factor de correlação
EN 10025	EN 10210	EN 10219	$\beta_w$
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85

Figura 177 - Fator de correlação  $\beta_w$  para soldaduras em ângulo (excerto de CEN (2010b)).

Resistência dos elementos e das secções transversais	$\chi_{M0}$ , $\chi_{M1}$ e $\chi_{M2}$ ver a EN 1993-1-1
Resistência dos parafusos	$\chi_{M2}$
Resistência dos rebites	
Resistência das cavilhas	
Resistência das soldaduras	
Resistência das chapas ao esmagamento	

Figura 178 - Coeficientes parciais de segurança para as ligações (excerto de CEN (2010b)).

Ao analisar as expressões (59) e (60), conclui-se que os cordões de soldadura suportam esforços significativamente mais elevados, sendo assim validada a ligação projetada.

### 3.1.3.8 Alterações propostas à estrutura atual do HS

No decorrer dos processos de fabrico e montagem do HS, assim como no projeto do equipamento, existem ideias de possíveis alterações que vão surgindo, sendo algumas delas as que apresentam mais viabilidade, anotadas e posteriormente alvo de estudo por parte do departamento técnico e comercial. Algumas destas possíveis atualizações ao equipamento não avançam devido à necessidade da realização de estudos mais elaborados ao nível da verificação das tensões existentes na estrutura provocadas pelos esforços atuantes. As diversas atualizações a que o projeto foi alvo ao longo do tempo tiveram como principal objetivo baixar o custo unitário do equipamento, bem como tornar possível uma melhor resposta às necessidades do mercado, possibilitadas através da versão modular (mais recente) do equipamento. Nesta versão têm existido alguns problemas na fase da aplicação do tratamento superficial, conferido essencialmente pela galvanização a quente. Deste processo podem resultar distorções, devido sobretudo às tensões induzidas durante a fabricação do aço e/ou durante a fabricação e montagem dos conjuntos, mais especificamente das chapas de menor espessura (Galvaza, 2020). Este fenómeno atualmente ocorre principalmente na chapa que irá servir de suporte ao piso.

Compilando todas as informações reunidas ao longo da vasta experiência de diversas pessoas que colaboraram na comercialização, projeto e fabrico do equipamento, procedeu-se ao levantamento de informações relevantes acerca de aspetos que poderiam melhorar a competitividade e o funcionamento do equipamento, destacando-se:

- a estrutura demasiadamente robusta face aos equipamentos da concorrência;
- a chapa de suporte da estrutura deveria ser aplicada galvanizada antes da aplicação na estrutura de base do equipamento, dado que neste tratamento superficial a chapa de suporte do piso tende a sofrer empenos significativos, devido à sua espessura;
- verificar a possibilidade da gola de receção do marco na chapa de piso fazer parte da mesma (quinada), por forma a reduzir o tempo do processo de soldadura, uma vez que esta deve garantir estanquicidade;
- o perfil UPN 80 de suporte de betão do lado das dobradiças poderá ser dispensável dada a cofragem realizada em obra;
- o perfil UPN 80 localizado do lado frontal do equipamento, com as funções de suporte de betão e de passagem da tubagem hidráulica, poderá ser menos robusto;
- chapas de ligação e elementos de fixação entre módulos estão sobredimensionados;
- reforços e protetores da base dos marcos podem ser aligeirados, furados e quinados para fixar a chapa de piso;
- estudar as potencialidades da recente aquisição da máquina de corte plasma no corte e furação de algumas chapas;
- reduzir ao máximo a utilização de elementos que, após montagem, formem perfis fechados, evitando assim a abertura de furações à posteriori, necessárias para permitir a penetração do líquido da galvanização, bem como permitir a dilatação do material;
- explorar a possibilidade de utilizar cilindros hidráulicos *standard*.

Na Figura 179 identificam-se os elementos cuja alteração é tida como fulcral após a análise dos tópicos anteriores.

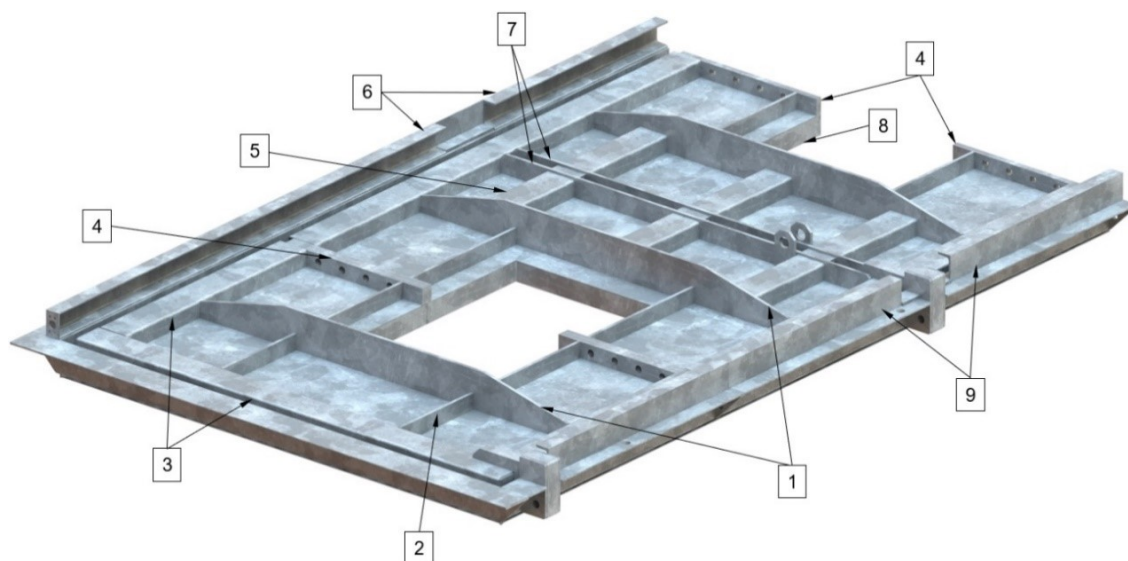


Figura 179 - Perspetiva inferior sem alterações e com os componentes mais relevantes referenciados (estrutura de suporte do cilindro oculta).

Na Tabela 30 indicam-se, justificadamente, as alterações propostas aos componentes referenciados na Figura 179.

Tabela 30 - Lista de propostas de alterações a realizar na estrutura do equipamento HS.

Ref.	Alteração proposta
1	Reforço da estrutura e protetor da ligação ajustável da base do marco: componente inicialmente em barra de $120 \times 10 \text{ mm}^2$ , alterado para chapa de espessura 6 mm quinada, perfazendo uma altura de 80 mm após quinagem, e com furação rasgada no corte a plasma na aba menor para facilitar a fixação posterior da chapa de receção do piso.
2	Reforço e travamento da estrutura: inicialmente em barra de $50 \times 10 \text{ mm}^2$ , propõe-se a alteração para chapa de espessura 4 mm, cortada a plasma com furos rasgados e posteriormente quinada.
3	Aro da tampa: para este perfil em chapa de espessura 4 mm, quinada em U, propõe-se a redução da sua espessura para 3 mm e o acréscimo de uma quinagem de maneira a formar uma aba para fixação da chapa de suporte do piso.
4	Elementos de ligação entre módulos: para estes perfis, atualmente em barra de $50 \times 20 \text{ mm}^2$ , propõe-se a sua substituição para chapa de 12 mm, quinada, sendo as suas furações obtidas através de corte por plasma.

5 Perfil de reforço da zona de ligação do cilindro: para este perfil U de espessura 4 mm, inicialmente obtido por quinagem, é proposta a sua alteração para um perfil *standard* em T de 50×5 mm<sup>2</sup>.

6 Perfil de passagem da tubagem hidráulica e apoio de cofragem frontal do equipamento: dado este perfil ser necessário apenas para a condução da tubagem desde a tomada de força até aos elementos hidráulicos, propõe-se a alteração do UPN 80 atual para um perfil em chapa quinada de espessura 2 mm.

7 Elementos de distribuição da carga aplicada pelo cilindro hidráulico: no caso destes componentes, em barra de 60×10 mm<sup>2</sup>, é proposta também a sua alteração para um perfil de espessura 6 mm, quinado em L, tendo a aba superior furação para fixação da chapa de suporte do piso.

8 Gola de entrada do marco e suporte ao piso: esta gola atualmente consiste numa chapa de 60×4 mm<sup>2</sup>, quinada em U e posteriormente soldada à chapa de suporte do piso. Propõe-se que esta gola seja quinada a partir da chapa do piso (espessura 3 mm), reduzindo assim a quantidade de soldadura uma vez que apenas é necessário soldar os cantos.

9 Perfil de apoio de cofragem traseira do equipamento: propõe-se a eliminação deste perfil UPN 80, uma vez que a cofragem poderá ser realizada com elementos provisórios independentes da estrutura do equipamento.

Com base nas observações da Tabela 30, procedeu-se à alteração do modelo simplificado de análise MEF, apresentando-se o novo modelo na Figura 180, onde constam também referenciados os componentes que foram sujeitos a alterações.

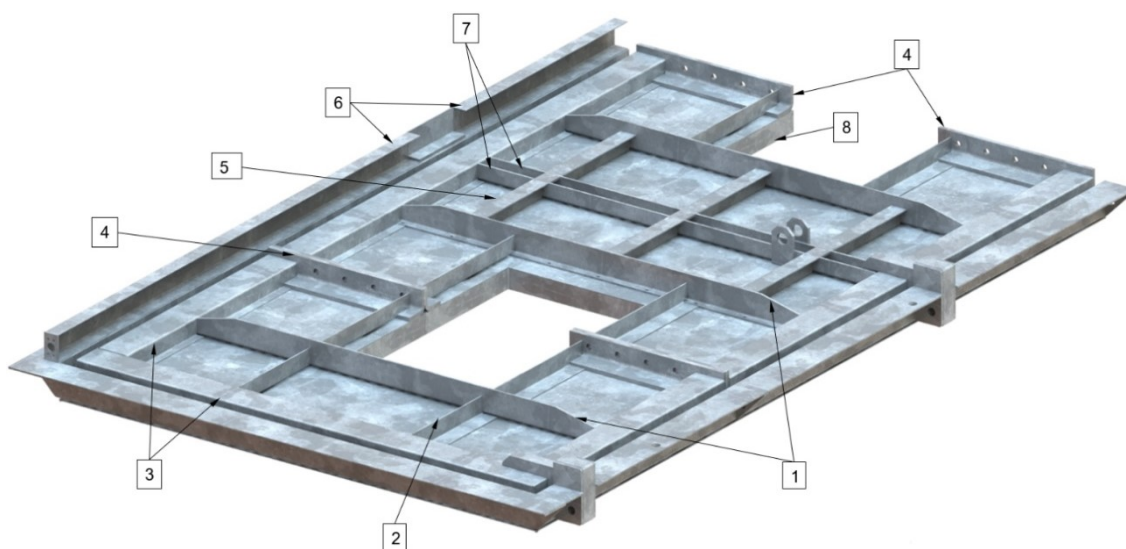


Figura 180 - Perspetiva inferior com alterações e componentes mais relevantes referenciados (estrutura de suporte do cilindro oculta).

Após a obtenção do novo modelo com todas as alterações, este foi submetido a validação pelo MEF. Uma vez que os elementos mais suscetíveis a concentrações de tensões na análise foram as dobradiças e, dado estas não terem sido alvo de alterações, por forma a simplificar a validação, consideraram-se apenas as análises da tampa fechada com a sobrecarga imposta na legislação e também a análise da estrutura na iminência da sua abertura (sem sobrecarga). Estas duas análises são similares às análises 1 e 2 realizadas no subcapítulo 3.1.3.6. Optou-se por não realizar novamente a análise 3 uma vez que se verificou anteriormente que esta hipótese não se traduz num caso crítico. Os parâmetros da malha MEF são mostrados, para ambas as análises, na Figura 181.

Study name	Tampa Fechada (-Default)	Study name	Tampa Inicio Abertura (-Default)
Mesh type	Solid Mesh	Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Curvature-based mesh	Mesher Used	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 points	Jacobian points	4 points
Max Element Size	30 mm	Max Element Size	30 mm
Min Element Size	6 mm	Min Element Size	6 mm
Mesh quality	High	Mesh quality	High
Total nodes	823438	Total nodes	874719
Total elements	403891	Total elements	428177
Remesh failed parts with incompatible mesh	On	Remesh failed parts with incompatible mesh	On
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:17	Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:27
Computer name	a)	Computer name	b)

Figura 181 - Detalhes da malha utilizada na análise MEF da estrutura alterada: a) fechada com sobrecarga e b) iminência da abertura.

#### 3.1.3.8.1 Análise da tampa fechada com sobrecarga

A primeira análise a realizar, tal como anteriormente, consiste na análise da estrutura com a tampa fechada e com a sobrecarga imposta pela legislação na zona mais crítica. Mantendo as condições fronteira semelhantes às análises anteriormente realizadas, os resultados obtidos de tensões equivalentes de von Mises são os apresentados na Figura 182 e Figura 183.

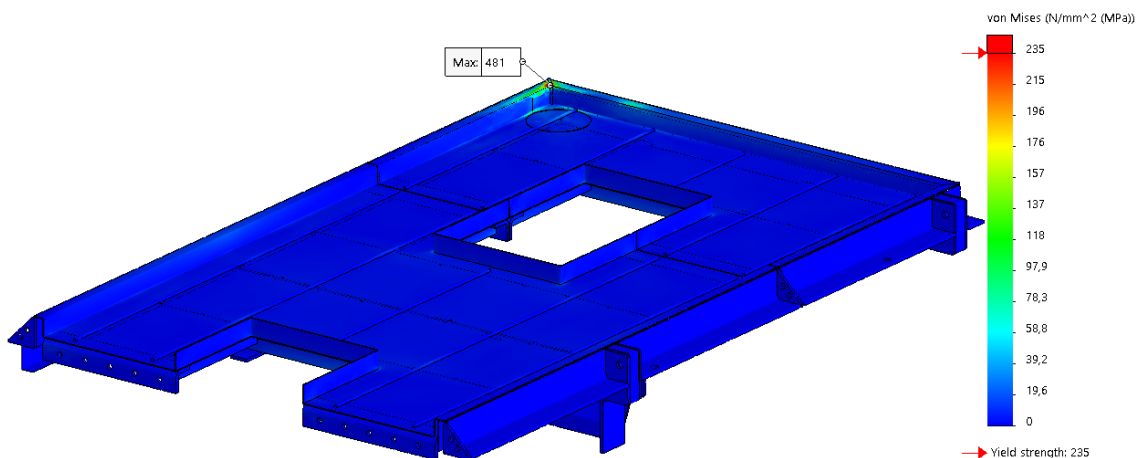


Figura 182 - Tensão de von Mises: perspectiva superior da simulação da nova estrutura com tampa fechada e sujeita a sobrecarga.

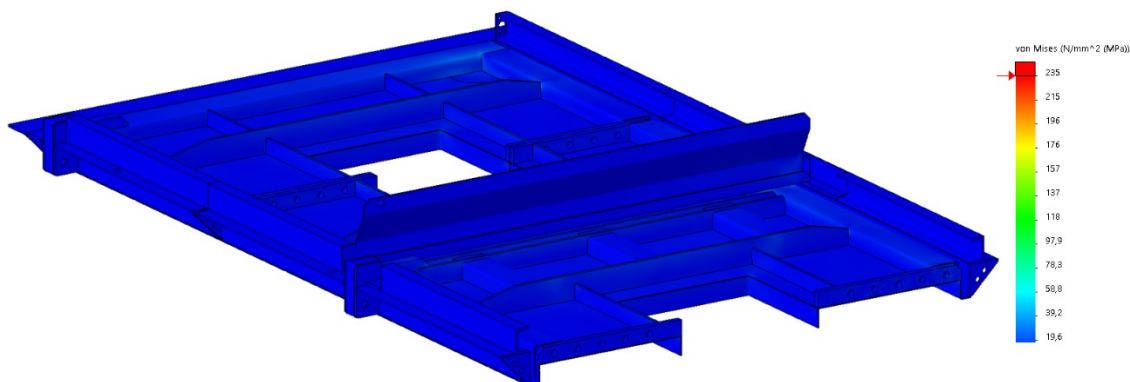


Figura 183 - Tensão de von Mises: perspectiva inferior da simulação da nova estrutura com tampa fechada e sujeita a sobrecarga.

A zona de maior concentração de tensões localiza-se, tal como anteriormente, na extremidade da estrutura, perto do local de aplicação da sobrecarga. Nesta zona, tal como se pode ver de forma ampliada na Figura 184, as tensões equivalentes podem atingir um pico de 481 MPa, valor esse sensivelmente uma vez e meia inferior ao pico (760 MPa) obtido na análise da estrutura correspondente, antes das alterações.

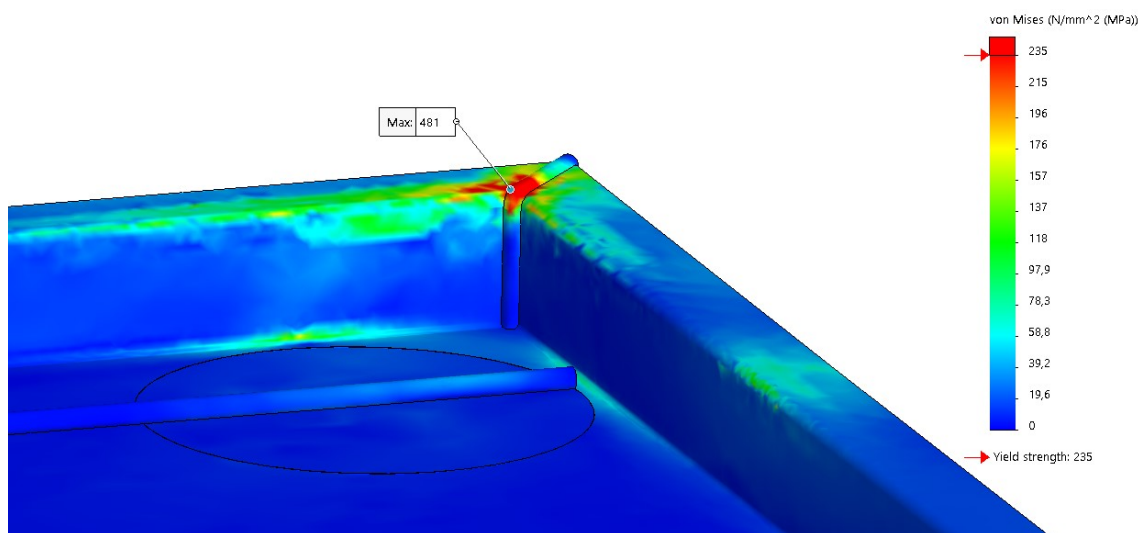


Figura 184 - Detalhe da tensão de von Mises máxima.

Na Figura 185 apresenta-se o resultado da análise na zona de maior concentração de tensões com a escala limitada a FS=10. É possível verificar um aumento do FS de 0,31 para 0,49. Comparativamente com a Figura 139, também se verifica que a zona onde o FS se encontra abaixo de 10, diminui substancialmente.

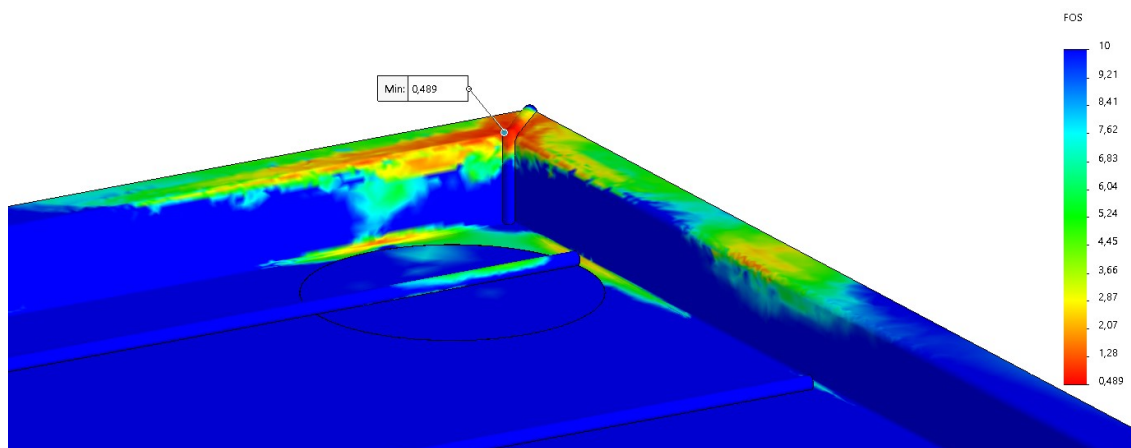


Figura 185 - Zona crítica considerando FS=10.

Limitando o FS visível ao valor máximo de 1,5, na Figura 186, verifica-se que a zona crítica se encontra na zona da junção dos dois planos da chapa conformada, onde existirá o cordão de soldadura. O cordão de soldadura é realizado num material mais nobre que o material de base, permitindo localmente melhores propriedades mecânicas que na estrutura em geral. Este facto possibilita uma maior margem de manobra no estudo deste caso de carga.

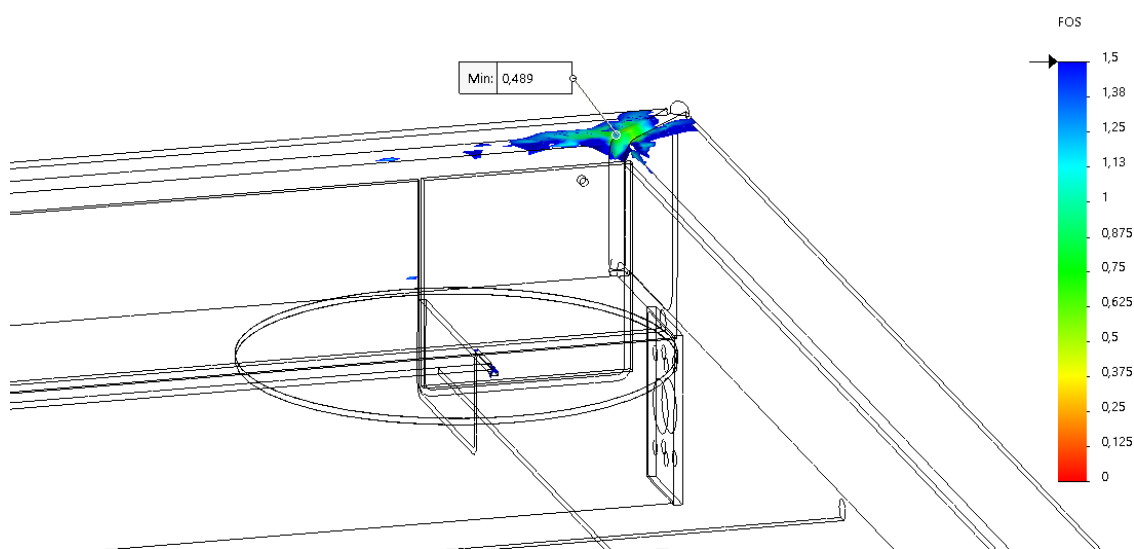


Figura 186 - Zona crítica considerando FS =1,5.

No que respeita a URES, não muito relevantes para este estudo, na Figura 187 e Figura 188, apresentam-se os resultados obtidos numa perspetiva superior e inferior, respetivamente.

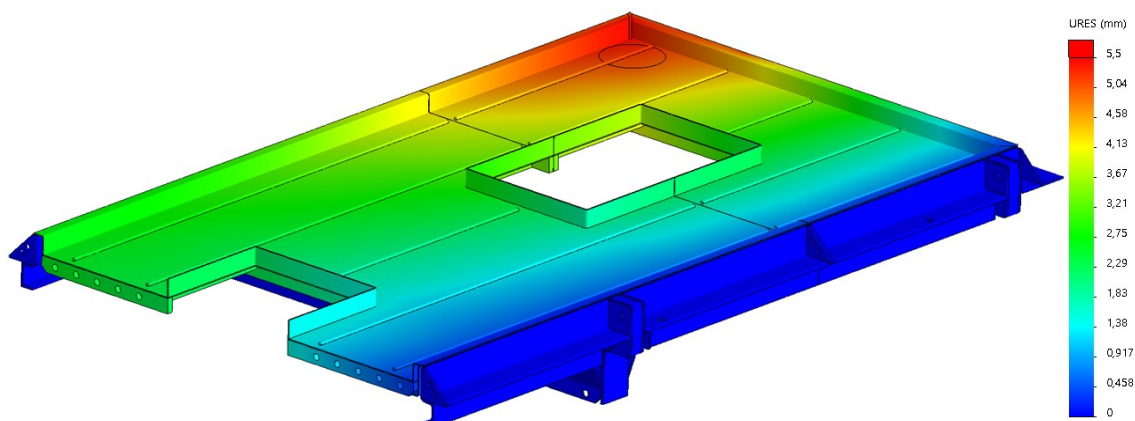


Figura 187 - URES: perspectiva superior da simulação da nova estrutura com a tampa fechada e sujeita a sobrecarga.

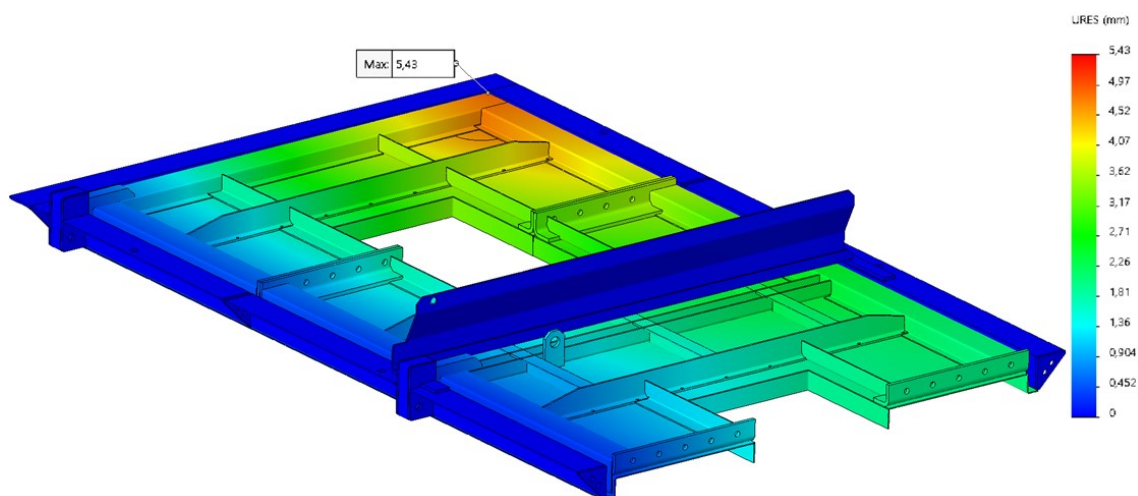


Figura 188 - URES: perspectiva inferior da simulação da nova estrutura com a tampa fechada e sujeita a sobrecarga.

O valor dos URES máximos, tal como na anterior abordagem análoga, foi cerca de 5,4 mm, obtido num local idêntico ao primeiro.

No que respeita aos pinos de fixação das dobradiças, os resultados para os esforços mais relevantes são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Esforços atuantes nos pinos das dobradiças no ensaio com sobrecarga da estrutura alterada.

Elemento	Corte (N)	M. Fletor (Nm)
<b>Dobradiça: lado exterior</b>	1544,8	22,6
<b>Dobradiça: lado interior</b>	2137,4	24,3

### 3.1.3.8.2 *Análise da estrutura no início da abertura*

O caso de carga analisado seguidamente, corresponde à iminência da abertura da tampa. Esta análise é semelhante à realizada no subcapítulo 3.1.3.6.2, com a estrutura revista, sujeita às mesmas solicitações de esforço. Na Figura 189 e Figura 190 apresentam-se os resultados obtidos para as tensões equivalentes.

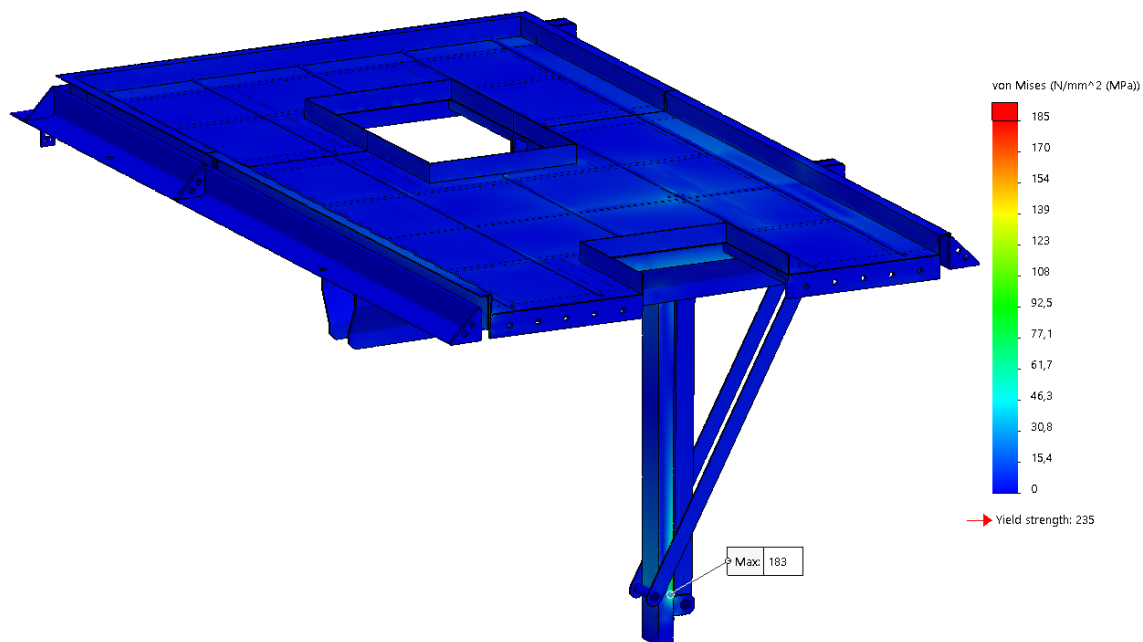


Figura 189 - Tensão de von Mises - perspectiva superior da simulação da nova estrutura com a tampa em início de abertura.

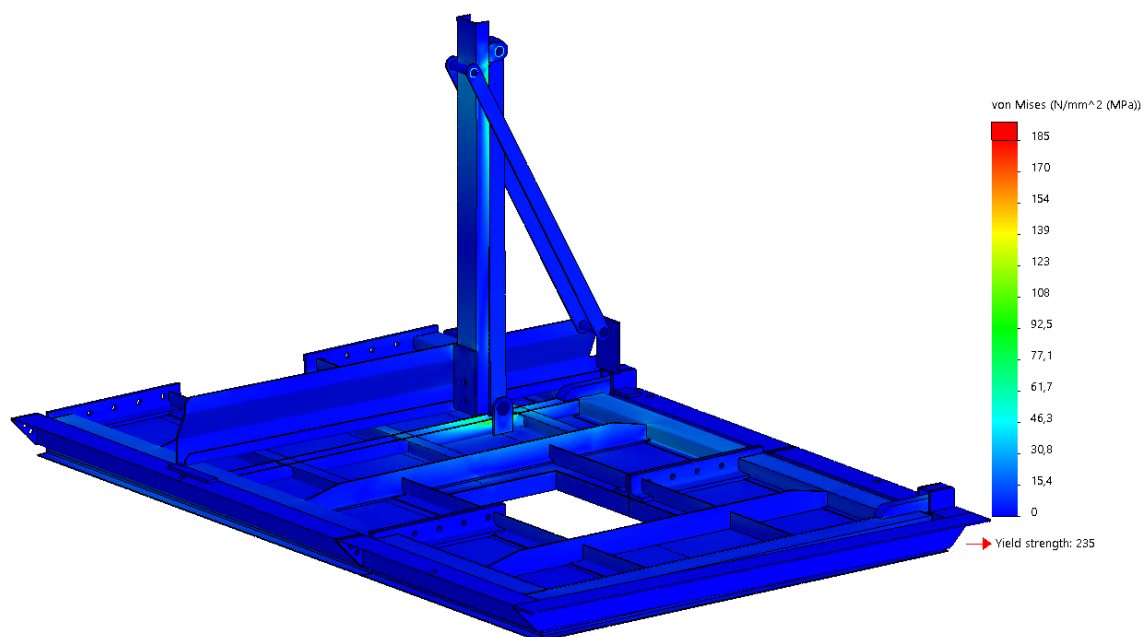


Figura 190 - Tensão de von Mises - perspectiva inferior da simulação da nova estrutura com a tampa em início de abertura.

Tal como na análise análoga, a maior concentração de tensões localiza-se na ligação inferior do cilindro hidráulico (Figura 191). No ponto de tensão máxima é atingido um valor de 183 MPa, permitindo estabelecer para esta análise um FS mínimo de aproximadamente 1,3.

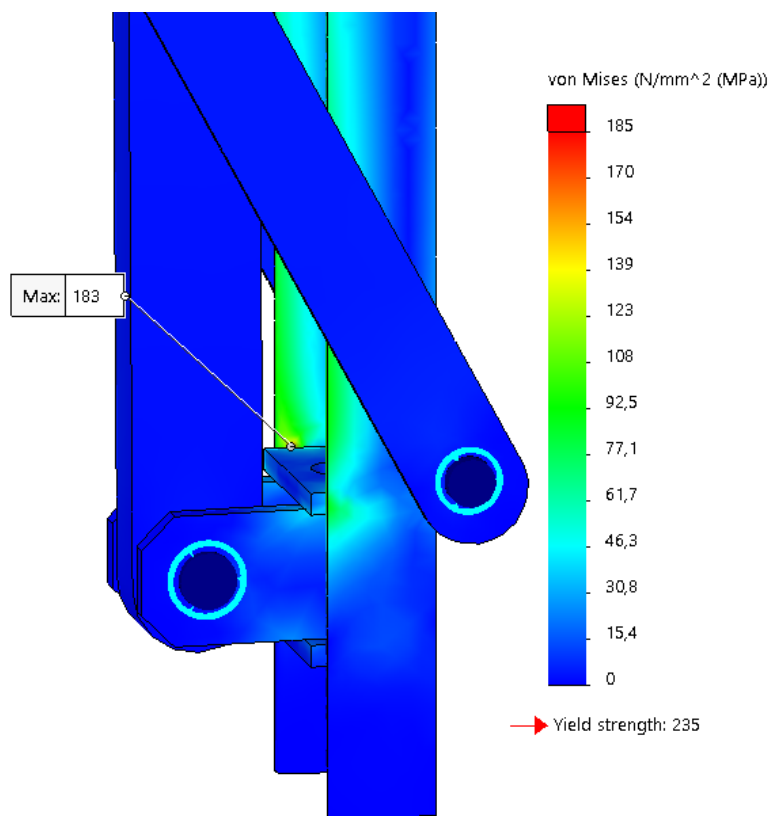


Figura 191 - Detalhe localizado da tensão de von Mises máxima.

Os resultados obtidos para os URES (Figura 192 e Figura 193) são ligeiramente superiores aos obtidos para a análise anterior correspondente. Estes valores podem ser justificados pela alteração dos anteriores perfis estruturais por perfis mais ligeiros.

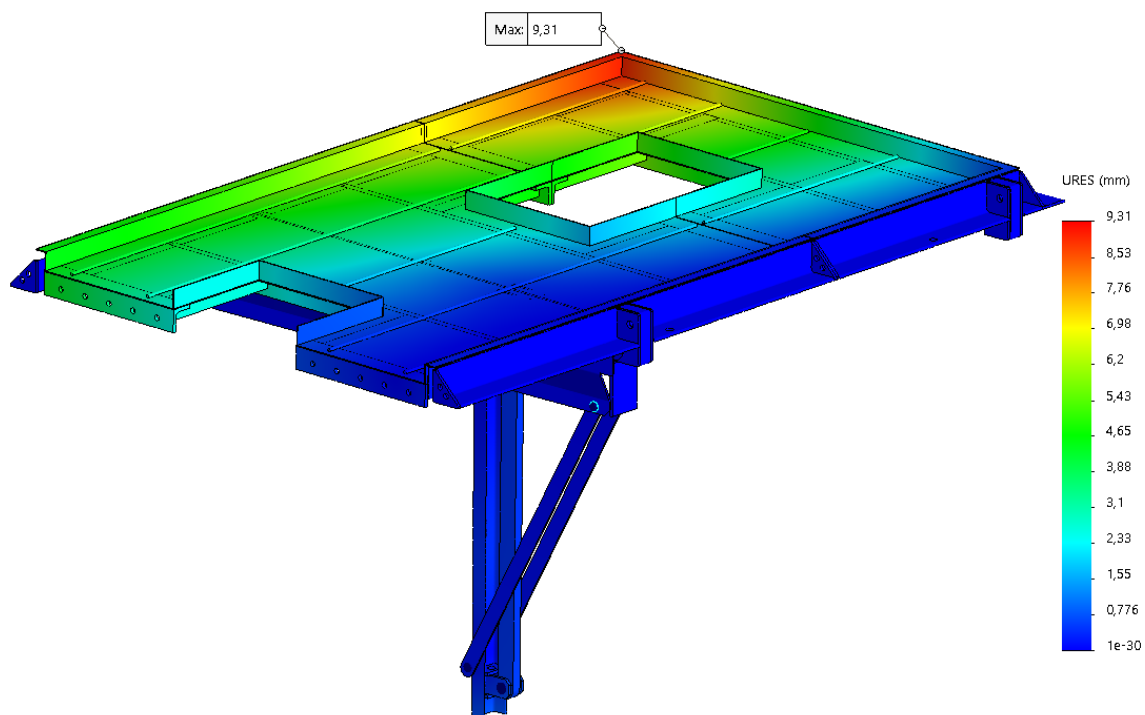


Figura 192 - URES: perspectiva superior da simulação da nova estrutura com a tampa em início de abertura.

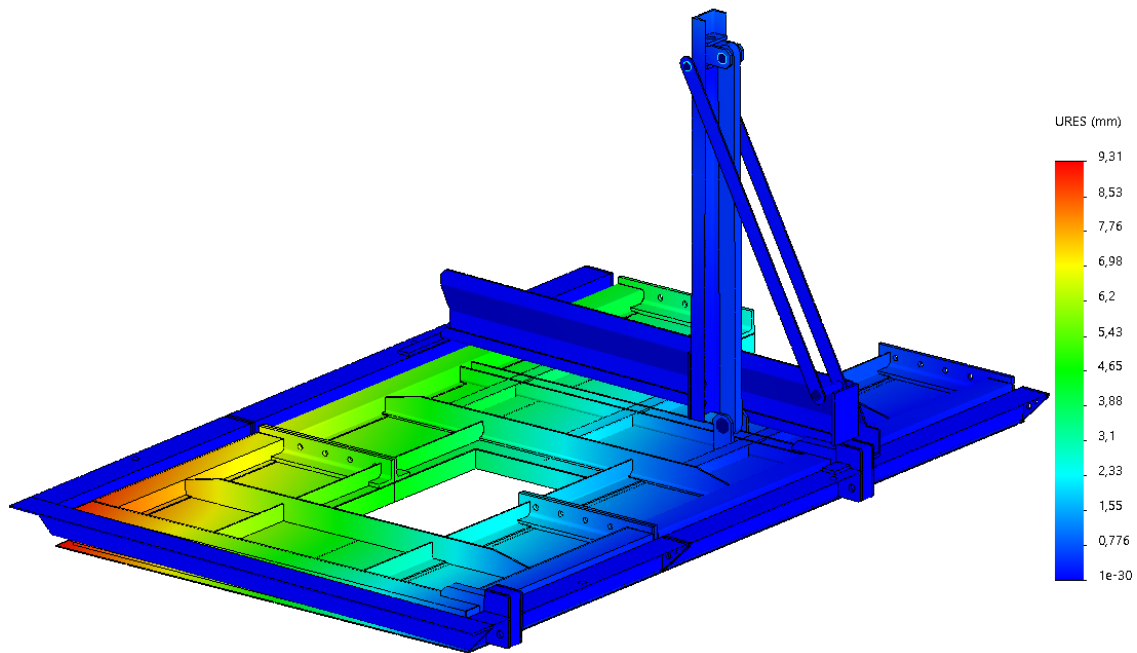


Figura 193 - URES: perspectiva inferior da simulação da nova estrutura com a tampa em início de abertura.

Os valores dos esforços obtidos para os diferentes pinos de fixação são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Esforços atuantes nos pinos do equipamento no ensaio na fase inicial de abertura da tampa com estrutura alterada.

Elemento	Corte (N)	M. Fletor (Nm)
<b>Dobradiça: lado exterior</b>	3914,8	199,0
<b>Dobradiça: lado interior</b>	5774,0	163,4
<b>Cilindro: fixação superior</b>	8997,9	45,7
<b>Cilindro: fixação inferior</b>	8997,9	19,7
<b>Travamento: fixação superior</b>	1506,6	0,2
<b>Travamento: fixação inferior</b>	2930,0	7,7

Na Tabela 33 apresentam-se os valores dos maiores esforços obtidos pré e pós alterações ao modelo.

Tabela 33 - Valores dos maiores esforços obtidos pré e pós alterações.

Elemento	Pré alterações		Pós alterações	
	Corte (N)	M. Fletor (Nm)	Corte (N)	M. Fletor (Nm)
Fixação das dobradiças	5468,5	193,1	5774,0	163,4
Fixação dos cilindros	9174,5	21,2	8997,9	45,7
Fixação dos travamentos	3085,7	5,8	2930,0	7,7

Face aos valores apresentados na Tabela 33, verifica-se que as solicitações dos pinos de fixação dos cilindros e travamentos são inferiores às obtidas nas abordagens análogas realizadas anteriormente. No que respeita aos pinos das dobradiças, o valor do esforço da maior solicitação aumentou cerca de 300 N. Dado o baixo aumento do valor do esforço de corte, recalculando  $M_{max}$  através da expressão (34) e substituindo o valor na equação (40), obtém-se que  $r \geq 6,20$  mm, logo, o diâmetro mínimo do pino pode manter-se em 13 mm.

### 3.1.3.8.3 Resultados

Analisando globalmente as alterações da estrutura simplificada, constituída por um módulo de extremidade e outro intermédio, é possível aferir os resultados registados na Tabela 34, através da comparação entre a estrutura dos modelos HS4 atuais face ao novo modelo, cujas alterações foram propostas neste subcapítulo. No Anexo IV são apresentados os desenhos técnicos de suporte ao fabrico do novo modelo revisto do HS4 com a respetiva barreira de segurança.

Tabela 34 - Resultados, em termos da massa, obtidos das alterações ao nível da estrutura do HS4.

	Canto da tampa	Canto do aro	Meio da tampa	Meio do aro	Total
Antes	90,6 kg	60,7 kg	166,0 kg	140,2 kg	457,5 kg
Depois	82,9 kg	48,3 kg	149,2 kg	118,2 kg	398,6 kg
Redução	9,3%	25,7%	11,3%	18,6%	14,8%
Total HS4 antes	2 x 151,3 kg		3 x 306,2 kg		1221,2 kg
Total HS4 depois	2 x 131,2 kg		3 x 267,4 kg		1064,7 kg

Através da Tabela 34, é possível concluir que, através das alterações propostas, em termos de massa, se pode alcançar uma redução de 15% comparativamente com a estrutura atual. Esta redução traduz-se, para o equipamento completo, em cerca de 157 kg. Ao valor total acresce ainda a massa dos componentes que foram removidos do modelo simplificado, sendo que estes, genericamente, se mantêm sem alterações.

#### 3.1.3.8.4 Análise de custos

A análise dos custos inerentes ao fabrico e montagem do equipamento podem dividir-se em cinco tópicos e respetivos subtópicos, por forma a permitir uma análise mais detalhada do custo para os diversos constituintes.

##### 1. Material estrutural

###### a. Custo dos componentes *standard* e consumíveis (Tabela 35).

Tabela 35 - Custos com componentes *standard* e consumíveis.

	<b>Custo comum</b>
<b>Elementos de fixação e casquilhos</b>	62,50 €
<b>Consumíveis</b>	30,20 €
<b>Total</b>	92,70 €

###### b. Custo da matéria prima suscetível a retrabalho como corte, quinagem, entre outros (Tabela 36).

Tabela 36 - Custos com matéria prima suscetível a retrabalho.

	<b>Custo do projeto atual</b>	<b>Custo do projeto revisto</b>
<b>Aro topo</b>	43,80 €	34,30 €
<b>Aro intermédio</b>	100,80 €	81,10 €
<b>Elementos comuns</b> <sup>1</sup>		5,30 €
<b>Total dos aros</b> <sup>2</sup>	395,30 €	317,20 €
<b>Tampa topo</b>	63,90 €	59,70 €
<b>Tampa intermédia</b>	117,30 €	107,00 €
<b>Elementos comuns</b> <sup>1</sup>		41,90 €
<b>Total da tampa</b> <sup>2</sup>	521,60 €	482,30 €
<b>Total do HS4</b>	916,90 €	799,50 €

<sup>1</sup> Elementos comuns à estrutura completa do HS4, antes e após alterações, não englobados no modelo simplificado;

<sup>2</sup> Valores apresentados tendo em conta o equipamento HS4 completo.

- c. Custo com mão de obra, considerando um custo por hora médio de 15 € (Tabela 37).

Tabela 37 - Custos com mão de obra.

	<b>Custo do projeto atual</b>	<b>Custo do projeto revisto</b>
<b>Aro</b>	337,50 €	316,50 €
<b>Tampa</b>	397,50 €	444,00 €
<b>Custo total</b>	735,00 €	760,50 €

- d. Custo final da estrutura metálica (Tabela 38).

Tabela 38 - Custo final da estrutura metálica.

	<b>Custo do projeto atual</b>	<b>Custo do projeto revisto</b>
<b>Estrutura metálica</b>	1744,60 €	1652,70 €
<b>Relação % de custo</b>		5,30%

2. Material hidráulico (Tabela 39).

Tabela 39 - Custos com material hidráulico.

	<b>Custo do projeto atual</b>	<b>Custo do projeto revisto</b>
<b>Tubos e acessórios</b>	279,10 €	279,10 €
<b>Cilindros hidráulicos <sup>1</sup></b>	450,00 €	315,00 €
<b>Mão de obra</b>	120,00 €	120,00 €
<b>Total</b>	849,10 €	714,10 €

<sup>1</sup> Diminuição do custo do projeto revisto devido à solicitação de novo orçamento a diversas entidades fabricantes de cilindros hidráulicos, com base nos resultados obtidos no subcapítulo 3.1.3.7.2, considerando cinquenta unidades.

3. Tratamento superficial (Tabela 40).

Tabela 40 - Custos com tratamento superficial.

	<b>Custo do projeto atual</b>	<b>Custo do projeto revisto</b>
<b>Galvanização</b>	589,40 €	514,00 €
<b>Logística</b>	96,00 €	96,00 €
<b>Retrabalho</b>	118,50 €	0 €
<b>Montagem após galvanização</b>	0 €	57,00 €
<b>Custo total</b>	803,90 €	667,00 €

#### 4. Montagem do equipamento localizado num raio de 100 km (Tabela 41).

Tabela 41 - Custos de montagem do equipamento.

<b>Custo comum</b>	
<b>Cuba técnica</b>	2100,00 €
<b>Logística</b>	400,00 €
<b>Mão de obra</b>	300,00 €
<b>Total</b>	2800,00 €

#### 5. Custo final (Tabela 42).

Tabela 42 - Resumo dos custos parciais do equipamento HS4.

	<b>Custo do projeto atual</b>	<b>Custo do projeto revisto</b>
<b>Estrutura metálica</b>	1744,60 €	1652,70 €
<b>Material hidráulico</b>	849,10 €	714,10 €
<b>Tratamento superficial</b>	803,90 €	667,00 €
<b>Montagem</b>	2800,00 €	
<b>Custo total</b>	6197,60 €	5833,80 €
<b>Relação % de custo</b>		4,50%

Através da análise de custos da Tabela 42 é possível concluir que, com as alterações propostas à estrutura, pode reduzir-se o seu custo cerca de 4,5%. Este custo representa uma redução unitária pouco significativa do valor total, mas, dada uma quantidade mais elevada, e considerando também uma produção em série, é possível reduzir ainda mais os custos de produção do equipamento. O facto de o peso da estrutura diminuir cerca de 15% também é um fator importante, uma vez que a estrutura, ao ser mais leve, tem um manuseamento mais fácil e não transmite tanto esforço à estrutura enterrada. Com as alterações propostas, a probabilidade de a estrutura apresentar danos oriundos dos tratamentos superficiais também diminui significativamente.

### 3.1.4 Conclusão

No decorrer do presente subcapítulo foram abordados vários assuntos, de entre os quais se destacam:

- a análise MEF da estrutura, em várias posições do seu funcionamento, contemplando as alterações necessárias para a instalação da barreira de segurança em equipamentos HS existentes e em funcionamento;
- a verificação de alguns constituintes do equipamento, como é o caso de pinos, cilindros e também a verificação de uma soldadura localizada numa zona crítica;
- por fim, apresentou-se uma proposta de revisão à estrutura, resultando numa redução do peso de cerca de 15% e de 4,5% do custo, quando comparada com a versão modular atual.

Resumidamente, e recorrendo aos tópicos mencionados, é possível concluir que foram atingidos os objetivos estabelecidos para este subcapítulo.

## 3.2 Marco de deposição de resíduos

### 3.2.1 Anteprojeto

O anteprojeto do marco divide-se nas seguintes fases: definição do modo de funcionamento, investigação e definição do *design*, e estudo dos mecanismos a implementar por forma a garantir a operacionalidade do conjunto. Desta forma pretende-se obter um projeto fundamentado, tendo por base todos os conceitos estudados durante a fase preliminar.

#### 3.2.1.1 Análise SWOT

Numa abordagem inicial ao projeto, é necessário optar por uma das duas possibilidades de funcionamento da abertura de deposição dos resíduos no marco: tambor (rotativo) ou tampa (abertura através de dobradiça). Para uma análise mais ponderada do método de abertura do dispositivo em estudo, recorreu-se a uma análise SWOT, de forma a auxiliar na seleção da solução mais apropriada para o projeto em causa. Na Figura 194 é realizada a análise SWOT da abertura do dispositivo através de tampa, comparando este método de abertura com o método de tambor.

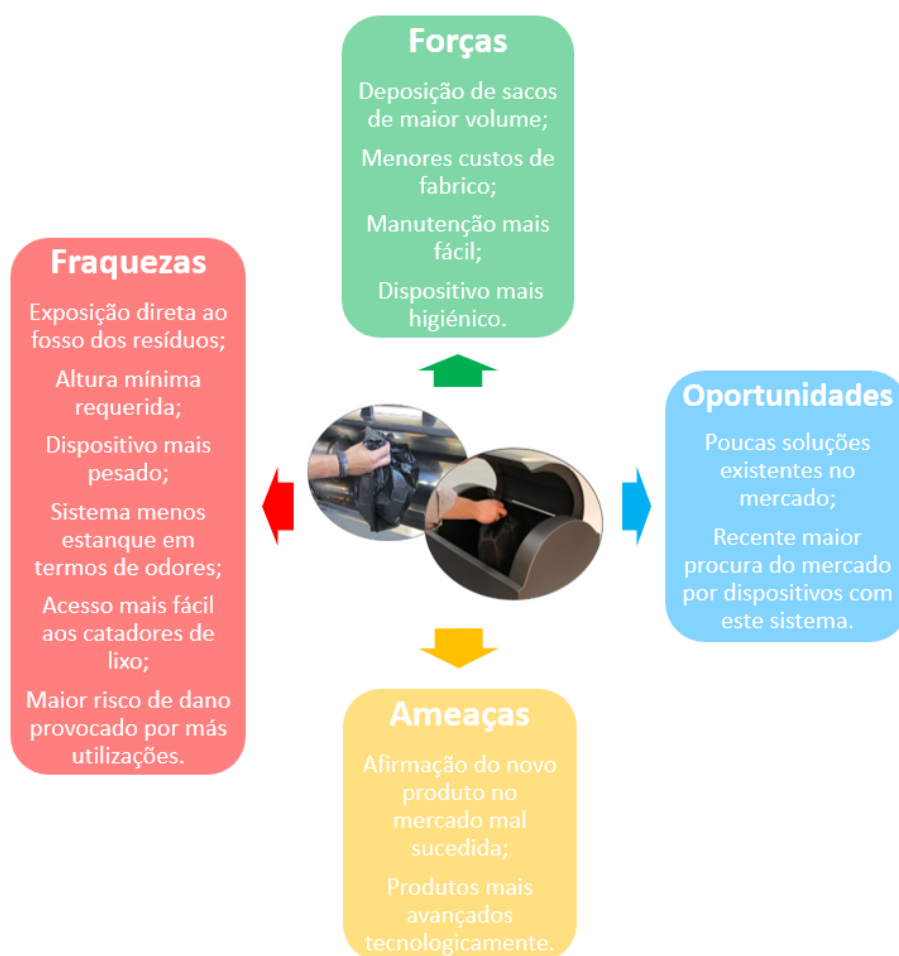


Figura 194 - Análise SWOT do método de abertura do marco através de tampa comparativamente ao método de abertura por tambor.

### 3.2.1.2 Solução optada e requisitos

Após a discussão das duas formas de abertura, tendo em conta os aspetos mencionados na análise SWOT, a empresa decidiu optar pelo marco com tampa, dando particular preferência a este modo de funcionamento em detrimento do tambor, devido à maior procura recente do mercado por dispositivos equipados com este sistema. Outro fator preponderante na decisão foi o facto de não existir, até ao momento, nenhum marco com este modo de funcionamento na gama de soluções da empresa.

Para o projeto e conceção do marco em causa foram estabelecidos os seguintes requisitos:

- enquadramento do marco no mobiliário urbano atual;
- geometria:
  - não possuir arestas vivas, reduzindo assim a possibilidade de risco de ferimentos aos utilizadores ou meio envolvente;
  - deve preferencialmente ter o contorno da tampa arredondado para evitar que fiquem depositados resíduos sobre a mesma. Esta geometria facilita a queda do resíduo por gravidade (aplicável em casos de má utilização), o que permite a abertura da tampa para posteriores utilizadores, contornando assim o facto de os resíduos serem depositados em redor do equipamento, mesmo com ele vazio.
- respeito das dimensões impostas por regulamentos e/ou memórias descritivas, nomeadamente ao nível da cota mais baixa da abertura superior do marco;
- marco o mais versátil possível, capaz de cumprir o máximo de requisitos transversais a diversos potenciais clientes;
- a estrutura do marco deve ser leve, por forma a não sobrecarregar a subestrutura, e também resistente ao impacto;
- a abertura de deposição dos resíduos deve permitir a inserção de bocais personalizados de entrada de resíduos como o vidro, se possível colocar zonas de encaixe para adaptação destes módulos;
- possibilidade de implementação de sistemas modulares, sendo estes constituídos pela tampa, tampa/pedal ou tampa/pedal/porta comercial. Esta tampa deverá possuir uma pega para ser possível a abertura manual;
- os sistemas mecânicos acoplados à tampa e porta comercial devem permitir a abertura e fecho das mesmas de forma contínua e lenta, por forma a não provocar lesões aos utilizadores (utilização de contrapesos, molas ou amortecedores);
- os mecanismos devem estar o mais protegidos possível (colocar blindagens amovíveis), o que permite evitar os danos provocados pela entrada dos resíduos, lavagem e higienização, e também possíveis más utilizações ou atos de vandalismo;
- devem ser considerados locais para a aplicação de placas de identificação dos resíduos e logotipos;

- base de fixação do marco à subestrutura deve ser compatível com a maioria das soluções existentes no mercado;
- a abertura da porta comercial deverá ser realizada através de acionamento manual (chave) ou automático (leitor de cartões e mecanismos para acionamento do trinco);
- possibilidade de construção em multimateriais (aço inoxidável, aço ao carbono, polímeros ou compósitos);
- deve ser utilizado o máximo de componentes *standard* ou, se possível, comuns a diferentes marcos (ou outros produtos) produzidos na empresa, o que reduz custos com *stocks* e tempos de produção;
- ter em consideração a possibilidade de realização de futuros pré-tratamentos ou tratamentos superficiais (como a decapagem, metalização, pintura ou zincagem), garantindo as condições necessárias para estes processos;
- a estrutura do marco deve ser estanque e as juntas devem ser revestidas de perfis de borracha por forma a conferir ao marco a maior estanquidade possível. Os gases não devem ser libertados do interior do equipamento (mau cheiro) e líquidos não poderão entrar no equipamento pois as cubas são estanques e a drenagem tem de ser feita com recurso a equipamentos específicos. Estes líquidos depositados no interior da cuba tornam-se contaminantes perigosos;
- quando o marco estiver testado deve resistir a 1000 ciclos de utilização normal, valor este definido internamente pela empresa;
- o marco deverá cumprir o máximo de legislação aplicável possível.

#### 3.2.1.2.1 Definição da geometria de base

Numa primeira abordagem foram estudadas e apresentadas cerca de oito geometrias de base possíveis para o marco, das quais se destacam as mostradas na Figura 195, Figura 196 e Figura 197.



Figura 195 - Proposta de Marco 1.

Figura 196 - Proposta de Marco 2.

Figura 197 - Proposta de Marco 3.

A Figura 195 teve por base uma geometria de contornos mais retangulares. A Figura 196 partiu de um conceito direcionado para contornos circulares usando, tal como na Figura 195, um friso retangular. Por último, baseado no dispositivo de recolha Multibox (Figura 34 c), apresenta-se a geometria da Figura 197 que consiste num contorno simples, em forma de caixa, e cuja tampa é embutida na superfície curva do marco.

Por forma a realizar uma análise mais profunda e fundamentada dos três marcos cuja geometria reuniu maior consenso, na Figura 198 apresenta-se uma análise SWOT da terceira proposta de marco, face às duas anteriores.

Com recurso à análise da Figura 198, justifica-se a escolha da terceira opção sendo, com base nesta geometria, desenvolvido o projeto do novo marco. A empresa decidiu desde logo atribuir um nome a este marco que, a partir deste momento irá passar a chamar-se marco Cambridge.

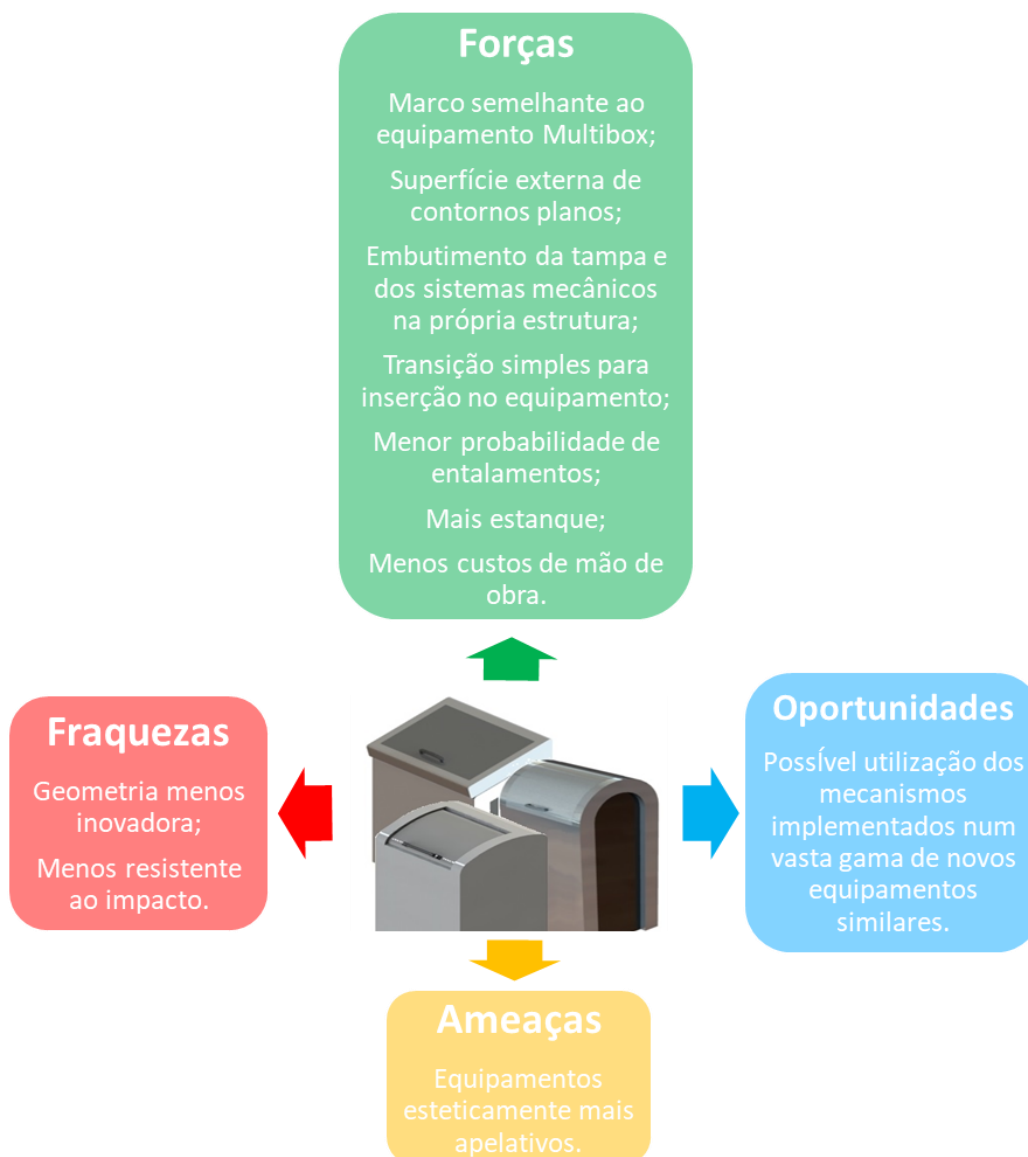


Figura 198 - Análise SWOT do marco baseado no equipamento Multibox, comparativamente com as outras duas propostas de marco.

### 3.2.2 Projeto

Após a decisão de optar pela geometria de base do marco tomada no subcapítulo anterior, deu-se início ao projeto do protótipo do marco Cambridge.

Numa primeira fase, tendo por base o estilo de marco adotado, foi criado um primeiro conjunto do modelo completo com pedal, tampa e porta comercial, como se observa na Figura 199 e Figura 200.



Figura 199 - Primeira fase do projeto do marco (visualização de pedal e tampa).



Figura 200 - Primeira fase do projeto do marco (visualização da porta comercial).

Numa primeira fase do projeto, surgiram várias questões e decisões a serem tomadas, principalmente no que diz respeito aos mecanismos existentes no interior do dispositivo. Estes mecanismos, com a função de garantirem o cumprimento da totalidade dos requisitos estabelecidos, podem ser idealizados de diversas formas, tendo sido desde logo preteridas aquelas consideradas inviáveis.

#### 3.2.2.1 Sistema mecânico

Os mecanismos que irão permitir o funcionamento das portas terão de ser estudados por forma a permitir que os mesmos reúnam as características necessárias por forma a garantir um marco funcional e cuja vida útil seja o mais longa possível. No sistema mecânico, com o objetivo de evitar o desgaste prematuro e diminuir o atrito entre os componentes, foram aplicados, nos eixos de rotação, casquilhos e anilhas de bronze auto lubrificadas.

### 3.2.2.1.1 Mecanismo com alavancas

Como primeira opção para o sistema mecânico de abertura da tampa, projetou-se um mecanismo composto por braços e alavancas. Este mecanismo, tendo em conta que se trata de uma aplicação num protótipo, foi pensado para realizar o máximo de alterações ao mesmo, sem que fossem necessárias alterações ou fabrico de novas peças. Tendo este facto em consideração, bem como as peças serem cortadas a laser, nos componentes cuja aplicação poderia ser ajustada na montagem, foram abertas várias furações para possível regulação. No pedal foi ainda aberto um rasgo por forma a permitir a inserção de outros elementos compensadores como contrapesos, molas ou amortecedores, para o caso de ser necessário.

Por forma a simplificar a explicação do funcionamento, na Tabela 43 detalha-se o funcionamento deste mecanismo.

Tabela 43 - Ilustração do funcionamento do mecanismo de alavancas.

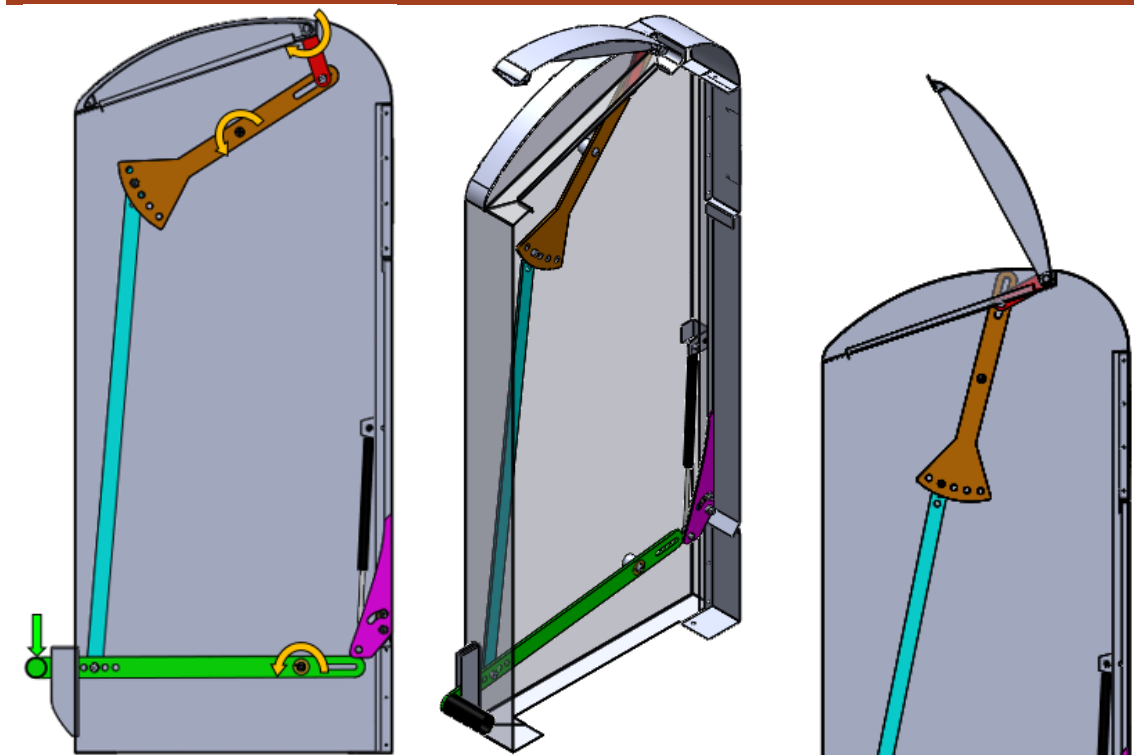


Figura 201 - Representação em corte do início da ação de pressionar o pedal.

Figura 202 - Perspectiva parcial do mecanismo (posição intermédia).

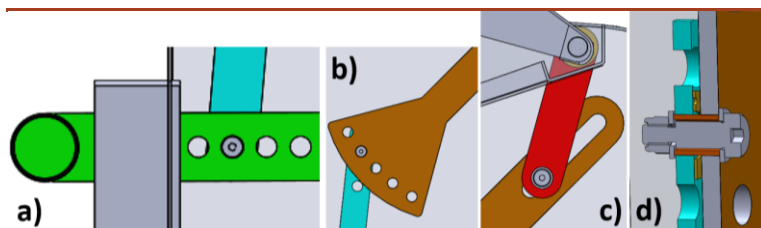


Figura 204 - Detalhes de ligações: a) pedal/braço, b) braço/alavanca, c) alavanca/braço inversor e d) ilustração tipo das ligações anteriores.

Figura 203 - Representação em corte do pedal pressionado (tampa levantada).

Na Figura 201 observa-se, através das indicações dadas pelas setas, o que irá suceder no momento do acionamento do pedal. A ação de pressionar o pedal irá fazer com que o mesmo gire em torno do seu eixo, deslocando o braço para baixo. Na perspetiva em corte da Figura 202, é possível visualizar o mecanismo quando a tampa se encontra numa posição intermédia. Na Figura 203 é apresentada uma vista em corte do sistema no momento em que a tampa se encontra totalmente levantada. Na Figura 204 apresentam-se os diferentes detalhes das ligações entre componentes.

Perante a necessidade de elaborar um estudo mais pormenorizado do comportamento dos mecanismos, realizou-se uma análise estática. A Figura 205 apresenta uma vista 2D do sistema com o pedal estacionário e acionado, representado a linhas verdes e vermelhas, respetivamente.

Na Figura 206 e Figura 207 apresenta-se o DCL dos vários elementos (braços e alavancas). Nestas figuras, as forças e eixos são representados pela seguinte nomenclatura:

- **P**: força exercida pelo utilizador no pedal;
- **F**: força transmitida pelo pedal ao braço;
- **C**: massa de um possível elemento compensador (contrapeso ou mola);
- **A**: força transmitida pela alavanca ao braço inversor;
- **M**: massa da tampa (aplicada no centro de massa);
- **1** e **1'**: eixo do pedal na posição de estacionário e acionado, respetivamente;
- **2** e **2'**: eixo da alavanca na posição de estacionária e acionada, respetivamente;
- **3** e **3'**: eixo da tampa na posição de fechada e acionada, respetivamente.

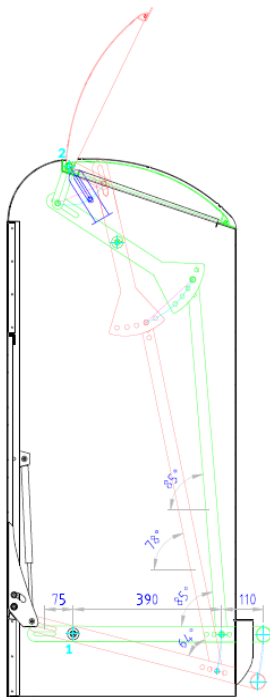


Figura 205 - Desenho em corte do marco com os mecanismos da tampa aberta e fechada.

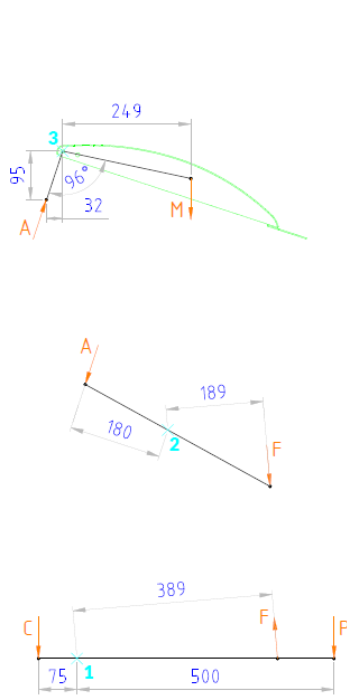


Figura 206 - DCL dos vários constituintes do mecanismo com a tampa fechada.

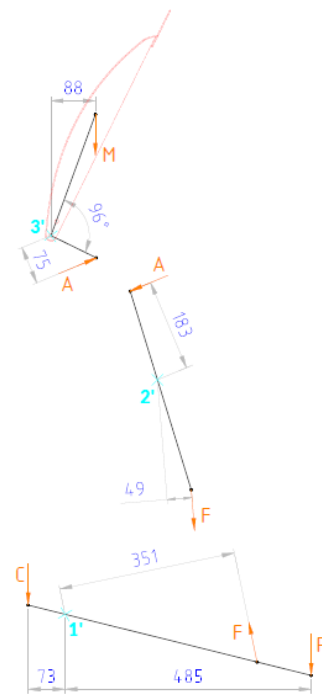


Figura 207 - DCL dos vários constituintes do mecanismo com a tampa totalmente aberta.

Da Figura 206 correspondente ao início da abertura da tampa, através das equações de equilíbrio de momentos, tem-se:

$$\sum M_1 = 0 \Leftrightarrow 500P - 389F - 75C = 0 \Leftrightarrow P = 0,78F + 0,15C \quad (61)$$

$$\sum M_2 = 0 \Leftrightarrow 189F - 180A = 0 \Leftrightarrow F = 0,95A \quad (62)$$

$$\sum M_3 = 0 \Leftrightarrow 32A \cos 6,1 - 95A \sin 6,1 + 249M = 0 \Leftrightarrow A = 11,46M \quad (63)$$

Através das equações (61), (62) e (63) é possível chegar á relação:

$$P = 0,78 \times 0,95 \times 11,46 \times M + 0,15C = 8,49M + 0,15C \quad (64)$$

Para uma massa da tampa de sete quilogramas ( $M \approx 7$  kg) e sem compensação ( $C=0$  kg), tem-se:

$$P_{(M=7;C=0)} = 8,49 \times 7 + 0,15 \times 0 = 57,43 \text{ kgf} \quad (65)$$

Da Figura 207 correspondente à tampa na posição de totalmente aberta, através das equações de equilíbrio de momentos, tem-se:

$$\sum M_{1'} = 0 \Leftrightarrow 485P - 351F - 73C = 0 \Leftrightarrow P = 0,72F + 0,15C \quad (66)$$

$$\sum M_{2'} = 0 \Leftrightarrow 49F - 183A = 0 \Leftrightarrow F = 3,93A \quad (67)$$

$$\sum M_{3'} = 0 \Leftrightarrow 88M - 75A = 0 \Leftrightarrow A = 1,17M \quad (68)$$

Através das equações (66), (67) e (68) é possível chegar à relação:

$$P = 0,72 \times 3,93 \times 1,17 \times M + 0,15C = 3,31M + 0,15C \quad (69)$$

Para uma massa da tampa de sete quilogramas ( $M \approx 7$  kg) e sem compensação ( $C=0$  kg), tem-se:

$$P_{(M=7;C=0)} = 3,31 \times 7 + 0,15 \times 0 = 23,17 \text{ kgf} \quad (70)$$

Nesta análise, como se trata de uma análise estática, foram apenas consideradas as posições inicial e final da tampa, não tendo em conta fatores como o atrito entre os eixos e os casquilhos de bronze. A força exercida pelo pé sobre o pedal foi considerada meramente na vertical, possuindo apenas essa componente da força aplicada.

Mediante a análise realizada, é possível concluir que o sistema com alavancas irá ter um comportamento irregular, dado que o esforço necessário realizar no pedal para levantar a tampa, inicialmente é bastante superior ao necessário numa fase final para permitir que a tampa se mantenha aberta. Ainda é possível prever que o mecanismo, até uma fase intermédia (alavanca parcialmente representada a azul na Figura 205), tenha um comportamento aproximadamente constante desde o início da abertura, sendo que, após o instante do alinhamento da alavanca com o braço transmissor, a tampa irá abrir mais rapidamente, dada a variação da posição do pino do braço transmissor no rasgo da alavanca.

Perante o estudo realizado, tendo em consideração a versatilidade existente no posicionamento entre os diversos elementos, possibilidade de acrescentar elementos compensadores, baixo custo de implementação do sistema e o facto de se tratar de um protótipo, a empresa decidiu implementar este sistema, dado tratar-se de uma fase experimental.

#### *3.2.2.1.2 Mecanismo com braço transmissor*

Com vista a estabelecer uma alternativa ao mecanismo anterior, surgiu também a hipótese de o sistema de levantamento da tampa ser realizado com recurso a um braço transmissor.

Este mecanismo tem por base o mesmo pedal, sendo necessárias algumas ligeiras alterações ao mesmo, por forma a permitir a aplicação do braço transmissor. Este braço, representado a vermelho nas figuras da Tabela 44, consiste num varão conformado por forma a permitir a sua passagem em zonas onde não é possível manter o alinhamento do pedal, sendo posteriormente aplicados olhais nos topos para possibilitar a ligação ao pedal e à tampa.

Por forma a simplificar a explicação do funcionamento, na Tabela 44 detalha-se o funcionamento deste mecanismo.

Tabela 44 - Ilustração do funcionamento do mecanismo com braço transmissor.

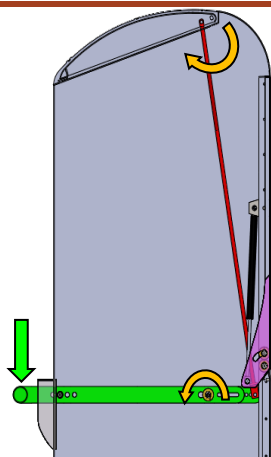


Figura 208 - Representação em corte do início da ação de pressionar o pedal.

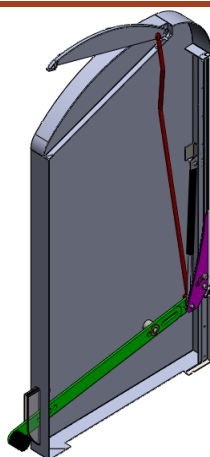


Figura 209 – Perspetiva da posição intermédia do mecanismo.

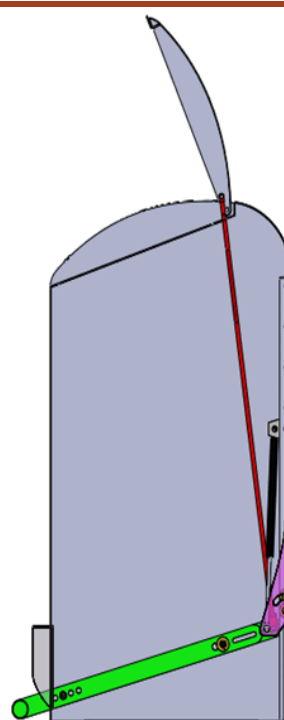


Figura 210 - Representação em corte do pedal pressionado (tampa levantada).

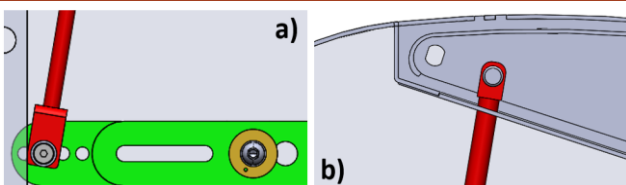


Figura 211 - Detalhes de ligações: a) pedal/braço, b) braço/tampa.

Na Figura 208 observa-se, através das indicações dadas pelas setas, o que irá suceder no momento do acionamento do pedal. A Figura 209 mostra a tampa na fase inicial do seu movimento de rotação e na Figura 210 observa-se a tampa totalmente aberta. A ação de pressionar o pedal, irá fazer com que o mesmo gire em torno do seu eixo, deslocando-se o braço para cima (Figura 211 a), fazendo este com que a tampa (Figura 211 b) se movimente.

Com vista a obter uma análise mais detalhada, bem como comparar resultados com o mecanismo das alavancas, elaborou-se a análise estática do sistema nas duas posições. Na Figura 212 apresenta-se uma vista 2D do sistema com o pedal estacionário e acionado, representados a linhas verdes e vermelhas, respetivamente.

Na Figura 213 e Figura 214 apresenta-se o DCL dos vários elementos (braços e alavancas). Nestas figuras, as forças e eixos são representados pela seguinte nomenclatura:

- **P**: força exercida pelo utilizador no pedal;
- **A**: força transmitida pela alavanca ao ponto de acionamento da tampa;
- **M**: massa da tampa (aplicada no centro de massa);
- **1** e **1'**: eixo de rotação do pedal na posição de estacionário e acionado, respetivamente;
- **2** e **2'**: eixo de rotação da tampa na posição de fechada e acionada, respetivamente.

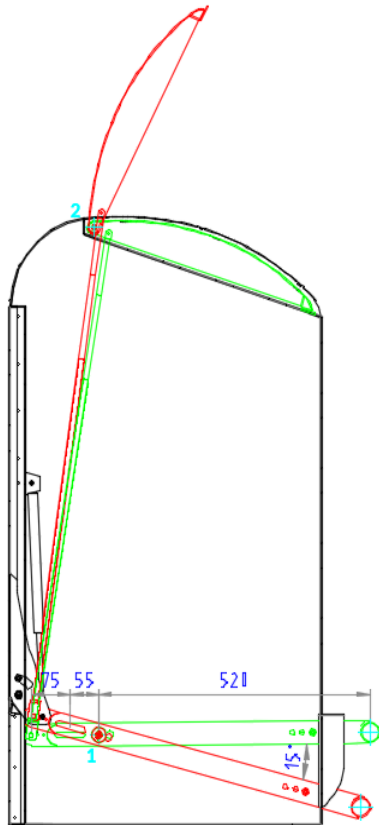


Figura 212 - Desenho em corte do marco com os mecanismos da tampa aberta e fechada.

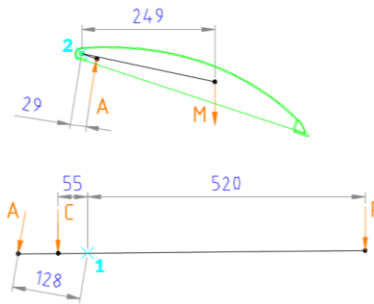


Figura 213 - DCL dos vários constituintes do mecanismo com a tampa fechada.

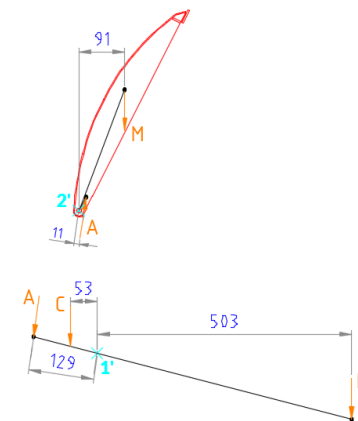


Figura 214 - DCL dos vários constituintes do mecanismo com a tampa totalmente aberta.

Da Figura 213 correspondente ao início da abertura da tampa, através das equações de equilíbrio de momentos, tem-se:

$$\sum M_1 = 0 \Leftrightarrow 520P - 128A - 55C = 0 \Leftrightarrow P = 0,25A + 0,11C \quad (71)$$

$$\sum M_2 = 0 \Leftrightarrow 249M - 29A = 0 \Leftrightarrow A = 8,59M \quad (72)$$

Através das equações (71) e (72) é possível chegar à relação:

$$P = 0,25 \times 8,59M + 0,11C \quad (73)$$

Para uma massa da tampa de sete quilogramas ( $M \approx 7$  kg) e sem compensação ( $C=0$  kg), tem-se:

$$P_{(M=7;C=0)} = 0,25 \times 8,59 \times 7 + 0,11 \times 0 = 14,79 \text{ kgf} \quad (74)$$

Da Figura 214 correspondente à tampa na posição de totalmente aberta, através das equações de equilíbrio de momentos, tem-se:

$$\sum M_{1'} = 0 \Leftrightarrow 503P - 129A - 53C = 0 \Leftrightarrow P = 0,26A + 0,11C \quad (75)$$

$$\sum M_{2'} = 0 \Leftrightarrow 91M - 11A = 0 \Leftrightarrow A = 8,27M \quad (76)$$

Através das equações (75) e (76) é possível chegar à relação:

$$P = 0,26 \times 8,27M + 0,11C \quad (77)$$

Para uma massa da tampa de sete quilogramas ( $M \approx 7$  kg) e sem compensação ( $C=0$  kg), tem-se:

$$P_{(M=7;C=0)} = 0,26 \times 8,27 \times 7 + 0,11C = 14,83 \text{ kgf} \quad (78)$$

Analiticamente é possível concluir que esta opção de mecanismo poderá ser melhor do que o de alavancas do ponto de vista funcional, uma vez que a força a exercer no pedal, sem qualquer contrapeso, será aproximadamente constante e rondará os 14,8 kgf.

### 3.2.2.1.3 Análise SWO

Por forma a organizar ideias e a fundamentar aquela que será a melhor opção a tomar para o mecanismo de abertura da tampa, realizou-se a análise SWO do mecanismo com braço transmissor. Esta análise (Figura 215) é realizada comparativamente ao outro mecanismo estudado, por forma a destacar os pontos fortes que se preveem significativamente maiores. Nesta análise não foram identificadas ameaças, uma vez que se pretende destacar o mecanismo de abertura do braço transmissor. As ameaças existentes são transversais aos dois tipos de marcos e são, fundamentalmente, relacionadas com a má utilização por parte dos utilizadores.



Figura 215 - Análise SWO do mecanismo com braço transmissor, comparativamente ao mecanismo com alavancas.

Como previsto anteriormente, o mecanismo com braço transmissor apresenta uma série de forças quando comparado com o mecanismo de alavancas. Desta forma prevê-se uma resposta positiva do mecanismo aquando a sua instalação, esperando-se que a abertura da tampa funcione dentro do previsto.

#### 3.2.2.1.4 Mecanismo de fecho da porta comercial

Um dos requisitos da porta comercial é que, quando esta não for utilizada, a mesma se feche automaticamente, por forma a evitar que os utilizadores a abram e não a fechem após a utilização. Para impedir que esta permaneça aberta, neste marco protótipo, de entre outras soluções possíveis, optou-se por recorrer a cilindros a gás e a uma fechadura com mola.

Na Figura 216 e Figura 217 observa-se, para além dos mecanismos do sistema mecânico com braço transmissor, o mecanismo de abertura e fecho da porta comercial. Este mecanismo consiste num par de cilindros a gás, cuja força aplicada num ponto interior da porta leve ao seu fecho quando esta é aberta. Para além deste cilindro, a porta possui ainda um limitador de curso (Figura 218), que consiste num furo rasgado na porta, sendo esta zona reforçada com uma chapa de uma espessura superior soldada do lado interior (representada a lilás na Figura 218 e Figura 219). Este furo rasgado funciona como limitador de curso, impedindo que a porta abra mais do que o estabelecido.

A ligação do cilindro ao corpo do marco é realizada através de uma chapa quinada (representada a amarelo na Figura 220), que desliza no interior da aba quinada. Esta chapa é ajustável e permite a regulação do sistema no momento da aplicação. Esta ligação também permite uma maior versatilidade no que diz respeito à gama de comprimentos dos cilindros possíveis de aplicar. Estes cilindros também ficam mais restringidos à força de serviço, não sendo o seu curso um impedimento, no caso de estar compreendido dentro dos limites estabelecidos. Esta ligação possibilita a utilização de componentes comuns a outros equipamentos fabricados, reduzindo assim custos com armazenamentos e demoras de entrega destes materiais, uma vez que estes componentes têm um prazo de entrega consideravelmente elevado.

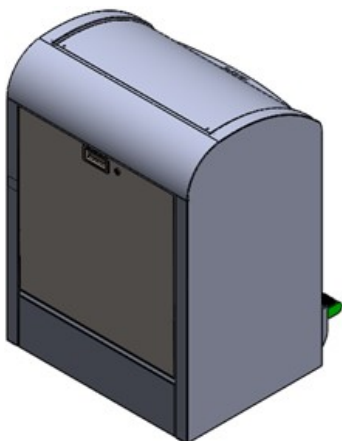


Figura 216 - Perspetiva da parte traseira do marco com a porta comercial fechada.

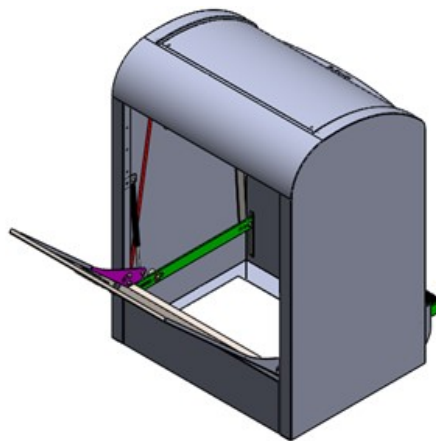


Figura 217 - Perspetiva da parte traseira do marco com a porta comercial aberta.

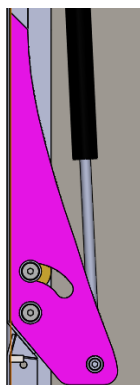


Figura 218 - Reforço limitador da porta – posição fechada.

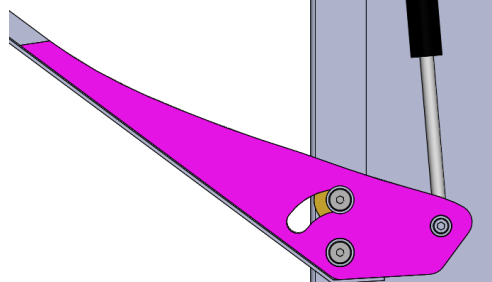


Figura 219 - Reforço limitador da porta – posição aberta.

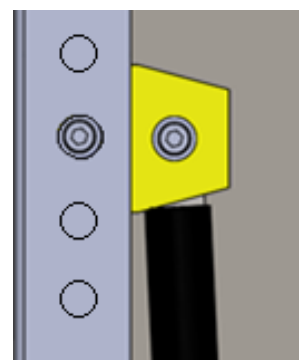


Figura 220 - Sistema ajustável de fixação do cilindro.

### Dimensionamento do cilindro a gás

Por forma a dimensionar, de uma forma mais precisa, o cilindro a gás, realizou-se uma análise estática do sistema de abertura da porta comercial. Na Figura 222 apresenta-se um corte do marco onde surge representada a porta comercial nas duas posições terminais possíveis: fechada (representada a castanho) e aberta (representada a lilás).

Na Figura 222 e Figura 223 apresenta-se o DCL da porta nas duas posições. Nestas figuras, as forças atuantes e o eixo de rotação são representados pela seguinte nomenclatura:

- **G**: força exercida cilindro a gás;
- **M**: massa da porta comercial (aplicada no centro de massa);
- **1** e **1'**: eixo de rotação da porta na posição de fechada e aberta, respetivamente;

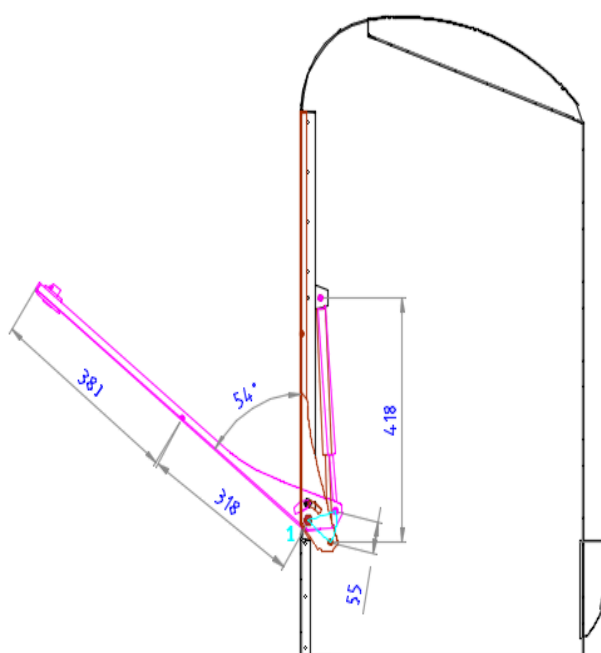


Figura 221 - Desenho em corte do marco com os mecanismos da porta comercial aberta e fechada.

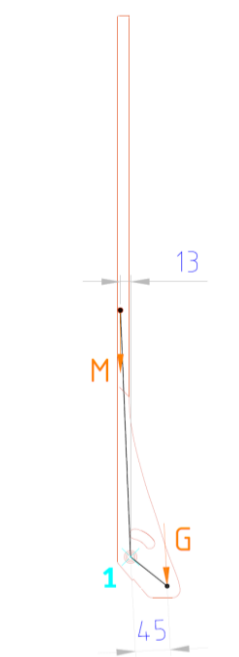


Figura 222 - DCL da porta comercial fechada.

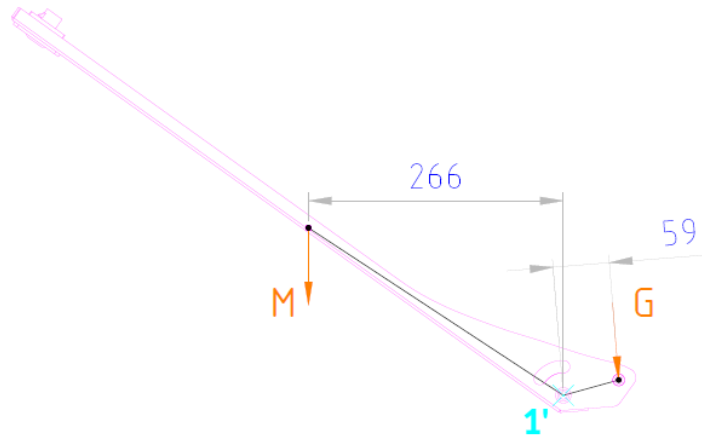


Figura 223 - DCL da porta comercial totalmente aberta.

Da Figura 223:

$$\sum M_1 = 0 \Leftrightarrow 45G - 13M = 0 \Leftrightarrow G = 0,29M \quad (79)$$

Para  $M \approx 9,2$  kg, tem-se:

$$G_{(M=9,2)} = 0,29 \times 9,2 = 2,66 \text{ kgf} \quad (80)$$

Da Figura 223:

$$\sum M_{1'} = 0 \Leftrightarrow 59G - 266M = 0 \Leftrightarrow G = 4,51M \quad (81)$$

Para  $M \approx 9,2$  kg, tem-se:

$$G_{(M=9,2)} = 4,51 \times 9,2 = 41,49 \text{ kgf} \quad (82)$$

Através da equação (82) é possível concluir que, para garantir o equilíbrio da porta, é necessário que o conjunto dos dois amortecedores exerça uma força de cerca de 415 N, ou seja, cada amortecedor deverá exercer uma força de 207,5 N, no ponto de aplicação da força. Uma vez que não se pretende o equilíbrio da porta, mas sim garantir que a mesma feche lentamente, a força dos cilindros terá de ser ligeiramente superior à calculada. Ao considerar também a existência de algum atrito entre os componentes de rotação, optou-se por adquirir para este protótipo, dois cilindros a gás de 250 N, correspondendo ao valor *standard* existente mais próximo deste tipo de componentes. O remanescente, cerca de 85 N, irá dar mais garantias no que diz respeito ao fecho da porta, sendo posteriormente necessário verificar se esta força é suficiente para provocar danos de entalamento aos utilizadores, podendo, nessa altura, optar-se por uma combinação de diferentes cilindros.

### 3.2.3 Conceção do protótipo

Após a realização dos estudos mencionados no capítulo anterior, procedeu-se ao desenho técnico e processo de fabrico detalhado de todos os componentes e respetivos conjuntos.

Com vista a facilitar o processo de fabrico, as peças cuja matéria-prima de base consiste em chapa são cortadas a plasma, ou a laser no caso de o corte necessitar de melhor acabamento. No desenho enviado para o corte constam as marcações de linhas de quinagem, furação e, em alguns casos, recortes nas chapas para auxiliar o posicionamento das mesmas no conjunto.

Na Figura 224 e Figura 225 observa-se a matéria prima obtida por corte de laser, sendo grande parte dela destinada a conformação plástica (quinagem).



Figura 224 - Diversas chapas do marco obtidas por corte laser.



Figura 225 - Chapa de revestimento do marco obtida por corte laser.

Após a receção do material iniciou-se fabrico do marco. Na Figura 226 apresenta-se a chapa do revestimento após processo de quinagem, enquanto na Figura 227 é mostrada essa estrutura montada com o alojamento da tampa. As diferentes peças estão posicionadas com pingos de soldadura na estrutura, por forma ao conjunto das chapas ser posteriormente ser soldado continuamente. Esta estrutura (mostrada na Figura 227) é comum para ambos os mecanismos de acionamento da tampa, sendo usada como base de ensaio para os mesmos.



Figura 226 - Chapa de revestimento do marco após quinagem.



Figura 227 - Posicionamento dos suportes da tampa na chapa de revestimento.

### 3.2.3.1 Teste do mecanismo com alavancas

Com vista a realizar o ensaio parcial do marco com este mecanismo, foi realizada a montagem do mesmo na estrutura comum do marco. Na Figura 228 é possível observar o mecanismo na fase da sua montagem.

Após executar todas as ligações, foi possível dar início ao teste do funcionamento do mecanismo. Como se observa na Figura 229, foi possível verificar a abertura da tampa com recurso a este sistema.



Figura 228 - Demonstração da montagem do mecanismo de alavancas.



Figura 229 - Abertura da tampa com recurso ao mecanismo de alavancas.

### 3.2.3.1.1 Observações

Após a montagem do mecanismo, durante o decorrer dos testes ao mesmo, surgiram algumas ideias de possíveis melhorias, e também se constataram alguns factos, previstos e explicados no subcapítulo de projeto. Perante estes testes, registaram-se as seguintes observações:

- a força necessária exercer no pedal não é constante, sendo necessária numa fase inicial uma força substancialmente maior (exemplo da Figura 230 a). A força é decrescente à medida que a tampa se aproxima da abertura total (Figura 230 c). Existe ainda uma posição intermédia (Figura 230 b) a partir da qual a abertura da tampa é mais repentina.

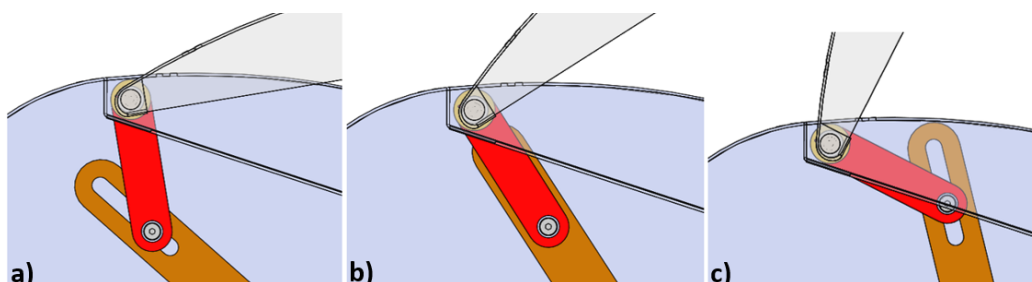


Figura 230 - Posições do mecanismo de acionamento: a) antes da zona de inversão, b) momento da inversão e c) após inversão do movimento.

O facto de a força aplicada não ser constante e também ser elevada é relevante. Este problema pode ser resolvido, parcialmente, através da inserção de molas compensadoras, por forma a reduzir a força necessária a exercer no pedal. Foram realizados alguns testes com molas e foi possível chegar parcialmente a uma solução. Com esta técnica, o esforço a realizar no mecanismo diminuiu substancialmente, mas surgiu outro problema: o fecho da tampa era muito lento e, por vezes, a tampa nem fechava na totalidade, chegando a atingir posições de equilíbrio intermédias. Destaca-se que, a tampa do equipamento, quando este não se encontra em uso, deve obrigatoriamente manter-se fechada por forma a não libertar odores do interior do equipamento enterrado. Dado este fator, seria necessário encontrar outra alternativa para garantir este fecho;

- o eixo facetado de transmissão do movimento do braço inversor à tampa (Figura 231) apresenta desgaste das suas facetas na zona de contacto com as facetas existentes no braço inversor (representado a vermelho no esquema de montagem explodido da Figura 232).

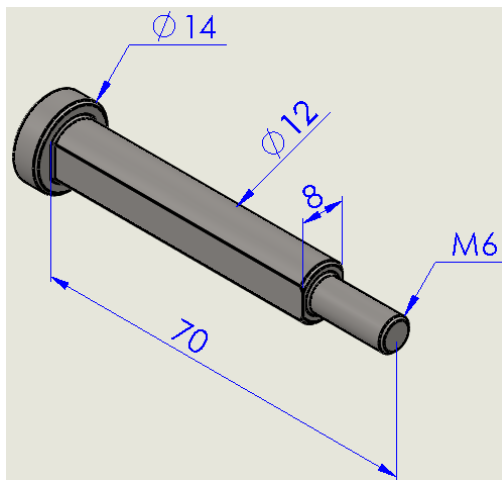


Figura 231 - Eixo de transmissão.

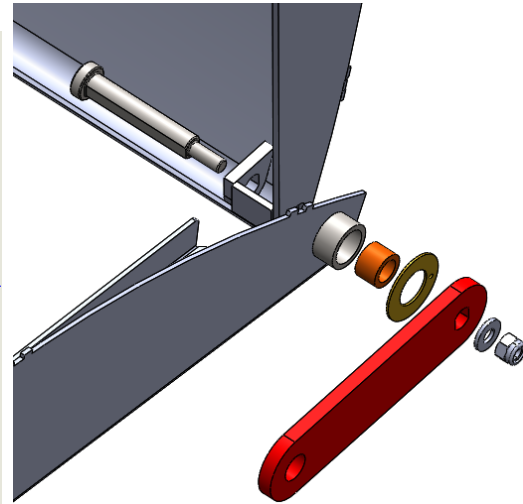


Figura 232 - Vista explodida da montagem do eixo de transmissão.

Este eixo facetado foi maquinado a partir de varão de aço C45E. A chapa facetada da tampa, tal como o braço inversor, foram cortados a laser, ambos em aço S275JR. O processo de fabrico dos três componentes tem uma importância muito significativa no seu comportamento ao desgaste. O processo de corte laser origina uma zona termicamente afetada em redor da linha de corte, que possui uma maior dureza e logo uma maior resistência ao desgaste. A interação de um material mais macio (veio) com o material mais duro (chapas) provoca um desgaste prematuro no veio.

Existem quatro soluções para reduzir este fenómeno de desgaste:

- aumentar a área de contacto nas chapas, aumentando a sua espessura localmente na zona de interação com o veio;
- aumentar a dureza superficial do veio na zona de interação com as facetadas, através da realização do tratamento térmico de cementação, uma vez que o aumento da dureza no interior do veio deve ser o mais reduzido possível para não diminuir a sua tenacidade;
- reduzir a massa da tampa, por forma a diminuir a força de transmissão exercida nas facetadas;
- criar outro tipo de ligação entre os componentes, por forma a evitar o uso das facetadas. No entanto é difícil propor uma ligação diferente dadas as restrições em termos de espaço necessário para a montagem dos componentes.

As quatro soluções podem ainda ser combinadas, por forma a aumentar a longevidade dos componentes.

- a pala (ou pega) existente na tampa invade o espaço do utilizador (depositante dos resíduos). Esta solução de pega deve ser alterada, por forma a reduzir algum risco que possa existir para o utilizador. A remoção deste elemento também permitirá reduzir significativamente a força a exercer no pedal, uma vez que a pega contribui bastante na posição do centro de massa da tampa.

Após esta análise, da qual foram registadas as soluções, foi decidido testar a solução do mecanismo com braço transmissor, uma vez que, na fase de projeto, bem como no teste do mecanismo de alavancas, as ilações registadas prevêm que este mecanismo apresente um melhor comportamento quando em funcionamento.

### 3.2.3.2 Teste do mecanismo com braço transmissor

Para o teste do mecanismo com braço transmissor, os componentes que não necessitaram de ser soldados na fase de teste do mecanismo anterior, e que não eram comuns a este mecanismo, foram removidos da estrutura de base do marco. Os restantes componentes ficaram posicionados na estrutura, uma vez que não interferiam com o funcionamento deste mecanismo.

Na fase de montagem e de teste do mecanismo, observou-se que o braço transmissor, quando solicitado ao esforço exercido no pedal, encurvava. Posto este problema, bem como a dificuldade sentida na afinação da tampa, tomaram-se medidas por forma a permitir a rotação da tampa um ângulo de 90°, em relação à posição de fechada. Foi decidido dividir o braço em duas partes, unindo-as com abraçadeiras, como se observa na Figura 233. Com esta alteração foi possível aumentar significativamente a secção do braço, duplicando assim a inércia segundo o eixo menos resistente.



Figura 233 - Demonstração do mecanismo com braço transmissor com a tampa aberta.



Figura 234 - Vista exterior do marco.

Através dos ensaios realizados a este mecanismo, é possível caracteriza-lo como funcional. Os testes foram realizados sem qualquer componente para compensação de forças (molas, amortecedores ou contrapesos). No entanto, caso seja necessário, é possível acrescentar esses componentes de compensação na barra do pedal. A vista do exterior do marco após a estruturação, sem tratamento superficial, é apresentada na Figura 234.

### 3.2.3.3 Teste do mecanismo de fecho da porta comercial

A última fase do processo de testes do marco consistiu no teste do mecanismo da porta comercial. Este ensaio consistiu na montagem da porta comercial na estrutura fixa (Figura 235), com o objetivo de verificar o funcionamento. Para o ensaio do conjunto ser bem-sucedido, é necessária a confirmação do fecho da porta assim que esta seja largada da posição de totalmente aberta (Figura 236). Com a aplicação dos cilindros a gás definidos (250 N), o fecho da porta foi garantido, sendo o outro requisito relativo à velocidade com que a porta fechava totalmente também atingido, uma vez que a velocidade com que esta posição é atingida não representa riscos para os depositantes dos resíduos. Dado o acesso a esta porta ser restrito apenas a pessoas autorizadas, com recurso a chave ou cartão RFID/NFC, não existe o perigo de crianças ou animais correrem o risco de entalamento ou queda, também devido ao limitador de curso da abertura.



Figura 235 - Zona lateral de aplicação do eixo da porta.



Figura 236 – Exemplo de eixo da porta comercial.

### 3.2.4 Conclusão

Após a montagem e verificação de todo o conjunto, procedeu-se às retificações dos aspetos a melhorar obtidos neste estudo, das quais se destacam:

- definição do mecanismo como sendo o de braço transmissor, ficando assim definido no processo de fabrico apenas as peças necessárias para esse mecanismo. São excluídas as alterações realizadas para tornar as peças comuns aos dois mecanismos na fase de teste;
- alterar a pala para uma pega embutida na superfície da tampa, por forma a não invadir a zona de posicionamento do depositante, no momento da abertura da tampa.

Com estas alterações realizadas ao protótipo, é possível colocar o projeto em fabrico, sendo garantido o cumprimento de grande parte dos requisitos estabelecidos na fase do anteprojecto. Na Figura 237 e Figura 238 apresentam-se genericamente as vistas frontal e traseira do marco Cambridge, cujo processo de fabrico revisto será apresentado no Anexo V.



Figura 237 - Perspetiva frontal do marco Cambridge.



Figura 238 - Perspetiva traseira do marco Cambridge.

### 3.2.4.1 Análise de custos

Com base no projeto e conceção do marco protótipo, é possível estimar os custos de matéria prima e mão de obra para a produção deste conjunto. Para esta análise, há que ter em conta que foram realizadas duas experiências, sendo que parte do custo de mão de obra não pode ser imputado ao custo final do marco. Com recurso ao SAP, *software* de gestão utilizado na empresa, é possível obter os valores lançados na ordem de produção. Na Tabela 45 são descritos os custos por tipologia.

Tabela 45 - Custos de fabrico do marco Cambridge.

Tipo de custo	Descrição	Custo
<b>Matéria prima</b>	Chapa, barra e tubo <sup>1</sup>	64,25 €
	Elementos de fixação, casquilhos e fecho	28,50 €
	Cilindros a gás	42,00 €
	Consumíveis	12,20 €
	<b>Total de custos com matéria prima</b>	<b>146,95 €</b>
<b>Mão de obra</b>	<b>Total</b>	<b>232,00 €</b>
<b>Pintura (Estimado)</b>	<b>Total</b>	<b>30,00 €</b>
	<b>Custo aproximado do marco<sup>2</sup></b>	<b>408,95 €</b>

<sup>1</sup> Matéria prima no seu estado de fornecimento;

<sup>2</sup> Custo total obtido considerando um custo de pintura estimado e um valor de mão de obra previsto para o marco, munido com o mecanismo de braço transmissor.

Após a análise de custos da Tabela 45, realizada mediante um marco construído maioritariamente em aço ao carbono, equipado com todas as funções (tampa com pedal e porta comercial), possuindo o mecanismo de acionamento de braço transmissor e com abertura da porta comercial através de chave, é possível estimar um valor de custo unitário de 402,7 €.

### 3.3 Equipamento HS4

No presente subcapítulo irá ser proposta uma cotação para o equipamento HS4 estudado, contemplando todas as alterações e novos componentes desenvolvidos ao longo deste trabalho.

Na Tabela 46 são listados os vários itens mais relevantes do equipamento com o respetivo custo.

Tabela 46 - Valores de custo, por item, do equipamento HS4.

Item	Custo
Estrutura HS4 inserida na cuba técnica	5833,80 €
Barreiras de segurança	515,94 €
Marcos de deposição Cambridge	1635,80 €
Montagem	945,00 €
Total	8930,50 €

Com recurso à Tabela 46, é possível verificar que o conjunto do equipamento HS4 contemplando os itens descritos (Figura 239), montado num raio de 100 km e excluídos os trabalhos de construção civil, apresenta um preço de custo que ronda os 8931 €. Considerando um fator de lucro de 1,25, é possível apresentar um valor estimado para esta solução enterrada de 11163 €. Este valor é apresentado considerando a encomenda apenas de um equipamento. No entanto, este valor é negociável no caso de o volume da encomenda ser superior, uma vez que será possível aumentar a competitividade em economia de escala. É importante evidenciar que este equipamento, munido com os itens indicados na Tabela 46, é cumpridor de todas as normas europeias e regulamentos nacionais aplicáveis.

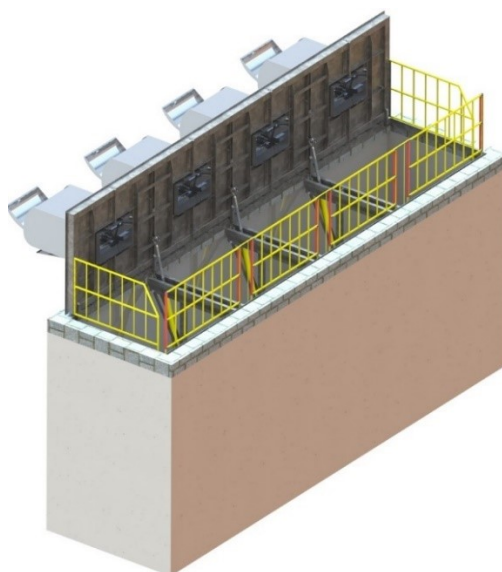


Figura 239 – Modelo revisto do equipamento HS4 totalmente equipado.

# CONCLUSÕES



## 4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

O processo de armazenamento acondicionado de resíduos desempenha uma função basilar no ciclo de tratamento dos mesmos. Com a existência de uma legislação cada vez mais restrigente no que diz respeito ao reaproveitamento dos materiais reciclados e diminuição dos resíduos depositados em aterros, o desenvolvimento e melhoria contínua de equipamentos de recolha é um fator determinante na forma de como os países lidam com as imposições normativas impostas no sentido de combater o desperdício de recursos recicláveis.






O projeto de soluções mecânicas adequadas requer todo um processo de investigação, por forma a dar a melhor resposta, não só às funções que os equipamentos de recolha irão desempenhar, mas também às necessidades atuais do mercado.

Com o mercado a um nível de evolução frenético, é necessário ter sempre em consideração fatores como custo da matéria prima, mão de obra e logística. Recorrendo a soluções modulares e à uniformização de vários componentes *standard* para diversos equipamentos enterrados, é possível um fabrico em série dos mesmos, preterindo do fabrico unitário muitas vezes recorrido neste tipo de produtos. Desta forma é possível reduzir substancialmente os custos, através da diminuição de artigos em *stock* e pela economia de valores significativos na compra de componentes e serviços em larga escala.

A alteração dos requisitos a nível estrutural também é um fator em destaque. Os equipamentos são normalmente sobredimensionados, por forma a desempenharem as suas funções estruturais com um fator de segurança elevado. Este facto representa não só um custo acrescido em matéria prima, mas também em mão de obra e logística. Existe um longo trabalho a desenvolver nesta área e a combinação dos parâmetros mencionados requer uma ponderação cuidada de custo/benefício. No entanto, essa ponderação é muitas vezes desleixada, face à dificuldade de despender tempo em melhorias a projetos cujo processo já está previamente definido e testado, sendo seguido constantemente como padrão.

No que diz respeito aos objetivos estabelecidos para esta dissertação, entende-se que estes foram cumpridos, uma vez que todos temas definidos na fase inicial deste trabalho foram abordados e justificadamente validados, por forma a serem também uma mais valia para a empresa. Na Tabela 47 apresentam-se, resumidamente, os objetivos traçados inicialmente. Nesta tabela são realizados alguns comentários e indicado o ponto de situação em que ficou cada objetivo após o término da dissertação.

Tabela 47 - Síntese dos objetivos da dissertação, comentários e respectivo ponto de situação.

Objetivo	Comentários	Estado
Obtenção de uma validação estrutural do equipamento HS.	<p>A pesquisa exaustiva de legislação e enquadramento da mesma ao caso em estudo foi, desde a fase inicial da dissertação, uma prioridade.</p> <p>Ao seguir desde logo a legislação, foi possível validar a estrutura atual face às situações de esforço impostas, bem como definir possíveis alterações futuras.</p>	
Projeto de um dispositivo de segurança para o equipamento modular HS.	<p>Encontrada uma solução para possível aplicação, tanto em equipamentos já em funcionamento (necessárias algumas alterações), como em futuros equipamentos a serem construídos. As alterações necessárias a realizar a equipamentos modulares em funcionamento foram validadas com recurso ao MEF. No caso de se tratar de equipamentos cuja versão não é modular (anteriores a 2010), esta solução não é possível.</p>	
Redução do custo de produção e de problemas existentes atualmente.	<p>Após todos os estudos estruturais realizados, contemplando as opiniões das pessoas envolvidas no fabrico e instalação do equipamento, foi possível reduzir o custo deste equipamento em cerca de 4,5%, sendo também destacada a redução de 15% do peso e da probabilidade de ocorrência de danos resultantes do tratamento superficial de galvanização.</p>	
Projeto e conceção de um novo marco protótipo.	<p>Objetivo bem-sucedido, resultando na conceção do marco com tampa “Cambridge”, apresentando-se um protótipo do mesmo. A pesquisa bibliográfica realizada foi fundamental para a obtenção do sucesso neste projeto.</p>	
Orçamentação de uma solução completa.	<p>Com base no estudo dos custos, detalhado ao longo do trabalho, foi possível apresentar um orçamento do equipamento contemplando a totalidade das soluções apresentadas, cumprindo integralmente a legislação em vigor.</p>	

Infelizmente, contra as previsões estabelecidas inicialmente, não foi possível colocar parte dos projetos descritos na dissertação em fabrico até ao momento, dada a influência que o COVID-19 teve no quotidiano da empresa. Espera-se que, assim que possível, se proceda ao fabrico e ensaio das soluções propostas.

Após a elaboração da presente dissertação, verifica-se que existem ainda diversos aspetos a abordar na empresa a vários níveis. Procedeu-se ao levantamento de algumas necessidades, da área SIR, cuja importância de estudar a curto/médio prazo é relevante para uma resposta mais completa da empresa às necessidades do mercado, destacando-se de entre elas:

- analisar a possibilidade de realizar alterações aos HS, cuja versão não é compatível com a barreira de segurança estudada, por forma a permitir a implementação de um dispositivo que garanta o cumprimento integral da legislação aplicável;
- poderá ser estudada outra forma de içamento da barreira de segurança do HS, caso se conclua, após testes, que o cabo de aço não desempenha essa função da melhor forma. Poderá ser explorada a possibilidade da expansão da rede hidráulica uma vez que o levantamento da tampa já é acionado com recurso a este tipo de energia;
- verificar as restantes soluções de equipamentos enterrados da empresa e estudar a possibilidade da adaptação de dispositivos de segurança em outros equipamentos. Poderá também existir a possibilidade de propor melhorias a alguns dispositivos. Sempre que possível devem ser aplicadas peças que sejam comuns a diferentes equipamentos para reduzir custos de logística e *stocks*;
- realizar estudos estruturais aos diversos equipamentos de recolha de RSU da Sitape, por forma a tentar reduzir custos de matéria prima e mão de obra, tendo em consideração os requisitos mínimos da legislação aplicável, por forma a melhorar a competitividade das soluções da empresa;
- realizar estudos aos equipamentos de acionamento hidráulico existentes e tentar reduzir custos relacionados com o sobredimensionamento destes;
- desenvolver um sistema de limpeza autónomo ou semiautónomo para as cubas técnicas, por forma a facilitar o processo de higienização das mesmas;
- desenvolver um novo marco com tampa, por forma a aumentar a oferta destes dispositivos no mercado por parte da Sitape. O acionamento mecânico e os componentes internos devem ser o mais similares possível com o marco Cambridge.



**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Aclweb. (2019). Cubas em betão. Disponível em: <https://aclweb.pt/pt/produtos/outro-bet-o/cubas-ecoponto/cubas?format=10856&color=7245>. [Consultado em: 1 de novembro de 2019].
- Aisa, J., Javierre, C., & De la Serna, J. A. (2006). An example of simulation tools use for large injection moulds design: The CONTENUR™ 2400 I solid waste container. *Journal of Materials Processing Tech.*, 175(1), 15-15-19. doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.04.006
- ANSI. (2016). Supersedes the Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.
- APA. (2018). *Persu 2020*. Disponível em: <https://apambiente.pt/zdata/DESTAQUES/2019/PERSU2020/PERSU2020%20Audicao Publica dez2018.pdf>.
- Arsopi. (2019). Depósitos. Disponível em: <http://www.arsopi.pt/pt/catalogo/alimentar/vinho/depositos/>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Azpneumatica. (2019). Instalações. Disponível em: <http://azpneumatica.com/public/>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Banggood. (2019). Produtos. Disponível em: <https://pt.banggood.com>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Belchior. (2019). Equipamentos em aço. Disponível em: <http://www.zanet.pt/600/>. [Consultado em: 16 de novembro de 2016].
- Bigstockphoto. (2019). Riveted joints. Disponível em: <https://www.bigstockphoto.com/pt/image-33181889/stock-photo-riveted-joints>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2010). Shigley's Mechanical Engineering Design (9th edition). New York: McGraw-Hill Education.
- Campilho, R. D. S. G. (2012). Método de Elementos Finitos - Ferramentas para Análise Estrutural. Porto: Publindústria.
- Castro&Alves. (2019). Catálogo de produtos: Fresadora VFM 95. Disponível em: <https://castroalves.pt/pdf/catalogos/Epple/Epple.html>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Cat. (2019). Excavators. Disponível em: <https://www.cat.com/en IN/products/>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- CE. (2010). Being wise with waste : the EU ' s approach to waste management. *Publications Office of the European Union*, 20. doi:10.2779/93543
- CE. (2018). Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeia e do Conselho de 30 de maio de 2018 que altera a Diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos. In. Bruxelas, Bélgica: Comissão Europeia.
- CEN. (2004). DIN EN 10327: Continuously hot-dip coated strip and sheet of low carbon steels for cold forming. In. Bruxelas, Bélgica: Comité Europeu de Normalização.

- CEN. (2005). DIN EN 10025-2: Hot rolled products of structural steels - Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels. In. Bruxelas, Bélgica: Comité Europeu de Normalização.
- CEN. (2008). EN13071-1: Stationary waste containers up to 5 000 l, top lifted and bottom emptied - Part 1: General requirements. In. Bruxelas, Bélgica: Comité Europeu de Normalização.
- CEN. (2010a). Eurocódigo 3, Parte 1-1. In. Bruxelas, Bélgica: Comité Europeu de Normalização.
- CEN. (2010b). Eurocódigo 3, Parte 1-8. In. Bruxelas, Bélgica: Comité Europeu de Normalização.
- Contenur. (2019). Produtos Contenur. Disponível em: <https://www.contenur.com/productos/contenedores/>. [Consultado em: 22 de setembro de 2019].
- Cruz, N. F., Simões, P., & Marques, R. C. (2012). Economic cost recovery in the recycling of packaging waste: The case of Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 37, 8-18. doi:10.1016/j.jclepro.2012.05.043
- Cudell. (2014). Catálogo de cilindros hidráulicos. Disponível em: [https://cudell.pt/sites/cudell.pt/files/catalogo\\_cilindros\\_hidraulicos\\_c200\\_0.pdf](https://cudell.pt/sites/cudell.pt/files/catalogo_cilindros_hidraulicos_c200_0.pdf). [Consultado em: 10 de junho de 2020].
- Domingues, J. S. (2003). Apontamentos de Órgãos de Máquinas. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- DR. (1986). Decreto-Lei n.º 211/86. *Diário da República*. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/218679>
- DR. (2019a). Despacho Normativo n.º 21/2019. *Diário da República, Artigo 1.º*. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/124750394>
- DR. (2019b). Regulamento n.º 2/2019 *Diário da República, Artigo 23.º*. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/117551690>
- DR. (2019c). Regulamento n.º 26/2019 *Diário da República, Artigo 8º, i)*. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/117621800>
- Eco-solutions. (2019). EcoKalçada. Disponível em: [http://www.eco-solutions.pt/1/ecokalcada\\_1164272.html](http://www.eco-solutions.pt/1/ecokalcada_1164272.html). [Consultado em: 1 de novembro de 2019].
- ERSAR. (2016). Caracterização do setor de águas e resíduos. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/publicacoes/relatorio-anual-do-setor>. [Consultado em: 5 de outubro de 2019].
- ERSAR. (2018). Resíduos Urbanos. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/setor/caracterizacao/residuos-urbanos>. [Consultado em: 5 de outubro de 2019].
- Estrutural. (2019). Proteção para máquinas em alumínio. Disponível em: <https://www.estrutural.com/protecao-maquinas-aluminio#group1-5>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Estudio D1. (2019). Marcos. Disponível em: <http://www.estudiod1.pt/>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Eurostat. (2017). Estatísticas dos resíduos. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics/pt](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/pt). [Consultado em: 29 de setembro de 2019].
- Eurostat. (2019). Municipal waste statistics. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

- [explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](#). [Consultado em: 26 de outubro de 2019].
- Expertise, E. S. (2019). Underground Waste Systems. Disponível em: [https://www.ese.com/fileadmin/templates/files/Downloads/Broschueren/LL\\_S EMIO - STEEL - ESE EN.pdf](https://www.ese.com/fileadmin/templates/files/Downloads/Broschueren/LL_S EMIO - STEEL - ESE EN.pdf). [Consultado em: 9 de dezembro de 2019].
- Fernandes, G. A. T. (2009). Optimização da recolha de resíduos sólidos indiferenciados no município de Sintra : Aplicação de SIG a um Sistema de Apoio à Decisão. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- Formato Verde. (2019). Site Institucional. Disponível em: <https://www.formatoverde.com>. [Consultado em: 22 de setembro de 2019].
- Galvaza. (2020). Galvanização. Disponível em: [http://galvaza.pt/wp-content/uploads/2018/09/Galvanizing\\_low.pdf](http://galvaza.pt/wp-content/uploads/2018/09/Galvanizing_low.pdf). [Consultado em: 4 de junho de 2020].
- Gonzalez, C. (2015). What's the Difference between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical Actuators? *Machine Design*. Disponível em: <http://machinedesign.com/linear-motion/what-s-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators>
- Granitos Urbanos. (2020). Produtos. Disponível em: <http://www.granitosurbanos.pt/Granitos-Materiais.aspx>. [Consultado em: 10 de maio de 2020].
- Guimarães, J. D. O. (2015). Comando de movimento de plataforma elevatória com sincronização de cilindros hidráulicos. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Hiwin. (2020). Produtos Hiwin. Disponível em: <https://www.hiwin.com/product-overview.html>. [Consultado em: 1 de maio de 2020].
- IFCE. (2008). Tecnologia Pneumática Industrial. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Disponível em: <https://www.doccity.com/pt/pneumatica-11/4700780/>.
- Inocambra. (2019). Portefólio. Disponível em: <http://inocambra.pt/projeto.php?id=16>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- JFPSI. (2017). Conclusão dos trabalhos na ilha ecológica. Disponível em: <http://if-povoaforte.pt/project/conclusao-dos-trabalhos-na-ilha-ecologica-na-praceta-jaime-cortesao-na-povoa-santa-iria-intervencao-realizada-pela-cam-1/>. [Consultado em: 16 de dezembro de 2019].
- Kempfer, L. (2006). Welded vs. Bolted *Material Handling & Logistics*. Disponível em: <https://www.mhlnews.com/facilities-management/article/22040676/the-welded-vs-bolted-debate>
- Kipp. (2019). Produtos. Disponível em: <https://www.kipp.pt/pt/pt/Produtos.html>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Kuijjer, P. D., & Frings, M. (2004). World at work: Refuse collectors. A discussion of risks of the job and measures to protect the workers. *International Journal of Industrial Ergonomics*. doi:10.1136/oem.2002.001172
- Laranjeira, L. (2008). Desenvolvimento de um Sistema de Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Martinho, M. G., & Gonçalves, M. G. P. (2000). Manual de Gestão de Resíduos. Lisboa: Universidade Aberta.

- Martins, N. M. R. (2016). Análise e optimização da recolha de resíduos: contributo de um SIG para a área de gestão assegurada pela CMPorto. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo.
- Matweb. (2020). Base de dados de materiais. Disponível em: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fe5e341d6e2a42888b72772880870317&ckck=1>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Merlin Industrial. (2019). Produtos. Disponível em: <https://www.merlin-industrial.co.uk/environmental/waste-management/underground-waste-storage-system>. [Consultado em: 31 de março de 2020].
- Mota-Engil. (2016). Betões. Disponível em: [https://engenharia.mota-engil.pt/wp-content/uploads/2017/05/2016-Betoes\\_PT\\_V2\\_07\\_2016.pdf](https://engenharia.mota-engil.pt/wp-content/uploads/2017/05/2016-Betoes_PT_V2_07_2016.pdf). [Consultado em: 12 de maio de 2020].
- Ovo Solutions. (2012). Contentores. Disponível em: <https://www.ovosolutions.com/>. [Consultado em: 9 de fevereiro de 2020].
- PE. (2018a). Diretiva (UE) 2018/850 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018 que altera a Diretiva 1999/31/CE relativa à deposição de resíduos em aterros. In (Vol. 2018): Parlamento Europeu.
- PE. (2018b). Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos. In *Jornal Oficial da União Europeia* (pp. 109-140).
- PE. (2018c). Diretiva (UE) 2018/852 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018 que altera a Diretiva 94/62/CE relativa a embalagens e resíduos de embalagens. In.
- PE. (2018d). Resíduos de plástico e reciclagem na UE: factos e números. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20181212STO21610/residuos-de-plastico-e-reciclagem-na-ue-factos-e-numeros>. [Consultado em: 19 de setembro de 2019].
- Plasticolors. (2019). Produtos. Disponível em: <http://www.plasticolors.pt/site/index.php/ct-menu-item-5/8?view=project>. [Consultado em: 19 de setembro de 2019].
- Puzzle Advance. (2019). Fechaduras Cilíndricas. Disponível em: <https://www.puzzleadvance.com/portfolio/fechaduras-e-dobradicas/fechaduras-cilindricas>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Ramada Aços. (2020). F 10 N (Ck45). Disponível em: [ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ao-carbono/f-10-n\\_.html](http://ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ao-carbono/f-10-n_.html).
- Rodrigues, S. S. M. (2017). Classificação e Benchmarking de Sistemas de Recolha de Resíduos Urbanos. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- Rollon. (2020). Guias Lineares. Disponível em: <https://www.rollon.com/BR/pt/produtos/linear-line/1-compact-rail/>. [Consultado em: 16 de maio de 2020].
- Sá Castro (2020). Catálogo de Ferragens. Disponível em: <https://www.sacastro-ferragens.com/catalogos/>. [Consultado em: 2 de maio de 2020].
- Santos, F. (2018). A Estrutura Metálica em Portugal no ano 2017. E em 2027? *Construção Magazine*. Disponível em: <http://www.construcaomagazine.pt/noticias/estrutura-metalica-em-Portugal>
- Schaeffler. (2019). Produtos. Disponível em: <https://www.schaeffler.pt>. [Consultado em: 19 de setembro de 2019].

- SCI. (2013). Joints in steel construction: moment-resisting joints to eurocode 3 (The British Constructional Steelwork Association Limited P398): The Steel Construction Institute.
- Sedaghatjoo, Z., Dehghan, M., & Hosseinzadeh, H. (2018). Numerical solution of 2D Navier–Stokes equation discretized via boundary elements method and finite difference approximation. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 96, 64-77. doi:10.1016/j.enganabound.2018.08.004
- Silva, A. F. (2017). Apontamentos de Automação I. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Silva, F. J. G. (2016). Tecnologia da Soldadura. Porto: Pubblindústria.
- Silva, L. S., & Santiago, A. (2003). Manual de ligações metálicas (3ª Edição). Coimbra: Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista.
- Simões, R. A. D. (2005). Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas (2ª Edição). Coimbra: Associação Portuguesa de Construções Metálicas e Mistas.
- Sitape. (2019). Site institucional. Disponível em: [www.sitape.pt](http://www.sitape.pt). [Consultado em: 29 de novembro de 2019].
- Sopsa. (2019). Semi-Enterrados para RSU'S. Disponível em: <http://www.sopsa.pt/sites/default/files/produtos/DIGITAL-SPBrochura-SEMI-PEAD-PTV2.1.ED0146DO18.pdf>. [Consultado em: 9 de novembro de 2019].
- Sotkon. (2019). Simple and efficient waste systems. Disponível em: <https://sotkon.com/>. [Consultado em: 9 de novembro de 2019].
- Tavares, J. M. R. S. (2012). Apontamentos de órgãos de máquinas. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Technological Studies (2019). Pneumatic Systems Disponível em: [https://resources.hkedcity.net/res\\_files/201101/20110128101153\\_259037.pdf](https://resources.hkedcity.net/res_files/201101/20110128101153_259037.pdf). [Consultado em: 9 de novembro de 2019].
- Teixeira, S., Monteiro, E., Silva, V., & Rouboa, A. (2014). Prospective application of municipal solid wastes for energy production in Portugal. *Energy Policy*, 71, 159-168. doi:10.1016/j.enpol.2014.04.002
- TRace. (2020). Produtos TRace. Disponível em: <https://t-race.com>. [Consultado em: 1 de maio de 2020].
- Travel Sygic. (2019). Ponte Forth. Disponível em: <https://travel.sygic.com/pt/poi/ponte-forth-poi:2270>. [Consultado em: 16 de novembro de 2019].
- Tropical Hobbies. (2019). Fibreglass Ponds. Disponível em: <https://www.tropical-hobbies.com>. [Consultado em: 19 de setembro de 2019].
- Vialgo. (2019). Contentores Semienterrados. Disponível em: [https://vialgo.com/Tierso\\_contentores\\_enterrados\\_mail.pdf](https://vialgo.com/Tierso_contentores_enterrados_mail.pdf). [Consultado em: 19 de setembro de 2019].
- Wattson. (2018). 16 municípios do Planalto Beirão vão receber 750 contentores Ecopontos. Disponível em: <https://www.wattson.pt/2018/12/18/16-municipios-do-planalto-beirao-va-receber-750-contentores-ecopontos/>.



# ANEXOS

- 6.1 ANEXO I –Dados de capitação anual de resíduos urbanos na EU, referentes ao ano de 2017
- 6.2 ANEXO II – Resumo de algumas das decisões mais relevantes a nível europeu e nacional ao nível dos RU
- 6.3 ANEXO III – Extrato de condições impostas para concursos públicos
- 6.4 Anexo IV – Processo técnico do HS4 com alterações e respetiva barreira de segurança.
- 6.5 ANEXO V – Processo técnico do marco Cambridge



## 6 ANEXOS



<b>Luxembourg</b>	697	679	679	666	652	616	626	607	609	607
<b>Hungary</b>	454	430	403	382	402	378	385	377	379	385
<b>Malta</b>	674	649	601	589	590	579	591	606	593	604
<b>Netherlands</b>	600	589	571	568	549	526	527	523	520	513
<b>Austria</b>	600	590	562	573	579	578	565	560	564	570
<b>Poland</b>	320	316	316	319	317	297	272	286	307	315
<b>Portugal</b>	518	520	516	490	453	440	453	460	474	487
<b>Romania</b>	411	381	313	259	251	254	249	247	261	272
<b>Slovenia</b>	542	524	490	415	362	414	432	449	457	471
<b>Slovakia</b>	313	307	319	311	306	304	320	329	348	378
<b>Finland</b>	521	480	470	505	506	493	482	500	504	510
<b>Sweden</b>	483	470	439	449	450	451	438	447	443	452
<b>United Kingdom</b>	541	522	509	491	477	482	482	483	483	468
<b>Iceland</b>	655	414	484	495	511	516	535	588	656	656
<b>Norway</b>	487	470	469	485	477	496	423	422	754	748
<b>Switzerland</b>	736	702	708	689	694	702	730	725	720	706
<b>Montenegro</b>	:	:	:	524	494	497	484	503	518	:
<b>North Macedonia</b>	349	354	351	357	381	384	370	380	385	344
<b>Albania</b>	:	:	:	:	:	325	425	491	452	436
<b>Serbia</b>	347	360	363	375	364	336	299	259	268	306
<b>Turkey</b>	400	419	407	416	410	406	405	400	426	425
<b>Bosnia and Herzegovina</b>	356	354	332	340	340	311	:	:	354	352
<b>Kosovo (under United Nations Security Council Resolution 1244/99)</b>	:	:	:	:	:	:	:	178	222	228

## 6.2 ANEXO II – Resumo de algumas das decisões mais relevantes a nível europeu e nacional ao nível dos RU

Tabela 48 - Resumo de algumas das decisões mais relevantes a nível europeu e nacional acerca dos RU.

Decisão	Descrição
<b>Diretiva 75/442/CEE- Relativa a resíduos</b>	Os estados membros fixaram princípios fundamentais acerca da necessidade de criar políticas relacionadas com a proteção do ambiente.
<b>Publicação Nacional do Decreto-Lei n.º 488, de 25 de novembro de 1985</b>	Foram definidas as diversas competências e responsabilidades no domínio dos resíduos, quer a nível central, quer a nível local. A partir deste Decreto-Lei, a gestão dos resíduos em Portugal assumiu uma maior relevância no âmbito da política de ambiente, que se consolidou em 1987, com a consagração do princípio da responsabilidade do produtor na Lei de Bases do Ambiente (Lei N.º 11/87, de 7 de abril).  Portugal, enquanto país membro da UE, foi transpondo para a legislação nacional as Diretivas Europeias, utilizando planos específicos de gestão de resíduos de âmbito nacional, que fixaram objetivos estratégicos e regras orientadoras da política de resíduos, sobretudo a partir de finais da década de 90 (Rodrigues, 2017).
<b>Diretiva Embalagens -94/62/CE</b>	Nesta Diretiva, os “resíduos de embalagens”, são definidos como "todos e quaisquer produtos feitos de materiais de qualquer natureza utilizados para conter, proteger, movimentar, manusear, entregar e apresentar mercadorias, tanto matérias-primas como produtos transformados, desde o produtor ao utilizador ou consumidor, incluindo todos os artigos descartáveis utilizados para os mesmos fins. Esta diretiva foi transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de dezembro, e cuja atual redação é dada pelo Decreto-Lei n.º 92/2006, de 25 de maio, é determinante para o sector.
<b>1995 - Aprovado o primeiro Plano Nacional da Política do Ambiente (PNPA)</b>	É prevista a elaboração de um Plano Nacional de Resíduos, incentivando a redução, recolha seletiva e reciclagem dos RU e o aperfeiçoamento dos sistemas de informação, e da capacidade de avaliação e monitorização dos RU. Nesta altura, quase todo o país se encontrava servido por lixeiras (cerca de 300), os aterros sanitários e as instalações de

	<p>compostagem a funcionar bem não chegavam a meia dúzia e os sistemas de reciclagem eram atividades marginais, não estruturadas, ineficientes e, na sua maior parte, irracionais do ponto de vista económico e ambiental. O grande atraso em relação aos restantes países da UE e as graves disfunções ambientais causadas pela má gestão dos RU deram ao sector dos resíduos uma prioridade em matéria de política ambiental que se materializou na aprovação, em 1996, do primeiro plano nacional para a sector dos RU, o Plano Estratégico para a Gestão dos Resíduos Urbanos (PERSU) (Rodrigues, 2017).</p>
<p><b>Publicação Nacional do Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de dezembro</b></p>	<p>Nesta publicação é regulamentado o fluxo das embalagens e resíduos de embalagens, seguindo-se outros relativos à gestão de pilhas, acumuladores usados, pneus, resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos, óleos usados e, ainda, da gestão de resíduos resultantes da construção ou demolição.</p>
<p><b>PERSU I – 1997:2007</b></p>	<p>Verificou-se um desenvolvimento significativo da infraestruturização na gestão de resíduos em Portugal, envolvendo o encerramento das lixeiras, a criação de sistemas multimunicipais e intermunicipais, a construção de novas infraestruturas de valorização e eliminação, a implementação de sistemas de recolha seletiva multimaterial e, ainda, a definição de linhas de orientação geral para a criação de sistemas de gestão de fluxos específicos de resíduos.</p>
<p><b>Diretiva Aterros 1999/31/CE</b></p>	<p>Diretiva relativa à deposição de resíduos em aterros, transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, na qual são estabelecidas as metas de deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro para Portugal, prevendo a minimização da deposição em aterro de resíduos que tenham potencial de reciclagem.</p>
<p><b>Portaria N.º 187/2007 aprova: PERSU II – 2007:2016</b></p>	<p>Realização de novos esforços para garantir uma adequada gestão dos RU e o cumprimento dos compromissos europeus em matéria de gestão de resíduos. Este plano foi revisto para responder a diferentes necessidades, destacando-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i) a inclusão de uma nova meta comunitária de preparação para reutilização e reciclagem para o ano de 2020;</li> </ul>

- ii) a recalendarização das metas comunitárias de redução da deposição de Resíduos Urbanos Biodegradáveis (RUB) em aterro relativas a 2009 e 2016, respetivamente, para 2013 e 2020;
- iii) a atualização e integração do Programa de Prevenção de Resíduos Urbanos.

Da revisão do PERSU II resulta a publicação do PERSU 2020 - “Uma fonte renovável de recursos”, aprovado pela Portaria n.º 187-A/2014, a 17 de setembro de 2014.

**Diretiva Quadro Resíduos 2008/98/CE - substituiu a Diretiva 2006/12/CE)**

Decisão de avançar para uma sociedade de reciclagem e valorização, significa subir na hierarquia, preterindo os aterros e privilegiando cada vez mais a reciclagem e a valorização.

**Diretiva-Quadro de Resíduos transposta através do Decreto-Lei n.º 178/2006, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011**

Reforçar a prevenção da produção de resíduos e fomentar a sua reutilização e reciclagem, com vista a prolongar o seu uso na economia antes de os devolver em condições adequadas ao meio natural. Este documento define o “Regime Geral de Gestão de Resíduos” aplicável à prevenção, produção e gestão de resíduos. O Decreto-Lei prevê, à semelhança da Diretiva, que Portugal assegure a elaboração de um ou mais planos de gestão e programas de prevenção de resíduos.

No mesmo Decreto-Lei são fixadas as seguintes metas a alcançar até 2020:

- i) Um aumento mínimo global para 50% em peso relativamente à preparação para a reutilização e reciclagem de RU, incluindo o papel, o cartão, o plástico, o vidro, o metal, a madeira e os RUB;
- ii) Um aumento mínimo para 70% em peso relativamente à preparação para a reutilização, a reciclagem e outras formas de valorização material, incluindo operações de enchimento que utilizem resíduos como substituto de outros materiais, resíduos de construção e de demolição não perigosos.

**Decisão n.º 1386/2013/UE**

“Viver bem, dentro das limitações do nosso planeta”.

No âmbito do programa de trabalho da Comissão Europeia em 2013, foi prevista a revisão global da política e legislação europeias em matéria de resíduos, concretizada pela CE em

	dezembro de 2015, pela adoção do novo pacote da economia circular com medidas de apoio que cobrem todo o ciclo de produção, acompanhadas pelo suporte financeiro do Horizonte 2020 e fundos estruturais para a gestão de resíduos.
<b>Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho</b>	Apresenta o mercado organizado de resíduos como um espaço de negociação que agrega as várias plataformas onde se processam as transações de resíduos que sejam reconhecidas pela APA e define os mecanismos de incentivo financeiro e administrativo à adesão a este mercado.
<b>Decreto-Lei n.º 92/2013, de 11 de julho</b>	Define o regime de exploração e gestão dos sistemas multimunicipais de águas e resíduos, o Decreto-Lei n.º 195/2009, de 20 de Agosto (mais recentemente alterado pelo Decreto-Lei n.º 96/2014, de 25 de Junho) que define o regime jurídico da concessão da exploração e da gestão, em regime de serviço público, dos sistemas multimunicipais, o Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de Agosto, que "estabelece o regime jurídico dos serviços municipais de (...) gestão de resíduos urbanos", isto é, de gestão direta, e mais recentemente a Deliberação n.º 928/2014, que aprova o regulamento tarifário do serviço de gestão de RU.
<b>COM/2015/0614 revê as Diretivas 2008/98/CE, 1999/31/CE e 94/62/CE.</b>	Obriga Portugal a rever o PERSU 2020, uma vez que apresenta um objetivo de reciclagem de 65% para os RU, de 75% para os resíduos de embalagens, e um objetivo de redução da deposição em aterro a um máximo de 10% de todos os resíduos, até 2030. Prevê também a proibição de depositar em aterro resíduos submetidos a recolha seletiva, não estabelecendo nenhuma meta para a recolha seletiva de resíduos orgânicos, que apenas deve ser assegurada se "técnica, económica e ambientalmente viável".
<b>Diretiva (UE) 2018/849</b>	Altera as Diretivas 2000/53/CE relativa aos veículos em fim de vida, 2006/66/CE relativa às pilhas e acumuladores e respetivos resíduos, e 2012/19/UE relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos.
<b>Diretiva (UE) 2018/850</b>	Altera a Diretiva 1999/31/CE relativa à deposição de resíduos em aterros.
<b>Diretiva (UE) 2018/851</b>	Altera a Diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos.

---

<b>Diretiva (UE) 2018/852</b>	Altera a Diretiva 94/62/CE relativa a embalagens e resíduos de embalagens.
<b>Diretiva (UE) 2018/853</b>	Altera o Regulamento (UE) 1257/2013 e as Diretivas 86/278/CEE e 87/217/CEE, 94/63/CE e 2009/31/CE, no que se refere a normas processuais no domínio da apresentação de relatórios ambientais e revoga a Diretiva 91/692/CEE.
<b>Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas 2020 (ENCPE 2020)</b>	Criação de um único fundo ambiental (fundindo os fundos atualmente existentes), e a definição de regras relativas à restrição da utilização de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrónicos (EEE), incluindo a valorização e eliminação, ecologicamente correta, dos resíduos de EEE.
<b>Portaria n.º 241-B/2019 aprova: PERSU 2020+</b>	Formou-se um grupo de trabalho, cuja missão consistiu em assegurar o processo de realinhamento do PERSU 2020. O PERSU 2020+ está mais orientado para uma dimensão prospetiva em face das metas previstas ao nível da UE, articulando os ajustes estratégicos em vários domínios, nomeadamente no que respeita aos modelos técnicos e de gestão.

---

### 6.3 Anexo III – Extrato de condições impostas para concursos públicos

No caso de concursos públicos, existem publicações do DR que estipulam as dimensões para o local de deposição de resíduos urbanos efetuado, como por exemplo (DR, 2019b):

- Produção diária de resíduos urbanos, estimada tendo em conta a população espectável, a capitação diária e o peso específico dos resíduos;
- Produção de resíduos urbanos provenientes de atividades não domésticas, estimada tendo em conta o tipo de atividade e a sua área útil;
- Frequência de recolha;
- Capacidade de deposição do equipamento previsto para o local.

Em relação às características dos equipamentos enterrados, seguindo um exemplo da CMP (Câmara municipal do Porto) existe estipulado no artigo 6.º do regulamento n.º 26/2019 (Regulamento de Serviço Gestão de Resíduos Urbanos e Limpeza do Espaço Público no Município do Porto) do DR de 7 de janeiro de 2019, que:

- a) O Sistema de abertura do equipamento é compatível com o utilizado pela frota de recolha da Entidade Gestora;
- b) O Sistema de elevação do contentor é compatível com o utilizado pela Entidade Gestora;
- c) Inseridos em cuba de betão, é garantida a estanquidade de forma a impedir a entrada de água ou saída de lixiviados;
- d) Dotados de sistema para a recolha de lixiviados;
- e) O marco de deposição deve ser construído em chapa de aço galvanizado, no mínimo de 3 mm de espessura, com acabamento final por pintura de cor cinza grafite;
- f) O marco de deposição deverá permitir a deposição de grandes volumes de resíduos urbanos;
- g) O tambor de deposição deve ser de forma cilíndrica, construído em chapa de aço inoxidável, pintado no exterior da mesma cor e tinta do corpo, quando aplicável;
- h) O tambor de deposição deve ser equipado com sistema de fecho automático, de forma a evitar a libertação de odores bem como a aumentar a segurança do equipamento junto dos utilizadores e transeuntes, quando aplicável;
- i) Os equipamentos devem conter sinalética com as características constantes no artigo 12.º;
- j) A plataforma do equipamento deverá permitir o acompanhamento das inclinações do terreno na sua envolvente e ser dotada de mecanismo que impeça a entrada de água superficial para o interior do equipamento;
- k) O equipamento deverá permitir a instalação de mecanismos de controlo de acesso digital compatível com o sistema municipal.

Em zonas específicas, os contentores em profundidade deverão ainda cumprir os seguintes requisitos:

- a) O marco de deposição deve ter construção paralelepipedica, com uma altura compreendida entre os 900 mm e os 1040 mm e uma largura compreendida entre os 700 mm e os 750 mm;
- b) O marco de deposição deve ser construído em chapa de aço galvanizado, no mínimo de 3 mm de espessura, com acabamento final por pintura de cor cinza grafite;
- c) A plataforma do equipamento deverá ser rebaixada, de forma a permitir acabamento equivalente ao existente na área envolvente do equipamento.

#### 6.4 Anexo IV – Processo técnico do HS4 com alterações e respetiva barreira de segurança

Consultar ficheiros em suporte digital anexo.

## 6.5 Anexo V – Processo técnico do marco Cambridge

Consultar ficheiros em suporte digital anexo.