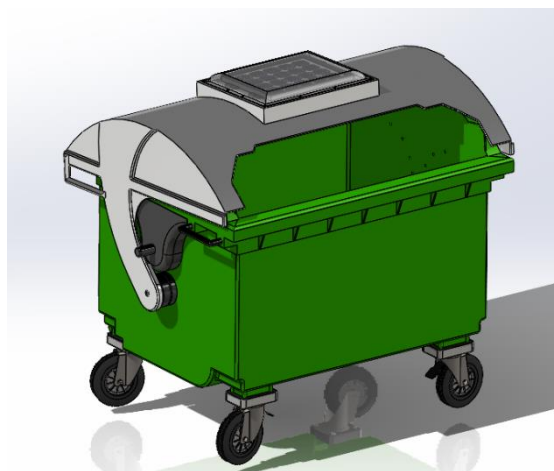




**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**



## **Modelação e Projeto Mecânico de um contentor para monitorização de resíduos no campus do ISEL**

**DANIEL JOSÉ RODRIGUES DOS SANTOS**  
Licenciado em Engenharia Mecânica

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor André Rui Dantas Carvalho

Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues

Júri:

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Vogais:

Doutor João Filipe de Almeida Milho

Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues

**Novembro de 2023**





**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

# **Modelação e Projeto Mecânico de um contentor para monitorização de resíduos no campus do ISEL**

**DANIEL JOSÉ RODRIGUES DOS SANTOS**  
Licenciado em Engenharia Mecânica

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor André Rui Dantas Carvalho

Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues

Júri:

Presidente: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Vogais:

Doutor João Filipe de Almeida Milho

Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues

**Novembro de 2023**



## **Lista de Abreviaturas, Acrónimos, Siglas e Símbolos**

<b>GRSU</b>	Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
<b>GEE</b>	Gases do Efeito Estufa
<b>AG</b>	Aquecimento Global
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>IC</b>	<i>Integrated Circuit</i>
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications (Groupe Special Mobile)</i>
<b>UE</b>	União Europeia
<b>PERSU</b>	Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos
<b>APA</b>	Agência Portuguesa do Ambiente
<b>SWOT</b>	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats analysis</i>
<b>SGRU</b>	Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos
<b>RFID</b>	<i>Radio Frequency Identification</i>
<b>INPI</b>	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
<b>RADAR</b>	<i>Radio Detection and Ranging</i>
<b>PEAD</b>	Polietileno de Alta Densidade
<b>IP</b>	<i>Ingress Protection</i>
<b>IVA</b>	Imposto sobre Valor Acrescentado
<b>CAD</b>	<i>Computer-aided Design and Drafting</i>

## Resumo

Atualmente, devido à inexistência de um sistema eficaz de controlo de enchimento de ecopontos, as câmaras municipais ou empresas privadas responsáveis pela recolha urbana têm uma grande dificuldade em predefinir os circuitos dos seus veículos de recolha. A periodicidade com que são agendadas estas recolhas acaba inevitavelmente por errar, quer por defeito, quer por excesso.

No primeiro caso, no momento da passagem do veículo pelo ecoponto, este já se encontra cheio, o que, para além de visualmente inestético, pode originar odores desagradáveis e dificultar a passagem de peões ou automóveis. No segundo caso, pode levar a um consumo desnecessário de combustível e horas de trabalho, uma vez que o contentor ainda não se encontrava completamente cheio. Importa referir que um veículo de recolha de RSU (resíduos sólidos urbanos) chega a consumir cerca de 50 L a cada 100 km e a produzir 500 g/km de CO<sub>2</sub> quando efetua um percurso urbano.

Por outro lado, as empresas que operam neste ramo, apesar de terem dados concretos sobre o volume de resíduos produzidos por determinado distrito/concelho, a um nível mais local, possuem pouca informação sobre o volume de resíduos produzido por ecoponto ou urbanização. Assim, não só a periodicidade das recolhas acaba por não ser a recomendada, como também o dimensionamento dos contentores acaba por ser efetuado sem ter em vista dados mensuráveis. Foi neste contexto que surgiu a ideia de criar um sistema de monitorização do nível de ecopontos, autossuficiente do ponto de vista energético. O sistema proposto nesta dissertação insere-se no universo da limpeza urbana, tendo como objetivo otimizar e equilibrar escalas e circuitos. Paralelamente, irá facilitar o dimensionamento dos contentores dos ecopontos face à produção de resíduos domésticos.

Este sistema será inicialmente para aplicação no Campus do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, podendo depois ser expandido para outros locais de interesse, permitindo que as instituições conheçam o volume de resíduos que produzem e poderem propor medidas mais eficazes de redução, por fileira de resíduo.

Em suma, contribuir para que a recolha baseada em dados empíricos seja substituída a curto/médio prazo por uma recolha dinâmica baseada em dados concretos enviados em tempo-real para uma plataforma online.

Palavras-chave: Resíduos urbanos, Monitorização de contentores, Contentores inteligentes, Sistemas autossuficientes

## Abstract

Currently, due to the lack of an effective system for controlling the filling of ecopoints, city councils or private companies responsible for urban collection have difficulty in predefining the circuits of their collection vehicles. The frequency with which these collections are scheduled inevitably ends up being wrong, either by default or by excess.

In the first case, when the vehicle passes through the ecopoint, it is already completely full, leaving residues on the ground, which, in addition to being visually unsightly, can cause unpleasant odors and make it difficult for pedestrians or cars to pass. In the second case, it can lead to unnecessary fuel consumption and hours of work, since the container was not yet completely full. It should be mentioned that a SUW (solid urban waste) collection vehicle consumes around 50 L per 100 km and produces 500 g/km of CO<sub>2</sub> when it travels through an urban area circuit.

On the other hand, companies operating in this field, despite having concrete data on the volume of waste produced by a given district or municipe, at a more local level, have very little information on the volume of waste produced by ecopoint or urbanization. Thus, not only does the periodicity of the collections end up being wrong, but also the sizing of the containers ends up being carried out without considering measurable data. It was in this context that the idea of creating a self-sufficient ecopoint level monitoring system from an energy point of view. The system proposed in this dissertation is part of the universe of urban cleaning and aims to optimize and balance scales and circuits. At the same time, facilitate the dimensioning of ecopoint containers in view of the production of domestic waste.

This system will initially be applied on the Campus of Instituto Superior de Engenharia de Lisboa and can later be expanded to other places of interest, allowing institutions to know the volume of waste they produce, in order to propose more effective reduction measures, per row of waste.

In short, to contribute for the collection based on empirical data to be replaced in the short/medium term by a dynamic collection based on concrete data sent in real-time to an online platform.

Keywords: Urban waste, Container monitoring, Smart containers, Self-sufficient systems

# Índice

Capítulo 1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos .....	5
1.3 Estrutura da Dissertação.....	5
Capítulo 2. Resíduos e sua Monitorização.....	7
2.1 A Produção de Resíduos Urbanos.....	7
2.2. Tipos de Resíduos .....	9
2.3. Impacto Ambiental e Alterações Climáticas .....	11
2.4 Monitorização de Resíduos .....	12
2.5 Sistemas de Monitorização Existentes .....	13
2.5.1 Soluções nacionais .....	14
2.5.2 Soluções no estrangeiro.....	18
Capítulo 3. Estudo e Conceção .....	24
Capítulo 4. Seleção de Componentes.....	29
4.1 Sensores RADAR.....	29
4.2 Células de Carga .....	32
4.3 Regulador de Diferença de Potencial .....	34
4.4 Placa de Processamento .....	35
4.5 Módulo GSM .....	36
4.6 Painel Solar e Bateria .....	37
4.6.1 Consumo diário da placa de processamento em <i>stand-by</i> .....	37
4.6.2 Consumo diário da sonda .....	37
4.6.3 Consumo diário das células de carga .....	37
4.6.4 Consumo diário do regulador de diferença de potencial.....	38
4.6.5 Consumo diário da placa de processamento durante ciclos de medição .....	38
4.6.6 Consumo total .....	38

4.6.7 Seleção do conjunto painel / bateria.....	38
Capítulo 5. Seleção de Materiais e Processos de Fabrico para Peças Novas .....	44
5.1 Alterações de Peças existentes .....	44
5.2 Peças Novas .....	46
Capítulo 6. Modelação em Ambiente 3D.....	61
6.1 Corpo.....	61
6.2 Tampa.....	66
6.3 Sistema de Rodas .....	68
6.4 Montagem Final .....	75
Capítulo 7. Análise estática e dinâmica .....	77
7.1 Análise Estática.....	78
7.2 Análise Dinâmica - Sensores.....	84
7.2.1. Definição de valores admissíveis de impacto dos sensores.....	87
7.2.2. Simulação dinâmica - SolidWorks .....	88
7.3 Análise Dinâmica – Sistemas de Fixação.....	99
7.4 Análise Dinâmica – Peças Novas.....	105
Capítulo 8. Conclusões .....	109
Capítulo 9. Proposta de Melhoria e Trabalhos Futuros.....	113
Referências.....	114
ANEXO A – Desenhos Técnicos de Alterações .....	119
ANEXO B – Desenhos Técnicos de Peças Novas .....	122
ANEXO C – Esclarecimentos Técnicos.....	135

## Índice de Figuras

Figura 1 - Taxa de reciclagem de resíduos nos países da Europa, em 2001 e 2010 (EEA, 2013a). ..	3
Figura 2 - Produção anual de resíduos urbanos em Portugal [APA, 2021].....	7
Figura 3 - Produção de resíduos urbanos média por dia [APA, 2021].....	7
Figura 4 - Tipos de recolha de resíduos [APA, 2021].....	8
Figura 5 - Gestão de resíduos – Distribuição de resíduos [APA, 2021].....	8
Figura 6 – Destinos finais dos resíduos urbanos em 2020, 2019 e 2018, respetivamente [APA, 2021] .....	9
Figura 7 - Composição gravimétrica do lixo no Brasil, Alemanha, Holanda, EUA e Portugal, respetivamente (%) [APA, 2021].....	10
Figura 8 - Composição gravimétrica do lixo em Portugal [APA, 2020].....	10
Figura 9 - Mapa de um circuito - SOMA GRSU, Website SOMA GRSU .....	15
Figura 10 - Vista da aplicação de recolha UTAD – Imagem satélite, Website UTAD SmartContainers .....	17
Figura 11 - Diagrama de transmissão de informação, M. K. Durbin, 2002 .....	18
Figura 12 - Esquemático para cada contentor, M. K. Durbin, 2002.....	19
Figura 13 - Módulo GSM Waste Edge, M. K. Durbin, 2002.....	19
Figura 14 - Aplicação WasteView, M. K. Durbin, 2002.....	19
Figura 15 - Esquemático do sistema Emerald da Green Diamond Technologies, Green Diamond Technologies, 2009 .....	20
Figura 16 - Aplicação Web do sistema Emerald, Green Diamond Technologies, 2009 .....	20
Figura 17 - Sistema SLW 1300 da Swisslogix, Brochura comercial do Sistema SLW 1300 .....	21
Figura 18 - Aplicação web do sistema SLW 1300, Brochura comercial do Sistema SLW 1300 ....	21
Figura 19 - Sistema SLW 1300 da swisslogix, Brochura comercial do Sistema SLW 1300.....	22
Figura 20 - Sistema Syren da empresa BH Technologies, BH Technologies website.....	22
Figura 21 - Sonda do sistema Syren, BH Technologies website.....	23
Figura 22 - Contentor de resíduos urbanos disponibilizado pela Câmara Municipal de Lisboa.....	26
Figura 23 - Contentor de resíduos urbanos disponibilizado – Posições fechada e aberta, respetivamente.....	26

Figura 24 - Contentor de resíduos urbanos disponibilizado – Rodas dianteiras e traseiras .....	27
Figura 25- Contentor de resíduos urbanos disponibilizado – Sistema de fixação da roda ao corpo do contentor.....	28
Figura 26 - Índice de Proteção IP, IEC 60529 .....	30
Figura 27 - Sensor RADAR - Modelo MB7062 XL, [38] .....	31
Figura 28 - Sensor RADAR - Modelo MB7062 XL-MaxSonar-WR1 – Dimensões, [38].....	31
Figura 29 - Célula de carga - Compressão, do tipo disco - modelo ZMC1, [39] .....	33
Figura 30 - Célula de carga - Compressão, do tipo disco - modelo ZMC1 – Dimensões, [39] .....	33
Figura 31 - Célula de carga - Compressão, do tipo disco - modelo ZMC1 da Zhimin Sensors, [39] .....	33
Figura 32 - Regulador de diferença de potencial para alimentação da placa de processamento, [40] .....	34
Figura 33 - Microcontrolador - modelo 18F252 da Microchip, [41] .....	35
Figura 34 - Placa de processamento - $\mu$ Start for PIC da Microchip, [42] .....	36
Figura 35 - Módulo GSM - GE910-QUAD V3 da Telit, [43] .....	36
Figura 36 - Energia solar em Portugal. Ref.: Website da SCE, 2019.....	39
Figura 37 - Painel fotovoltaico policristalino - modelo EcoLine ES5P36 da SolarV / Enjoysolar, [35] .....	41
Figura 38 - Bateria - modelo SOLARX-3 3Ah 12V da Xunzel, [36] .....	41
Figura 39 - Regulador da bateria - SolSum 6.6C da STECA SOLSUM, [44] .....	42
Figura 40 – Caixa de proteção - fundo 'furado' – exemplo, Obo Bettermann.....	42
Figura 41 - Alterações - Tampa do contentor antes / depois do corte retangular.....	44
Figura 42 - Modelação em ambiente SolidWorks - Cotas de atravancamento (mm).....	61
Figura 43 - Modelação em ambiente SolidWorks - Nervuras de suporte e manípulos de deslocação .....	62
Figura 44 - Modelação em ambiente SolidWorks - Real vs 3D - Sistema de fixação ao camião ....	62
Figura 45 - Modelação em ambiente SolidWorks – Disposição dos parafusos da estrutura de fixação .....	62
Figura 46- Modelação em ambiente SolidWorks – Sistema de fixação da tampa .....	63

Figura 47 - Modelação em ambiente SolidWorks – Sistema de furação para fixação de rodas no contentor.....	63
Figura 48- Modelação em ambiente SolidWorks – Furo para passagem de cabo da célula de carga .....	63
Figura 49 - Modelação em ambiente SolidWorks – Sistema guia para tampa do contentor.....	64
Figura 50 - Modelação em ambiente SolidWorks – Caixa de acomodação de eletrónicos.....	64
Figura 51 - Modelação em ambiente SolidWorks - Sistema de calhas interno.....	65
Figura 52 - Corpo contentor - Vista lateral - Tampa fechada vs Tampa aberta .....	65
Figura 53 - Cabo retrátil de ligação sensor ou potência, [45] .....	66
Figura 54 - Modelação em ambiente SolidWorks – Tampa do contentor com plataforma instalada .....	66
Figura 55 - Modelação em ambiente SolidWorks – Proteção de acrílico do painel solar.....	67
Figura 56 - Modelação em ambiente SolidWorks – Painel solar e proteção de acrílico .....	67
Figura 57 - Modelação em ambiente SolidWorks – Conjunto Tampa do contentor - Vista Isométrica .....	68
Figura 58 - Modelação em ambiente SolidWorks - Sensor RADAR e sistema de fixação .....	68
Figura 59 - Modelação em ambiente SolidWorks - Real vs 3D - Roda .....	69
Figura 60 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Parte superior....	69
Figura 61 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Parte central.....	69
Figura 62 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Parte inferior.....	70
Figura 63 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Pino de fixação .	70
Figura 64 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Vista isométrica	70
Figura 65 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Vista em corte...	71
Figura 66 - Modelação em ambiente SolidWorks – Compartimento da célula de carga - Parte inferior e célula de carga .....	72
Figura 67 - Modelação em ambiente SolidWorks – Compartimento da célula de carga - Parte superior .....	73
Figura 68 - Modelação em ambiente SolidWorks – Parafuso União – Parte fêmea em vista isométrica .....	73

Figura 69- Modelação em ambiente SolidWorks – Parafuso União – Parte fêmea em vista de corte .....	73
Figura 70 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem da estrutura da roda no corpo contentor .....	74
Figura 71 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem do parafuso de união no corpo do contentor - vista em corte .....	74
Figura 72 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem final - Vista isométrica .....	75
Figura 73 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem final - Vista em corte frontal .....	75
Figura 74- Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem final - Vista superior .....	76
Figura 75 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem final - Vista isométrica em corte ..	76
Figura 76 - Aplicação da força F igualmente distribuída no fundo do contentor e calhas (setas roxas) .....	78
Figura 77 - Aplicação de 'Fixed Geometry' nos 4 apoios do contentor.....	79
Figura 78 - Aplicação função 'Fixture' para fixar os apoios fixos.....	79
Figura 79 – Aplicação da função Create Mesh no conjunto – Malha média – 1ª iteração.....	79
Figura 80 - Malha gerada pelo SolidWorks – Malha média – 1ª iteração.....	80
Figura 81 – Força resultante aplicada nos apoios fixos – 1ª iteração.....	80
Figura 82 - Aplicação da função Create Mesh no conjunto – Malha fina – 2ª iteração .....	81
Figura 83 - Malha gerada pelo SolidWorks – Malha fina – 2ª iteração .....	81
Figura 84 – Força resultante aplicada nos apoios fixos – 2ª iteração.....	82
Figura 85 - Aplicação da função Create Mesh no conjunto – Malha fina – 3ª iteração .....	82
Figura 86 - Malha gerada pelo SolidWorks – Malha fina – 3ª iteração .....	83
Figura 87 - Força resultante aplicada nos apoios fixos – 3ª iteração.....	83
Figura 88 - Contentores despejados no circuito ISEL efetuado pela CML.....	84
Figura 89 - Sistema de fixação do camião ao contentor.....	85
Figura 90 - Nervuras frontais do Contentor .....	85
Figura 91 - Despejamento do contentor - posição inicial.....	86
Figura 92 - Despejamento do contentor - posição final .....	86
Figura 93 - Análise dinâmica - Aplicação da força gravítica.....	88

Figura 94 - Força aplicada no fundo do contentor em função do tempo.....	90
Figura 95 - Força aplicada na parede do contentor mais próxima ao camião em função do tempo.	90
Figura 96 - Análise dinâmica - Aplicação da força de rotação imposta pelos braços hidráulicos do camião .....	91
Figura 97 - Análise dinâmica - Aplicação da força linear horizontal.....	92
Figura 98 - Análise dinâmica - Aplicação da força linear vertical.....	92
Figura 99 - Aplicação da função 'Motor Linear', Motion 'Data Points' .....	94
Figura 100 - Deslocamento aplicado ao contentor em função do tempo .....	94
Figura 101 - Análise dinâmica - Ponto de análise - Célula de carga.....	95
Figura 102 - Análise dinâmica - Gráfico aceleração em função do tempo - Célula de carga .....	96
Figura 103 - Análise dinâmica - Ponto de análise – Sensor de carga.....	96
Figura 104 - Análise dinâmica - Gráfico aceleração em função do tempo – Sensor RADAR .....	97
Figura 105 - Análise dinâmica - Ponto de análise – Painel Solar .....	97
Figura 106 - Análise dinâmica - Gráfico aceleração em função do tempo – Painel Solar.....	97
Figura 107 - Análise dinâmica - Ponto de análise – Caixa de ligações.....	98
Figura 108 - Análise dinâmica - Gráfico aceleração em função do tempo – Componentes no interior da Caixa de Ligações .....	98
Figura 109 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação da célula de carga em função do tempo.....	101
Figura 110 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação do sensor RADAR em função do tempo .....	102
Figura 111 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação do painel solar em função do tempo.....	102
Figura 112 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação da caixa de ligações em função do tempo .....	103
Figura 113 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação da calha horizontal em função do tempo .....	103
Figura 114 - SolidWorks Motion - Peça nº1 - Tensão de von Mises aplicada.....	105
Figura 115 - SolidWorks Motion - Peça nº2 - Tensão de von Mises aplicada.....	105
Figura 116 - SolidWorks Motion - Peça nº6 - Tensão de von Mises aplicada.....	106

Figura 117 - SolidWorks Motion - Peça nº5 - Tensão de von Mises aplicada.....	106
Figura 118 - SolidWorks Motion - Peça nº4 - Tensão de von Mises aplicada.....	106
Figura 119 - SolidWorks Motion - Peça nº3 - Tensão de von Mises aplicada.....	106
Figura 120 - SolidWorks Motion - Peça nº10 - Tensão de von Mises aplicada.....	107
Figura 121 - SolidWorks Motion - Peça nº8 e 9 - Tensão de von Mises aplicada.....	107
Figura 122 - SolidWorks Motion - Peça nº7 - Tensão de von Mises aplicada.....	107

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Peças novas - Número e nome .....	45
Tabela 2 - Peça nº1 - Nome e função .....	46
Tabela 3 - Materiais selecionados e suas propriedades – Base de fixação da célula de carga – Rodas dianteiras .....	46
Tabela 4 - Processos de fabrico - Base de fixação da célula de carga – Rodas dianteiras .....	47
Tabela 5 - Peça nº2 - Nome e função .....	48
Tabela 6 - Materiais selecionados – Encaixe superior – Rodas dianteiras.....	49
Tabela 7 - Processos de fabrico – Encaixe superior – Rodas dianteiras .....	50
Tabela 8 - Peça nº3 - Nome e função .....	51
Tabela 9 - Peça nº4 - Nome e função .....	51
Tabela 10 -Peça nº5 - Nome e função .....	52
Tabela 11 - Materiais selecionados – Plataforma plana .....	52
Tabela 12 - Processos de fabrico – Plataforma plana.....	54
Tabela 13 - Peça nº6 - Nome e função .....	54
Tabela 14 - Materiais selecionados – Proteção de acrílico .....	55
Tabela 15 - Processos de fabrico – Proteção de acrílico .....	56
Tabela 16 - Peça nº7 - Nome e função .....	57
Tabela 17 - Materiais selecionados – Calha vertical.....	58
Tabela 18 - Processos de fabrico – Calha vertical.....	59
Tabela 19 - Peças nº8, 9 e 10 - Nome e função.....	60
Tabela 20 - Estudo de convergência para definição de malha - Desvio relativo.....	84
Tabela 21 - Resistência ao choque - Sensores e elementos eletrônicos, [35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, Anexo C] .....	87
Tabela 22 - Resistência ao choque - Sensores e elementos eletrônicos – Valor máximo vs Valor calculado .....	99
Tabela 23 - Seleção de materiais e respectivas propriedades.....	100
Tabela 24 - Tensão de corte aplicada nos parafusos de fixação - Cálculo.....	104

Tabela 25 - Tensão de cedência vs Tensão von Mises aplicadas para cada peça..... 108

# Capítulo 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento

Em média, cada um dos 500 milhões de habitantes que vivem na União Europeia (UE) produz cerca de meia tonelada de resíduos domésticos por ano. Possivelmente, nenhuma outra questão ambiental tem um lado de gestão tão forte e relevante como a dos resíduos, e nenhuma outra tem o mesmo impacto sobre a vida quotidiana dos consumidores e produtores [1].

Os resíduos constituem um desafio ambiental, social e económico. Para além da degradação dos recursos naturais, uma gestão incorreta dos resíduos pode dar origem a problemas de segurança e saúde humana [2]. Apesar dos progressos da UE na dissociação entre crescimento económico e as emissões de gases com efeito de estufa, a utilização de recursos continua a ser insustentável e ineficiente, e os resíduos não são ainda adequadamente geridos [3]. A produção de resíduos reflete uma perda de materiais e energia e impõe custos económicos à sociedade pela sua recolha, tratamento e eliminação [4].

Os resíduos são gerados pelas atividades de todos os sectores económicos, sendo geralmente considerados como um subproduto inevitável da atividade económica, resultando de processos de produção ineficientes, baixa durabilidade dos produtos e padrões de consumo insustentáveis [4].

A quantidade de resíduos continua a crescer e a sua natureza está em permanente mudança, compostos por uma mistura cada vez mais complexa de materiais, incluindo plásticos, metais preciosos e materiais perigosos que são difíceis de gerir em segurança. Quanto mais a civilização se desenvolve, mais problemas com a gestão de resíduos surgem: o crescente aumento de materiais perigosos nos resíduos está a tornar-se num problema global dominante [4], em particular nos centros urbanos, onde a gestão de resíduos urbanos (RU) assume especial complexidade.

Cada ano são produzidas na UE 250 milhões de toneladas de resíduos (em 2011, foram produzidos, em média, 503 kg de RU per capita na UE), no entanto, em média, apenas 40% dos resíduos são preparados para a reutilização [5]. O volume global de resíduos está a aumentar e a quantidade de resíduos enviada para aterro não está a diminuir, uma vez que na grande maioria dos casos, a deposição de resíduos em aterro continua a ser a forma mais económica e, portanto, a via de eliminação mais atraente [6].

A política de resíduos da UE tem como objetivo assegurar que os resíduos 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, bem como metais preciosos.

A reciclagem também poupa energia: reciclar uma lata de alumínio, por exemplo, economiza cerca de 95% da energia necessária para fazer uma nova [7]. De facto, os resíduos podem potenciar uma gestão mais eficiente dos recursos naturais, criar oportunidades de negócio e valor acrescentado e promover a criação de emprego, colocando-os no centro de uma “Economia Verde” [8]. A nova abordagem para a gestão de resíduos ultrapassa a ambição de uma sociedade focada na minimização dos impactes ambientais associados à gestão dos resíduos, e adota o paradigma de uma economia tendencialmente circular, com otimização dos recursos materiais e energéticos [8] e minimização dos impactes no ambiente e na saúde humana, presente no relatório “Uma visão para o setor dos resíduos” da OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico [9].

Em Portugal, o sector dos resíduos tem sofrido uma revolução nos últimos anos, promovida pela constante pressão da UE, que em 1997 conduziu ao primeiro Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU I). A quantidade de RU produzidos em Portugal em 2012 foi de 4,8 milhões de toneladas (que equivale a aproximadamente 2% do total de resíduos produzidos na UE), dos quais 12% foram encaminhados para valorização multimaterial, 16% para valorização orgânica, 18% para valorização energética e os restantes 54% foram encaminhados diretamente para aterro [8]. Esta última porção originou emissões de gases com efeito de efeito estufa (GEE) na ordem dos 2,6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, ou seja, 32,1% das emissões do setor dos resíduos e 3,8% das emissões totais de GEE nacionais estimadas para esse ano [10].

Portugal tem melhorado lentamente na recolha seletiva, continuando a ser ainda um dos países que recicla menos resíduos urbanos (Figura 1), com uma taxa inferior a 20% [11]. Apesar dos aumentos anuais na recolha seletiva com vista à reciclagem e à preparação para reutilização e reciclagem, que em 2012 atingiu 24% (% RU recicláveis), as retomas de resíduos de embalagens recicláveis ficaram sempre aquém das metas estabelecidas [8]. Em 2014, dos 4,3 milhões de toneladas de RU produzidos (1,2 kg/hab.dia), apenas 504 milhares de toneladas correspondem a recolha seletiva para reciclagem [13], pelo que o país terá que fazer um esforço excecional para cumprir com a meta de reciclagem estabelecida pela Directiva Quadro de Resíduos, de 50% em 2020 [12]. Este cenário agravou-se no início deste ano, com a adoção do novo “pacote de Economia Circular” pela Comissão Europeia, que estabelece, para 2030, um objetivo de reciclagem de 65% para os RU e de 75% dos resíduos de embalagens, e um objetivo de redução da deposição em aterro para um máximo de 10% de todos os resíduos. Como resultado da crise económica, assistiu-se também a uma inversão da tendência de contínuo crescimento na produção de RU: em 2012, produziram-se em Portugal menos de 12,5% de

RU que em 2010 [8] uma redução considerável e que constituiu um desafio de adaptação e otimização do serviço de recolha. De acordo com os dados dos mapas de registo de RU de 2014, divulgados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), esta tendência de decréscimo inverteu-se em 2014, onde se registou a produção de mais 2% de RU em Portugal que em 2013 [15], tendo a quantidade de RU recolhidos seletivamente atingido os 61,4 kg/hab.ano [15].

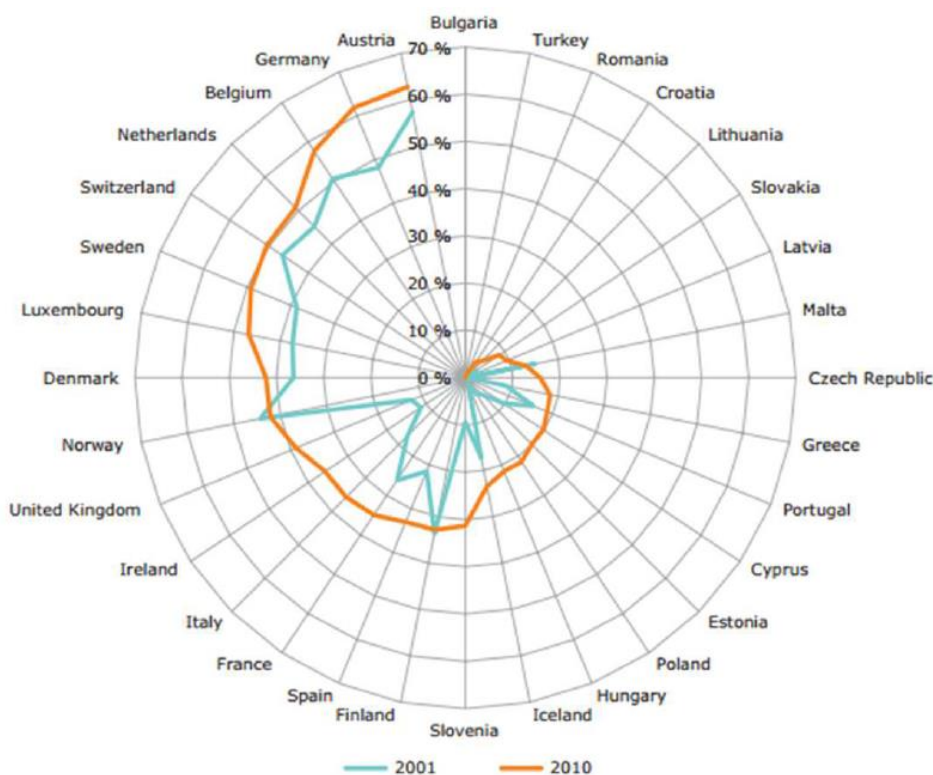


Figura 1 - Taxa de reciclagem de resíduos nos países da Europa, em 2001 e 2010 (EEA, 2013a).

O plano estratégico atualmente em vigor, o PERSU 2020, prevê o “aumento da reciclagem e da qualidade dos recicláveis, privilegiando a atuação a montante da cadeia de gestão de RU”.

Outra medida prevista no PERSU 2020 e que importa destacar é “alargar e otimizar as redes de recolha seletiva e formação especializada”. Em Portugal, de acordo com os dados da Entidade Reguladora de Águas e Resíduos - ERSAR [13], a cobertura das redes de recolha seletiva atingiu já valores satisfatórios, pelo que mais do que investir no alargamento da rede, interessa investir na otimização do serviço, que só é possível pelo conhecimento do desempenho operacional e financeiro do mesmo. Este conhecimento nem sempre se verifica, considerando a complexidade da recolha e atualização da informação necessária e a falta de recursos humanos e *know-how* existente na maioria dos municípios, onde nem sempre estão implementados sistemas de contabilidade organizada com centros analíticos suficientemente detalhados para obter os dados de custo necessários. A adesão por parte dos municípios aos sistemas e softwares de gestão e monitorização do serviço já disponíveis

no mercado, que suportariam a recolha e manutenção de bases de dados fiáveis, também não foi ainda generalizada.

Concluindo, a atualidade do tema da recolha de RU e em particular da recolha seletiva é indiscutível, quer a nível nacional quer internacional. A nível nacional, da análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats analysis*, apresentada no PERSU 2020, destaca-se a boa cobertura da rede de recolha de RU, que é, no entanto, acompanhada por uma quantidade de resíduos da recolha indiferenciada muito superior à seletiva. Destaca-se também como fraqueza a não integração ou concertação na logística da recolha indiferenciada e recolha seletiva, a insustentabilidade económica e financeira do sector e a falta de recuperação de custos na recolha.

O financiamento comunitário para investimentos no sector, o reforço dos poderes do regulador, o alargamento da cadeia de valor (recolha a montante, reciclagem a jusante) e a redução das emissões de CO<sub>2</sub> associadas à recolha, são oportunidades que se devem destacar desta análise, acompanhadas, no entanto, pela indefinição no modelo de cálculo dos valores de contrapartida para os resíduos de embalagem e pelo crescimento de redes paralelas de diversos fluxos de resíduos, num contexto de debilidade económico-financeira nacional e de constrangimentos e limitações no sector empresarial do Estado.

Finalmente, importa reforçar a atualidade da sustentabilidade económica do sistema de gestão de resíduos. A progressiva melhoria e modernização do serviço exigida por um público cada mais preocupado é agora mais cara que as práticas antigas [17], mas a gestão de resíduos tem uma tradição de baixos custos. Em muitos países do mundo, a recolha de resíduos é financiada por diferentes formas de impostos locais e as pessoas não estão conscientes do seu custo real [18]. A nível nacional, existe atualmente a taxa de gestão de resíduos (TGR), definida pela APA, que assume que o consumo de água é proporcional ao volume de resíduos produzidos no domicílio. O imposto dá um incentivo para a redução do consumo de água, embora falhe ao não fornecer um incentivo para reduzir a produção de resíduos.

O número de estudos com o objetivo de avaliar a eficiência do sector público na gestão de resíduos tornou-se cada vez mais relevante, devido a restrições orçamentárias e à crescente importância deste sector na economia de cada país [19], e a revisão dos sistemas de tarifários de acordo com o novo “regulamento tarifário dos serviços de gestão de resíduos”, passou a ser vinculativa este ano para todas as entidades gestoras prestadoras de serviços de gestão de RU [14].

## 1.2 Objetivos

Com o propósito de criar um sistema que consiga responder aos problemas enunciados acima, o objetivo desta dissertação é de desenvolver um contentor inteligente para monitorização de produção de resíduos.

O sistema inteligente tem como objetivo permitir a leitura do nível de enchimento dos contentores dos ecopontos e o seu peso através de sensores, de forma a otimizar as escalas e circuitos dos veículos de recolha, diminuindo o impacto dos vapores de resíduos libertados para a atmosfera. Paralelamente, facilitar o dimensionamento dos contentores dos ecopontos face à produção de resíduos das urbanizações e localidades.

Por outro lado, pretende-se que as instituições tenham o conhecimento da quantidade de resíduos produzidos por fileira.

Estão incluídos no desenvolvimento desta dissertação os seguintes pontos:

- Estudo do impacto ambiental dos resíduos urbanos;
- Modelação de um contentor em ambiente 3D com recurso ao SolidWorks;
- Estudo da implantação de sensores e respetiva alimentação elétrica;
- Estudo de materiais e processos de fabrico dos componentes mecânicos a incorporar no contentor;
- Análise estática e dinâmica do contentor com os novos sistemas acoplados.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

Após esta breve introdução inicial, que fornece um contexto para a realização do trabalho, incluindo a definição dos objetivos, surgem os seguintes capítulos:

- **Capítulo 2 – Resíduos e Monitorização** – Enquadramento teórico e problemas resultantes da produção de resíduos, mais especificamente no que respeita às alterações climáticas. Vantagens da monitorização de resíduos. Estudo de soluções nacionais e estrangeiras já no mercado.
- **Capítulo 3 – Estudo e Conceção** – Neste capítulo é efetuado o estudo de sensores e elementos eletrónicos necessários de adaptar ao contentor de resíduos cedido pela CML, mediante aquilo que é necessário medir (altura de enchimento e peso de resíduos) e como será tratada e transmitida esta informação para uma plataforma de acesso.

É também efetuado um estudo do sistema de rodas do contentor existente para implantação da célula de carga. Por outro lado, verifica-se o tipo de abertura da tampa do contentor de forma a implantar o painel solar e o sensor RADAR.

- **Capítulo 4 – Seleção de Componentes** – Após a definição dos tipos de sensores, elementos eletrónicos e respetivas quantidades, foi efetuada uma consulta ao mercado e selecionada o fabricante e modelo de cada elemento, onde é justificada a seleção dum determinado fabricante em detrimento doutros.

Aquando da seleção do painel solar, é calculado o consumo de todos os sensores e elementos eletrónicos, de forma a definir a potência necessária do painel. É também efetuado um estudo de irradiação em Portugal continental, de forma a efetuar um correto dimensionamento para este elemento.

- **Capítulo 5 – Seleção de Materiais e Processos de Fabrico para Peças Novas** – Análise de alterações necessárias no contentor cedido pela CML, de forma a adaptar os sistemas de fixação dos sensores e elementos eletrónicos.

Seleção de materiais e processos de fabrico das peças novas que serão instaladas no contentor, tendo em conta as suas condições de serviço, constrangimentos e objetivos.

- **Capítulo 6 – Modelação em Ambiente 3D** – Modelação do contentor existente, sensores e elementos eletrónicos, e peças novas a adaptar no contentor, com recurso ao *software Solidworks*. Após a modelação de cada parte do contentor, procedeu-se à montagem do conjunto, através de constrangimentos geométricos.

- **Capítulo 7 – Análise Estática e Dinâmica** – Após a montagem do sistema, procedeu-se à análise estática e dinâmica do conjunto. A análise estática tem como objetivo a definição da malha do conjunto, de forma a tornar o modelo a simular confiável.

Na análise dinâmica submete-se o conjunto aos movimentos gerados numa operação de despejamento através dum veículo de resíduos. É verificado se os sensores, elementos eletrónicos, sistemas de fixação e peças novas estão aptas mecanicamente a resistir às cargas e movimentos impostos nesta operação.

- **Capítulo 8 – Conclusões** – Conclusões do trabalho, onde é efetuado um resumo das decisões que foram sendo tomadas em cada capítulo, apresentando as principais razões e justificações dessas decisões. É também efetuada a discussão final dos resultados obtidos.

- **Capítulo 9 – Proposta de Melhoria e Trabalhos Futuros** – Neste último capítulo, são apresentadas sugestões para trabalhos futuros e possíveis melhorias da presente dissertação.

# Capítulo 2. Resíduos e sua Monitorização

## 2.1 A Produção de Resíduos Urbanos

Os resíduos sólidos são restos de materiais/substâncias, oriundos da atividade humana, seja ela doméstica ou industrial. Estes resíduos podem ser reutilizáveis (no caso dos inorgânicos) ou imprestáveis no seu reaproveitamento, que é o caso dos resíduos indiferenciados. Estes últimos têm-se tornado um problema mundial devido aos danos e poluição que causam no meio ambiente. Este tipo de resíduos pode provocar poluição a nível terrestre, atmosférico e aquático.

A nível do solo, pode provocar alterações nas propriedades físico-químicas do solo, tornando-se um ambiente propício para o desenvolvimento de transmissores de doença. A nível aquático, gera-se poluição devido à difusão do líquido gerado pela decomposição de matéria orgânica presente no lixo. A nível atmosférico, como se sabe, a acumulação de lixo leva à formação de gases de decomposição que podem ser nocivos para a vida humana.

Em 2020 foram produzidas em Portugal 5,279 milhões de toneladas (t) de resíduos urbanos (RU), menos 0,05% do que em 2019, verificando-se uma ligeira diminuição na produção, quando comparado com anos anteriores [10].

Região	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Portugal Continental	4 474	4 523	4 640	4 745	4 945	5 007	5 014
Região Autónoma da Madeira	110	110	119	124	126	129	123
Região Autónoma dos Açores	136	132	132	137	142	146	142
<b>TOTAL</b>	<b>4 719</b>	<b>4 765</b>	<b>4 891</b>	<b>5 007</b>	<b>5 213</b>	<b>5 281</b>	<b>5 279</b>
<i>Variação face ao ano anterior</i>	↑2%	↑1%	↑3%	↑2%	↑4%	↑1%	↓0,05%

(Unidades: milhares de toneladas)

Figura 2 - Produção anual de resíduos urbanos em Portugal [APA, 2021]



Figura 3 - Produção de resíduos urbanos média por dia [APA, 2021]

A produção de resíduos urbanos em Portugal continental manteve-se em 2020, em aproximadamente 5 milhões de toneladas, o que corresponde a uma capitação anual de 512 kg/hab.ano, ou seja, uma produção diária de 1,40 kg por habitante.

Ao nível da recolha, não se verificam diferenças significativas ao longo dos últimos anos, sendo a recolha indiferenciada o tipo de recolha preferencial para a recolha de resíduos urbanos.

Apesar de nos últimos anos ter havido um incremento no número de infraestruturas para a recolha seletiva, a mesma não teve os reflexos proporcionais nos quantitativos recolhidos seletivamente.

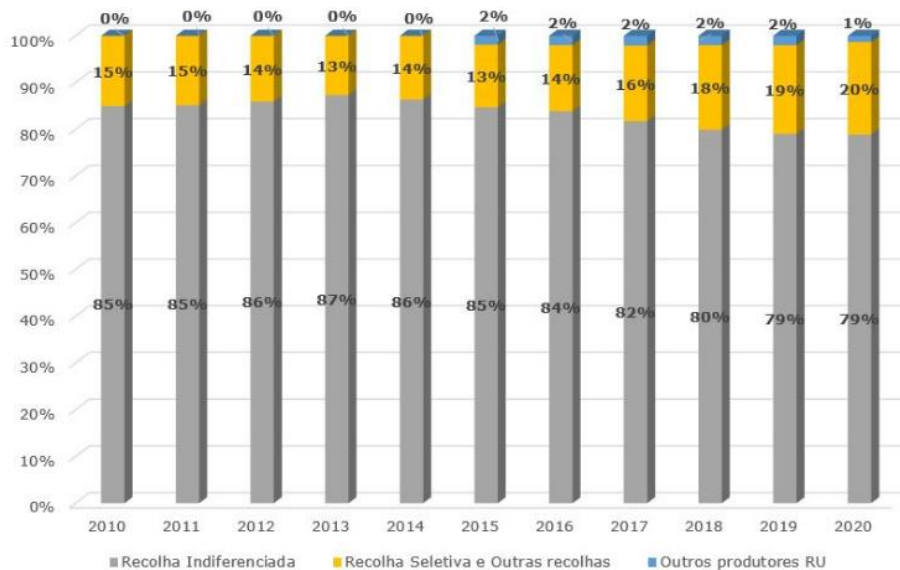


Figura 4 - Tipos de recolha de resíduos [APA, 2021]

No que respeita ao encaminhamento direto dos RU para as operações de gestão verifica-se a distribuição constante da figura abaixo:

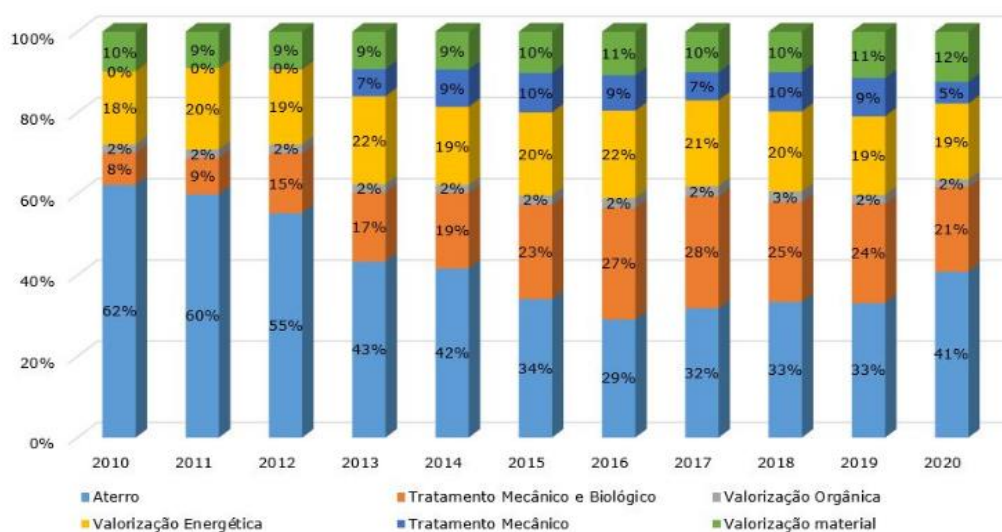


Figura 5 - Gestão de resíduos – Distribuição de resíduos [APA, 2021]

Sem prejuízo de uma evolução positiva no sentido do cumprimento da hierarquia dos resíduos que se verificou até 2019, no ano 2020 é clara a inversão desta tendência no que respeita a resíduos depositados diretamente em aterro, aumento esse justificável pela situação pandémica.

Ainda no que concerne ao destino dos resíduos, o gráfico seguinte reflete os destinos finais dos resíduos urbanos geridos pelos SGRU de Portugal Continental, para os anos 2018 a 2020, sendo que o apuramento desta informação teve por base a metodologia do EUROSTAT - *Guidance on municipal waste data collection, September 2016*.

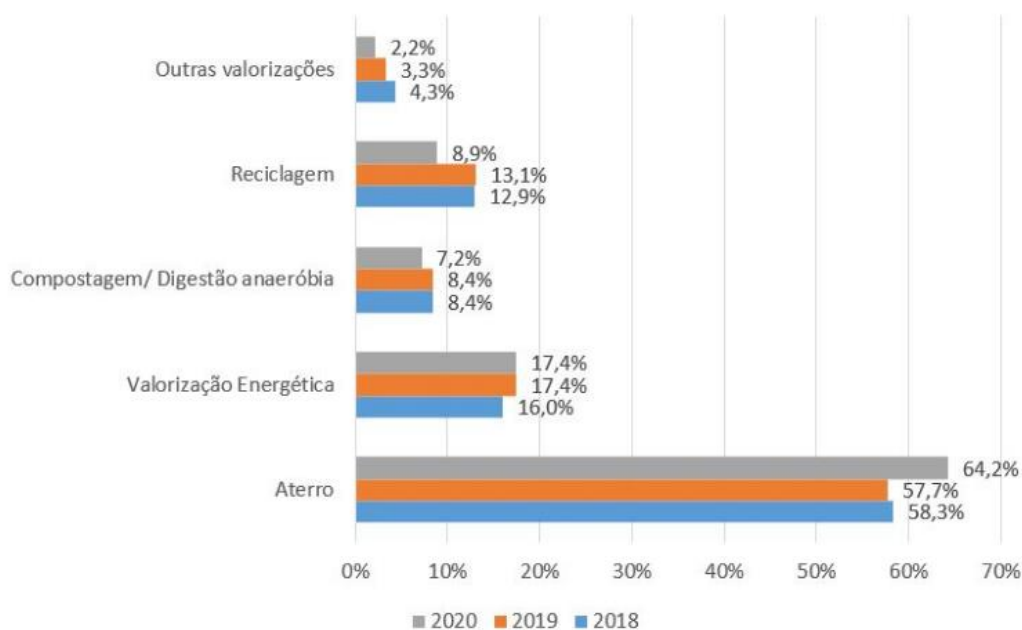


Figura 6 – Destinos finais dos resíduos urbanos em 2020, 2019 e 2018, respetivamente [APA, 2021]

Em relação aos destinos finais verifica-se que a deposição em aterro, por via direta e indireta constitui em 2020, cerca de 64% do total de RU.

## 2.2. Tipos de Resíduos

As características dos resíduos sólidos produzidos variam em função dos aspetos sociais, económicos, culturais, geográficos e climáticos, uma vez que esses fatores também diferenciam as comunidades entre si e as próprias cidades. Conforme dados do gráfico da Figura 7, em que são exibidas as variações das composições do lixo nos países como Brasil, Alemanha, Países Baixos, e Estados Unidos da América, verifica-se que a matéria orgânica é mais reduzida nos países mais desenvolvidos ou industrializados, devido à grande quantidade de alimentos semiprontos disponíveis no mercado consumidor e à sensibilização dos habitantes quanto à produção de resíduos e respetivos impactos no ambiente. Os Estados Unidos apresentam praticamente metade da quantidade de matéria orgânica quando comparada ao Brasil.

O papel aparece em destaque nos Estados Unidos quando comparado com outros países.

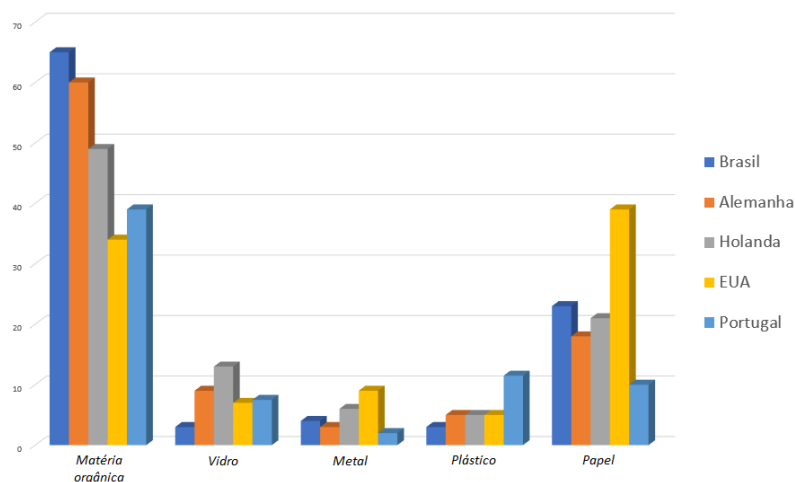


Figura 7 - Composição gravimétrica do lixo no Brasil, Alemanha, Holanda, EUA e Portugal, respetivamente (%) [APA, 2021]

Na seguinte figura, encontram-se discriminados em detalhe a composição gravimétrica dos resíduos produzidos em Portugal continental em 2020, elaborada com base nas especificações técnicas da Portaria n.º 851/2009, de 7 de agosto.

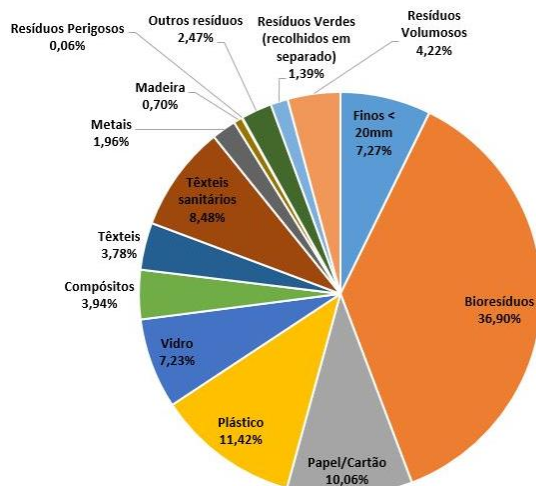


Figura 8 - Composição gravimétrica do lixo em Portugal [APA, 2020]

Entretanto, as características químicas dos resíduos sólidos podem ser dadas por:

- Poder calorífico (capacidade potencial de um material libertar determinada quantidade de calor quando submetido a queima);
- Potencial hidrogeniónico – pH (indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos);
- Composição química (consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogénio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras);
- Relação carbono/azoto – C:A (indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento/disposição final).

Já as características biológicas dos resíduos sólidos são determinadas pela população microbiana e dos agentes patogénicos presentes no lixo. Esta característica é importante para em conjunto com as características químicas, realizar processos para inibir os odores e possivelmente acelerar a decomposição da matéria orgânica.

## 2.3. Impacto Ambiental e Alterações Climáticas

Como sociedade, estão a ser consumidos os recursos naturais de forma intolerável, originando as perigosas mudanças climáticas.

A redução da geração de lixo é um importante fator que contribui para a minimização dos problemas ambientais. É fundamental que todas as pessoas nas suas comunidades e as indústrias se tornem socialmente responsáveis, sendo necessário adotar uma série de medidas que levem à redução de resíduos, nomeadamente:

- os produtores deveriam apostar em produtos recicláveis, com embalagens que geram menos lixo e que sejam ecologicamente corretas;
- os consumidores deveriam adquirir produtos com menos embalagens, e comprar apenas o que é necessário, deixando de lado o consumo excessivo. Utilizar bolsas de pano para fazer compras e evitar os sacos plásticos. Fazer a separação de resíduos no respetivo domicílio;
- as autoridades deveriam incentivar programas de coleta seletiva, separação e reciclagem do lixo, além de promover programas educativos que incentivem os consumidores a ter uma visão mais consciente sobre os problemas gerados pelo lixo e sobre as atitudes que devem ser tomadas para minimizá-los;
- as indústrias deveriam introduzir a reciclagem na etapa produtiva e evitar o desperdício de matéria-prima;
- Os produtos deveriam ser concebidos a pensar no fim de vida dos mesmos e na sua separação e respetiva reciclagem.

As mudanças climáticas podem ter causas naturais ou podem ser consequência das atividades humanas. O IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), órgão das Nações Unidas que é responsável por produzir informações científicas, afirma que há 90% de certeza que o aumento de temperatura na Terra está a ser causado pela ação do homem.

Nos aterros controlados ou sanitários, o gás metano libertado por parte do lixo é proporcional à população. Este gás é queimado por medida de segurança, pois pode arder e há risco de explosão. No entanto, quando o gás metano é queimado, forma-se dióxido de carbono, que contribui para o aumento do efeito estufa. O CO<sub>2</sub> é o gás que tem maior contribuição para o aquecimento global, pois

representa mais de 70% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o seu tempo de permanência é de no mínimo cem anos, resultando em impactos no clima ao longo de séculos.

Para que as emissões de GEE possam ser reduzidas é fundamental que se faça:

- Compostagem;
- Reciclagem;
- Incineração de resíduos com recuperação de energia;
- Recuperação de metano nos aterros;
- Controlo e minimização de produção de resíduos com recurso a programas de sensibilização ambiental.

## 2.4 Monitorização de Resíduos

Pensar num ambiente melhor, com ganhos de rentabilidade e produtividade nas equipas e nos meios afetos à gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), foi o ponto de partida para a criação do sistema de monitorização do nível de enchimento de ecopontos.

A tendência, a médio/longo prazo, do aumento do preço dos combustíveis tem vindo a agravar os já elevados custos de operação neste ramo, o que obriga a um grande investimento por parte das empresas, não só em termos de custo direto, mas também em tempo e recursos humanos para responder às necessidades do mercado [20].

Por outro lado, o dimensionamento dos contentores dos ecopontos, mediante a produção de resíduos de uma determinada localidade, obriga a um estudo complexo que necessita de dados reais impossíveis de obter sem um sistema informático eficaz.

A procura pelo mercado de um sistema que consiga melhorar a eficiência da recolha dos contentores dos municípios, através de um planeamento assente em dados reais do nível de enchimento dos contentores é, de facto, enorme. Este sistema evitaria assim o desperdício de horas de trabalho das equipas de operação, bem como combustível dos veículos de recolha. Evitaria ainda a existência de resíduos em redor dos contentores quando a recolha é feita várias horas ou dias depois dos contentores estarem completamente cheios.

Um outro facto a ter em conta, e que brevemente preocupará as empresas ou serviços municipalizados que trabalham no ramo da limpeza urbana, é a diretiva europeia de 2008 denominada: *Waste Framework Directive (2008/98/EC)*. Esta diretiva prevê a necessidade de registar todos os dados relativos à gestão de resíduos e metas de reciclagem numa base de dados nacional em cada país da

União Europeia. Isto por sua vez obrigará no futuro a que cada empresa tenha o seu próprio registo das performances obtidas no campo da recolha urbana.

Sem um sistema eletrónico capaz e robusto que comunique todos os dados relativos à recolha urbana para uma base de dados com suporte informático, este registo de desempenho tornar-se-á difícil.

O sistema de monitorização do nível de enchimento de ecopontos pretende resolver todos os problemas descritos de forma eficaz e sempre que possível, económica.

A gestão de resíduos permite o controlo da quantidade de produção e define fluxos de produção de lixo, de forma a se estabelecer limites de produção cada vez mais baixos, vantajosos para o ambiente.

O principal objetivo da monitorização de resíduos é minimizar os impactos negativos no meio ambiente, ou seja, a diminuição dos gases com efeito estufa, originando a diminuição do aquecimento global.

O sistema usado para monitorizar os resíduos produzidos, como já se falou, será um contentor inteligente, com sensores que conseguem, quer pelo nível de enchimento quer pelo peso de resíduos orgânicos, controlar o nível de produção de resíduos numa determinada localidade ou instituição. Neste caso será inicialmente aplicada no campus do ISEL.

## 2.5 Sistemas de Monitorização Existentes

Quando se fala de ambiente, e mais concretamente no ramo da limpeza urbana, a tecnologia e a informatização dos processos não são temas novos e já chegaram, ainda que de forma pouco desenvolvida, às empresas portuguesas.

Existem programas informáticos com bases de dados complexas para facilitarem a gestão da contentorização dos concelhos, gestão dos equipamentos e gestão das equipas de trabalho que operam nas recolhas.

Algumas das balanças que pesam os veículos, aquando das descargas nos aterros, estão hoje preparadas para enviar os valores das pesagens, para bases de dados sediadas em plataformas online que podem ser acedidos via Internet.

As empresas que antes trabalhavam em soluções de georreferenciação para veículos TIR, estão hoje interessadas no ramo do ambiente e alguns veículos têm por isso incorporado um módulo GSM que transmite, as suas posições.

O desenvolvimento de um sistema de monitorização do nível de ecopontos não é uma ideia nova. Existem inclusivamente duas empresas em Portugal que começam a dar os primeiros passos neste campo. Estas empresas estão a efetuar os seus primeiros testes no terreno em duas cidades portuguesas distintas. No entanto, e como se poderá constatar de seguida, estas soluções não apresentam ainda a robustez necessária.

Algumas empresas estrangeiras já estão um pouco mais avançadas do ponto de vista tecnológico, mas, do ponto de vista comercial, ainda estão numa fase inicial. Não existe nenhuma empresa que tenha um sistema deste tipo instalado em mais do que uma cidade.

Para além disto, todas as soluções estrangeiras analisadas são extremamente dispendiosas, inviabilizando por isso a sua utilização no mercado português.

O capítulo seguinte é dedicado ao estado da arte no que diz respeito à monitorização de nível de contentores. O ponto 3.2.1 refere-se aos desenvolvimentos executados em Portugal e o 3.2.2 no estrangeiro.

### **2.5.1 Soluções nacionais**

Como se constatou no capítulo anterior, existem alguns sistemas de monitorização de nível de contentores concebidos por empresas estrangeiras, mas talvez devido ao seu preço mais elevado e ao problema logístico de comercializar um produto que não tem uma montagem simples, as primeiras experiências neste sentido em Portugal estão a ser efetuadas com sistemas nacionais.

Existem duas empresas privadas em Portugal a trabalhar num sistema deste tipo, detalhadas nos pontos seguintes. Ambas escolheram uma cidade piloto portuguesa distinta para implementarem o seu sistema na totalidade ou em parte dos seus contentores enterrados. Um destes sistemas pretende vir a comercializar uma solução exclusivamente de *hardware*, que seria posteriormente integrada com uma aplicação que processaria os dados disponibilizando-os num servidor. A outra empresa fornece uma solução global, que já contempla uma aplicação online onde os contentores vazios, a meio e totalmente cheios aparecem correspondentemente a verde, amarelo e vermelho, sobre um mapa vetorial.

#### **2.5.1.1 Solução SOMA GRSU – Gestão de resíduos sólidos urbanos**

O ponto de partida para a criação desta solução foi o objetivo de diminuir a poluição e um consequente aumento de rentabilidade e produtividade nas equipas e nos meios afetos à gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Por um lado, os investimentos associados aos processos tecnológicos de seleção, tratamento e destino final de resíduos, nomeadamente, reciclagem, compostagem e incineração, são tendencialmente mais avultados e agravados pelo aumento de produção de resíduos.

Por outro lado, a instalação, operação e manutenção, de equipamentos de recolha, tratamento e armazenamento de resíduos, têm vindo a agravar os já elevados custos de operação, o que obriga a um grande investimento por parte das empresas, não só em termos de custo direto, mas também em tempo e recursos humanos especializados para responder às necessidades do mercado.

Nesta perspetiva, a SOMA, S.A. desenvolveu uma solução pensada em exclusivo para este sector, permitindo efetuar toda a gestão operacional da recolha de resíduos, com foco na redução de custos operacionais e uma melhor eficiência dos serviços.

Este sistema consegue aliar a gestão de frota à identificação de contentores. O operador pode assim visualizar num computador ligado à internet, a rota que está a ser efetuada pelos seus camiões em formato de mapa ou de imagem satélite em tempo-real (figura 9). O utilizador tem igualmente acesso ao estado dos veículos, quilómetros percorridos por dia ou por mês, estado do veículo (em movimento ou parado), entre outras informações.

O sistema proporciona assim uma eficaz gestão de recolhas, com otimização e criação de rotas mais eficientes, identificação de contentores e registo de pesagens. Está igualmente preparado para dar resposta àquilo que se prevê que venha a ser o futuro do sector, a adoção do princípio do “poluidor pagador”, com faturação do serviço e respetiva emissão de documentos.

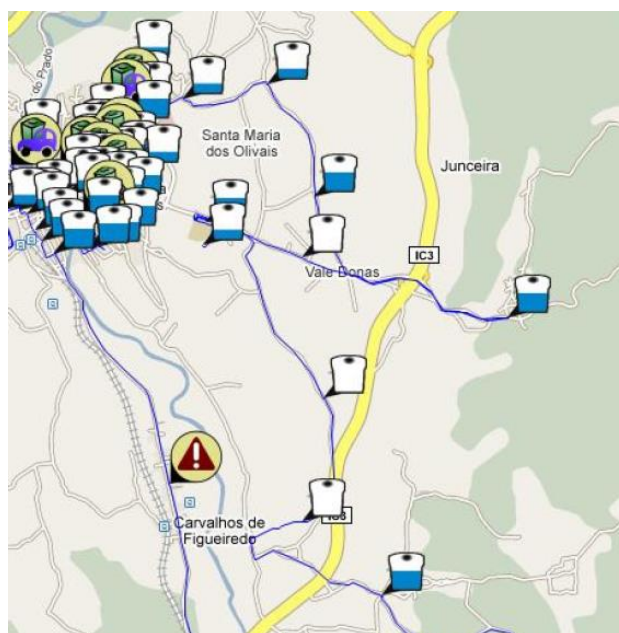


Figura 9 - Mapa de um circuito - SOMA GRSU, Website SOMA GRSU

Este sistema produziu resultados satisfatórios, entre os quais:

- Localização online das viaturas: Os administradores passaram a ter acesso às quilometragens efetuadas por cada viatura e por cada equipa, podendo inclusivamente saber em determinado momento onde se encontra a viatura/equipa de recolha, sendo possível solicitar-lhes um determinado serviço, num dado momento;
- Identificação de contentores por RFID (*Radio Frequency Identification*);
- Planeamento de circuitos;
- Personalização do sistema em função do veículo;
- Diferenciação do tipo de trabalho;
- Registo dos sinais emitidos pelo veículo (descarga da caixa, caixa cheia, etc.);
- Registo automático de nível de enchimento de contentores/ecopontos;

Por outro lado, a implementação prática do sistema SOMA GRSU expôs algumas das suas limitações, entre as quais:

- Navegação GPS inexistente. O condutor recebe no ecrã a morada do próximo contentor a recolher, mas não é apresentado um caminho ótimo a efetuar com mapa vetorial;
- Necessidade de *feedback* do utilizador no momento do registo do nível dos contentores;
- O planeamento do circuito é efetuado com base em dados estatísticos do nível de preenchimento dos contentores. Este planeamento, sendo calculado em função do nível de preenchimento médio dos contentores, aquando das recolhas efetuadas no passado, é falível sempre que em determinado dia ou semana um contentor recebe mais resíduos do que o habitual.

#### **2.5.1.2 Sistema Smart Containers UTAD**

A um nível académico também já foi escrito um trabalho na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) denominado “*Smart Containers*”. Esta tecnologia caracteriza-se por ser um contentor inteligente para a recolha de óleos domésticos, esperando vir a ser um utensílio comum nas cozinhas do futuro [21]. Este projeto venceu o concurso nacional de software *Imagine Cup* da Microsoft e ficou em 4º lugar a nível internacional [22].

Este trabalho vem alertar e relembrar a importância da reciclagem dos óleos alimentares que a maioria da população desperdiça. A maior parte dos cidadãos acabam por não reciclar o óleo devido ao problema de o armazenar, pois demora algum tempo a juntar uma quantidade significativa, e também porque não há pontos de reciclagem do mesmo, o que leva a que na maioria das vezes este tipo de resíduos seja deitado fora juntamente com os restantes resíduos domésticos urbanos [22].

Para além de ser uma prática amiga do ambiente, esta reutilização pode inclusivamente ser rentável do ponto de vista financeiro. Devido ao seu elevado potencial de reutilização para a produção de biocombustível, torna-o num produto atraente para a recolha, sendo um investimento rentável que beneficia os investidores e o ambiente [22].

De resto, apesar de menos abrangente, já que este projeto se destina unicamente aos reservatórios de óleo, o objetivo final é igual ao do presente trabalho – monitorizar contentores e comunicar o seu estado. A solução que se propõe neste projeto passa pela utilização de um recipiente inteligente, de baixo custo, que permita otimizar a recolha deste tipo de resíduos. Este recipiente deve atuar autonomamente, transmitindo à empresa de recolha informação que indica que atingiu a sua capacidade limite e está, por isso, em condições de ser recolhido. Isto garante que quando o funcionário da empresa se desloca para recolher um recipiente, numa determinada morada, sabe garantidamente que irá recolher o recipiente cheio [22].

No website que apresenta este sistema inovador não é feita qualquer referência ao funcionamento do sistema, sendo apenas visível uma imagem da interface gráfica (a seguinte figura apresenta uma vista da aplicação associada a este sistema).



Figura 10 - Vista da aplicação de recolha UTAD – Imagem satélite, Website UTAD SmartContainers

O sistema divide-se, todavia, em dois tipos: aplicação em reservatórios de restaurantes para óleo alimentar e reservatórios de óleo de oficinas.

No primeiro caso é utilizado um sensor de contacto que está posicionado num ponto equivalente ao nível de enchimento de 80% do contentor de óleo. Estes reservatórios dos restaurantes estão cheios de água enquanto não recebem óleo. Quando o óleo chega ao nível do sensor, deixa de haver contacto elétrico entre os dois polos do sensor (o óleo não é tão bom condutor como a água) e é emitido um SMS para um servidor online. No segundo caso é utilizado um sensor de boia que despoleta o envio de um SMS quando chega ao interruptor colocado a 80% do nível de enchimento do contentor.

Com este capítulo pode depreender-se que não existem muitas soluções a nível nacional, e que as que existem, encontram-se ainda numa fase embrionária do seu desenvolvimento.

### 2.5.2 Soluções no estrangeiro

A nível internacional existem alguns sistemas desenvolvidos com o intuito de monitorizar o nível de contentores. Porém, o único sistema que se encontra patenteado foi o desenvolvido por Martin J. Durbin da empresa Norte-Americana *One Plus Corp.* A pesquisa de patentes foi efetuada recorrendo ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) [23], a rede europeia de bases de dados de patentes [24], a ferramenta do google dedicada às patentes [25] e a base de dados de patentes oriundas dos Estados Unidos da América [26].

O produto denomina-se *Waste Edge* e também aqui se procede a uma medição do nível de resíduos no contentor e se comunica o resultado para uma central onde os valores vão sendo atualizados [27].

O nível de resíduos é assim medido através da resistência que a báscula hidráulica encontra ao compactar os resíduos (contentor de auto-compactação).

O esforço despendido por esta é medido através da instalação de uma unidade de monitorização por contentor que enviará o resultado para um computador onde a informação é processada e armazenada (figura 11).

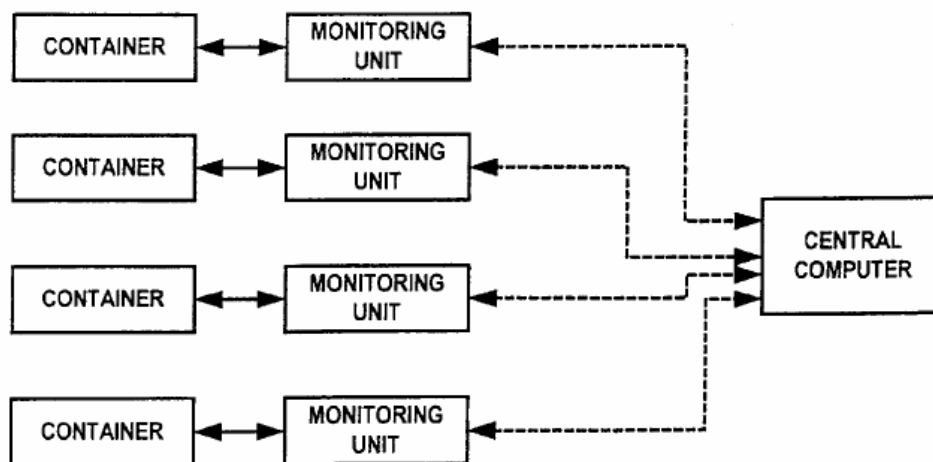


Figura 11 - Diagrama de transmissão de informação, M. K. Durbin, 2002

Este sistema, composto mecanicamente por um cilindro hidráulico, uma válvula direcional, um reservatório e bomba de óleo, obtém a medição do nível de resíduos convertendo, através de um transdutor, uma grandeza não elétrica (neste caso a pressão do óleo) para uma grandeza elétrica – diferença de potencial (ver Figura 12).

Para além desta diferença, quando comparado com o sistema totalmente eletrónico aqui desenvolvido, este sistema não é autossuficiente do ponto de vista energético.

Na Figura 13 e 14 podemos ver o módulo GSM e a aplicação deste sistema, respetivamente, a qual desenha num gráfico o incremento do nível de enchimento.

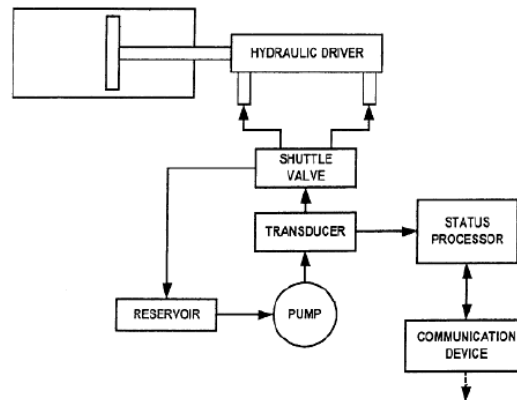


Figura 12 - Esquemático para cada contentor, M. K. Durbin, 2002



Figura 13 - Módulo GSM Waste Edge, M. K. Durbin, 2002

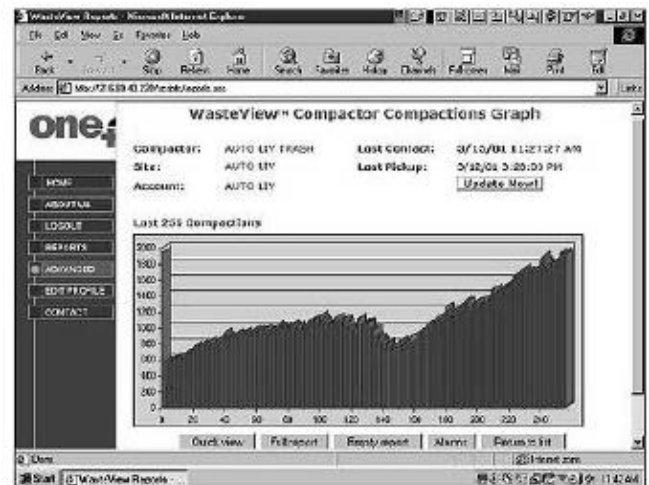


Figura 14 - Aplicação WasteView, M. K. Durbin, 2002

Para além deste sistema patenteado, podem também mencionar-se outros 3 sistemas não patenteados.

O sistema *Emerald*, desenvolvido pela Irlandesa *Green Diamond Technologies*, o sistema *SLX 1300* da Suíça *Swisslogix* e o sistema *Syren* desenvolvido pela empresa Francesa *BH Technologies*. Este último sistema foi desenvolvido em parceria com a *Plastic Omnium*, empresa líder mundial de sistemas para otimização da recolha de resíduos. Estas empresas foram movidas pelo mesmo objetivo relacionado com a necessidade das autoridades locais anteciparem a evolução da produção de resíduos dos municípios.

Começando pelo sistema *Emerald*, este garante reduzir o número de recolhas, aumentar a eficiência em 30% (poupança de 1.000€ por contentor por ano) e ir ao encontro de novas regulações europeias como a *Waste Framework Directive*.

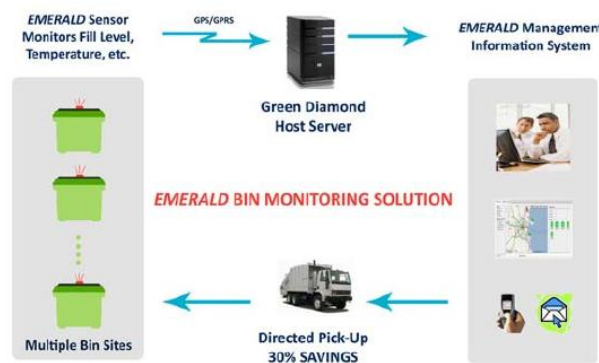


Figura 15 - Esquemático do sistema Emerald da Green Diamond Technologies, Green Diamond Technologies, 2009

Do ponto de vista do hardware (ver Figura 15) consiste num sensor de nível e de temperatura (por contentor) e um módulo GSM/GPS (por ilha ecológica). O sistema comunica com um servidor que processa e armazena a informação numa aplicação online (Figura 16) que possibilita um serviço com visualização em tempo-real de todos os contentores e que permite a configuração de alertas via SMS ou e-mail. Esta empresa tem neste momento uma implementação em curso na cidade de Dublin. Não foi possível saber como o sistema é alimentado. Esta solução também pode ser acoplada a um serviço de gestão de frotas (sistema *GPS Tracker* do mesmo fabricante).



Figura 16 - Aplicação Web do sistema Emerald, Green Diamond Technologies, 2009

O sistema da empresa *Swisslogix*, o SLX 1300 (ver Figura 17), está instalado na cidade de Zurique e segundo o fabricante, está a obter bons resultados. A aplicação online é muito intuitiva, apresentando a verde os contentores a menos de 1/3 de nível de enchimento, a amarelo entre 1/3 e 2/3 e a vermelho quando estão a mais de 2/3 (Figura 18).



Figura 17 - Sistema SLW 1300 da Swisslogix, Brochura comercial do Sistema SLW 1300



Figura 18 - Aplicação web do sistema SLW 1300, Brochura comercial do Sistema SLW 1300

Neste sistema, a sonda ultrassónica e o módulo de comunicações estão na mesma caixa (ver Figura 19). Juntando a este pormenor o facto da sua alimentação ser efetuada a partir de pilhas de alto rendimento, o sistema torna-se muito rápido de montar. Basta para isso instalar em cada contentor um destes módulos. Relativamente às comunicações, estas podem ser efetuadas via GSM ou por rádio numa perspetiva de *Master-Slave* onde só alguns módulos têm capacidade GSM.

No entanto, dispendo a sonda destes sensores numa linha reta relativamente curta (cerca de 15 centímetros), esta solução não elimina o problema que existe quando fica um cartão encravado no contentor de papel.

Para além disto, este sistema parece não ter tido em conta, durante o seu desenvolvimento, a possibilidade de vandalismo. Efetivamente, esta caixa que incorpora elementos dispendiosos como sensores ultrassónicos, um módulo GSM e o próprio cartão de comunicações, está ao alcance do utilizador do contentor.



Figura 19 - Sistema SLW 1300 da swisslogix, Brochura comercial do Sistema SLW 1300

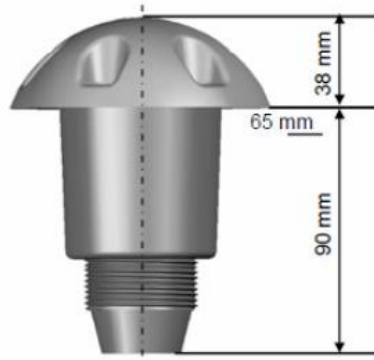
O sistema Syren da empresa Francesa BH Technologies (ver Figura 20), de todos os sistemas estrangeiros mencionados é o único que não utiliza GSM. Neste sistema, a própria sonda envia as medições periódicas via rádio para repetidores que são instalados nos postes de iluminação das ruas. Estes repetidores levam o sinal até uma unidade concentradora ligada a um computador que vai disponibilizar a informação numa plataforma online.



Figura 20 - Sistema Syren da empresa BH Technologies, BH Technologies website

A grande vantagem deste sistema é o de poder ser instalado na maior parte dos contentores, mesmo nos aéreos (convencionais). Por outro lado, mais uma vez, parece bastante suscetível de ser vandalizado já que uma parte da sonda fica à vista do lado de fora do contentor (figura 21).

Qualquer destas soluções é aparentemente mais avançada do ponto de vista tecnológico relativamente às duas alternativas existentes em Portugal.



*Figura 21 - Sonda do sistema Syren, BH Technologies website*

Foi possível compreender que nenhum destes sistemas está difundido a nível internacional ou mesmo a nível nacional em cada país. Mesmo soluções que aparentam ter alguma consistência como a Emerald da Green Diamond Technologies ou a SLX 1300 da Swisslogix estão implementadas apenas numa única cidade (respetivamente Dublin e Zurique).

## Capítulo 3. Estudo e Conceção

Tendo em conta os trabalhos existentes para este tipo de equipamentos, discriminados em detalhe no capítulo anterior, foi dimensionado um contentor de resíduos urbanos, com a tecnologia já explorada para a medição da altura de enchimento do contentor através do uso de sensores de proximidade do tipo RADAR.

Por sua vez, este sensor transmite um sinal para um microprocessador, presente dentro do contentor. Esse processador retransmite essa informação para um módulo GSM, que irá disponibilizar essa mesma informação numa plataforma online, onde estes valores poderão ser analisados pelos respetivos operadores.

Isto permite, como afirmado anteriormente, que o trajeto efetuado seja readaptado, caso os contentores tenham atingido o nível de enchimento máximo. Desta forma, sendo o trajeto mais curto, evita-se que o camião de resíduos urbanos liberte mais vapores indesejados provenientes da decomposição dos alimentos para a atmosfera.

Através da experiência de projetos existentes neste campo, um dos grandes problemas é a existência de algum material que tenha sido mal alocado dentro do contentor, onde o alarme de nível máximo é ativado precocemente, mesmo o contentor podendo suportar um maior volume de resíduos.

Para este projeto, a proposta para solucionar este problema foi através da instalação de células de cargas em cada sistema de rodas (4 no total), de forma a medir o peso total de resíduos no interior do equipamento.

Através da cablagem adequada, este valor será transmitido permanentemente para a plataforma online, onde o operador pode aferir claramente se o contentor deverá ou não ser despejado, não dependendo apenas de uma variável.

Tendo em conta que este contentor de resíduos urbanos é dimensionado para suportar uma carga máxima de até 500 kg [28] e que em média um contentor cheio pode ter entre 300 e 350 kg [10], o alarme das células de carga seria transmitido quando o peso dos resíduos do contentor (excluindo o peso do contentor) excedesse os 350 kg.

Tendo remotamente estas duas variáveis, peso e altura de enchimento do contentor, evita-se a hipótese de o sensor de RADAR estar a registar uma altura de resíduos devido ao acondicionamento deficiente de resíduos dentro do contentor.

Os sensores serão instalados dentro do equipamento, com um sistema de proteção e fixação adequado, de forma a evitar vandalismo e para não comprometer o funcionamento do equipamento.

Sendo estes sensores do tipo transmissor, onde um sinal elétrico é transmitido, convertendo o valor de diferença de potencial do sinal numa variável numérica, estes sensores necessitam de alimentação elétrica.

Em casos existentes, esta alimentação seria proveniente de painéis solares, posicionados no topo de um poste, alocado o mais próximo possível do contentor. Esta hipótese vai ser descartada, já que existe possibilidade de vandalismo.

Para evitar estes problemas, a solução foi a instalação de uma bateria no interior do equipamento, junto a parte inferior do equipamento, alimentada por um painel solar instalado na tampa do equipamento.

Isto permite que o equipamento seja autónomo em termos de energia, e que ainda se possa mover livremente. Desta maneira, estando o sistema de alimentação compactado dentro do próprio contentor, o mesmo poderá ser esvaziado sem que seja realizada a desconexão a elementos externos.

Esta bateria seria instalada totalmente carregada e fixada dentro de uma caixa de acomodação elétrica (onde estarão presentes os elementos eletrónicos, como placa de processamento e módulo GSM).

Esta caixa irá comunicar com os sensores RADAR (sendo a cablagem comunicada através de calhas), com as células de carga e com o painel solar, de forma a receber permanentemente energia proveniente da radiação solar.

Sendo o consumo destes sensores muito baixo, a bateria selecionada é de baixo volume. Isto permite não perder muito volume no contentor para alocar resíduos urbanos.

Dentro desta caixa de acomodação, será também instalado uma placa de esquemas elétricos que recebem os sinais provenientes dos sensores, convertem os sinais em variáveis reais e de seguida comunicam com a plataforma online, onde são registados os valores.

O dimensionamento do contentor de monitorização de resíduos que será instalado no Campus do ISEL teve como base um contentor usual de resíduos urbanos, cedido pela Câmara Municipal de Lisboa.

Este contentor de resíduos tem cerca de 1100 litros de volume, fabricado em polietileno de alta densidade (PEAD).



*Figura 22 - Contentor de resíduos urbanos disponibilizado pela Câmara Municipal de Lisboa*

Este contentor existente onde será implementada esta solução do contentor inteligente foi disponibilizado nas instalações do ISEL, onde foi realizado:

- o levantamento de cotas de atravancamento e de detalhe;
- levantamento do tipo de sistema de fixação das rodas ao corpo;
- levantamento do tipo de rodas e sistema de rotação;
- estudo do sistema de pegas e fixação para a despejamento do contentor (elevação e rotação);
- estudo do sistema de abertura da tampa do contentor para efeitos de instalação dos aparelhos de instrumentação.

Em termos de projeto, a conceção da tampa deste contentor não podia ser aceite como está. Esta tampa não opera por meio de dobradiças, mas sim por encaixes nas laterais do contentor, por meio de rotação.



*Figura 23 - Contentor de resíduos urbanos disponibilizado – Posições fechada e aberta, respetivamente*

Dessa forma, adaptou-se esta tampa fazendo um corte retangular central na tampa, e instalando uma superfície plana, de polietileno de alta densidade, de forma a facilitar a instalação do painel solar.

Foi usado um sistema de rodas convencional de 4 rodas, em que as duas rodas dianteiras possuem travões para a paragem do contentor, tal como mostra a seguinte figura:



*Figura 24 - Contentor de resíduos urbanos disponibilizado – Rodas dianteiras e traseiras*

Para a instalação das células de carga, pensou-se em 2 alternativas, nomeadamente:

- Instalação das células no lado interior do contentor;
- Instalação das células de carga no exterior do contentor.

Para o primeiro caso, existiriam 4 células posicionadas uma em cada canto do equipamento. De seguida seria instalada uma placa plana de polietileno de alta densidade. Essa placa entraria em contacto com os resíduos condicionados no contentor e distribuía essa carga às quatro células de carga.

Esta solução não foi escolhida, já que tornava o sistema mais complexo. Existia a possibilidade de vazar líquido para a parte interior do contentor, onde estão localizados os sensores.

Esta placa teria de permitir deslocamento vertical, de forma a permitir a leitura de carga nas respetivas células, o que dificulta o sistema interno de fixação da placa ao corpo do contentor, tornando o sistema mais complexo. Por outro lado, existindo um espaço interno especializado para as células de carga, seria retirado volume de acondicionamento de resíduos urbanos ao contentor, diminuindo a sua capacidade máxima.

Na segunda solução, as células de carga estariam posicionadas exatamente entre a chapa de fixação das rodas ao corpo e o corpo do contentor.

Esta solução torna-se mais vantajosa e viável, já que estando as células de carga completamente cobridas e acondicionadas dentro de um espaço fechado (uma peça para ser adaptada ao sistema de rodas, para fixar e proteger a célula de carga), reduzindo a possibilidade de vandalismo.

Outra vantagem seria a impossibilidade de vazamento de algum fluido proveniente de resíduos urbanos para as células de carga e respectivas cablagem, já que as células de carga ficariam do lado de fora do contentor, mantendo todo o sistema mais seguro.



*Figura 25- Contentor de resíduos urbanos disponibilizado – Sistema de fixação da roda ao corpo do contentor*

# Capítulo 4. Seleção de Componentes

Estando a conceção do contentor definida e o tipo de instrumentos que vão ser implantados no contentor de monitorização dos resíduos, segue-se o capítulo em que serão dimensionados e definidos os modelos dos aparelhos eletrónicos a usar, para que se possa posteriormente modelar todos os componentes em ambiente *SolidWorks*.

O Sistema de monitorização do nível de enchimento de ecopontos foi concebido de forma a apresentar um consumo energético o mais baixo possível, podendo ser alimentado por um painel solar com a área aproximada de uma folha A4 - valor de  $1/16\text{m}^2$ , definido pela norma ISO 216 (na Península Ibérica, onde se consideram normalmente 2 a 3 horas efetivas de sol por dia).

Neste capítulo serão dimensionados os seguintes elementos:

- Células de carga, para medição do peso do contentor;
- Sensores RADAR, para medição do nível de enchimento;
- Painel solar para alimentação da bateria;
- Bateria para receção da energia do painel solar e distribuição para os sensores;
- Regulador de diferença de potencial;
- Módulo GSM;
- Caixa de junção para sinais.

## 4.1 Sensores RADAR

Relativamente às sondas que operam no infravermelho, estas foram rapidamente abandonadas dado que era sabido que o comportamento destas no vidro é inexato. Mesmo sabendo que este projeto se aplica a um contentor de resíduos urbanos, sabe-se que a presença de vidro num destes contentores é provável.

Considerou-se a possibilidade de se usar sondas a laser. Este tipo de sensores, por apenas medirem uma distância unidirecional, não são aptas para este tipo de operação, já que a altura de enchimento ao longo do contentor pode variar.

O objetivo era seleccionar um sensor com tecnologia *multisense*, ou seja, um sensor com possibilidade de medição numa determinada área, e não apenas numa direção, de forma a se ter uma avaliação mais concreta do nível de enchimento do contentor.

Devido ao ambiente em que estes sensores vão operar, estando expostos a sujidade e humidade, torna-se também crucial seleccionar um sensor com um grau de protecção adequado (mais conhecido como *Ingress Protection, IP*).

Níveis de classes de protecção IP ou grau de protecção IP são padrões internacionais definidos pela norma IEC 60529 para classificar e avaliar o grau de protecção de produtos eletrónicos fornecidos contra intrusão de pó, água, contactos acidentais, entre outros. Este nível de protecção é classificado por 2 números. O primeiro dígito indica o nível de protecção contra a entrada de materiais sólidos (tal como poeiras), indo de 0 a 6, onde o 0 indica que nenhuma protecção é fornecida.

O segundo dígito indica a protecção contra a entrada de água. Por exemplo, temos o nível 1 que indica que o sensor é fornecido com protecção contra queda de gotas de água, e o nível máximo, 8, que implica que o sensor possa trabalhar totalmente submerso em água, sem riscos de performance. Existe ainda uma classificação mais recente, 9k, onde o sensor está totalmente protegido contra a ingestão de jatos de água a curta distância, de alta pressão e temperatura.

Quanto maior o nível de protecção, mais nobres são os materiais dos sensores e sistemas de isolamento, o que implica um aumento de custo. A figura a baixo mostra uma tabela resumo de todas as combinações possíveis de índices de protecção.

INDICE DE PROTEÇÃO - IP					
PRIMEIRO ALGARISMO			SEGUNDO ALGARISMO		
IP	PROTEÇÃO CONTRA CORPOS SÓLIDOS		IP	PROTEÇÃO CONTRA LÍQUIDOS	
0		Sem protecção	0		Sem protecção
1		Protecção contra corpos superiores a 50 mm (ex.: contactos involuntários da mão)	1		Protegido contra as quedas verticais de gota de água (condensação)
2		Protegido contra corpos sólidos superiores a 12 mm (ex.: dedos da mão)	2		Protegido contra quedas de águas com inclinação até 15° na vertical
3		Protegido contra corpos sólidos superiores a 2,5 mm (ex.: ferramentas, cabos)	3		Protegido contra água da chuva com inclinação até 60° na vertical
4		Protegido contra corpos sólidos superiores a 1 mm (ex.: ferramentas finas, pequenos cabos)	4		Protegido contra as projecções de água em todas as direcções
5		Protegido contra pó (sem sedimentos prejudiciais)	5		Protegido contra jatos de água em todas as direcções
6		Totalmente protegidos contra o pó	6		Protegido contra os jatos de água potentes e ondas do mar
			7		Protegido contra imersão
			8		Protegido contra os efeitos prolongados da imersão sob pressão
			9k		Protegido contra os jatos de água a curta distância, a alta pressão e alta temperatura

Figura 26 - Índice de Protecção IP, IEC 60529

Uma das outras exigências mais críticas era que o campo de ação fosse suficientemente estreito para que a sonda não assumisse as paredes do contentor como resíduos e ao mesmo tempo, suficientemente alargado para encontrar resíduos a toda a largura do contentor.

Tendo isto em mente, optou-se por sondas do tipo RADAR, com tecnologia *multisense*, que consegue medir a altura de enchimento ao longo de uma área bem definida.

Para a seleção deste tipo de instrumento, selecionou-se o fabricante MaxBotix.

Este fabricante é especialista no fabrico de todo o tipo de sensores, incluindo os sensores sonares. Do portefólio de soluções disponíveis, foi selecionado o modelo MB7062 XL-MaxSonar-WR1.

O que levou a esta seleção foi a disponibilidade de certificação em IP67, suficiente para a operação em causa, e que os sensores são fornecidos com uma armação que protege os sensores de materiais e eventuais vandalismos que possam acontecer.

O fabricante também disponibiliza este tipo de sensores com proteção IP68. Este nível de proteção já se torna uma proteção excessiva para as condições a que vai operar o sensor, e torna também o sensor mais caro.



Figura 27 - Sensor RADAR - Modelo MB7062 XL, [38]

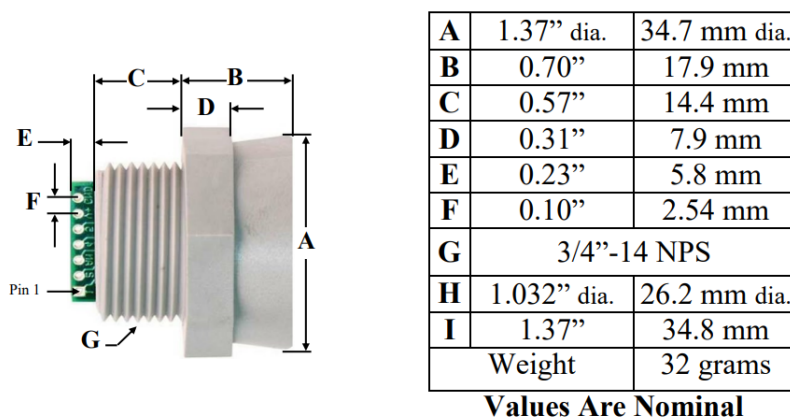


Figura 28 - Sensor RADAR - Modelo MB7062 XL-MaxSonar-WR1 – Dimensões, [38]

Especificações técnicas do modelo, retiradas da especificação técnica do modelo do sensor do website da MaxBotix [38]:

- Alimentação de 3 a 5.5V
- Cilindro de proteção em PVC
- Índice de proteção IP67
- Muito baixo consumo (Consumo médio: 3,4 mA)
- Opera a 42 KHz
- Detecção de objetos de 0 a 300 polegada (0 a 700 cm)
- Saída em largura de impulso, tensão analógica e comunicação série
- Desenhada para utilização no exterior
- Diâmetro do campo de visão da sonda superior a 50 cm e inferior a 1 metro
- Alta sensibilidade
- Ganho variável (compensação automática da temperatura)
- Faz até 20 leituras por segundo
- Pode operar em modo de leitura contínua ou leitura por interrupção

Utilizando valores aproximados para uma quantidade de 100 unidades, a sonda custa cerca de 20€, sem IVA (valores retirados diretamente na plataforma online do fabricante, agosto de 2023).

## 4.2 Células de Carga

A célula de carga é um transdutor de força. A força é medida de forma indireta, normalmente relacionando-a com a resposta de algum material à aplicação de carga (mudança de pressão, deformação, etc.). É muito utilizada por ser muito precisa e ser muito versátil em relação ao tamanho das cargas aplicadas.

As células de carga variam muito dependendo da sua aplicação. Características importantes numa célula de carga são o modo de operação (tensão e/ou compressão), o ambiente no qual ela pode operar, o intervalo de forças que ela mede, a precisão e a sobrecarga. A sobrecarga (*overload*) é a carga máxima que a célula pode medir.

Existem vários tipos de células de carga que funcionam mediante princípios de operação diferentes. Existem células que funcionam segundo tensões de corte, tensões de flexão, tensões de compressão, entre outros.

Para o presente projeto, a célula que mais se ajusta é a célula de carga de compressão, do tipo disco. Estes tipos de células ocupam pouco espaço e o seu tipo de funcionamento é ideal para medir o peso de algum material ou estrutura posicionado imediatamente por cima da célula.

O fabricante escolhido foi a Zhimin Sensor.

O modelo da célula de compressão selecionado é o ZMC1, uma célula do tipo disco que está dimensionada para suportar uma carga padrão de 10, 50, 100 ou 300 kg. Estando este tipo de contentores dimensionados para suportar uma carga máxima de 500 kg, foi selecionado o sensor de 300 kg, já que a carga total medida vai ser dividida em 4 células de carga, uma posicionada em cada roda.



Figura 29 - Célula de carga - Compressão, do tipo disco - modelo ZMC1, [39]

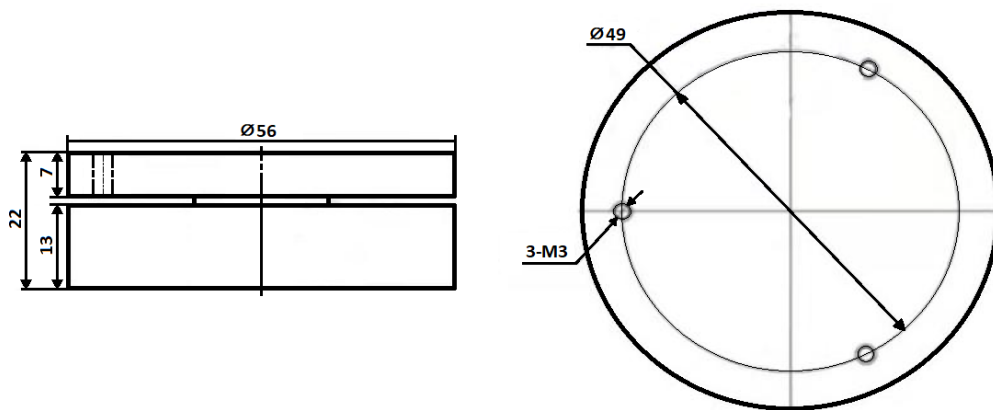


Figura 30 - Célula de carga - Compressão, do tipo disco - modelo ZMC1 – Dimensões, [39]

PARAMETER	VALUE	UNIT
Standard capacities (Emax)	10, 50, 100, 300	KG
Rated output-R.O.	2.0	mV/V
Zero balance	1	±% of rated output
Non linearity	0.05	±% of rated output
Hysteresis	0.05	±% of rated output
Non-repeatability	0.02	±% of rated output
Creep error (30 minutes)	0.03	±% of rated output
Zero return (30 minutes)	0.03	±% of rated output
Temperature effect on min. dead load output	0.0026	±% of rated output/°C
Temperature effect on sensitivity	0.0015	±% of rated output/°C
Compensated temperature range	-10 to +40	°C
Operating temperature range	-20 to +60	°C
Safe overload	150	% of R.C
Ultimate overload	200	% of R.C
Excitation, recommended	10	Vdc
Excitation, maximum	15	Vdc
Consumption	1.24	mA
Input resistance	380±10	Ohms
Output resistance	350±3	Ohms
Insulation resistance	5000	Mega-Ohms
Material	Stainless steel	
Protection class	IP67	

Figura 31 - Célula de carga - Compressão, do tipo disco - modelo ZMC1 da Zhimin Sensors, [39]

Selecionou-se este fabricante para a célula de carga já que, em detrimento de outros fabricantes, estes componentes são fornecidos com os requisitos técnicos necessários para o tipo de operação a que estão sujeitos, nomeadamente o nível de proteção IP 67, o mesmo tipo que o sensor RADAR.

Uma das grandes vantagens deste modelo é que possui eletrônica integrada (regulador de diferença de potencial), enquanto as dimensões externas permanecem inalteradas, incluindo um sistema de fixação aparafusada.

Esta célula de carga com eletrônica integrada e respetiva cablagem pode variar entre 20 e 30€. Tendo em conta que serão 4 células, o valor total pode variar entre 80 e 120€ (valores retirados diretamente na plataforma online do fabricante, em agosto de 2023).

### 4.3 Regulador de Diferença de Potencial

Juntamente com os sensores de medição do nível de enchimento e carga do equipamento, deve ser adquirido um Regulador de diferença de potencial, que irá baixar a tensão que vem da bateria para a tensão de operação dos sensores/placa de processamento.

A tensão recebida pela bateria/painel solar de 12V (1 entrada) será regulada para a tensão de operação da placa de processamento, neste caso, 5V (1 saída). Por sua vez, esta placa comunica com os sensores já na tensão apropriada de funcionamento. O mesmo se aplica ao módulo GSM.

Do mesmo fabricante do sensor RADAR, selecionou-se o modelo MB7986 *Voltage Regulator Board*, com um custo aproximado de 10€ (valor consultado em agosto de 2023).

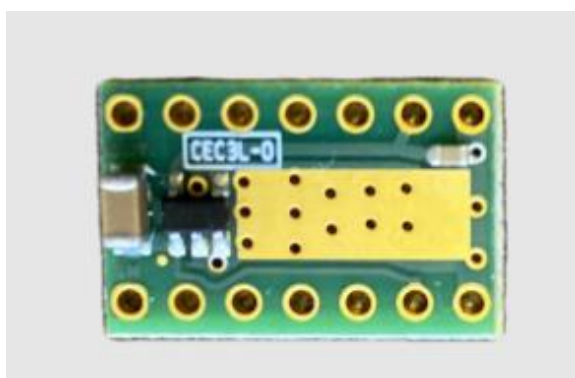


Figura 32 - Regulador de diferença de potencial para alimentação da placa de processamento, [40]

Este regulador de diferença de potencial aceita na entrada tensões de 12/24V e saída para alimentação dos sensores de 3/5V. Consumo do regulador em *stand-by* é de 0,5mA a 1,2mA.

Os cabos de transmissão de sinal do mesmo fabricante são do modelo MB7954 Shielded Cable e custam cerca de 4€ por 10 metros de cabo (consultado em agosto de 2023).

## 4.4 Placa de Processamento

A placa de processamento é uma placa composta por um microprocessador. É um circuito integrado que realiza as funções de cálculo e tomadas de decisão de um sistema. É responsável pelo processamento, o circuito de medição da carga da bateria e o circuito de potência que alimenta as sondas e células de carga e o módulo GSM, para além dos componentes da própria placa.

Um microprocessador incorpora as funções de uma unidade central de computação (CPU) num único circuito integrado, ou no máximo alguns circuitos integrados. É um dispositivo multifuncional programável que aceita dados digitais como entrada, processa de acordo com as instruções armazenadas em sua memória, e fornece resultados como saída.

Este microprocessador irá receber informação de sinal dos sensores e converter este sinal elétrico em variáveis numéricas, que por sua vez são transmitidas ao módulo GSM, para que este possa transmitir a informação para a plataforma online.

Como referenciado anteriormente, a placa de processamento será alimentada pelo regulador, que diminui a tensão de 12V para 5V.

O fabricante de microcontroladores escolhido foi a Microchip. Dentro da gama PIC de 8 bits existe um leque alargado de modelos, mas a escolha final foi o modelo 18F252 da família 18F.

Selecionou-se este modelo por poder operar com uma tensão de 2 a 5,5V (gama que inclui o valor de tensão de 5V proveniente do regulador).

Este microcontrolador possui uma memória RAM de 1536 Byte. O seu preço varia entre 5 e 10€ (consultado em agosto de 2023).

Relativamente ao número de pinos do microcontrolador, escolheu-se um PIC de 28 pinos (valor mínimo de pinos disponível para modelos da Microchip), mesmo que não fossem necessárias tantas entradas/saídas.

Em todo o caso, um PIC com um maior número de Entradas/Saídas, como por exemplo o 16F877A de 40 pinos custaria aproximadamente o dobro do preço.



Figura 33 - Microcontrolador - modelo 18F252 da Microchip, [41]

Para este modelo de microcontrolador, a placa de processamento recomendada para a instalação de microcontroladores da família PIC18F é a placa *μStart for PIC* da Microchip. O seu preço varia entre 20 e 25€ (valores retirados diretamente na plataforma online do fabricante, em agosto de 2023).

O consumo em standby deste conjunto é de 5mA. O consumo em operação deste tipo de placas pode variar entre 50mA e 100mA consoante o número de ligações que lhe estão associadas. O valor considerado para dimensionar o sistema será 100mA.

## 4.5 Módulo GSM



Figura 34 - Placa de processamento - *μStart for PIC* da Microchip, [42]

Este componente será responsável por comunicar com a placa de processamento, enviando os dados medidos para o servidor / Plataforma On-line, via TCP-IP.

Este pequeno módulo irá ficar instalado dentro da caixa de proteção interna, posicionada no fundo do contentor.

Este módulo deve ter um consumo baixo, preferencialmente inferior a 500mA, com uma proteção IP mínima de IP65, e uma integração fácil com a placa de processamento (conector DB9 ou USB).

O modelo selecionado foi o GE910-QUAD V3 do fabricante Telit.



Dimensions: 28.2 x 28.2 x 2.25 mm  
LGA form factor  
Extended temperature range -40° C to +85° C  
Nominal: 3.8 V dc  
Range: 3.2-4.5 V dc

Figura 35 - Módulo GSM - GE910-QUAD V3 da Telit, [43]

Este componente vem encapsulado numa caixa de proteção, preparado para ligações wireless GSM.

Este Módulo GSM custa entre 40 e 60€ (consultado em agosto de 2023).

## 4.6 Painel Solar e Bateria

Antes de se escolher o painel fotovoltaico para fazer a primeira experiência foi efetuada uma pesquisa relativamente à energia solar em geral, e à sua aplicação em sistemas de baixo consumo em DC.

Para se seleccionar um painel solar, deve-se saber, primeiramente, o consumo total do sistema. Tendo em conta os modelos de cada componente seleccionados, temos os seguintes componentes a consumir energia:

- 4 células de carga;
- 1 sonda;
- Consumo placa de processamento;
- Consumo módulo GSM: assume-se que o sistema está configurado a enviar novas medições por TCP-IP de 2 em 2 horas;

### 4.6.1 Consumo diário da placa de processamento em *stand-by*

$$E = P[\text{w}] \times t[\text{h}] = I[\text{A}] \times U[\text{V}] \times t[\text{h}] = 0.005 \times 5 \times 24 = 0.60 \text{ W}\cdot\text{h} = 600 \text{ mW}\cdot\text{h}$$

$$E = 600 \times 1.1 = 660 \text{ mW}\cdot\text{h}$$

Nota: Assume-se um sobredimensionamento de 10% em cálculos de consumo para o caso de existirem variações de consumo no sistema.

### 4.6.2 Consumo diário da sonda

$$P_{\text{total}} = P \times N_{\text{sondas}} = I[\text{A}] \times U[\text{V}] \times 1 = 0.0034 \times 5 \times 1 = 0.017 \text{ W}$$

Assumindo que a sonda é ligada 10 segundos por ciclo e faz 12 ciclos por dia (medição de 2 em 2h), temos:  $t = 10\text{s} \times 12 = 120 \text{ s}$ .

$$t_{\text{total}} = t \times N_{\text{sondas}} = 120 \times 1 = 120 \text{ s} = 0.033 \text{ h}$$

$$E = P[\text{w}] \times t[\text{h}] = I[\text{A}] \times U[\text{V}] \times t[\text{h}] = 0.0034 \times 5 \times 0.033 = 0.00057 \text{ W}\cdot\text{h} = 0.57 \text{ mW}\cdot\text{h}.$$

$$E = 0.57 \times 1.1 \approx 0.62 \text{ mW}\cdot\text{h}$$

### 4.6.3 Consumo diário das células de carga

$$P_{\text{total}} = P \times N_{\text{sondas}} = I[\text{A}] \times U[\text{V}] \times 4 = 0.00124 \times 5 \times 4 = 0.0248 \text{ W}$$

Assumindo que cada célula de carga é ligada 10 segundos por ciclo e faz 12 ciclos por dia, temos:  $t = 10 \times 24 = 240 \text{ s}$ .

$$t_{\text{total}} = t \times N_{\text{células carga}} = 120 \times 4 = 480 \text{ s} = 0.133 \text{ h}$$

$$E = P[w] \times t[h] = I[A] \times U[V] \times t[h] = 0.00124 \times 5 \times 4 \times 0.133 = 0.0033 \text{ W}\cdot\text{h} = 3.3 \text{ mW}\cdot\text{h} \text{ por dia.}$$

$$E = 3.3 \times 1.1 \approx 3.7 \text{ mW}\cdot\text{h}$$

#### 4.6.4 Consumo diário do regulador de diferença de potencial

$$E = P[w] \times t[h] = I[A] \times U[V] \times t[h] = 0.0012 \times 12 \times 24 = 0,35 \text{ W}\cdot\text{h} = 350 \text{ mW}\cdot\text{h}$$

$$E = 350 \times 1.1 = 385 \text{ mW}\cdot\text{h}$$

#### 4.6.5 Consumo diário da placa de processamento durante ciclos de medição

Este consumo resume-se ao consumo da placa de processamento durante fases de medição e envio de dados para o módulo GSM, e seguinte retransmissão para o servidor/plataforma online, mais os consumos dos respetivos sensores nesse instante.

Como dito anteriormente, a placa consome no máximo 100mA em operação. Assumindo que o tempo de funcionamento por ciclo do módulo GSM é de 2 minutos (tempo para a placa processar informação dos sinais provenientes dos sensores, ligação com o módulo e retransmissão ao servidor), temos que:

$$t_{\text{total}} = t \times \text{ciclos} = 120 \times 12 = 1440 \text{ s} = 0.4 \text{ h}$$

$$E = P[w] \times t[h] = I[A] \times U[V] \times t[h] = 0.1 \times 5 \times 0,4 = 0.2 \text{ W}\cdot\text{h} = 200 \text{ mW}\cdot\text{h}$$

$$E = 200 \times 1.1 \approx 220 \text{ mW}\cdot\text{h}$$

#### 4.6.6 Consumo total

Somando os consumos calculados anteriormente, temos que:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{células carga}} + E_{\text{sonda}} + E_{\text{regulador}} + E_{\text{placaprocesamentostand-by}} + E_{\text{placaprocesamentooperação}} =$$

$$E_{\text{total}} = 3.7 + 0.62 + 385 + 660 + 220 = 1269.32 \approx 1270 \text{ mW}\cdot\text{h}$$

Tomando algumas precauções considerou-se o valor de 3W·h por dia como o valor a garantir pelo conjunto painel + bateria selecionado (ligeiramente mais do dobro do calculado prevendo um maior tempo de ligação do modem ao receber um SMS de configuração).

#### 4.6.7 Seleção do conjunto painel / bateria

Em Portugal, o potencial disponível é bastante considerável, sendo um dos países da Europa com melhores condições para aproveitamento deste recurso. Portugal dispõe de um número médio de 2200 a 3000 horas de sol por ano no continente e entre 1700 e 2200, respetivamente nos Açores e Madeira [29].

A média do total anual da irradiação solar global encontra-se entre 1400 kWh/m<sup>2</sup> em Vila Real (Trás-os-Montes) e 1700 kWh/m<sup>2</sup> em Faro (Algarve) [30], como mostrado na seguinte figura:

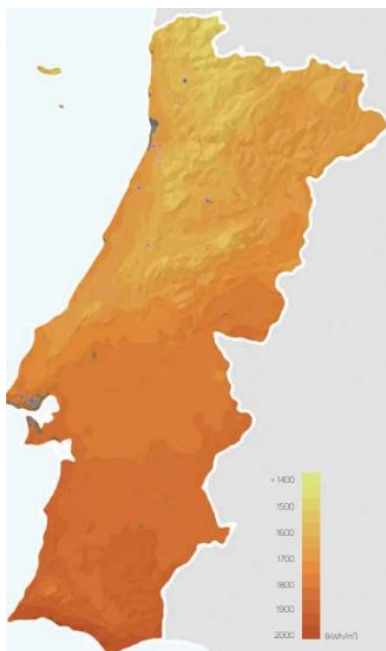


Figura 36 - Energia solar em Portugal. Ref.: Website da SCE, 2019

Tendo em conta a figura anterior, Lisboa está na ordem entre os 1600 e os 1700 kWh/m<sup>2</sup>. Considerando o valor intermédio de 1650 kWh/m<sup>2</sup>, isto implica que a irradiação média diária em Lisboa é de aproximadamente 4500 Wh/m<sup>2</sup>.

Tendo em conta um estudo que se fez em relação aos atuais rendimentos dos painéis fotovoltaicos monocristalinos e policristalinos, temos que os 5 painéis mais eficientes são dos seguintes fabricantes:

1. SunPower (22.8%)
2. LG (21.7%)
3. REC Solar (21.7%)
4. CSUN (21.2%)
5. Solaria (20.5%)

Podemos concluir que o painel solar mais eficiente no mercado apresenta uma eficiência de 22.8%, quando a maioria dos painéis tem entre 15% e 17% [31].

Utilizando um painel policristalino, e utilizando a radiação do sol no sul da península ibérica podemos contar com uma produção de  $675\text{Wh/m}^2$  por dia (considerando o pior caso de rendimento, 15%).

Fazendo um cruzamento de informação, para evitar a possibilidade de apresentar dados obsoletos (o que é muito comum num ramo em constante mudança como este), tem-se que o valor indicado pelo laboratório de eletricidade solar da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, relativamente à produção de energia na região de Lisboa é de  $700\text{Wh/m}^2$  por dia, um valor similar ao calculado anteriormente [32].

A generalidade de empresas em Portugal que comercializam estes pequenos painéis solares [33, 34], considera o valor de  $100\text{Wh/m}^2$  por hora e fazem os cálculos prevendo a existência de 2 horas de sol efetivas no norte da península Ibérica e 3 horas no centro sul.

Preveem assim uma produção mínima (num dia chuvoso no Inverno) de  $200\text{Wh/m}^2$  e  $300\text{Wh/m}^2$  por dia, respetivamente no centro sul e norte da península Ibérica. Estes valores, asseguram logicamente, uma margem considerável relativamente aos valores calculados no parágrafo anterior. Os cálculos de consumo deste trabalho vão utilizar as 2 horas de sol efetivas por dia como referência.

Tendo isto em conta, precisando de  $3\text{W}\cdot\text{h}$  e considerando 2 horas de sol é necessário um painel solar com uma potência de  $1.5\text{W}$  (produz uma energia de  $1.5\text{W}\cdot\text{h}$  por hora).

Tendo isto em conta, a área do painel solar é de  $150\text{cm}^2$ .

No entanto, existem perdas de energia desde o fornecimento do painel ao carregador e do carregador até à bateria. Por isto, e devido aos painéis de  $5\text{W}$  terem uma boa relação qualidade preço, acabou por se escolher um painel fotovoltaico policristalino de  $5\text{W}$ .

Para além disto, o painel de  $5\text{W}$  é o mais pequeno dos valores standard do mercado, conseguindo-se uma relação preço/potência muito mais alta do que para um painel de 1 ou 2 W.

Selecionou-se o modelo *Eco Line ES5P36* da *SolarV* [35]. Este modelo é um painel policristalino de  $5\text{W}$ ,  $12\text{V}$ , e com 18% de eficiência. Este fabricante produz painéis fotovoltaicos com uma alta relação de qualidade/preço/eficiência, tendo esse sido o fator fundamental para ser escolhido em detrimento de outros fabricantes.

Este modelo tem de dimensões de atravancamento, nomeadamente comprimento, largura e altura, de  $230\text{mm}$ ,  $185\text{mm}$  e  $17\text{mm}$ , respetivamente. Este modelo apresenta um custo entre  $16,95\text{€}$  e  $23,95\text{€}$ .



Figura 37 - Painel fotovoltaico policristalino - modelo EcoLine ES5P36 da SolarV / Enjoysolar, [35]

Um painel solar fixo deve ser direcionado para Sul de forma a garantir o máximo de incidência durante o dia no Hemisfério Norte.

Estando obrigados a encontrar um compromisso fixo para todo o ano, e como o contentor pode ser instalado em vários locais, para várias direções, este fator não pode ser um fator limitativo. Ou seja, o painel do contentor projetado ficará totalmente horizontal, o que faz com que a potência/rendimento do painel diminua, estando longe do ângulo ótimo de radiação.

Ainda assim, como a seleção do modelo dos painéis fotovoltaicos está sobredimensionado tendo em conta estas possíveis perdas, esta situação pode ser facilmente controlada. Em relação à bateria, selecionou-se uma SOLARX-3 da Xunzel [36], por ter uma capacidade de armazenamento de 3 Ah a 12 V, com proteção IP67 e um peso inferior a 1 kg. Custo aproximado de 13,79€ (valor consultado em agosto de 2023).



Figura 38 - Bateria - modelo SOLARX-3 3Ah 12V da Xunzel, [36]

O carregador desta bateria é um regulador SolSum 6.6 C (6,6A) que custa entre 30 e 40€ (consultado em agosto de 2023).



Figura 39 - Regulador da bateria - SolSum 6.6C da STECA SOLSUM, [44]

De seguida procedeu-se à seleção da caixa de acomodação, onde ficarão instalados a bateria, carregador, regulador de diferença de potencial e a placa de processamento.

Esta caixa deve ter proteção IP65 no mínimo para impedir a entrada de líquidos e pó que possam contaminar o circuito elétrico. Por outro lado, o fundo da caixa deve ter fundo 'furado' para que possamos posicionar todos os componentes e aparafusá-los ao fundo da caixa (fundo metálico).



Figura 40 – Caixa de proteção - fundo 'furado' – exemplo, Obo Bettermann

Esta caixa deve ser metálica, já que, estando esta caixa no fundo do contentor, terá impactos devido à colocação de sacos de resíduos urbanos.

A caixa deve ser de tampa aparafusada para garantir o máximo de estanquidade possível.

Ao selecionar este tipo de caixa de proteção, surgiu o problema em relação à conexão das cablagens entre os elementos do interior e os sensores/painel solar instalados no exterior.

Normalmente, estes tipos de caixas recebem e enviam cablagem pela parte lateral, através de ligações de buçins.

Como as cablagens vão estar também por dentro do contentor, as cablagens devem todas ser de proteção IP65 como mínimo, inclusive os respetivos buçins de ligação.

As cablagens deverão ser transportadas por dentro de cabos flexíveis que irão funcionar como guias. Por um motivo de segurança, na ligação dos cabos flexíveis junto aos buçins de ligação à caixa, estes devem ser selados com silicone, impedindo a entrada de produtos que impeçam o correto funcionamento do sistema.

Para proteção mecânica, existirão calhas metálicas aparafusadas ao contentor. Desta forma, as cablagens irão ter proteção estanque e proteção contra impactos de materiais.

Foi selecionado o modelo GW76267 do fabricante Gewiss.

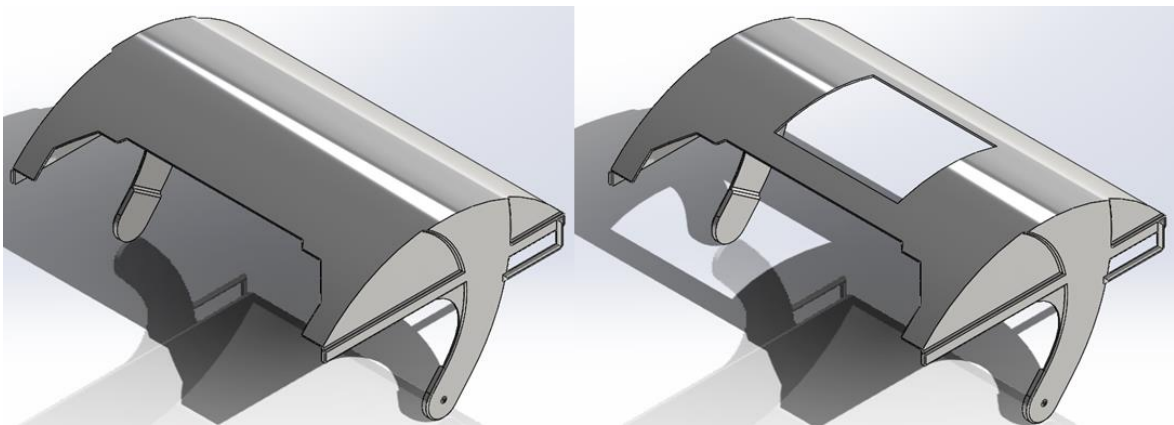
# Capítulo 5. Seleção de Materiais e Processos de Fabrico para Peças Novas

Este capítulo tem como objetivo:

- Identificar todas as alterações que deverão ser efetuadas no contentor real, como cortes e furos;
- Conceber novas peças que serão construídas e que serão montadas no contentor;
- Selecionar materiais e os processos de fabrico aplicáveis às alterações, bem como às peças novas.

## 5.1 Alterações de Peças existentes

Como foi explicado em capítulos anteriores, as maiores alterações ao contentor serão efetuadas ao nível da tampa. Isto porque uma tampa curva impedia uma instalação segura e correta do painel solar. Desta forma, far-se-á um corte retangular central de dimensões 560 mm de comprimento e 450 mm de altura, de forma a instalar a nova plataforma plana na tampa.



*Figura 41 - Alterações - Tampa do contentor antes / depois do corte retangular*

Este corte, de forma a ser o mais preciso possível, deverá ser efetuado através de corte rotativo com lâmina circular. Poder-se-á usar ferramentas mais convencionais como tesouras, x-atos, tendo em conta que se irá perder precisão no corte.

Far-se-á também pequenos furos para fixação da calha interna da tampa para passagem de cablagem do sensor RADAR / painel solar para o interior do contentor.

As seguintes alterações serão efetuadas ao nível interno do corpo do contentor. Serão efetuados furações para fixação das calhas metálicas para passagem de cabos, para a passagem dos parafusos guia entre a estrutura metálica de cada roda e o corpo do contentor, furos para passagem da cablagem da célula de carga para o interior do contentor, e furos para fixação da caixa de conexões.

As furações serão efetuadas com o auxílio de um berbequim.

Concluindo, todas as alterações necessárias resumem-se em:

- Corte de forma retangular, posicionado no centro da tampa do contentor;
- Furações internas na tampa;
- Furações no corpo do contentor.

Por outro lado, será também necessário o fabrico de novas peças a serem adaptadas ao contentor, de forma a ser possível o correto funcionamento do sistema do contentor. As peças que deverão ser construídas são:

*Tabela 1 - Peças novas - Número e nome*

Número da peça	Nome da Peça
1	Base de fixação da célula de carga – Rodas dianteiras
2	Encaixe superior – Rodas dianteiras
3	Base de fixação da célula de carga – Rodas traseiras
4	Encaixe superior – Rodas traseiras
5	Plataforma plana
6	Proteção de acrílico
7	Calha vertical
8	Calha horizontal
9	Calha horizontal (inverso)
10	Calha curva

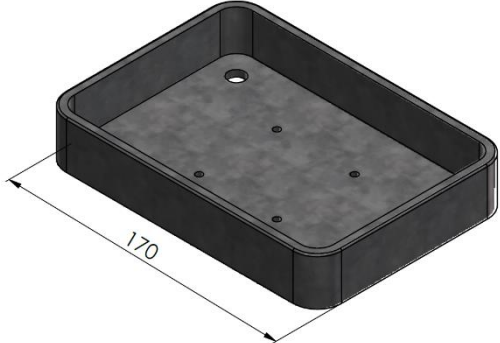
No anexo A apresentam-se os desenhos técnicos das alterações a efetuar no contentor.

No anexo B apresentam-se os desenhos técnicos das peças que deverão ser fabricadas.

## 5.2 Peças Novas

### Peça nº1

Tabela 2 - Peça nº1 - Nome e função

Nome da Peça: Base de fixação da célula de carga – Rodas dianteiras	Função da peça
	<p>Esta peça serve de base de fixação da célula de carga, através dos parafusos de fixação. Por outro lado, esta estrutura metálica tem função de proteger a célula de carga do exterior, evitando vandalismos.</p>

- **Condições de serviço:** Carga estática e dinâmica, temperatura e humidade ambiente
- **Constrangimentos:** Dimensão
- **Objetivos:** Minimizar custo, maximizar rigidez, maximizar resistência à corrosão

Tabela 3 - Materiais selecionados e suas propriedades – Base de fixação da célula de carga – Rodas dianteiras

	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Tensão de cedência [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Proteção contra a corrosão	Custo
Liga Alumínio Grau 1000	2700	27	69	+++	++
Aço Carbono S235JR Galvanizado	7870	235	200	+++	++
Aço Carbono S235JR	7870	235	200	+	++

O material selecionado para a produção desta peça é o aço carbono galvanizado, grau de aço S235JR. A decisão inicial seria optar por um aço carbono S235JR, por ser um aço de menor custo e que cumpre com a maioria das propriedades mecânicas necessárias. Por outro lado, por esta peça ser instalada exposta à atmosfera, este tipo de aço carbono facilmente entraria em processo de corrosão, que ao longo dos anos poderia resultar em fissuras na peça, perdendo a sua função.

Por este motivo, foram analisados também a liga de alumínio de grau 1000 e o aço carbono galvanizado (base S235JR), que possuem alta resistência à corrosão.

A liga de alumínio é um material relativamente acessível, embora não possua uma resistência à mecânica tão alta quando comparada com o aço carbono galvanizado. Por outro lado, o custo de cada material é relativamente semelhante.

A rigidez e alta tensão de cedência são necessárias, pois esta peça será exposta a cargas estáticas e dinâmicas, provenientes do carregamento do contentor com os resíduos urbanos, bem como o despejamento do mesmo.

Para finalizar, optou-se por um aço carbono galvanizado, base de aço carbono grau SR235JR, que possui um custo acessível, alta resistência mecânica e uma alta resistência à corrosão.

Tendo em conta que:

- O material selecionado é: Aço Carbono Galvanizado grau SR235JR.
- O volume de produção é de: 2 peças.
- A complexidade da forma é média.
- O rigor dimensional é médio.
- O acabamento pretendido é baixo.
- O mercado alvo (custo) é médio.

Para fabricar estas duas peças, por se tratar de material metálico, devem ser providenciadas chapas de aço, com a espessura desejada (4 mm). Através destas chapas, os processos de fabrico que se consideram mais adequados para a produção da peça final, são:

*Tabela 4 - Processos de fabrico - Base de fixação da célula de carga – Rodas dianteiras*

	Vantagens	Limitações	Custo global
Estampagem (prensa) + Furação	- Alta produção - Reduzido custo p/ peça - Bom acabamento - Baixo custo de controlo de qualidade	- Necessidade de molde - Baixa complexidade - Alto custo de equipamento e do molde	++
Corte por Arranque de apara (CNC) + Calandragem + Furação + Soldadura dos lados da peça	- Alta complexidade de peças - Alta precisão - Simplificação dos equipamentos	- Baixa produção - Manutenção especializada	+

O processo de fabrico seleccionado para o fabrico desta peça foi o uso de corte por arranque de apara (CNC) para obter os diversos lados planos da peça, calandragem de forma a obter os elementos curvos da peça (4 cantos da peça), furação para execução dos furos, e soldadura para a ligação de todas as partes da peça.

Por se tratar de peças que não são *standard*, para um fabrico dedicado, este método de fabrico é o mais viável, por se tratar de apenas duas peças.

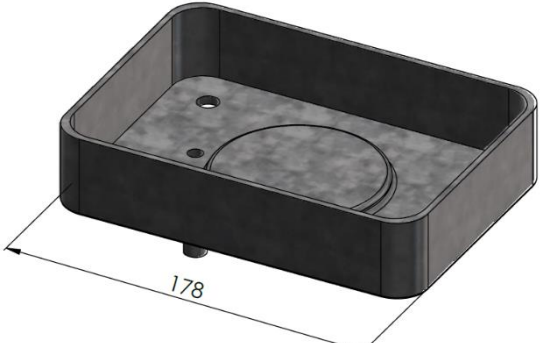
Pensou-se também na hipótese de estampagem, mas como indicado para o fabrico de peças não *standard*, seria necessário fazer moldes próprios de acordo com a geometria das peças que se queriam obter, o que iria tornar o processo mais dispendioso.

O custo do processo de estampagem tem como principal desvantagem o alto custo do equipamento e dos respetivos moldes das peças, que só pode ser amortizado se a quantidade de peças a produzir for elevada, não sendo o caso.

Por outro lado, o processo de corte CNC é o processo ideal, pelo custo de execução da peça, por ter a possibilidade de fabricar geometrias mais complexas, com maior precisão e menor tempo de espera. Por estes motivos, este tipo de processo de fabrico foi adotado.

## Peça nº2

Tabela 5 - Peça nº2 - Nome e função

Nome da Peça: Encaixe superior – Rodas dianteiras	Função da peça
	<p>Esta peça faz contacto direto com a célula de carga e serve para transmitir a carga do contentor para a célula.</p> <p>Por outro lado, esta estrutura metálica tem função de proteger a célula de carga do exterior, evitando vandalismos.</p> <p>Esta estrutura tem também um tubo que permite a passagem do cabo de sinal da célula de carga para o interior do contentor.</p>

A peça nº2 irá operar em conjunto com a peça nº1, encaixadas uma na outra, de forma a proteger a célula de carga contra eventuais vandalismos (à semelhança das peças nº3 e 4).

A célula de carga é totalmente isolada do exterior pelo encaixe entre as peças nº1 e 2. A peça nº1 é ligeiramente menos larga que a peça nº2, de forma a permitir o respetivo encaixe.

A carga proveniente dos resíduos é transmitida diretamente ao corpo do contentor, que por sua vez fará o contacto com peça nº2. Por consequência, esta carga é transmitida e lida pela célula de carga.

A peça nº1 ficará fixa, enquanto a peça nº2 terá deslocamento vertical. Este deslocamento será tanto maior quanto maior for o peso dos resíduos no interior do contentor.

O deslocamento máximo é de 2 mm, valor definido tendo em conta a distância de operação da célula de carga. De forma a permitir o movimento relativo entre ambas as peças, existirá uma folga de 1 mm entre as paredes de cada peça.

Para evitar a existência de deslocamentos horizontais, quatro parafusos de união fixarão as peças nº1 e 2 ao corpo do contentor e à estrutura metálica da respetiva roda. O mesmo sistema é aplicado às restantes rodas do contentor.

A interação entre estas duas peças e o resto do contentor está demonstrada no desenho 01.007.001.

- **Condições de serviço:** Carga estática e dinâmica, temperatura e humidade ambiente
- **Constrangimentos:** Dimensão
- **Objetivos:** Minimizar custo, maximizar rigidez, maximizar resistência à corrosão

*Tabela 6 - Materiais seleccionados – Encaixe superior – Rodas dianteiras*

	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Tensão de cedência [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Proteção contra a corrosão	Custo
Liga Alumínio Grau 1000	2700	27	69	+++	++
Aço Carbono S235JR Galvanizado	7870	235	200	+++	++
Aço Carbono S235JR	7870	235	200	+	++

Esta peça encaixará na peça nº1 indicada anteriormente. Quando ligadas entre si, a célula de carga ficará isolada do exterior, evitando assim qualquer tipo de vandalismo.

Estas peças serão ligadas com o auxílio de parafusos união, que irão atravessar a estrutura metálica da roda, a peça nº1 e nº2, e a parte inferior do corpo do contentor. Na parte interna do contentor, irá aparafusar-se o parafuso na união, tornando impossível a rotação relativa entre estes elementos.

Por se tratar duma peça semelhante em termos funcionais e estruturais quando comparado com a peça nº1, o material selecionado é o material aço carbono galvanizado grau S235JR, pelas mesmas razões que foram discutidas.

Tendo em conta que:

- O material selecionado é: Aço Carbono Galvanizado grau SR235JR.
- O volume de produção é de: 2 peças.
- A complexidade da forma é média.
- O rigor dimensional é médio.
- O acabamento pretendido é baixo.
- O mercado alvo (custo) é médio.

Para fabricar estas duas peças, por se tratar de material metálico, devem ser providenciadas chapas de aço, com a espessura desejada (4 mm). Através dessas chapas, os processos de fabrico que se consideram mais adequados para a produção da peça final, são:

*Tabela 7 - Processos de fabrico – Encaixe superior – Rodas dianteiras*

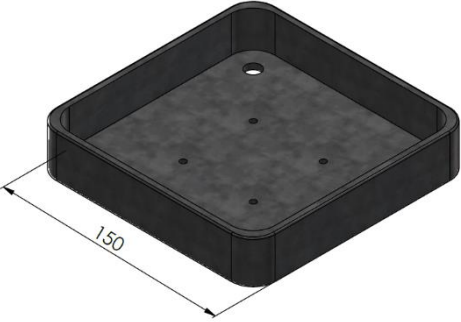
	Vantagens	Limitações	Custo global
Estampagem (prensa) + Furação	- Alta produção - Reduzido custo p/ peça - Bom acabamento - Baixo custo de controlo de qualidade	- Necessidade de molde - Baixa complexidade - Alto custo de equipamento e do molde	++
Corte por Arranque de apara (CNC) + Calandragem + Furação + Soldadura dos lados da peça e do tubo	- Alta complexidade de peças - Alta precisão - Simplificação dos equipamentos	- Baixa produção - Manutenção especializada	+

Mais uma vez, o processo selecionado foi corte por arranque de apara (CNC), calandragem, furação e soldadura, pelos motivos e razões indicados na seleção da peça nº1.

Esta peça terá soldada um tubo de diâmetro 7 mm, altura de 45 mm e espessura 1,5 mm, de forma a passar o cabo de sinal da célula de carga para o interior do contentor. Por existir este material no mercado, o mesmo não será fabricado, já que seria mais dispendioso.

### Peça nº3

Tabela 8 - Peça nº3 - Nome e função


Nome da Peça: Base de fixação da célula de carga – Rodas traseiras	Função da peça
	Esta peça serve de base de fixação da célula de carga, através dos parafusos de fixação. Por outro lado, esta estrutura metálica tem função de proteger a célula de carga do exterior, evitando vandalismos.

O processo de seleção de materiais e processos de fabrico desta peça assemelham-se à peça nº1 - Base de fixação da célula de carga para as rodas dianteiras – já que possui o mesmo material, mesma função e mesmo número de peças, sendo a única diferença as dimensões.

A estrutura da base de fixação da célula de carga para as rodas traseiras tem a forma quadrada e não retangular. Por esse motivo, para que seja possível a ligação da peça com o corpo do contentor cedido pela CML e a estrutura metálica da roda, estas peças são ligeiramente diferentes.

### Peça nº4

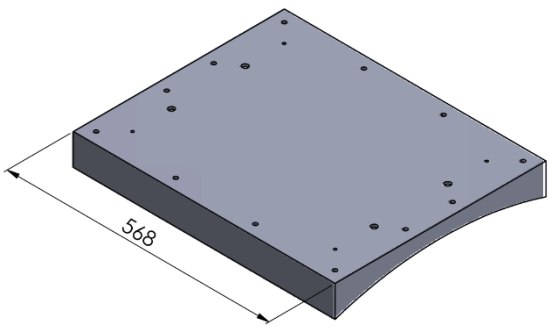
Tabela 9 - Peça nº4 - Nome e função

Nome da Peça: Encaixe superior – Rodas traseiras	Função da peça
	Esta peça faz contacto direto com a célula de carga e serve para transmitir a carga do contentor para a célula. Por outro lado, esta estrutura metálica tem função de proteger a célula de carga do exterior, evitando vandalismos. Esta estrutura tem também um tubo que permite a passagem do cabo de sinal da célula de carga para o interior do contentor.

O processo de seleção de materiais e processos de fabrico desta peça assemelham-se à peça nº2 – Encaixe superior para as rodas dianteiras – já que possui o mesmo material, mesma função e mesmo número de peças, sendo a única diferença as dimensões.

## Peça nº5

Tabela 10 -Peça nº5 - Nome e função

Nome da Peça: Plataforma plana	Função da peça
	<p>A plataforma plana tem como principal função servir como base de instalação para o painel solar.</p> <p>Por outro lado, servirá também para fixar o sensor RADAR, na parte interior.</p>

- **Condições de serviço:** Temperatura e humidade ambiente, carga estática e dinâmica (impacto), exposição solar
- **Constrangimentos:** Dimensão
- **Objetivos:** Minimizar custo, maximizar compatibilidade com o material da tampa, maximizar a resistência à corrosão, minimizar o peso, maximizar rigidez

Tabela 11 - Materiais selecionados – Plataforma plana

	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Soldabilidade	Temperatura de exposição máxima [°C]	Tensão de Cedência [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Proteção contra a corrosão	Custo
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	952	+++	110	35	1,1	+++	+
Policloreto de Vinil Rígido (PVC)	1300	+++	60	40	2,4	+++	+

O material selecionado para o fabrico desta peça é o polietileno de alta densidade.

A função principal desta peça, como indicado anteriormente, é de suportar o painel solar. Como esta peça será instalada em cima da tampa, de modo a minimizar a carga sob a mesma, selecionou-se inicialmente materiais de baixa densidade e com rigidez suficiente para suportar o peso do painel solar.

Todos os materiais selecionados para análise são materiais de baixo custo e de baixa densidade, por pertencerem à classe dos plásticos.

Estes materiais possuem também uma alta resistência à corrosão e uma excelente soldabilidade.

Esta última característica é importante, já que a plataforma plana, após produzida, será soldada à tampa. Por esse motivo, foram selecionados materiais com alta compatibilidade ao material da tampa, lugar onde a peça será soldada.

Sendo a carga provocada pelo peso do painel solar muito baixa, ambos os materiais estariam aptos o suficiente para suportar estas cargas.

Estando a peça exposta à radiação solar, foi necessário verificar se a resistência ao calor era suficiente para as condições de operação. Como se pode verificar, a temperatura máxima de exposição do PEAD é superior à do PVC.

Por outro lado, as propriedades do PEAD e PVC são bastante semelhantes, sendo o PEAD menos denso, representando cargas menores para a tampa.

Por esses motivos o PEAD foi especificado para esta peça. Por outro lado, sendo o material desta peça o mesmo da peça à qual será fundida (tampa), o processo de soldadura é menos sensível às diferenças de composição química existente entre os dois materiais.

Tendo em conta que:

- O material selecionado é: Polietileno de alta densidade.
- O volume de produção é de: 1 peça.
- A complexidade da forma é baixa.
- O rigor dimensional é baixo.
- O acabamento pretendido é baixo.
- O mercado alvo (custo) é médio.

Os processos de fabrico que se consideram mais adequados para a produção da peça final, são:

Tabela 12 - Processos de fabrico – Plataforma plana

	Vantagens	Limitações	Custo global
Corte por Arranque de apara (CNC) – Corte dos lados da peça + Furação + Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo de produção</li> <li>- Bom acabamento</li> <li>- Produz pouco desperdício</li> <li>- Ideal para produção de placas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo volume de produção</li> <li>- Complexidade de forma baixa</li> </ul>	+
Moldagem por Injeção + Furação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto volume de produção</li> <li>- Bom acabamento</li> <li>- Produz pouco desperdício</li> <li>- Alta complexidade de forma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Justificável apenas para alto volume de produção</li> <li>- Necessidade de molde</li> <li>- Alto custo de investimento</li> <li>- Alto custo de produção</li> </ul>	+++

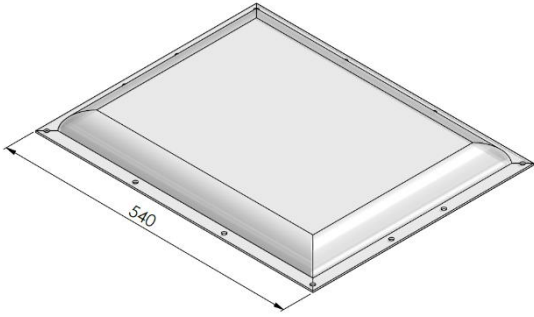
O processo selecionado foi corte por arranque de apara (CNC), furação e soldadura. A placa do material comprado será cortada, com recurso ao CNC, nas diversas partes que formam a peça. Com recurso à furação, serão efetuados os furos nas diversas partes da peça. Por fim, estas partes serão soldadas entre si, obtendo então a peça final.

Por outro lado, a moldagem por injeção, para além de necessitar de moldes para formar a peça, o que gera um custo acrescido, é apenas justificável para um volume de produção alto. Para este caso, como será apenas necessária uma peça, o custo-benefício deste processo não se justifica.

Por estes motivos, corte por arranque de apara, furação e soldadura foi selecionado.

### Peça nº6

Tabela 13 - Peça nº6 - Nome e função

Nome da Peça: Proteção de acrílico	Função da peça
	<p>A proteção em acrílico tem como função proteger o painel solar contra vandalismo. Serve também para permitir a passagem de radiação solar, que será captada pelo painel solar.</p>

- **Condições de serviço:** Temperatura e humidade ambiente, exposição solar, cargas dinâmicas (impacto)
- **Constrangimentos:** Dimensão
- **Objetivos:** Minimizar custo, maximizar a resistência à corrosão, minimizar o peso, maximizar transmitância, maximizar a resistência aos raios ultravioleta

*Tabela 14 - Materiais selecionados – Proteção de acrílico*

	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Transmitância [%]	Temperatura de exposição máxima [°C]	Tensão de Cedência [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Resistência aos raios UV	Proteção contra a corrosão	Custo
PMMA (acrílico)	1200	92	100	45	3	+++	+++	+
Polipropileno transparente	908	84	115	35	1,2	+	+++	+

O material selecionado para o fabrico da proteção do painel solar foi o polimetilmetacrilato, mais conhecido como PMMA ou acrílico.

A função principal desta peça, como indicado anteriormente, é de proteger o painel solar do exterior. Como esta peça será instalada em cima da plataforma plana, que por sua vez estará por cima da tampa, de modo a minimizar a carga sob a mesma, selecionou-se inicialmente materiais de baixa densidade e de comportamento rígido.

Todos os materiais selecionados para análise são materiais de baixo custo, baixa densidade e com alta resistência à corrosão, por pertencerem à classe dos plásticos.

Estando a peça exposta à radiação solar, foi necessário verificar se a resistência ao calor era suficiente para as condições de operação, onde a resistência do polipropileno é ligeiramente superior à do acrílico. Por outro lado, a resistência a raios ultravioletas do polipropileno é muito baixo, ao contrário do acrílico, que é um material que não perde as características mecânicas nem sofre alterações de cor quando exposto a esta gama de radiação.

Por outro lado, a característica mais importante do material a ser selecionado é a sua transmitância. A transmitância de um material é definida como sendo a fração de luz que atravessa um corpo de uma determinada matéria.

Será necessário maximizar a transmitância do material, já que proteção estará por cima do painel solar, de forma que a maioria da radiação seja transmitida para o painel solar e não absorvida ou refletida pelo mesmo.

Tendo em comparação a transmitância de cada material, o acrílico possui um valor superior quando comparado com o polipropileno.

Por estes motivos, o acrílico foi selecionado.

Tendo em conta que:

- O material selecionado é: Polimetilmetacrilato.
- O volume de produção é de: 1 peça.
- A complexidade da forma é baixa.
- O rigor dimensional é baixo.
- O acabamento pretendido é baixo.
- O mercado alvo (custo) é médio.

Os processos de fabrico que se consideram mais adequados para a produção da peça final, são:

*Tabela 15 - Processos de fabrico – Proteção de acrílico*

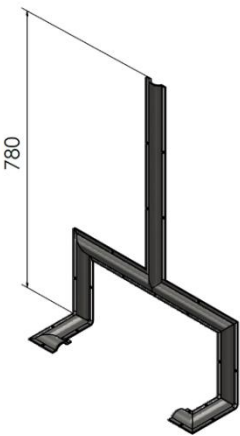
	Vantagens	Limitações	Custo global
Corte por Arranque de apara (CNC) + Furação	- Baixo custo de produção - Bom acabamento - Produz pouco desperdício - Ideal para produção de placas	- Baixo volume de produção - Complexidade de forma baixa	+
Moldagem por Injeção + Furação	- Alto volume de produção - Bom acabamento - Produz pouco desperdício - Alta complexidade de forma	- Justificável apenas para alto volume de produção - Necessidade de molde - Alto custo de investimento - Alto custo de produção	++

O processo selecionado foi corte por arranque de apra (CNC) e furação. A placa do material comprado (com a altura da peça) será cortada, com recurso ao CNC, de forma a obter a peça final. Com recurso à furação, serão efetuados os furos nas diversas partes da peça.

Como explicado anteriormente, a moldagem por injeção, para além de necessitar de moldes para formar a peça, o que gera um custo acrescido, é apenas justificável para um volume de produção alto. Para este caso, como será apenas necessária uma peça, o custo-benefício deste processo não se justifica. Por estes motivos, corte por arranque de apra, furação e soldadura foi selecionado.

### Peça nº7

Tabela 16 - Peça nº7 - Nome e função

Nome da Peça: Calha vertical	Função da peça
	<p>A calha vertical (bem como as restantes calhas), tem como função proteger os cabos de alimentação e de sinal de impactos gerados pelos resíduos urbanos, quando estes estão a ser despejados para o interior do contentor.</p> <p>Todos os cabos que fazem ligação entre os sensores e a caixa de ligações passarão por dentro destas calhas, impedindo o desgaste ou rompimento dos mesmos.</p>

Como indicado anteriormente, a ligação entre as calhas e o contentor será aparafusada. Este tipo de ligação não garante a total estanquidade em relação ao seu interior, já que as paredes do contentor são facilmente maleáveis.

Neste sentido, é expectável que eventuais líquidos possam ingressar por este tipo de ligação e fazer o contacto com a cablagem. Para evitar esta situação, será instalado um tubo flexível de plástico no exterior da cablagem. Assim, como a cablagem ficará dentro do tubo flexível, impede-se o contacto direto entre eventuais líquidos e a cablagem de sinal.

Nas extremidades das calhas, onde se dará a saída dos cabos, aplicar-se-á espuma isolante, de forma a impedir a ingestão de poeiras e líquidos para o interior das calhas.

- **Condições de serviço:** Carga estática e dinâmica, temperatura e humidade ambiente, contacto a líquidos provenientes de resíduos urbanos
- **Constrangimentos:** Dimensão

- **Objetivos:** Minimizar custo, maximizar rigidez, maximizar resistência à corrosão

*Tabela 17 - Materiais selecionados – Calha vertical*

	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Tensão de cedência [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Proteção contra a corrosão	Custo
Aço Carbono S275JR Galvanizado	7800	275	210	+++	++
Liga Alumínio AW-6060	2700	55	69	++	++
Aço Carbono S275JR	7800	275	210	+	+

O material selecionado para a produção da calha de proteção é o aço carbono galvanizado, grau S275JR, pelo balanço de qualidades mecânicas e respetivo custo.

O material deve ser rígido o suficiente para aguentar as cargas dos resíduos urbanos sem qualquer deformação, já que no seu interior encontrar-se-ão os cabos de sinal e de alimentação do sistema eletrónico do contentor.

Por outro lado, estando a calha exposta ao meio ambiente e a líquidos provenientes dos resíduos urbanos despejados no contentor, foi necessário selecionar um material com alta resistência à corrosão, de forma a aumentar a vida útil da peça

O aço carbono S275JR é um aço barato e com alta rigidez. Por outro lado, é um material com baixa resistência à corrosão, pelo que não seria a solução mais viável.

Por outro lado, o aço carbono galvanizado e a liga de alumínio são soluções que são relativamente baratas e com alta resistência à corrosão. Em relação a propriedades mecânicas, o aço carbono galvanizado tem propriedades do aço S275JR, com alta rigidez e uma tensão de cedência superior à da liga de alumínio AW-6060.

Sendo a diferença de custo não é substancial, optou-se pelo aço carbono galvanizado, por ter propriedades mecânicas mais adequadas.

Tendo em conta que:

- O material selecionado é: Aço Carbono Galvanizado grau S275JR.
- O volume de produção é de: 1 peça.
- A complexidade da forma é média.
- O rigor dimensional é baixo.

- O acabamento pretendido é baixo.
- O mercado alvo (custo) é médio.

Os processos de fabrico que se consideram mais adequados para a produção da peça final, são:

*Tabela 18 - Processos de fabrico – Calha vertical*

	Vantagens	Limitações	Custo global
Corte por Arranque de apara (CNC) + Furação + Soldadura	- Baixo custo de produção - Bom acabamento - Produz pouco desperdício - Ideal para produção de placas	- Baixo volume de produção - Complexidade de forma baixa - Alto custo de investimento	+
Quinagem + Corte por Arranque de apara (CNC) + Furação + Soldadura	- Equipamento menos dispendioso - Alta complexidade do perfil	- Manutenção especializada - Baixo volume de produção - Baixa precisão	++

O processo selecionado para fabrico das calhas é o processo de quinagem, seguido de corte por arranque de apara (CNC) e soldadura. A quinagem produzirá a calha com a respetiva secção, proveniente duma chapa do material. Com o auxílio do corte por CNC, far-se-á o corte nas diversas secções que compõem a peça final, bem como as furações de fixação. Para produzir a peça final, com recurso à soldadura, ligar-se-á todos os elementos da calha.



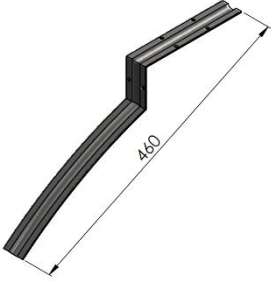
Foi analisada também a possibilidade de adquirir a calha com a secção necessária no mercado. Neste caso, seria apenas necessário corte por arranque de apara para cortar as várias secções da calha, furação para fazer os furos, e soldadura para soldar as diferentes partes da calha, obtendo a peça final. Este processo é um processo mais barato, já que não é necessário um processo para conformar a calha.

Por outro lado, não se encontrou no mercado uma calha com o material selecionado e a secção requerida.

Por esse motivo, foi selecionado o processo de quinagem, apesar de ser mais dispendioso.

**Peças nº8, 9 e 10**

*Tabela 19 - Peças nº8, 9 e 10 - Nome e função*

Nome da peça: <b>Calha horizontal</b>	Nome de peça: Calha horizontal (Inverso)	Nome da peça: Calha curva	<b>Função das peças</b>
			<p>As calhas têm como função proteger os cabos de alimentação e de sinal de impactos gerados pelos resíduos urbanos, quando estes estão a ser despejados para o interior do contentor. Todos os cabos que fazem ligação entre os sensores e a caixa de ligações passarão por dentro destas calhas, impedindo o desgaste ou rompimento dos mesmos.</p>

O processo de seleção de materiais e processos de fabrico destas peças assemelham-se à peça nº7, já que são calhas que possuem o mesmo material e função, sendo a única diferença as dimensões.

# Capítulo 6. Modelação em Ambiente 3D

Para proceder à modelação do contentor de monitorização de resíduos recorreu-se ao software *SolidWorks*. Este software permite a modelação de peças, incluindo a sua montagem num conjunto.

O *SolidWorks* permite a análise de elementos finitos do contentor, tendo em conta forças estáticas e/ou acelerações, permitindo simular o comportamento do contentor em posição de operação (onde vigoram apenas forças estáticas devido ao peso do contentor e dos resíduos no seu interior) e no caso do contentor estar a ser esvaziado com o auxílio de um veículo de resíduos urbanos especializado (onde o contentor tem de estar propriamente dimensionado para suportar forças e acelerações provocadas pelos ‘abanões’ e ‘pancadas’ aplicadas diretamente no corpo do contentor).

Tendo em conta a conceção e as dimensões reais do contentor de resíduos urbanos disponibilizado pela Câmara Municipal de Lisboa, deu-se início à modelação em ambiente CAD (com as alterações discriminadas anteriormente).

## 6.1 Corpo

As cotas de comprimento, largura e altura do equipamento são 1400 x 1100 x 800 mm, respetivamente.

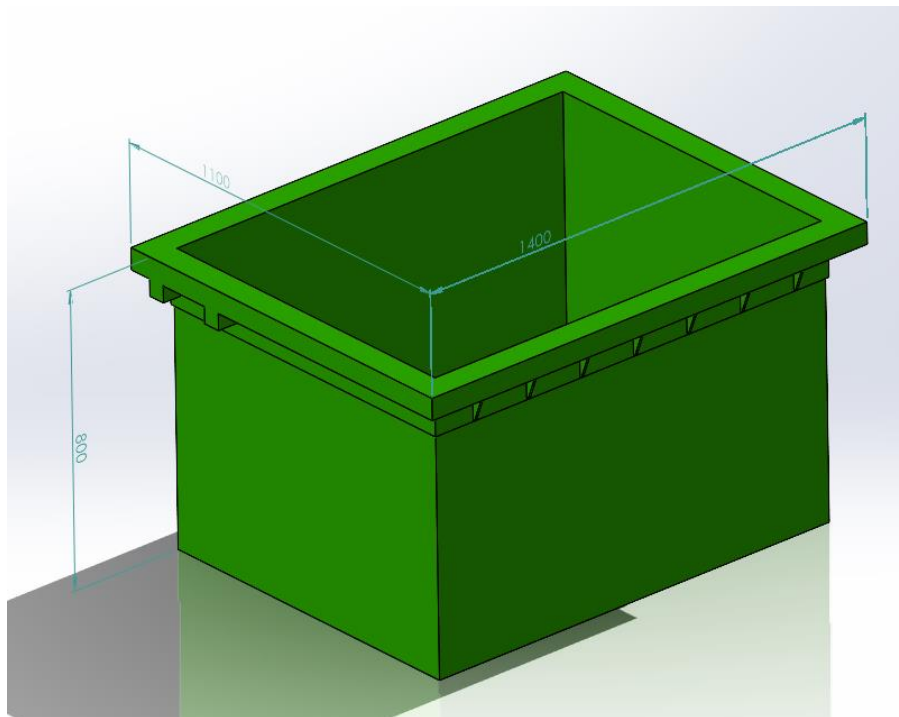
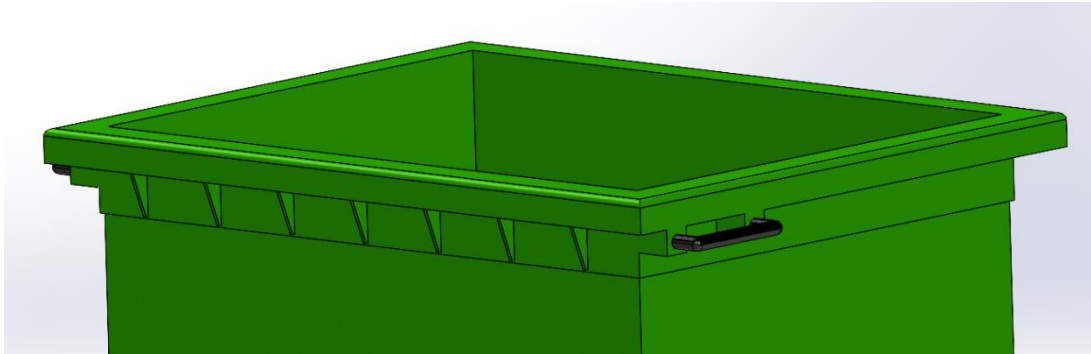


Figura 42 - Modelação em ambiente *SolidWorks* - Cotas de atravancamento (mm)

A espessura do corpo do contentor é de 6 mm, incluindo os cutelos de suporte da base de assentamento da tampa do contentor.

Modelou-se de seguida dois manípulos do contentor, posicionados na parte lateral do equipamento, que permite ao operador deslocar o contentor com maior facilidade.



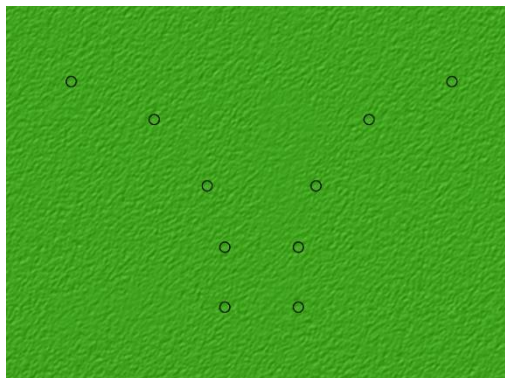
*Figura 43 - Modelação em ambiente SolidWorks - Nervuras de suporte e manípulos de deslocação*

De seguida modelou-se o sistema de fixação do contentor ao camião de resíduos. Este sistema é composto por uma base e um cilindro, onde são fixadas as pegas do camião para içar o equipamento.



*Figura 44 - Modelação em ambiente SolidWorks - Real vs 3D - Sistema de fixação ao camião*

Esta estrutura é fixada no corpo do contentor através de ligações aparafusadas na parte interna. No total, esta estrutura é fixa ao corpo recorrendo a 10 parafusos M10, dispostos da seguinte forma:



*Figura 45 - Modelação em ambiente SolidWorks – Disposição dos parafusos da estrutura de fixação*

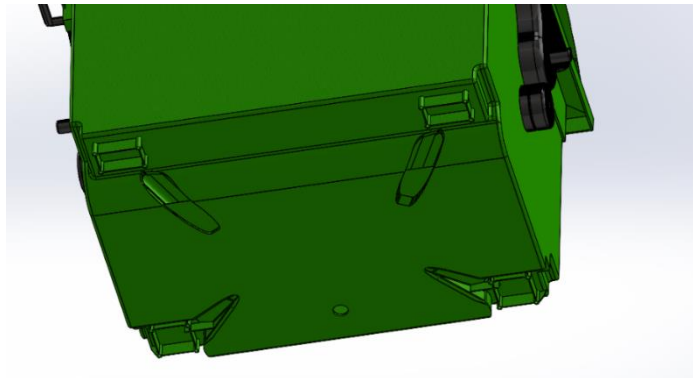
De seguida, modelou-se o elemento que fixa a tampa rotativa ao contentor. Esta estrutura também é fixa por meio de parafusos.



*Figura 46- Modelação em ambiente SolidWorks – Sistema de fixação da tampa*

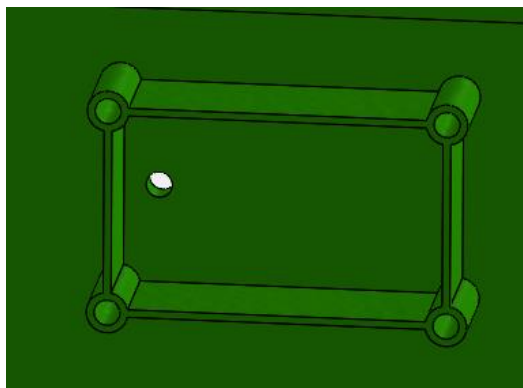
Após a base do corpo do contentor de resíduos estar modelada, procedeu-se à modelação da zona de fixação das rodas do equipamento. Foram realizados cortes nos quatro vértices da base do contentor, como base nas dimensões do contentor real disponibilizado.

A estrutura da roda é fixa na parte inferior do corpo do contentor através de 4 parafusos M10.



*Figura 47 - Modelação em ambiente SolidWorks – Sistema de furação para fixação de rodas no contentor*

Como se pode ver na seguinte figura, para além dos quatros furos para a fixação das rodas no corpo, foi modelado um furo extra.



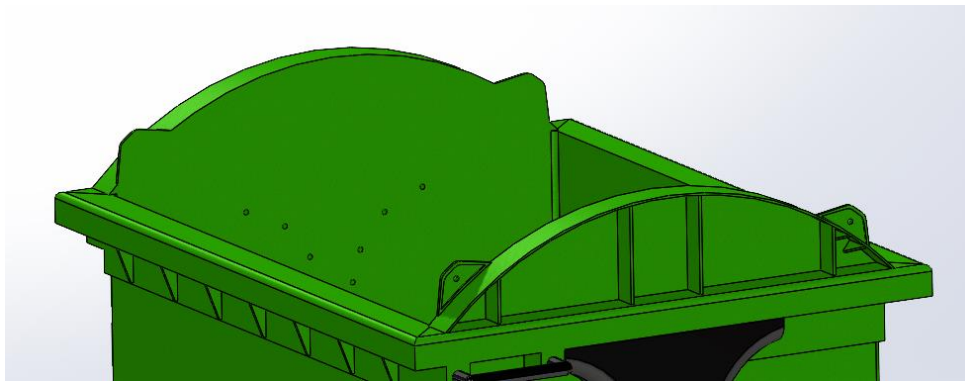
*Figura 48- Modelação em ambiente SolidWorks – Furo para passagem de cabo da célula de carga*

Este último serve de passagem para a cablagem que liga a célula de carga (que estará instalada entre a roda e o corpo do contentor) à caixa de acomodação no interior, de forma a transmitir o sinal medido e por sua vez retransmitido à plataforma online.

Evitou-se que a passagem de cablagem do sensor até à caixa de acomodação fosse pelo lado exterior do contentor, de forma a evitar possíveis furtos ou vandalismo.

Desta forma, passando a cablagem para o interior, ela é fixa através de um sistema de calhas que as protege contra o esmagamento devido aos resíduos acumulados.

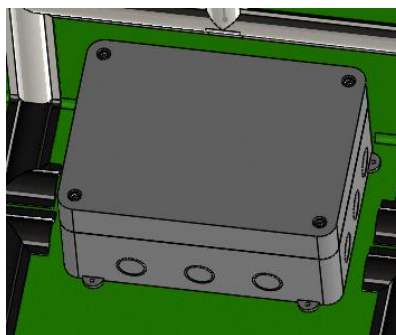
De seguida, procedeu-se à modelação do sistema guia para a tampa do contentor, como mostra a seguinte figura:



*Figura 49 - Modelação em ambiente SolidWorks – Sistema guia para tampa do contentor*

Como já foi referido, irá existir uma caixa, que terá no seu interior a bateria e o material eletrónico que transmite o sinal para o sistema GSM e por sua vez para o servidor.

Esta caixa pode ser fixa ao corpo do contentor através de 4 parafusos, como mostra a seguinte figura:



*Figura 50 - Modelação em ambiente SolidWorks – Caixa de acomodação de eletrónicos*

Nesta imagem podem-se ver as calhas de proteção, que levam as cablagens dos sensores para dentro da caixa, através de buçins de ligação com proteção adequada. As calhas verticais fazem ligação entre o sensor de RADAR / painel solar e o interior da caixa.

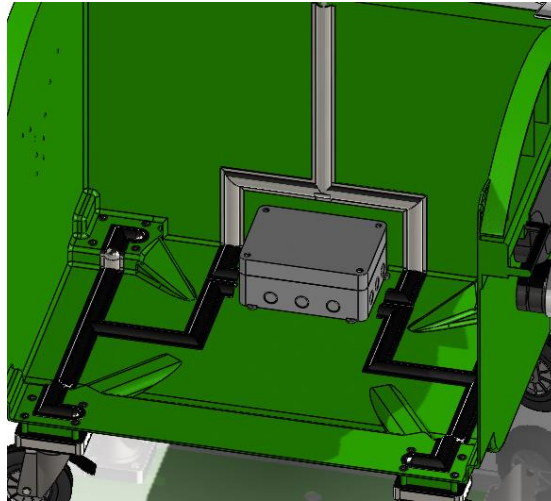


Figura 51 - Modelação em ambiente SolidWorks - Sistema de calhas interno

Na parte interior da tampa, onde ficará instalado o sensor RADAR, existirá uma pequena calha para passagem de cabos do próprio sensor RADAR e do painel solar (através de um furo na tampa).

Como se sabe, a tampa ao ser aberta, irá provocar tração nestes cabos e uma tensão cíclica (abre e fecha), podendo levar a que a cablagem de cobre crie fissuras e se danifique. Por outro lado, com a abertura e fecho da tampa, era necessário seleccionar para estes dois cabos (ligação sensor RADAR e ligação de potência do painel solar) um cabo que variasse o seu comprimento.

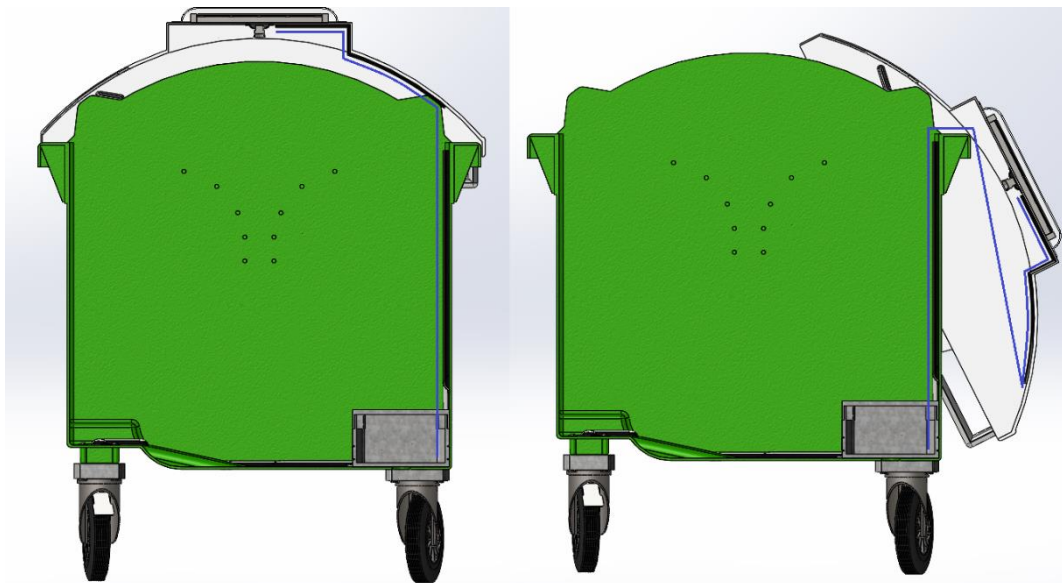


Figura 52 - Corpo contentor - Vista lateral - Tampa fechada vs Tampa aberta

Como se pode ver na figura anterior, em traço azul podemos observar o trajeto que os cabos que ligam o sensor RADAR e o painel solar ao interior da caixa variam consoante a tampa esteja aberta ou fechada. No caso da tampa estar fechada, o trajeto é de aproximadamente 1500 mm. Por outro lado, quando a tampa se encontra aberta, o trajeto é de 2150 mm. Existe uma variação de 650 mm entre os dois casos.

Por esse motivo, foram utilizadas ligações elétricas retráteis e flexíveis, que são condutores que conseguem suportar cargas cíclicas e permitem variação no seu comprimento, como mostrado na figura anterior.



*Figura 53 - Cabo retrátil de ligação sensor ou potência, [45]*

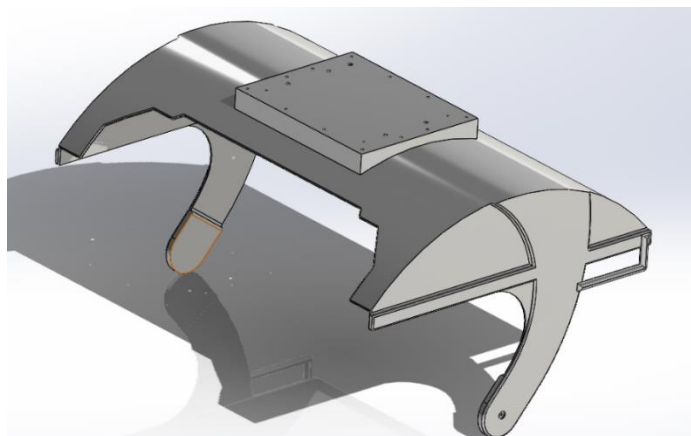
## 6.2 Tampa

A tampa do contentor de resíduos disponibilizado pela Câmara Municipal de Lisboa será adaptada para este projeto devido à sua forma de operação e por não possuir uma superfície plana, dificultando a instalação do painel solar.

Dessa forma foi modelada a tampa tal como o contentor real, tendo sido feito um corte retangular no centro. Após esse corte, modelou-se uma plataforma plana que servirá de superfície de instalação para o painel solar.

Esta plataforma terá de ser fabricada sob medida e instalada sob a tampa. Por se tratar de uma tampa em polietileno, para fazer a junção de dois elementos deste material, o mais recorrente seria o uso de soldadura por fusão ou por soldadura de ar quente.

Os métodos de construção para esta plataforma será explorado posteriormente.



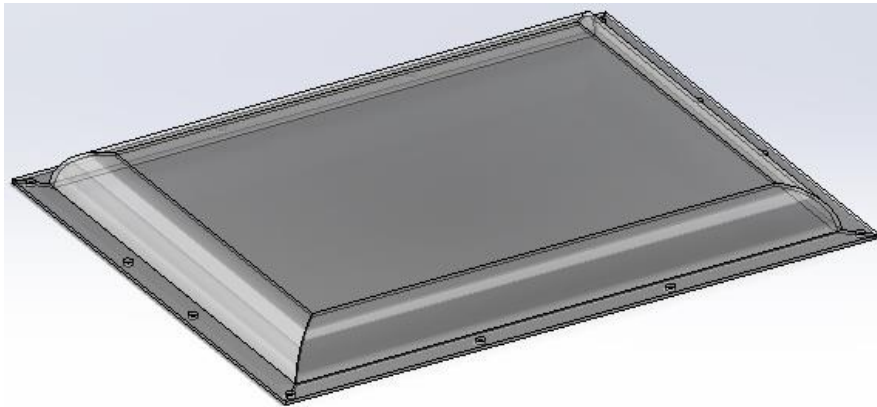
*Figura 54 - Modelação em ambiente SolidWorks – Tampa do contentor com plataforma instalada*

Como se pode verificar, o painel solar vai ser instalado na plataforma da tampa, através de 4 parafusos M12.

Existirá um furo adicional que permite a passagem do fio elétrico entre o painel solar e a bateria dentro da caixa de acomodação de eletrônicos.

O painel solar vai ser coberto por uma proteção de acrílico, para evitar possíveis furtos e vandalismo. Optou-se por acrílico por ser um material resistente e por outro lado permitir a passagem de radiação solar entre o material.

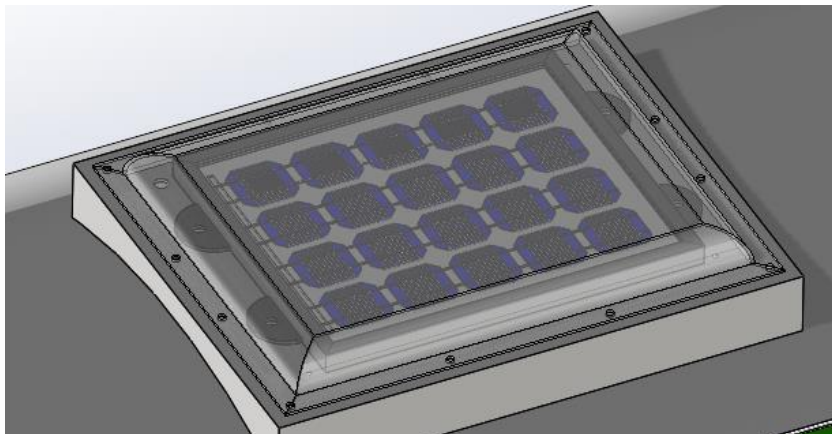
Esta proteção de acrílico vai ser fixada à tampa do contentor através de ligações aparafusadas M8 (furos cegos).



*Figura 55 - Modelação em ambiente SolidWorks – Proteção de acrílico do painel solar*

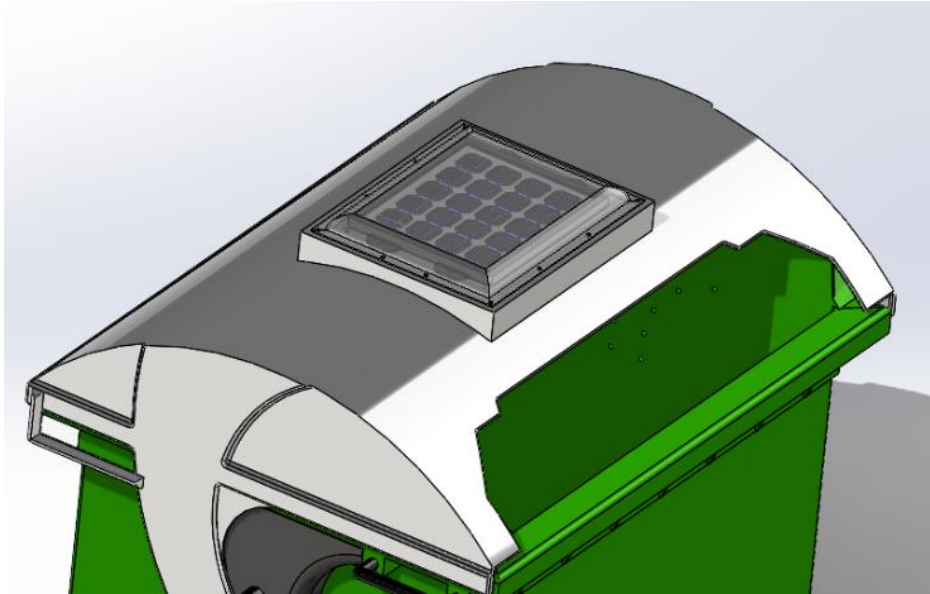
Para evitar sobreaquecimentos dentro desta câmara, existiram pequenos furos na tampa de forma a ventilar o espaço e evacuar possíveis fluidos líquidos deste espaço.

Para simular o peso do painel solar, modelou-se um modelo.



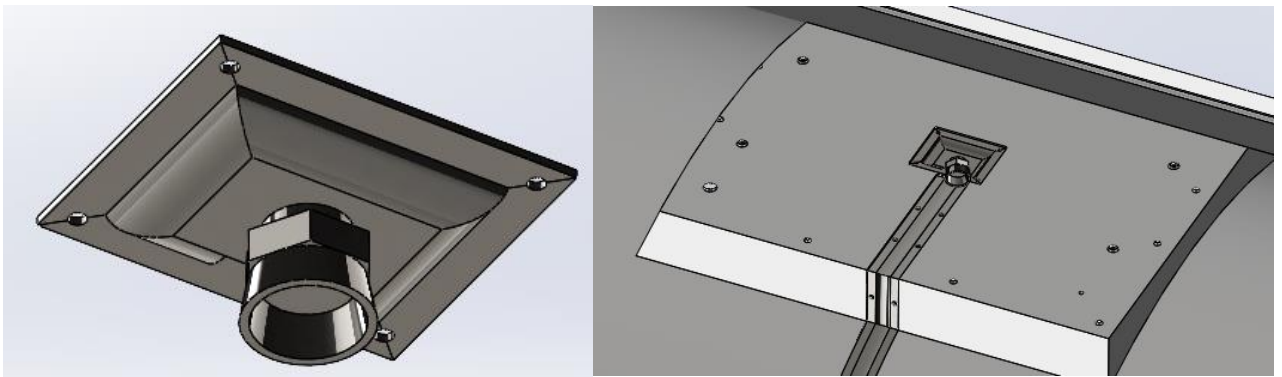
*Figura 56 - Modelação em ambiente SolidWorks – Painel solar e proteção de acrílico*

Tendo em conta o conjunto tampa, painel solar e respetiva proteção em acrílico, temos o seguinte resultado:



*Figura 57 - Modelação em ambiente SolidWorks – Conjunto Tampa do contentor - Vista Isométrica*

Para finalizar, modelou-se o sensor RADAR e a respetiva estrutura de fixação à tampa, que vai ficar exatamente ao centro da tampa.



*Figura 58 - Modelação em ambiente SolidWorks - Sensor RADAR e sistema de fixação*

### 6.3 Sistema de Rodas

Para modelar o conjunto de rodas, começou-se por modelar a parte da roda que ficará em contacto com o chão. Esta roda tem 220 mm e fabricada em borracha. O interior da roda é fabricado em plástico, polietileno de baixa densidade, com 10 reforços em cada lado da roda.

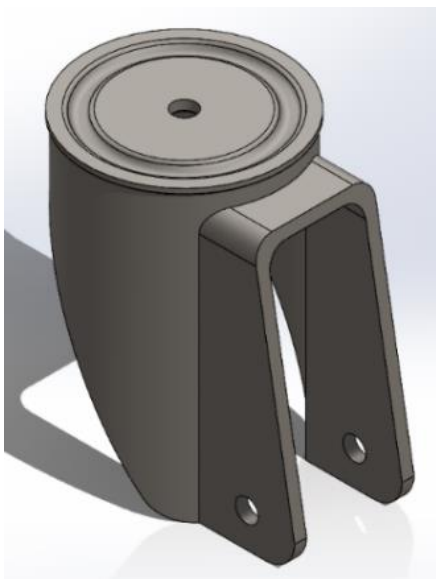
A zona mais central da roda possui um furo M12 para fixação da roda no conjunto de fixação da roda ao contentor.



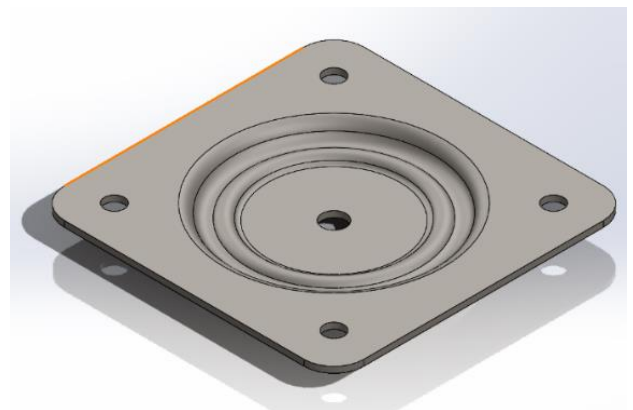
*Figura 59 - Modelação em ambiente SolidWorks - Real vs 3D - Roda*

De seguida, modelou-se a estrutura metálica que se fixará à roda através de um parafuso M12. Esta estrutura, para além de funcionar como estrutura de ligação entre a roda e o corpo do contentor, funciona também como um rolamento.

Esta estrutura metálica divide-se em partes, entre as quais a parte central, parte superior, parte inferior, esferas que promovem a rotação das partes inferior/superior com a parte central, e um pino central que liga toda a estrutura metálica. A parte superior da estrutura possui 4 furos M10 para fixação ao corpo.



*Figura 61 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Parte central*



*Figura 60 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Parte superior*



Figura 62 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Parte inferior



Figura 63 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Pino de fixação

Após modelar-se individualmente cada elemento que compõe a estrutura, fez-se a montagem. De seguida, apresenta-se a vista 3D isométrica e em corte frontal, para melhor perceção do conjunto.

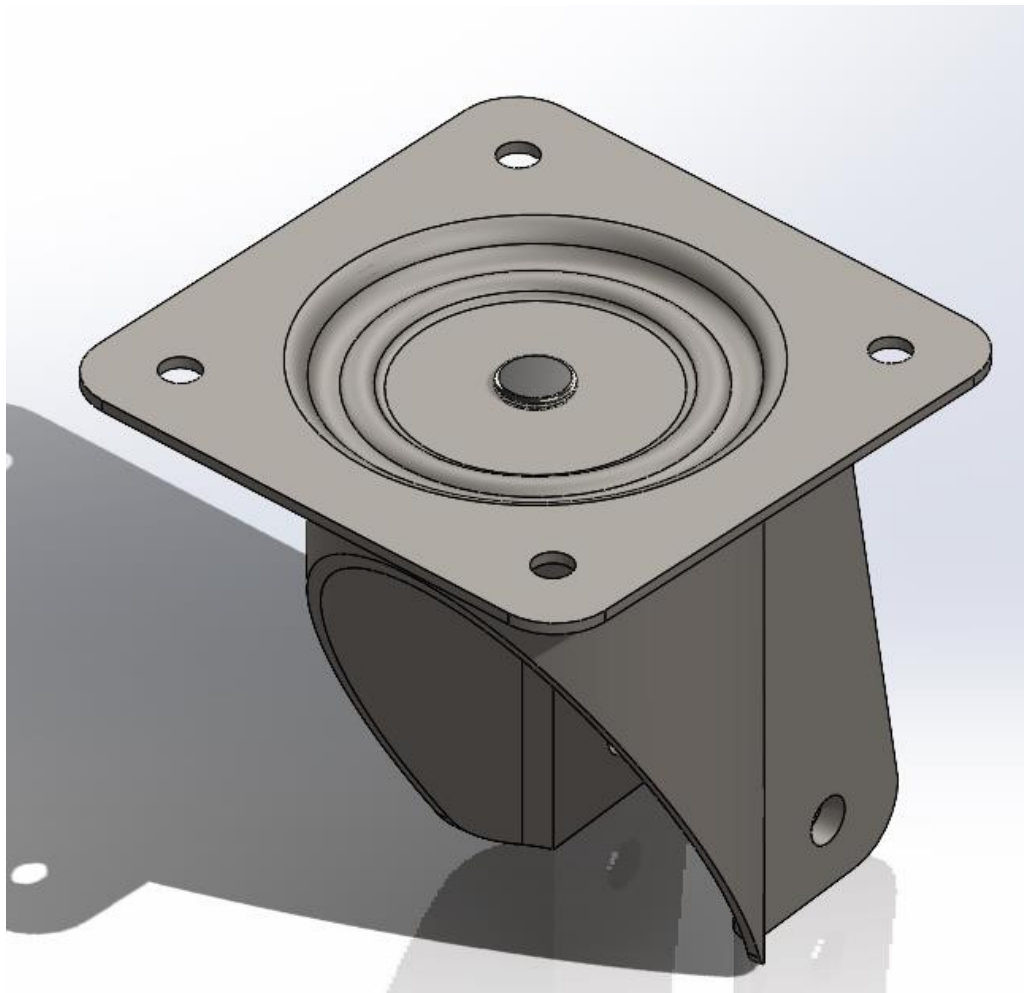


Figura 64 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Vista isométrica

Na seguinte figura, onde é representado a estrutura metálica da roda totalmente montada, a legenda é a seguinte:

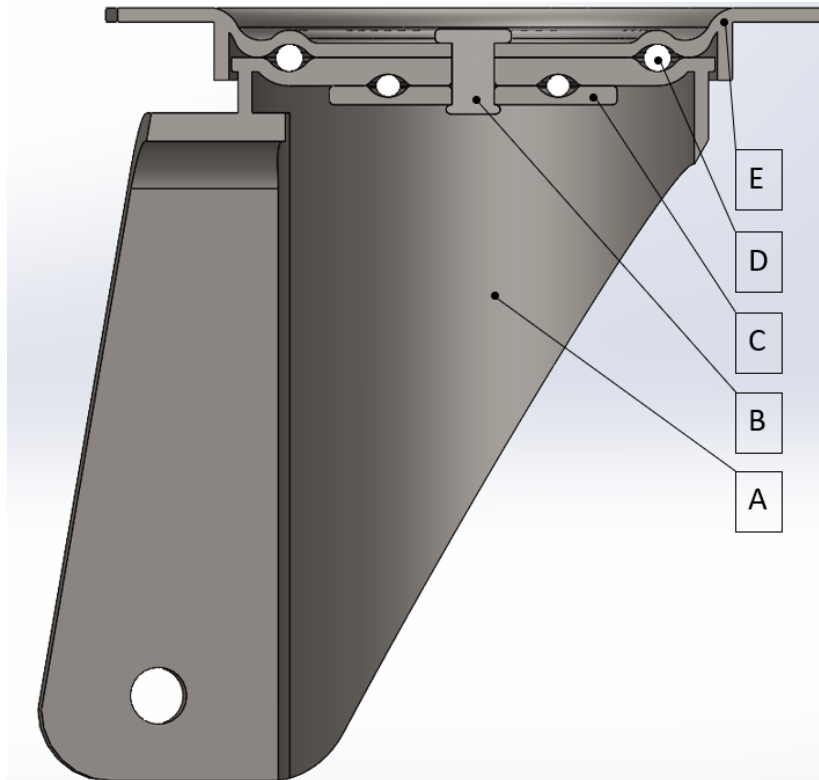


Figura 65 - Modelação em ambiente SolidWorks – Estrutura metálica da roda – Vista em corte

A – Parte central

B – Pino de fixação central

C – Parte inferior

D – Esferas de rotação

E – Parte superior.

Este tipo de estrutura é o mais usado pelos fabricantes destes contentores de resíduos urbanos e é o mesmo aplicado no contentor disponibilizado. O sistema de rolamento está inserido na própria estrutura metálica, tornando o conjunto pouco complexo.

As esferas superiores possuem um diâmetro de 6 mm e as inferiores um diâmetro de 5 mm.

Foi também modelado nas duas estruturas metálicas das rodas dianteiras os respetivos travões.

A parte superior da estrutura metálica não se irá fixar diretamente no corpo do contentor. Esta parte irá fixar-se sobre um compartimento onde será instalada a célula de carga para medição do peso dos resíduos presentes no contentor. Este compartimento terá de ser construído separadamente e afixado ao suporte de cada roda.

Este compartimento é totalmente fechado, metálico, onde existe possibilidade de deslocamento vertical, de forma a operar a célula de carga.

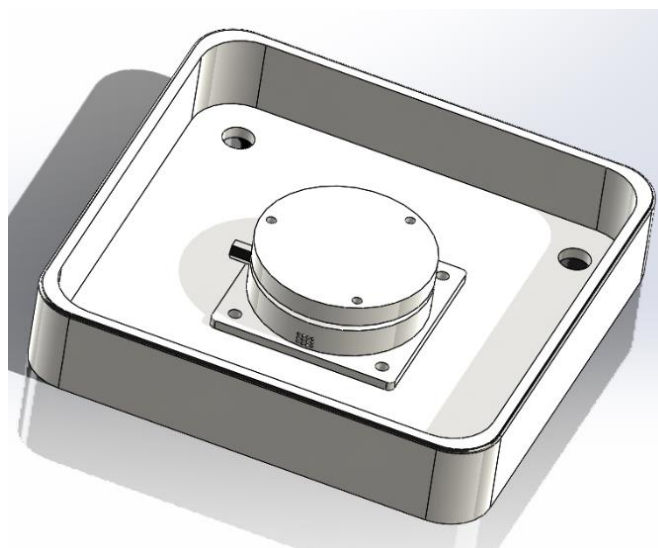
Este compartimento permite apenas ventilação deste espaço pelas extremidades e por pequenas aberturas de 2 mm na parte inferior.

Para modelar este compartimento, começou-se por modelar uma célula de carga genérica, de forma a simular o comportamento do instrumento. As células de carga são normalmente fornecidas acompanhadas com um sistema de fixação com parafusos, tipo chapa. Através desta chapa, a célula de carga vai ser fixa ao compartimento.

Este compartimento é composto por duas partes, a parte superior, onde irá assentar a célula de carga, e a parte inferior, que isola por completo o compartimento, assentando sobre a parte inferior do compartimento. A parte superior terá um furo para levar a cablagem da célula de carga de dentro deste compartimento para dentro do contentor. Por sua vez, este compartimento irá fixar-se diretamente no corpo do corpo do contentor, com o auxílio de guias.

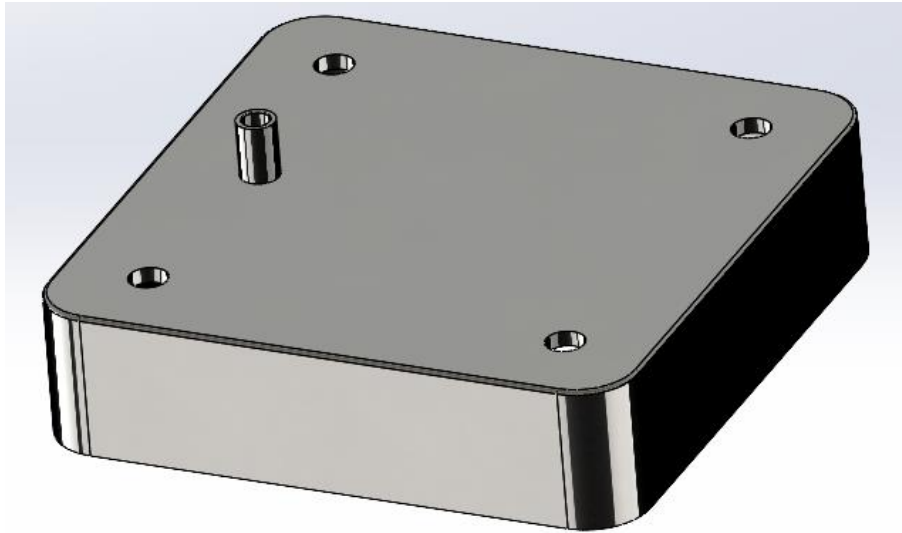
Estas guias limitam o movimento horizontal de toda a estrutura da roda, permitindo apenas movimento vertical, de forma a ser possível operar a célula de carga. Estas guias funcionarão como sendo a estrutura que conecta a estrutura da roda com o corpo do contentor.

Estas guias são constituídas por duas peças, macho (parafuso) e fêmea. Sendo estas guias a estrutura que permite desacoplar a estrutura da roda com o corpo do contentor, a manutenção e acesso à célula de carga torna-se facilitado, já que basta desapertar os parafusos. Por outro lado, para se evitar qualquer tipo de vandalismo, optou-se por esta solução pois os parafusos apenas poderão ser desapertados de dentro do contentor.

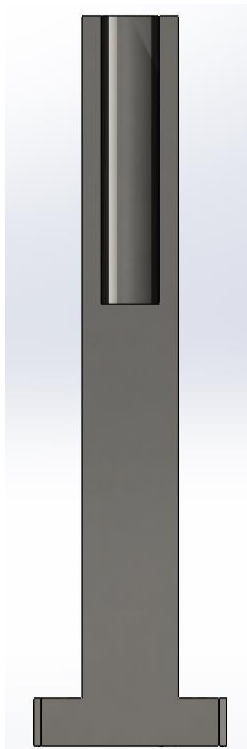


*Figura 66 - Modelação em ambiente SolidWorks – Compartimento da célula de carga - Parte inferior e célula de carga*

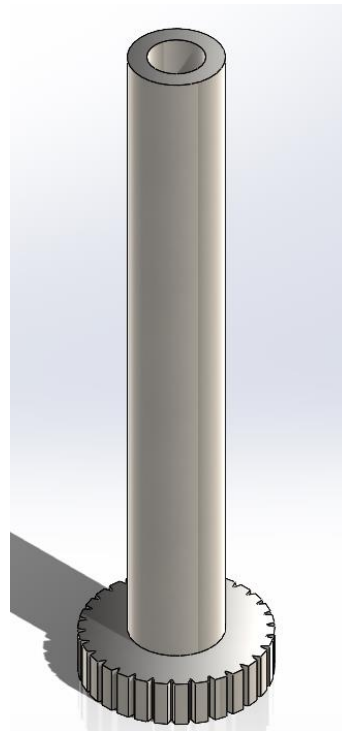
A estrutura da célula de carga será fixada por 4 parafusos M4 x 6 mm.



*Figura 67 - Modelação em ambiente SolidWorks – Compartimento da célula de carga - Parte superior*



*Figura 69- Modelação em ambiente SolidWorks – Parafuso União – Parte fêmea em vista de corte*



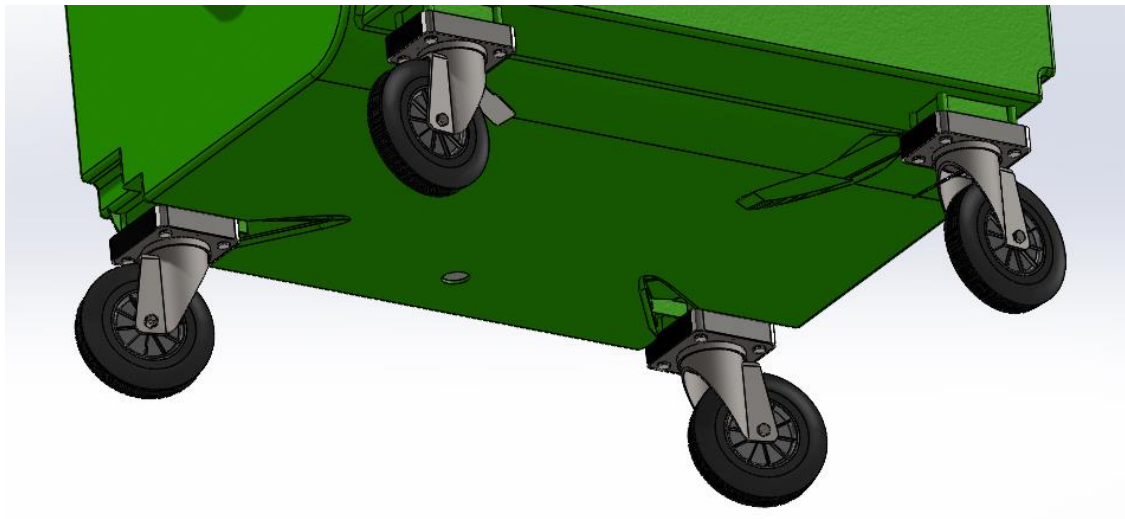
*Figura 68 - Modelação em ambiente SolidWorks – Parafuso União – Parte fêmea em vista isométrica*

Esta peça encontra-se atualmente no mercado com o nome de parafuso união (incluindo o parafuso).

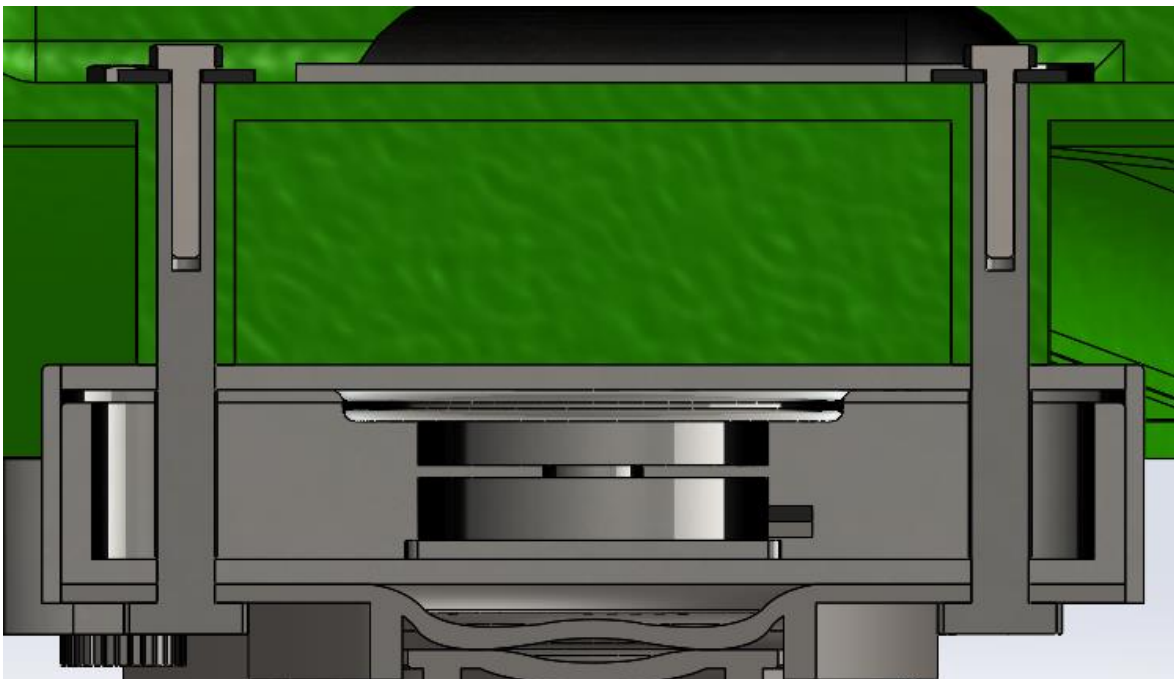
Como referido, o macho é um parafuso, especificamente um parafuso M6 x 30 mm, de 18 mm de roscado. Antes de ser enroscado o parafuso, será colocado também uma anilha, especificamente M6x22x2 mm, de forma a distribuir uniformemente as forças aplicadas.

Em cada roda serão colocados 4 parafusos de união.

Tendo finalizado todas as partes que compõem o compartimento onde será instalada a célula de carga, foi feita a sua montagem na estrutura metálica, e fixada no corpo do contentor.



*Figura 70 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem da estrutura da roda no corpo contentor*



*Figura 71 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem do parafuso de união no corpo do contentor - vista em corte*

Como se pode ver na figura anterior, o deslocamento vertical máximo que a estrutura permite é igual ao deslocamento vertical de operação máximo da célula de carga.

## 6.4 Montagem Final

Estando os componentes que formam o contentor de monitorização de resíduos modelados, procedeu-se à sua interligação. Esta ligação entre componentes é efetuada com recurso a constrangimentos, onde são criadas relação de concentricidade, paralelismo, entre outras relações, que permite ligar as peças entre si.

O elevado número de redundâncias provoca nas simulações de estática e dinâmica a extração de valores (por exemplo, forças) que podem ser pouco precisos.

De forma a evitar um elevado número de redundâncias, usou-se constrangimentos do tipo *Hinge*, substituindo os constrangimentos de coincidência e concentricidade. Após a aplicação desta solução, reduziu-se substancialmente o número de redundâncias da montagem, apesar de não ter sido possível a eliminação na totalidade das redundâncias.



Figura 72 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem final - Vista isométrica

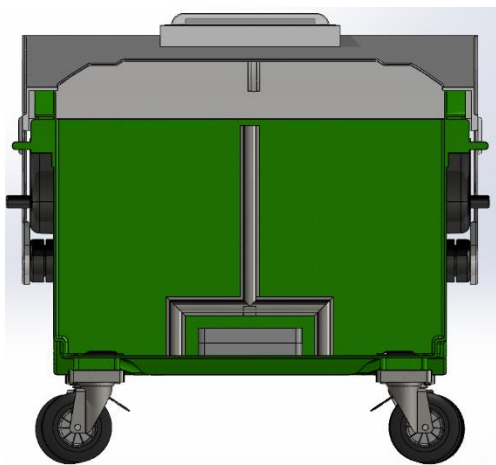


Figura 73 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem final - Vista em corte frontal

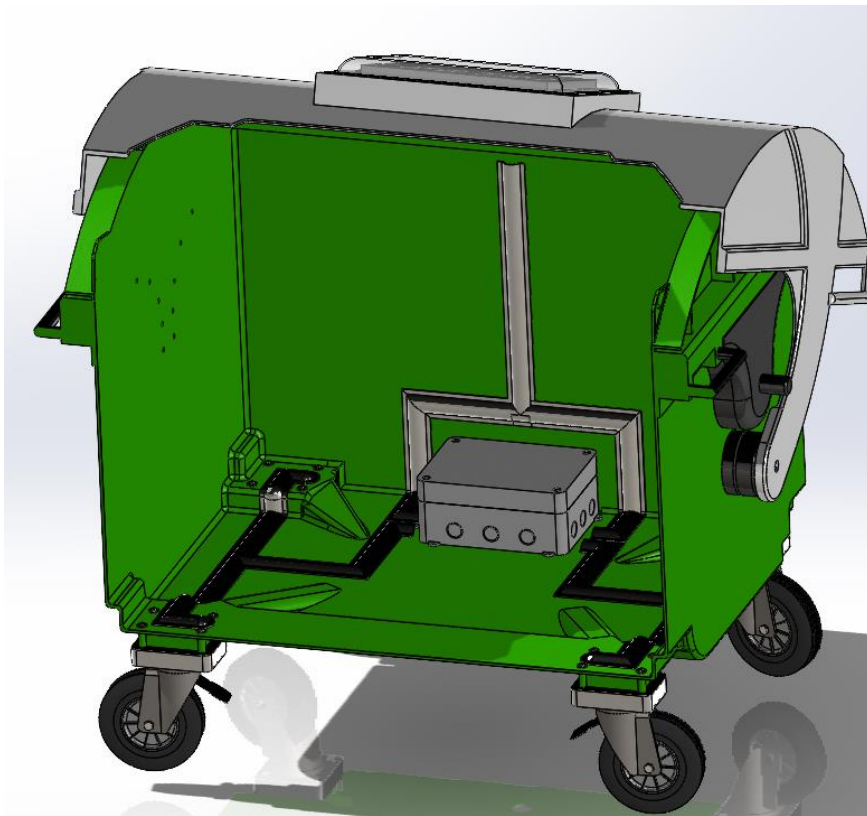


Figura 75 - Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem final - Vista isométrica em corte

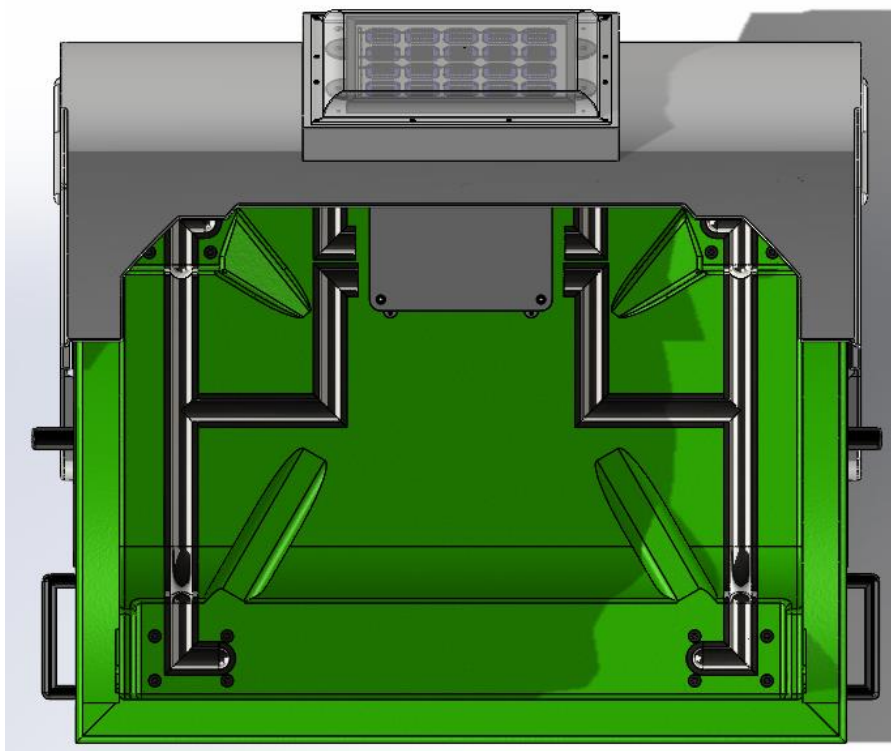


Figura 74- Modelação em ambiente SolidWorks – Montagem final - Vista superior

# Capítulo 7. Análise estática e dinâmica

A simulação estática e dinâmica será efetuada com recurso ao SolidWorks Simulation e Motion, respetivamente, onde se pode simular o comportamento do conjunto e a sua resposta mecânica face às condições impostas.

A análise estática tem como objetivo tornar confiável o modelo do contentor inteligente, definindo a respetiva malha de estudo. As malhas são formadas por geometrias 3D dividindo as peças ou conjunto de peças em tetraedros (elementos de 2ª ordem). Esses dados são então armazenados como coordenadas para os cantos que compõe cada tetraedro.

A análise estática servirá para validar o comportamento do modelo 3D, através de várias iterações, onde se irá afinar a malha, até se obter resultados espectáveis.

Estando a malha totalmente definida, irá proceder-se à análise dinâmica do conjunto, que se resume a verificar o comportamento do conjunto quando sujeito a forças intermitentes.

Sendo o contentor de resíduos urbanos um conjunto com sistemas eletrónicos presentes no seu interior, é importante averiguar que todos os sensores e componentes eletrónicos conseguem suportar as cargas de impacto (ou de choque) aplicadas ao contentor, bem como verificar se o sistema de fixação desses sensores e as peças novas que serão fabricadas estão bem dimensionadas.

Nesse sentido, para executar esta simulação, é importante que todos os componentes eletrónicos estejam presentes, para que sejam testados em situações limite, de forma a simular a realidade, não só as células de carga / sensor RADAR como também todos os elementos presentes dentro da caixa de eletrónicos, nomeadamente a placa de processamento, o módulo GSM e o retificador de tensão, que estarão fixos ao fundo da caixa.

Estando o painel solar fixo ao contentor, também este vai sofrer forças de impacto e, portanto, também deve ser testado.

Tendo em conta que o peso das cablagens de transmissão de sinal que estão presentes no interior do contentor ser desprezável no que diz respeito à simulação do equipamento como um todo, não foram modelados e não farão parte da simulação.

## 7.1 Análise Estática

Após o conjunto estar totalmente montado, procedeu-se à criação de um novo estudo de estática, definido em ambiente *SolidWorks* por *Simulation – New Study – Static*.

Como dito anteriormente, este capítulo destina-se para a definição da malha de análise do conjunto. Para isso, é necessário definir um caso estático de operação. Para este caso, o caso estático de operação de um contentor de resíduos urbanos é o caso em que contentor está totalmente parado, onde apenas é aplicado a força do peso dos resíduos e do próprio contentor. O peso total recai sobre o fundo do contentor, onde por sua vez é transmitido para as 4 rodas do contentor.

A força total aplicada ao contentor devido ao peso dos resíduos urbanos será referida daqui para a frente como força *F*. Sabendo que o peso máximo suportado pelo contentor é de 500 kg, esta força ‘*F*’ tem a magnitude de 5000 N. Esta força ‘*F*’ é uma força distribuída ao longo de uma superfície (área do fundo do contentor).

A força ‘*F*’, sendo aplicada no fundo do contentor, será suportada pelas 4 rodas (4 apoios simples). Tratando-se de um modelo 3D, com os apoios colocados de forma simétrica em relação aos eixos longitudinais e transversais do contentor, seria expectável que cada apoio suportasse  $\frac{1}{4}$  dos 5000 N, assumindo que não existe deformação do fundo do contentor (desprezável).

De seguida, com recurso ao *SolidWorks*, aplica-se a força *F* distribuída no fundo do contentor, define-se os 4 apoios e aplica-se uma malha (a primeira malha é definida automaticamente pelo *SolidWorks*).

A malha estará totalmente definida e dará resultados mais viáveis quantos mais a carga dos apoios fixos se aproximar do valor  $\frac{1}{4}$  da força ‘*F*’.

A seguinte imagem mostra a aplicação da força ‘*F*’ no fundo do contentor e calhas, com o recurso à função *Force/Torque*.

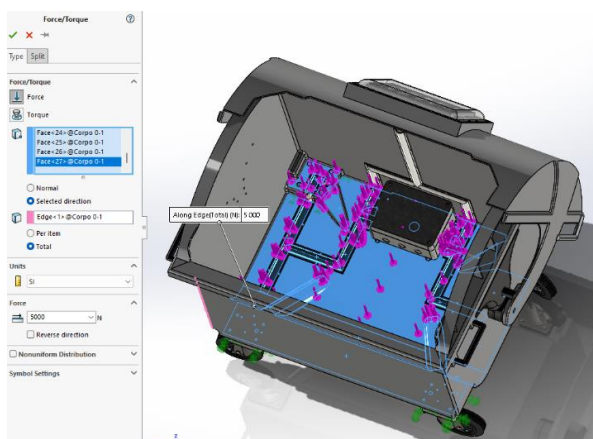


Figura 76 - Aplicação da força *F* igualmente distribuída no fundo do contentor e calhas (setas roxas)

De seguida, fixou-se as 4 superfícies da estrutura de proteção da célula de carga que estão em contacto direto com o contentor. São estas estruturas que vão suportar toda a carga dos resíduos urbanos presentes no contentor e transmitir a mesma carga para as respetivas células de cargas.

A seguinte imagem mostra a aplicação de 4 apoios fixos (1 em cada roda), com recurso à função *Fixture-Fixed Geometry*.

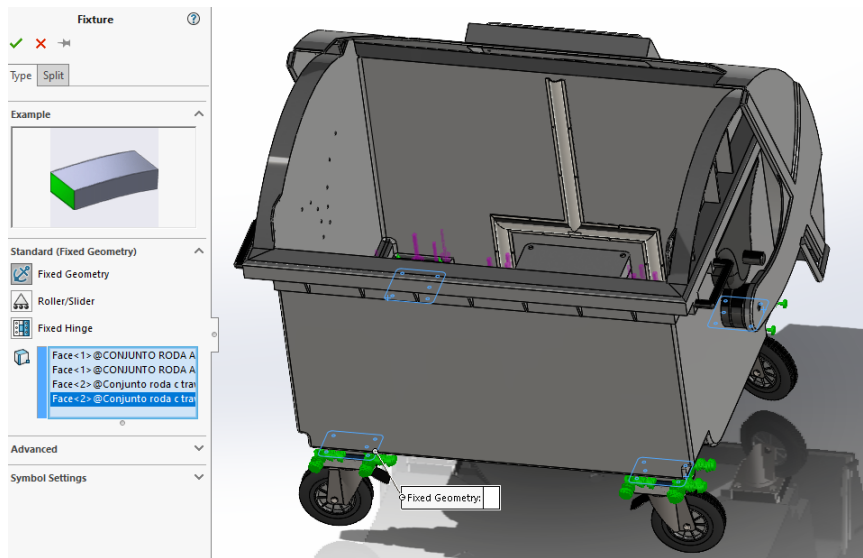


Figura 78 - Aplicação função 'Fixture' para fixar os apoios fixos

De seguida, criou-se a malha de análise, com recurso à função *Mesh*.

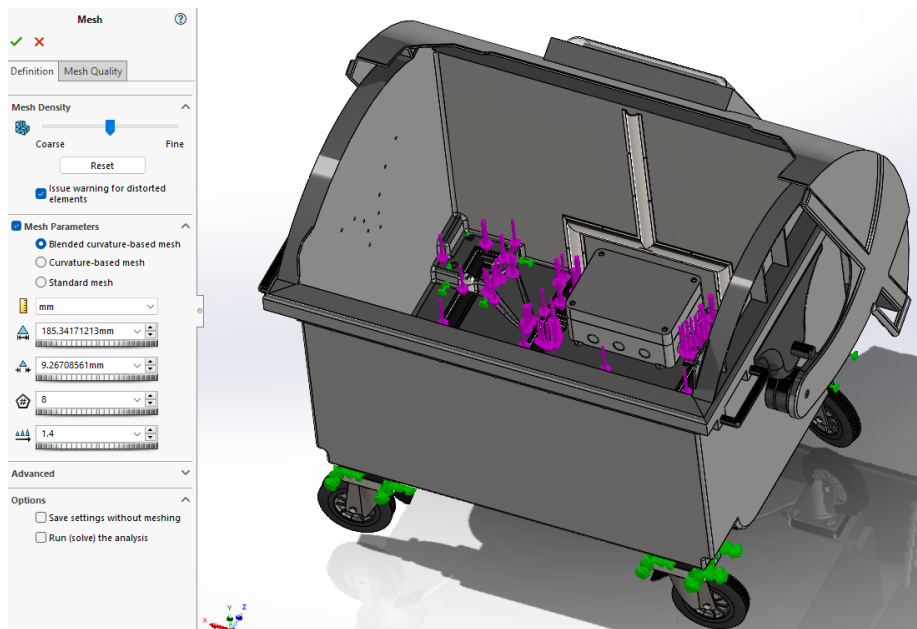


Figura 79 – Aplicação da função Create Mesh no conjunto – Malha média – 1ª iteração

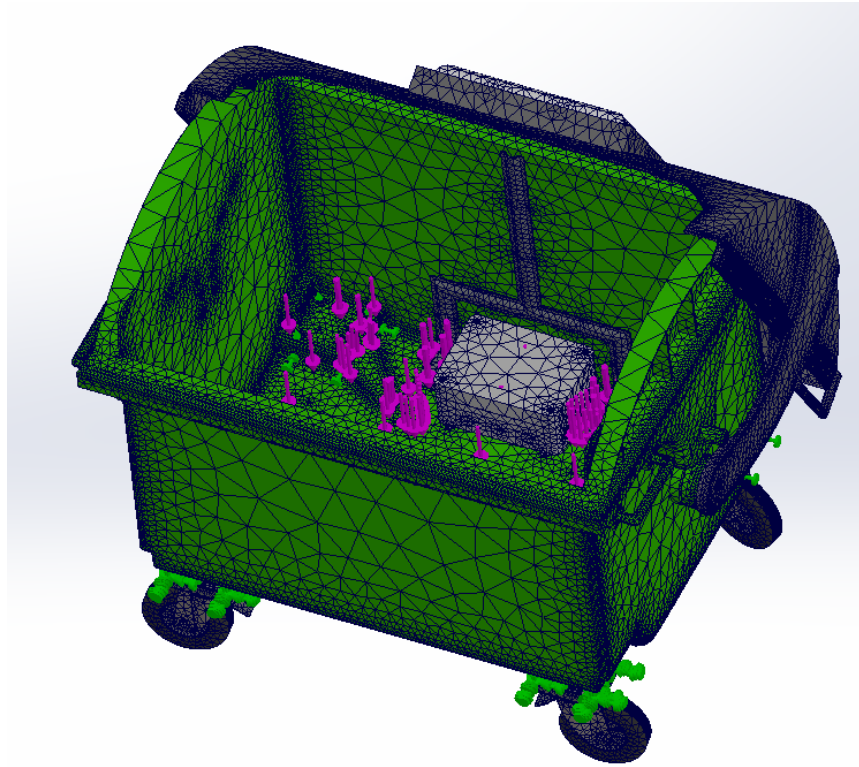


Figura 80 - Malha gerada pelo SolidWorks – Malha média – 1ª iteração

Como se pode verificar na primeira figura, para uma primeira análise, a malha não é nem muito fina nem muito grosseira. Tendo em conta os resultados que se seguirão, poder-se-á definir mais a malha, de forma a se obter resultados mais precisos.

De seguida, executou-se a simulação, com o objetivo de obter o valor da força resultante aplicada em cada apoio. O valor da força resultante em cada apoio foi obtido com recurso à função *Result Force*.

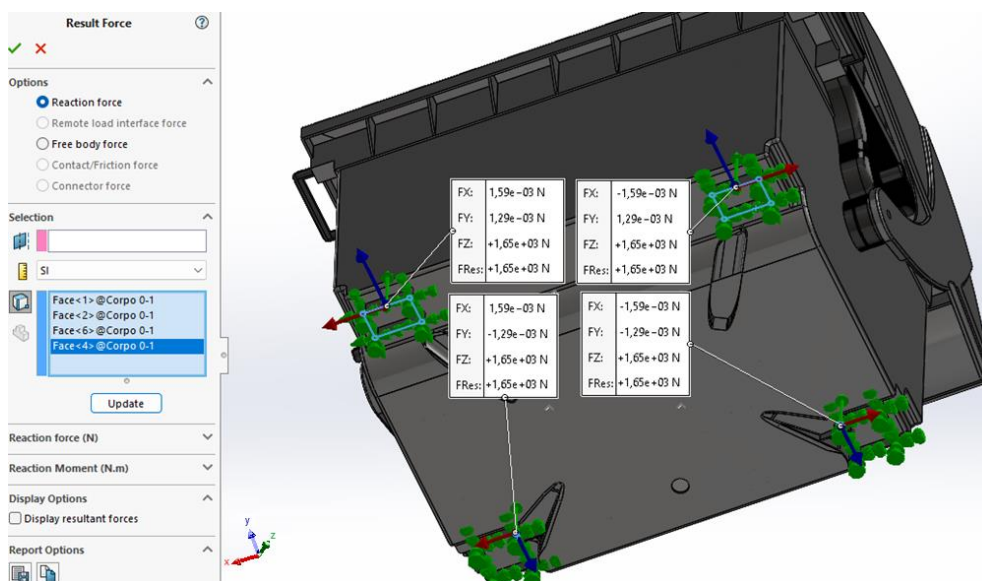


Figura 81 – Força resultante aplicada nos apoios fixos – 1ª iteração

Como se pode verificar, existem também reações em X e em Y. Isto ocorre porque, na realidade, a distância entre os dois pares de apoios irá causar uma deformação mínima. Como os apoios estão todos fixos, existem forças para contrariarem essa deformação, em X e Y.

Ainda assim, no eixo vertical, a reação somada de todos os apoios é de 6600 N, 1650 N por apoio. Com esta primeira iteração, pode-se verificar que a malha ainda não está fina o suficiente, estando os resultados pouco precisos. Seria expectável que cada apoio tivesse uma carga de 1250 N. Desta forma, para se obter uma malha mais viável, reduziu-se os lados dos tetraedros que compõem a malha para metade, tornando a malha mais fina.

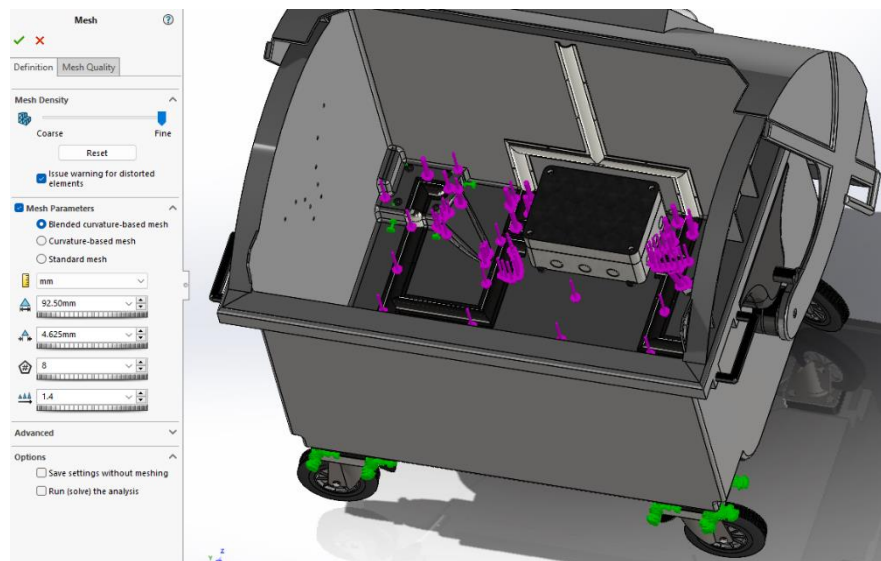


Figura 82 - Aplicação da função Create Mesh no conjunto – Malha fina – 2ª iteração

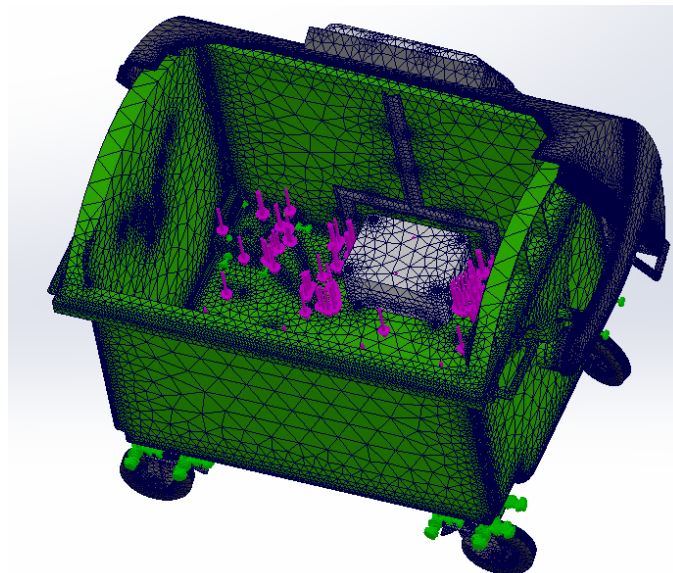


Figura 83 - Malha gerada pelo SolidWorks – Malha fina – 2ª iteração

De seguida, executou-se a simulação e verificou-se os valores de cargas aplicadas nos apoios, com recurso à função *Result Force*.

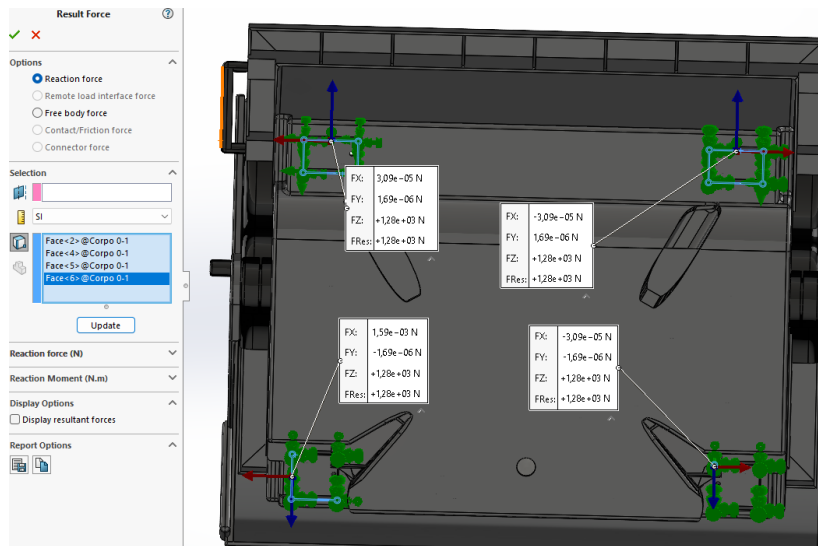


Figura 84 – Força resultante aplicada nos apoios fixos – 2ª iteração

Como se pode verificar na segunda iteração, o resultado já é muito próximo ao esperado. O resultado total da componente vertical de todos os apoios é de 5120 N (muito próximo a 5000 N). As componentes das forças nos eixos X e Y são aproximadamente 0, e por isso desprezáveis.

Estes resultados já são suficientemente próximos da realidade (desvio relativo inferior a 5%). Assim, esta malha comprova que o comportamento do modelo 3D se assemelha à realidade.

Ainda assim, foi feita uma última iteração, de forma a tornar o modelo de malha mais fiável.

Assim, reduziu-se os lados do tetraedro que compõem a malha mais uma vez para metade, tornando a malha ainda mais fina. Quanto mais fina a malha, mais tempo demora a execução da simulação.

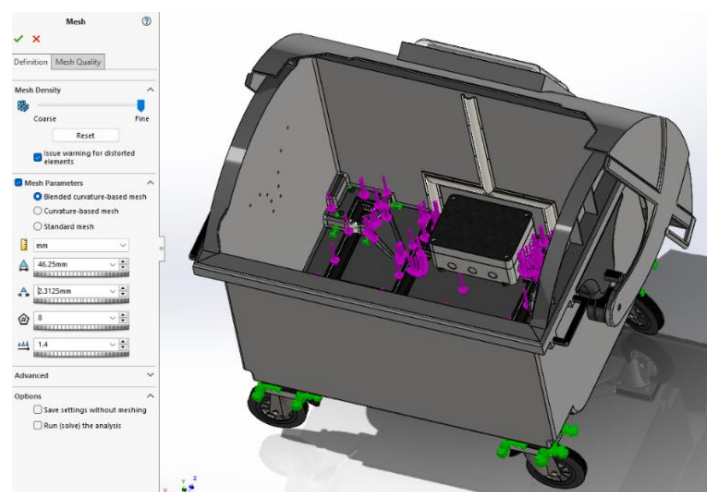


Figura 85 - Aplicação da função *Create Mesh* no conjunto – Malha fina – 3ª iteração

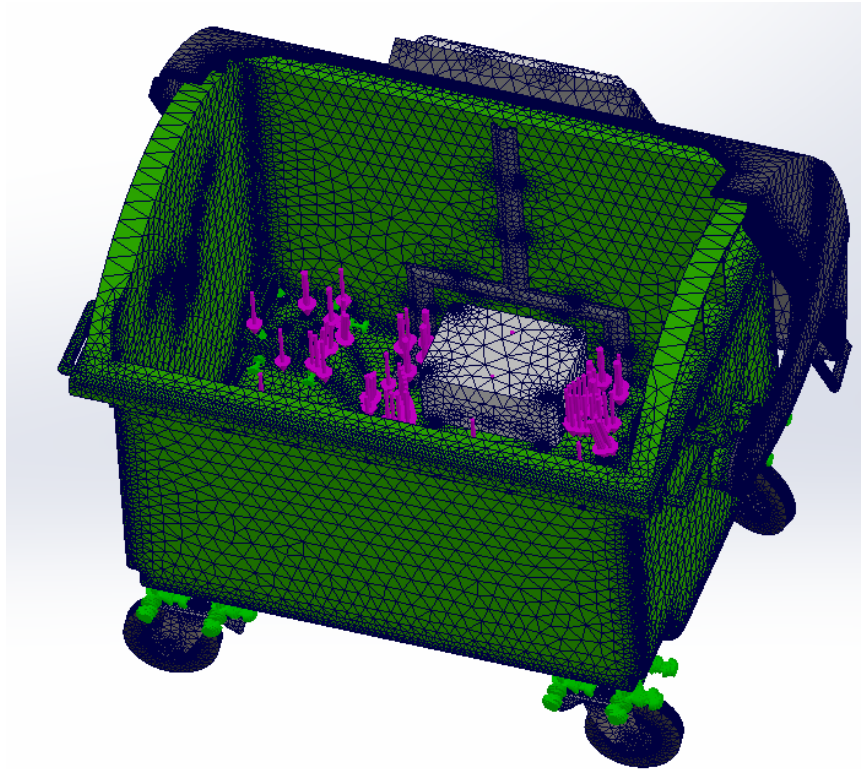


Figura 86 - Malha gerada pelo SolidWorks – Malha fina – 3ª iteração

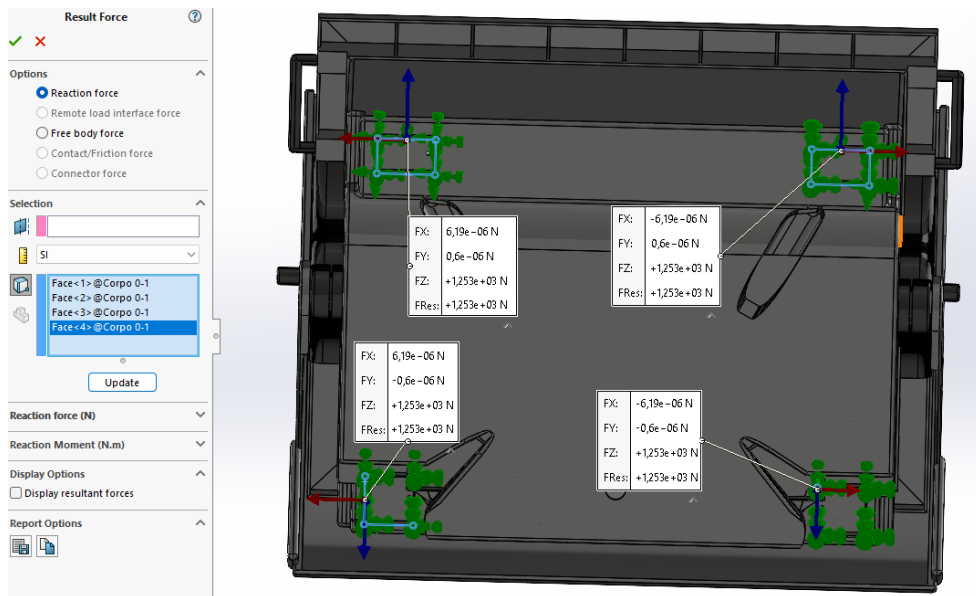


Figura 87 - Força resultante aplicada nos apoios fixos – 3ª iteração

Como se pode verificar na terceira iteração, o resultado já está dentro do esperado. O resultado total da componente vertical de todos os apoios é de 5012 N (muito próximo a 5000 N). As componentes das forças nos eixos X e Y são aproximadamente 0, e por isso desprezáveis.

Verificou-se nas seguintes iterações que os resultados tinham pequenas alterações e dessa forma, não se procedeu a mais iterações. A malha da 3ª iteração comprova o modelo 3D.

Para corroborar esta seleção, fez-se um estudo de convergência com estes dados.

Tabela 20 - Estudo de convergência para definição de malha - Desvio relativo

Iteração	Comprimento do tetraedro da malha [mm]	Força F [N]	Carga por apoio [N]	Carga total dos apoios [N]	Desvio Relativo [%]
1	185,0	5000	1650	6600	24,2
2	92,5		1280	5120	2,3
3	46,3		1253	5012	0,2
4	23,1		1252	5008	0,2
5	11,6		1252	5008	0,2

Como se pode verificar, o desvio relativo das iterações não varia, sendo que não vale a pena tornar o modelo e a respetiva malha mais complexos, pois os valores obtidos já são precisos o suficiente para a análise em causa.

## 7.2 Análise Dinâmica - Sensores

Para a análise dinâmica, o contentor vai ser exposto a movimentos e impactos oriundos da movimentação dos braços hidráulicos do camião do lixo, no ato de despejamento do contentor de resíduos.

Para se identificar que tipo de movimentos o contentor será exposto, pediu-se à Câmara Municipal de Lisboa acesso para assistir a um circuito de despejamentos deste tipo de contentor, no interior do ISEL.



Figura 88 - Contentores despejados no circuito ISEL efetuado pela CML

Quando estes contentores foram despejados, foram retirados fotos e vídeos de forma a analisar com mais precisão que tipo de movimento são aplicados ao contentor, de forma a identificar que carga são transmitidas aos sensores e elementos eletrónicos presentes no conjunto.

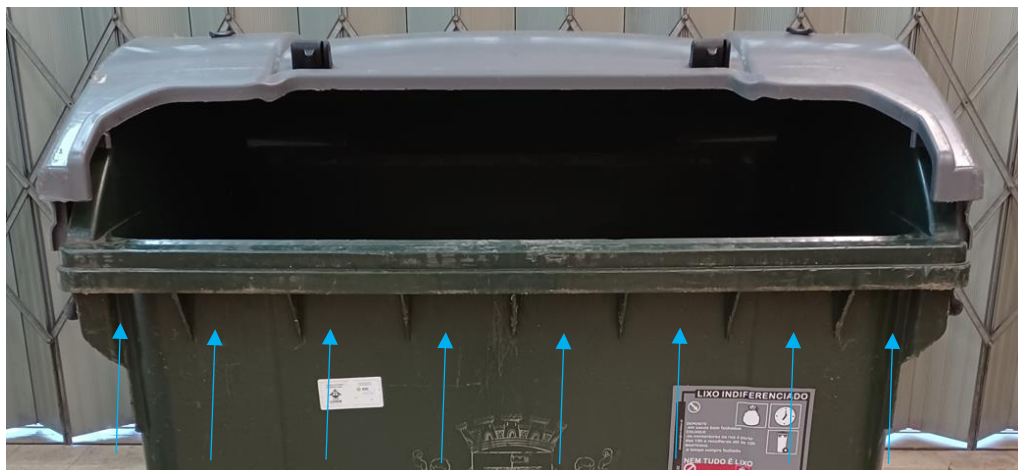
Foi também analisado o sistema de fixação hidráulico do camião ao contentor de resíduos urbanos, de modo a replicar o mesmo sistema na análise dinâmica.



*Figura 89 - Sistema de fixação do camião ao contentor*

Como se pode verificar, este sistema de fixação é composto por dois subconjuntos, cada um com 4 garras e um atuador hidráulico.

Cada uma destas garras estará posicionada entre as nervuras frontais do contentor (setas azuis da figura seguinte).



*Figura 90 - Nervuras frontais do Contentor*

Após as garras estarem posicionadas, o atuador hidráulico é acionado, fazendo pressão contra as garras. Estando a proteção frontal do contentor fixo entre as garras e o atuador hidráulico, o contentor pode ser despejado.

Inicialmente, o contentor é apenas elevado, de forma retirar a maior parte dos resíduos urbanos presentes no interior do contentor, por ação da gravidade.

Para retirar eventuais resíduos que tenham ficado armazenados no interior, o operador aplica um ‘abanão’ no contentor, provocando impactos (choques) diretamente no corpo do contentor.



*Figura 91 - Despejamento do contentor - posição inicial*



*Figura 92 - Despejamento do contentor - posição final*

Concluindo, o despejamento do contentor é composto por:

- Movimentação do equipamento desde a posição inicial (no chão, junto ao camião) até ao despejamento do contentor (rotação);
- Impactos criados pelos braços hidráulicos para retirar os resíduos que não foram despejados apenas com a rotação do contentor (usado quando existem resíduos restantes).

Na seguinte fase, analisar-se-á os impactos que estes movimentos têm nos sensores e componentes elétricos, de forma a corroborar que os sensores selecionados estão aptos a operar neste tipo de ambiente.

### 7.2.1. Definição de valores admissíveis de impacto dos sensores

Em muitas aplicações envolvendo sensores, ocorre uma força de impacto de curta e alta duração, chamado de choque. A resistência ao choque define até que nível de aceleração o instrumento pode suportar a força de impacto sem sofrer qualquer tipo de dano.

Esta aceleração provocada pelo impacto dos hidráulicos do camião no contentor será calculada e depois comparada com o valor máximo definido pelo fabricante de cada sensor. De forma não prejudicar a calibração dos sensores e o seu bom funcionamento, a aceleração calculada não pode ser superior à aceleração imposta pelo fabricante do sensor.

Consultando a folha de dados de cada instrumento, temos os seguintes valores de aceleração máxima admissível (alguns destes valores foram consultados diretamente com o fabricante, por não terem esta informação na respetiva folha de dados):

*Tabela 21 - Resistência ao choque - Sensores e elementos eletrónicos, [35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, Anexo C]*

Instrumento	Resistência ao choque [m/s <sup>2</sup> ]	Resistência ao choque [g <sub>n</sub> ]
Painel Solar	100	10
Sensor RADAR	100	10
Célula de carga	300	30
Bateria	200	20
Regulador da Bateria	200	20
Regulador de diferença potencial	500	50
Placa de Processamento	50	5
Módulo GSM	200	20

## 7.2.2. Simulação dinâmica - SolidWorks

Começou-se por seleccionar todas as forças aplicadas no contentor, incluindo a gravidade.

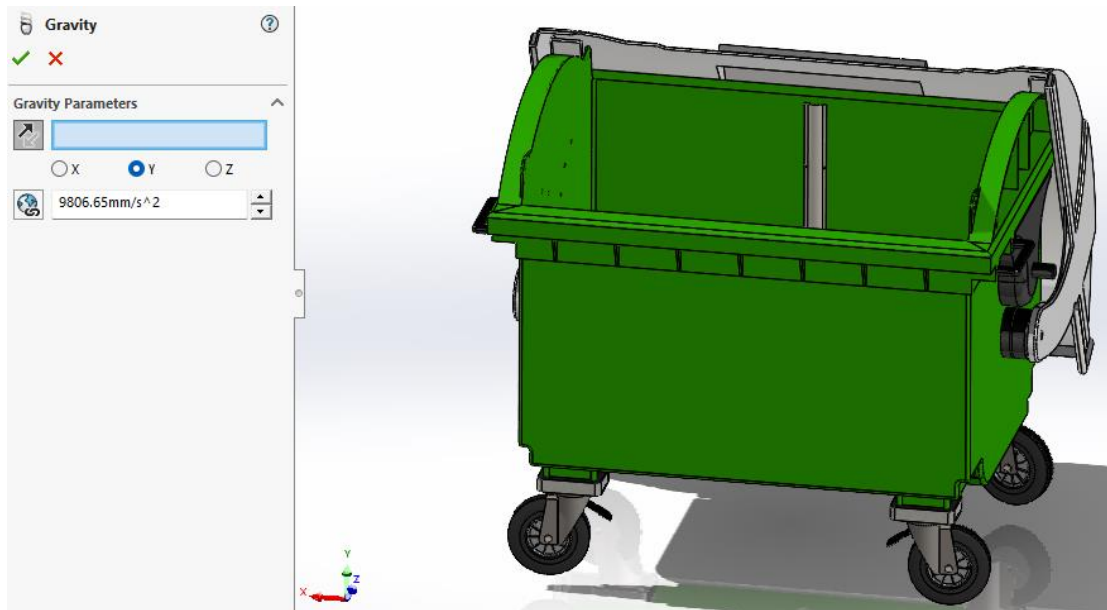


Figura 93 - Análise dinâmica - Aplicação da força gravítica

De seguida, aplica-se a força máxima no fundo do contentor e nas calhas horizontais, que corresponde ao peso dos resíduos urbanos (500 kg). Para o caso dinâmico, o *SolidWorks Motion* já inclui nos cálculos o peso de todos os componentes.

Esta força aplicada no fundo do contentor e nas calhas, neste caso de operação específico onde o contentor está a ser despejado, não é contínua. À medida que o contentor é girado, existe parte da carga que sai do contentor, até chegar a um valor mínimo (quando o contentor se encontra sem resíduos).

Por outro lado, quando se dá uma rotação de 90°, a força para de ser aplicada no fundo do contentor e nas calhas horizontais, e passa a ser aplicada diretamente na parede do corpo do contentor mais próxima do camião.

Para simular este comportamento, deve-se definir a força e o intervalo de tempo em que é aplicada a força. Para simular este comportamento, recorreu-se à função *Force function – Segments*.

De seguida, estão divididos os intervalos de tempo, o valor da respetiva carga e a superfície de contacto do contentor que irá resistir a esta força, que servirão de *input* para a função *Force function*.

- T=0 s. A totalidade da carga de 5000 N é aplicada no fundo do contentor e nas calhas horizontais;
- T=1 s (corresponde a uma rotação de 33,75°). 75% da carga aplicada no fundo e nas calhas horizontais e os restantes 25% aplicados na parede do contentor mais próxima do camião;
- T=1,33 s (corresponde a uma rotação de 45°). 50% da carga aplicada no fundo e nas calhas horizontais e os restantes 50% aplicados na parede do contentor mais próxima do camião;
- T=2 s (corresponde a uma rotação de 67,5°). 35% da carga aplicada no fundo e nas calhas horizontais, 50% aplicados na parede do contentor mais próxima do camião e 15% já despejados;
- T=2,66 s (corresponde a uma rotação de 90°). 0% da carga aplicada no fundo e nas calhas horizontais, 70% aplicados na parede do contentor mais próxima do camião e 30% já despejados;
- T=3 s (corresponde a uma rotação de 101,25°). 0% da carga aplicada no fundo e nas calhas horizontais, 50% aplicados na parede do contentor mais próxima do camião e 50% já despejados;
- T=4 s (corresponde a uma rotação de 135° - posição final). 0% da carga aplicada no fundo e nas calhas horizontais, 10% aplicados na parede do contentor mais próxima do camião e 90% já despejados;

Em t=4 s considerou-se que ainda existe uma possível carga de resíduos urbanos agarrados ao contentor e que apenas são removidos quando o operador aplica impactos diretamente no contentor.

O valor do ângulo na posição final, bem como o tempo de cada descarga, foi retirado do vídeo feito aquando do despejamento de um contentor igual, no ISEL. Os braços hidráulicos conseguem girar o contentor desde a posição inicial até aproximadamente 135 ° (virado para baixo) em cerca de 4 segundos.

De seguida, deu-se os *inputs* ao *SolidWorks*, tendo sido obtido o seguinte gráfico:

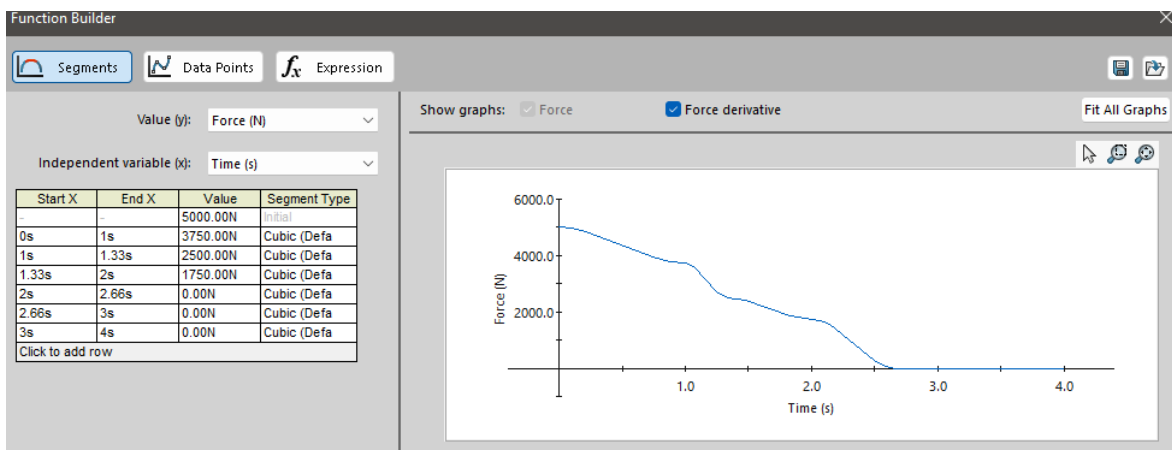


Figura 94 - Força aplicada no fundo do contentor em função do tempo

Como seria de esperar, a força aplicada no início é máxima, diminuindo até que o contentor se encontre na posição de 90° em relação à vertical.

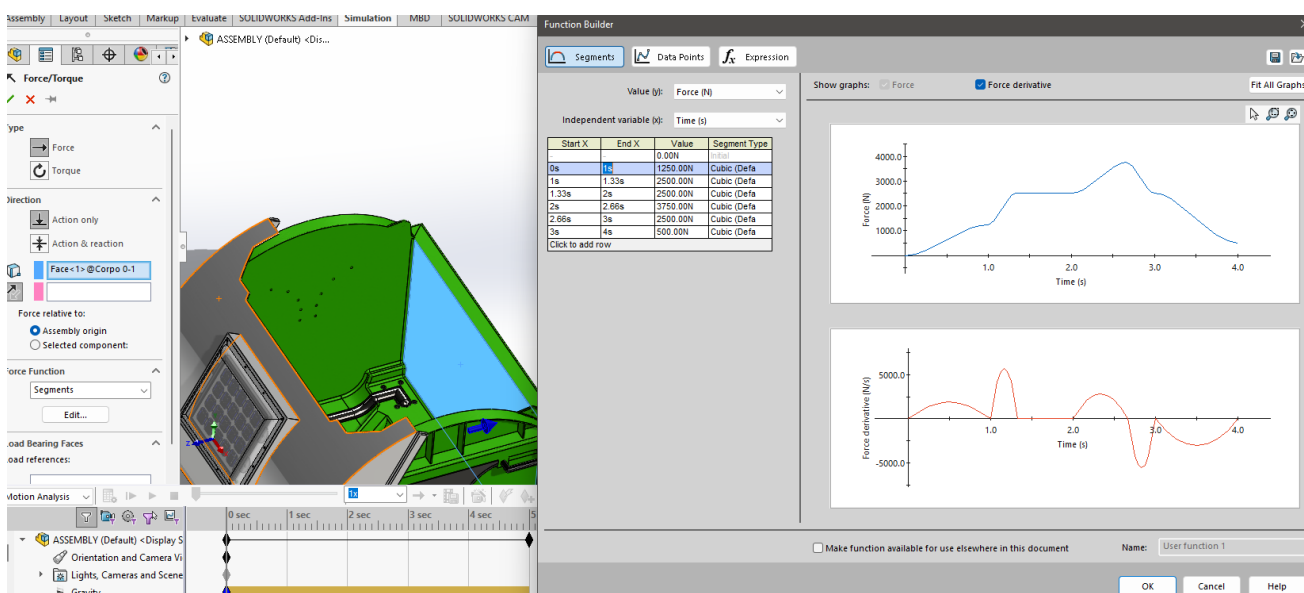


Figura 95 - Força aplicada na parede do contentor mais próxima ao camião em função do tempo

Por outro lado, a força aplicada na parede do contentor é mínima no início, aumentando até a instante, quando o contentor está na posição horizontal, sendo a força máxima. No intervalo de 2,66 s até 4 s, a força aplicada diminui, já que é neste intervalo de tempo em que maior parte dos resíduos urbanos são despejados.

Estando as forças todas definidas e aplicadas no modelo de simulação, procedeu-se à interação do contentor com os braços hidráulicos do camião do lixo.

Como indicado anteriormente, o sistema de fixação do camião ao contentor é composto por 8 garras, que são posicionadas entre as nervuras frontais do camião, e por 2 atuadores hidráulicos,

que fixam a proteção frontal do contentor às garras. De seguida, após os hidráulicos atuarem, existe um sistema de rotação que eleva o contentor até à posição final.

Para simular a força dos braços hidráulicos do camião, vai ser aplicada uma força giratória na parte que é fixa pelo sistema de fixação do camião, com recurso à função *Rotary motor*.

Para aplicar esta função, definiu-se o tempo de atuação (neste caso 4 segundos) e o ângulo de rotação que o contentor deve rodar (neste caso 135°).

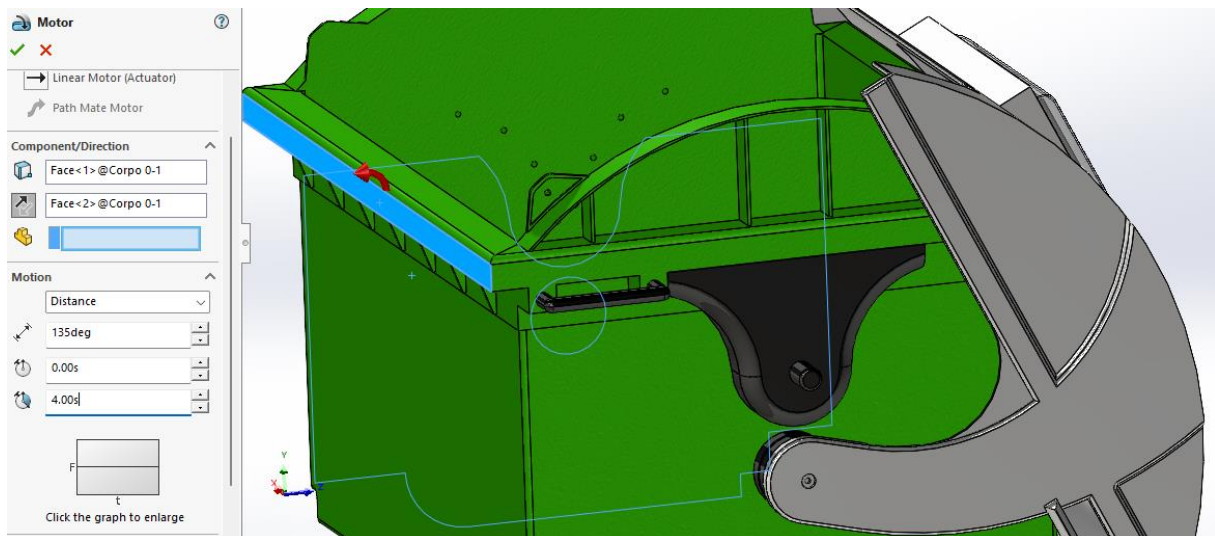


Figura 96 - Análise dinâmica - Aplicação da força de rotação imposta pelos braços hidráulicos do camião

Isto fará apenas o contentor gira sobre si mesmo. Como se sabe, existirá também movimento linear em direção ao camião, lateral e vertical.

Dessa forma, dividiu-se o movimento em dois movimentos separados, um movimento lateral e outro vertical.

Para representar os movimentos lineares, foi usado a mesma função 'Motor', mas neste caso adotou-se por um motor linear, simulando um atuador de força aplicado diretamente no contentor.

Começando pela força horizontal (em direção ao camião), é necessário saber qual a distância que o contentor é deslocado neste sentido, sendo expectável que este valor seja muito inferior à componente vertical. A partir do vídeo gravado, assumiu-se um valor de 50 cm aplicado em 4 segundos de atuação.

De seguida, definiu-se da mesma forma a componente vertical. A partir do vídeo gravado, assumiu-se que o contentor para ser despejado deve ser elevado no mínimo a uma altura de 150 cm.

Estas distâncias assumidas são indiferentes para o cálculo, já que o parâmetro principal que irá ter impacto nos impactos dos sensores e elementos eletrónicos é a velocidade em que é feito o despejamento e a intensidade dos impactos efetuados no final do despejamento, para retirar eventuais resíduos que permanecem dentro do contentor.

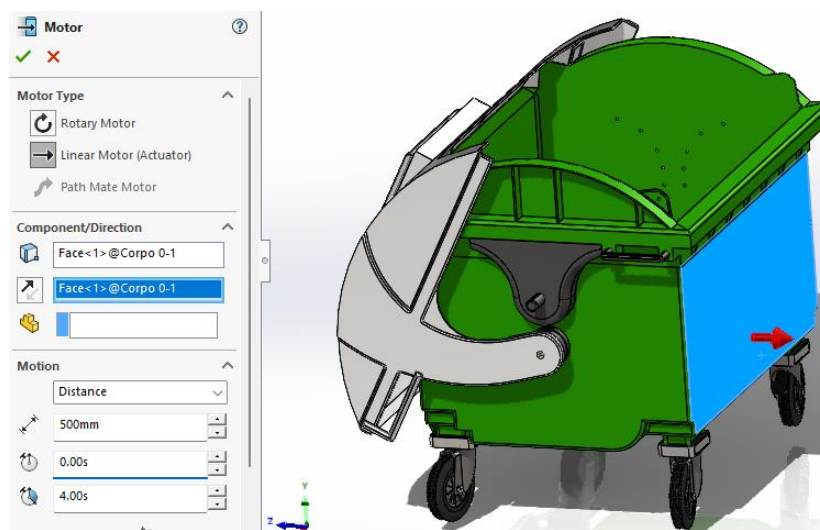


Figura 97 - Análise dinâmica - Aplicação da força linear horizontal

De seguida, foi aplicado a força no fundo do equipamento, de forma a promover a elevação do contentor.

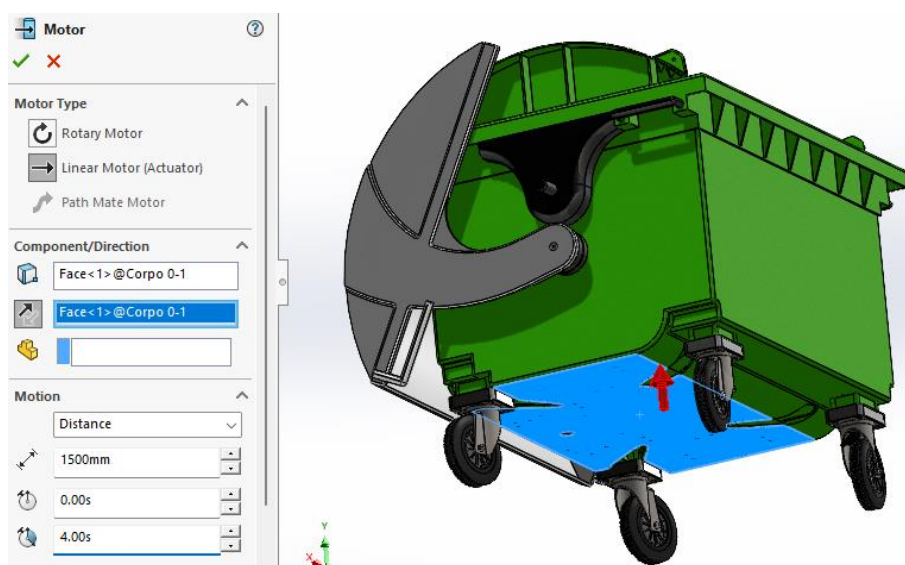


Figura 98 - Análise dinâmica - Aplicação da força linear vertical

No momento final do despejamento do contentor, em posição elevada, a 135° em relação à vertical, existe por vezes resíduos que não são propriamente despejados, permanecendo acumulados no próprio contentor.

Nestes momentos, para retirar os restantes resíduos agarrados ao contentor, são criados movimentos bruscos na mesma direção em que o contentor foi despejado, com o auxílio dos braços hidráulicos, fazendo com que os restantes resíduos sejam despejados para o camião do lixo. Estes movimentos, por serem de curta duração, atuam como impactos no corpo do contentor. Estes impactos são posteriormente transmitidos aos elementos internos instalados no contentor, como os sensores e elementos eletrónicos.

Tendo em conta o momento da simulação, este acontecimento ocorre depois dos 4 segundos de rotação do contentor, quando apenas existe 10% da carga total (500 N) a ser aplicada na parede do contentor (como definido anterior).

Para simular os impactos que atuam diretamente no contentor, foi utilizada a função ‘Linear Motor’, de forma a aplicar impactos na parte frontal do contentor, já que impactos não são mais que forças aplicadas numa determinada área, num determinado período de tempo.

Em relação ao número de movimentos bruscos efetuados, este é um número que pode variar. Quando foi efetuado o vídeo do despejamento do camião, foi questionado diretamente ao operador, onde se chegou à conclusão de que não são realizados mais de 5 impactos por despejamento, pois geralmente é o suficiente para descarregar os restantes resíduos presentes no contentor. Neste caso, os movimentos bruscos tiveram uma duração aproximada de 2 s.

De forma a simular a movimentação do contentor para baixo e para cima (no mesmo arco em que o contentor é despejado), recorreu-se à função *Linear Motor* (força do tipo pneumática).

Esta força deve ser modelada em função do tempo, recorrendo-se à função *Data Points*. Esta função permite controlar a direção e amplitude do deslocamento aplicado a cada instante da simulação. Desta forma, consegue-se simular o movimento relativo do contentor provocado pelos impactos dos braços hidráulicos. Estes impactos são transmitidos inicialmente no ponto do contentor fixo ao camião, e depois transmitido ao resto do contentor.

Tendo em conta o vídeo efetuado, concluiu-se que estes movimentos não provocam um deslocamento do contentor maior que 100 mm. Por esse motivo, considerando uma análise conservativa, assumiu-se que estes impactos fazem o contentor deslocar-se 100 mm na direção vertical, sentido da gravidade, e de seguida 100 mm para o lado oposto.

Como teremos 5 movimentos bruscos distribuídos em 2 s, implica 1 impacto a cada 0,4 s. Tendo em conta a nossa análise dinâmica, estes movimentos seriam aplicados entre o segundo 4 e 6 do despejamento do contentor.

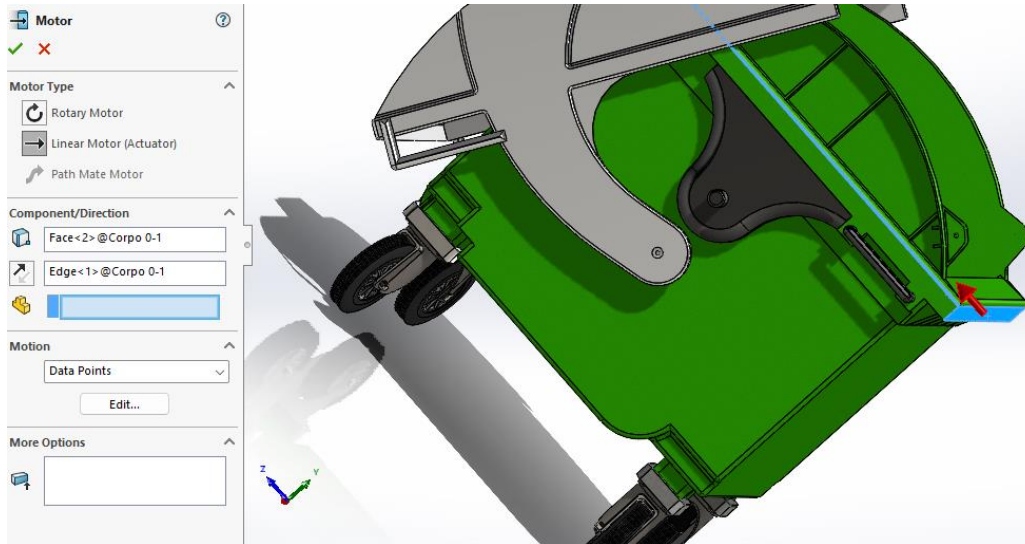


Figura 99 - Aplicação da função 'Motor Linear', Motion 'Data Points'

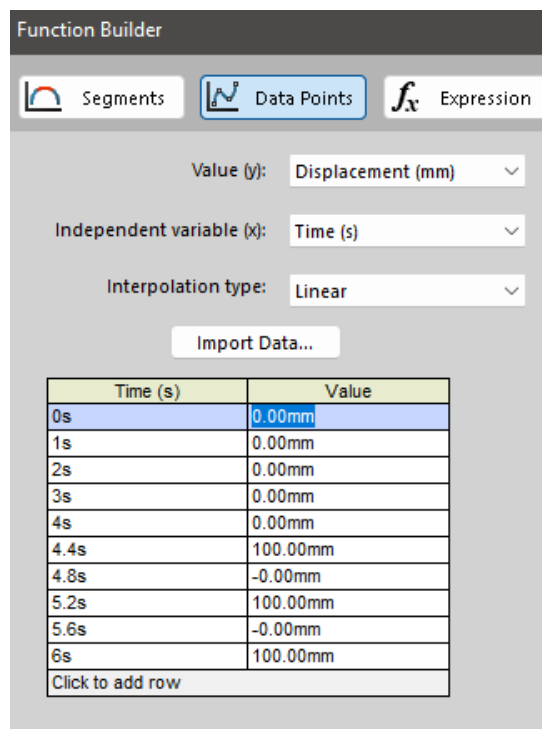


Figura 100 - Deslocamento aplicado ao contentor em função do tempo

Como se pode ver, a força aplicada recorrendo á função *Linear Motor*, permite modelar numa só função o deslocamento provocado ao contentor, bem como a sua direção.

De seguida, executou-se a simulação e extraíram-se os gráficos das acelerações aplicadas em cada zona em que se quer comparar a resistência ao choque de cada sensor ou equipamento eletrónico.

É de esperar que a aceleração proveniente do movimento de despejamento do contentor seja máxima nos últimos 2 segundos da simulação, quando os hidráulicos do camião atuam movimentos bruscos no contentor.

Isto acontece porque nos primeiros 4 segundos de despejamento, onde o contentor é transportado desde a posição inicial até à posição final, a velocidade de despejamento é baixa, controlada pelo operador.

Por outro lado, nos últimos dois segundos, são aplicados movimentos bruscos, movimentos esses que são atuados em curtas durações, na forma de impactos.

Começou-se por verificar a aceleração imposta à célula de carga. Selecionou-se o parafuso de fixação da célula de carga à estrutura metálica de proteção e de seguida extraiu-se o gráfico da magnitude da aceleração neste ponto. Assumiu-se que a aceleração sentida pelo sensor devido aos impactos dos movimentos é igual à aceleração imposta aos parafusos de fixação.

Este ponto de análise foi selecionado pois quando mais próximo do elemento que queremos analisar, mais precisa será a nossa informação. Como se sabe, o impacto sentido pelos sensores será maior quanto mais perto estiver da origem dos impactos (parte frontal do contentor).

Para este caso, foi selecionado para análise uma das células de carga instalada na roda dianteira do contentor, por estar mais perto da origem do impacto.

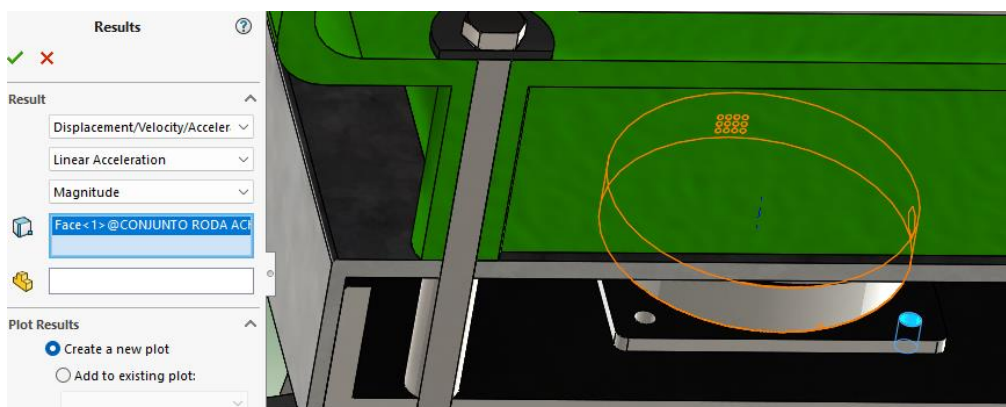


Figura 101 - Análise dinâmica - Ponto de análise - Célula de carga

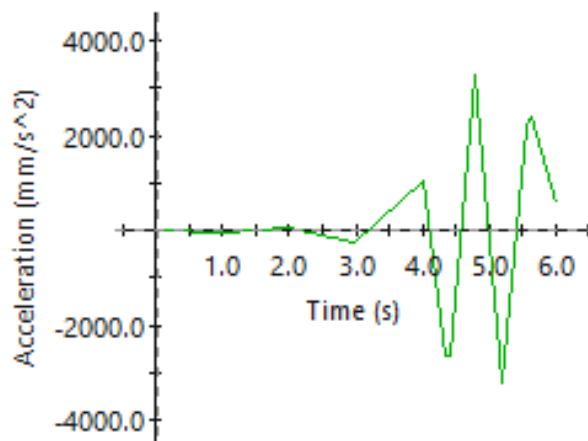


Figura 102 - Análise dinâmica - Gráfico aceleração em função do tempo - Célula de carga

Como seria expectável, a aceleração produzida na célula de carga tem valores muito baixos nos primeiros 4s de simulação. Por outro lado, entre  $t=4$  s e  $t=6$  s, existem picos de acelerações, provenientes dos movimentos bruscos aplicados pelo operador ao contentor.

Para este caso, temos que o valor máximo de aceleração produzido ocorre aos  $t=4,8$  s, e tem a magnitude de  $3325 \text{ mm/s}^2$ .

Para os restantes casos, é expectável que a evolução da curva seja semelhante, por sofrerem o mesmo movimento. Por outro lado, a magnitude do impacto poderá variar, dependendo da distância que o sensor esteja da origem do impacto, bem como a absorção do impacto de todos os materiais que vão transmitindo sequencialmente estes impactos.

De seguida, verificou-se a aceleração imposta ao sensor RADAR, instalado na parte interna da tampa do contentor.

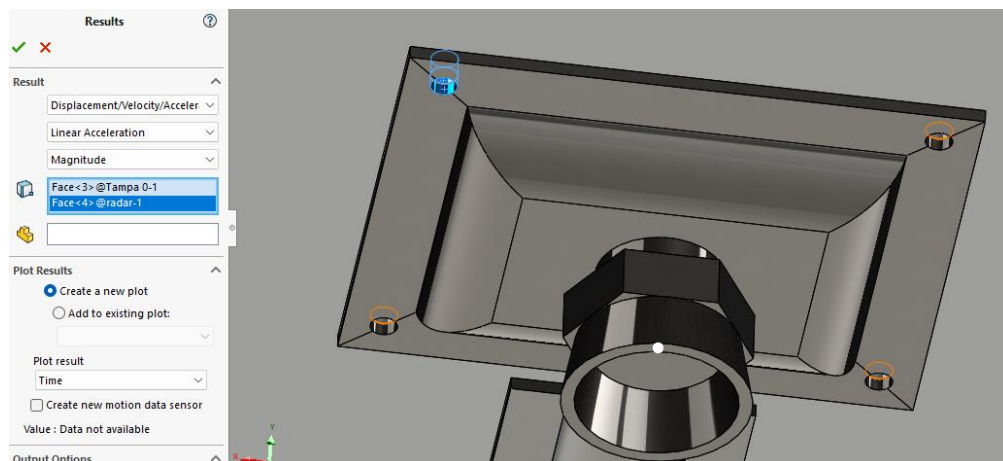


Figura 103 - Análise dinâmica - Ponto de análise – Sensor de carga

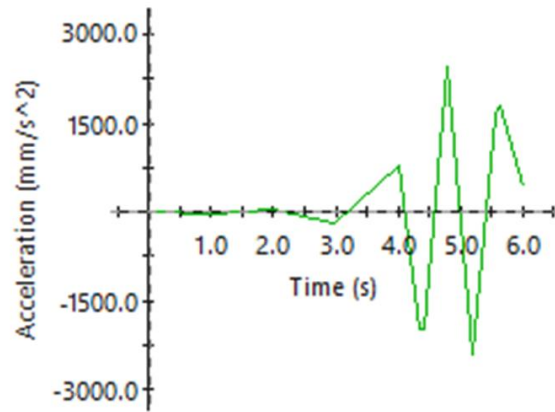


Figura 104 - Análise dinâmica - Gráfico aceleração em função do tempo – Sensor RADAR

Para este caso, temos que o valor máximo de aceleração produzido ocorre também aos  $t=4,8$  s, e tem uma magnitude de  $2464 \text{ mm/s}^2$ . A magnitude imposta para o sensor RADAR é inferior, já que se encontra instalado na tampa e não diretamente no corpo do contentor onde o impacto é produzido.

De seguida, verificou-se a aceleração imposta ao painel solar, instalado na parte superior da tampa do contentor.

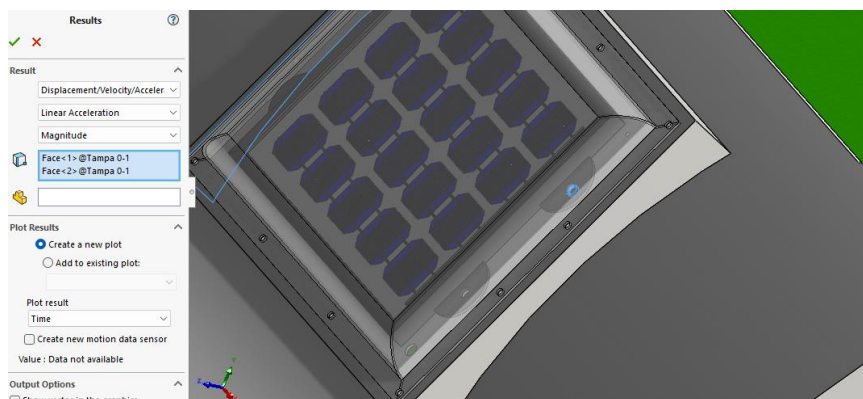


Figura 105 - Análise dinâmica - Ponto de análise – Painel Solar

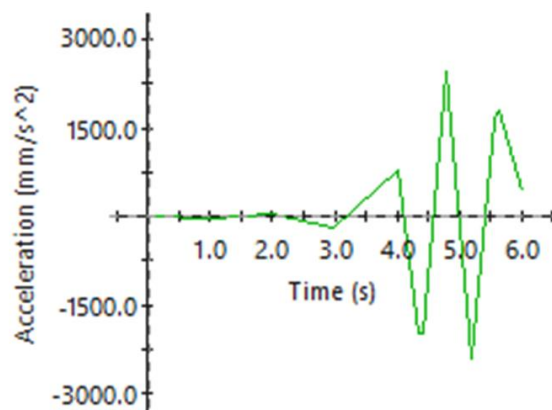


Figura 106 - Análise dinâmica - Gráfico aceleração em função do tempo – Painel Solar

Para este caso, temos que o valor máximo de aceleração produzido ocorre também aos  $t=4,8$  s, e tem uma magnitude de  $2292 \text{ mm/s}^2$ . A magnitude imposta para o sensor RADAR é inferior, já que se encontra instalado na tampa e não diretamente no corpo do contentor onde o impacto é produzido.

Em relação à aceleração imposta à bateria, regulador da bateria, placa de processamento, regulador de diferença de potencial e módulo GSM, por todos estes elementos estarem armazenados dentro da caixa de ligações, têm o mesmo valor de magnitude.

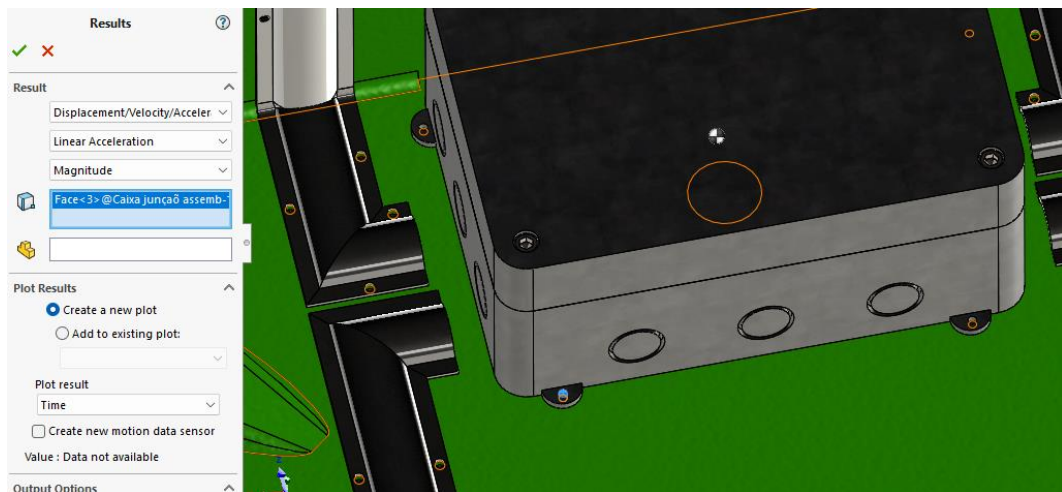


Figura 107 - Análise dinâmica - Ponto de análise – Caixa de ligações

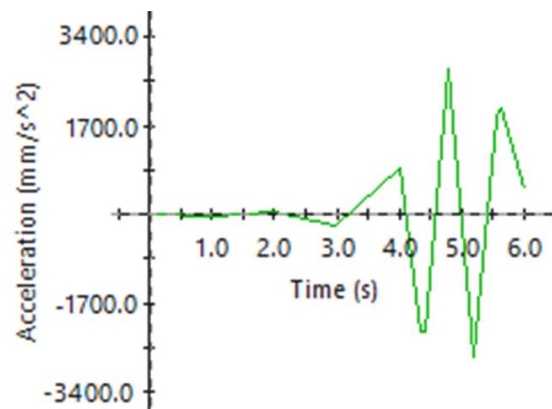


Figura 108 - Análise dinâmica - Gráfico aceleração em função do tempo – Componentes no interior da Caixa de Ligações

Para este caso, a magnitude da aceleração imposta tem um valor de  $2793 \text{ mm/s}^2$ .

Estando todos os sensores e elementos eletrônicos analisados, fez-se de seguida uma comparação entre a resistência ao choque de cada elemento, definido pelo respetivo fabricante, e o valor calculado para a aceleração originada pelo movimento de despejamento do contentor.

Tabela 22 - Resistência ao choque - Sensores e elementos eletrônicos – Valor máximo vs Valor calculado

Instrumento	Resistência máxima ao choque [m/s <sup>2</sup> ]	Resistência ao choque calculada [m/s <sup>2</sup> ]
Painel Solar	100	2,3
Sensor RADAR	100	2,5
Célula de carga	300	3,3
Bateria	200	2,8
Regulador da Bateria	200	2,8
Regulador de diferença potencial	500	2,8
Placa de Processamento	50	2,8
Módulo GSM	200	2,8

Como se pode verificar, as resistências ao choque que os sensores e elementos eletrônicos são dimensionados são muito superiores aos valores calculados pela simulação SolidWorks.

Isto indica que todos os movimentos a que o contentor é sujeito no ato da operação de despejamento, transmitidos diretamente para os sensores, não provocam impacto suficientemente alto para provocar um mal funcionamento ou descalibrar os sensores de dados (células de carga e sensor RADAR), bem como os elementos eletrônicos que farão a respetiva análise de dados.

Concluindo, os sensores selecionados para serem instalados no contentor providenciado pela CML estão bem selecionados e aptos para operar mediante as cargas impostas diretamente no contentor.

De seguida, far-se-á uma análise ao sistema de fixação dos sensores, calhas e caixa de ligação, de forma a averiguar se os parafusos para fixar estes elementos estão bem selecionados/dimensionados.

### 7.3 Análise Dinâmica – Sistemas de Fixação

Neste capítulo vai ser verificado se os parafusos de fixação dos sensores, das calhas e da caixa de ligação estão bem selecionados.

Na seguinte tabela estão definidos os materiais de todos os parafusos e número de parafusos, bem como as respetivas propriedades de cada material:

Tabela 23 - Seleção de materiais e respectivas propriedades

Item	Quantidade	Material	Densidade, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Tensão de Cedência, $\sigma_c$ [MPa]	Módulo de Elasticidade, E [MPa]	Tensão de Ruptura, $\sigma_r$ [MPa]
Parafuso de fixação ISO 7380 M8x10 (tampa e cobertura do painel fotovoltaico)	12	Aço inoxidável, grau AISI 304	8000	206,8	190000	517
Parafuso de fixação ISO 7380 M12x16 (painel fotovoltaico e tampa)	4	Aço inoxidável, grau AISI 304	8000	206,8	190000	517
Parafuso de fixação ISO 7045 M6x6 (calhas horizontais e corpo do contentor)	36	Aço inoxidável, grau AISI 304	8000	206,8	190000	517
Parafuso de fixação ISO 7045 M6x6 (calha vertical e corpo do contentor)	20	Aço inoxidável, grau AISI 304	8000	206,8	190000	517
Parafuso de fixação ISO 7045 M5x6 (calhas e a tampa)	6	Aço inoxidável, grau AISI 304	8000	206,8	190000	517
Parafuso de fixação ISO 7045 M4x6 (célula de carga)	16	Aço inoxidável, grau AISI 304	8000	206,8	190000	517
Parafuso de fixação ISO 7045 M4x4 (sensor RADAR à tampa)	4	Aço inoxidável, grau AISI 304	8000	206,8	190000	517
Parafuso de fixação ISO 7045 M5x8 (caixa de eletrônicos ao contentor)	4	Aço inoxidável, grau AISI 304	8000	206,8	190000	517
Parafuso União 10x80 – M6x30 (Guia fêmea e parafuso)	16	Aço inoxidável, grau AISI 304	8000	206,8	190000	517

Estando os materiais de todos os parafusos de fixação definidos, verificou-se com recurso ao *SolidWorks*, a carga aplicada em cada um dos parafusos (excluindo o parafuso união, já que não há cargas aplicadas a este parafuso). Após obter-se a carga aplicada em cada parafuso, verificou-se se a tensão de corte aplicada ao parafuso é inferior à tensão de corte admissível do respetivo material.

Estando definidos os movimentos do contentor no ambiente *Motion* do *SolidWorks* (definido na análise do capítulo anterior), verificou-se parafuso a parafuso qual a força aplicada.

Começou-se pela carga aplicada no parafuso de fixação da célula de carga. Após se executar a simulação *Motion* e selecionar a relação de concentricidade entre a furação da célula de carga e da estrutura metálica a qual se fixa, verificou-se o gráfico da força aplicada em função do tempo.

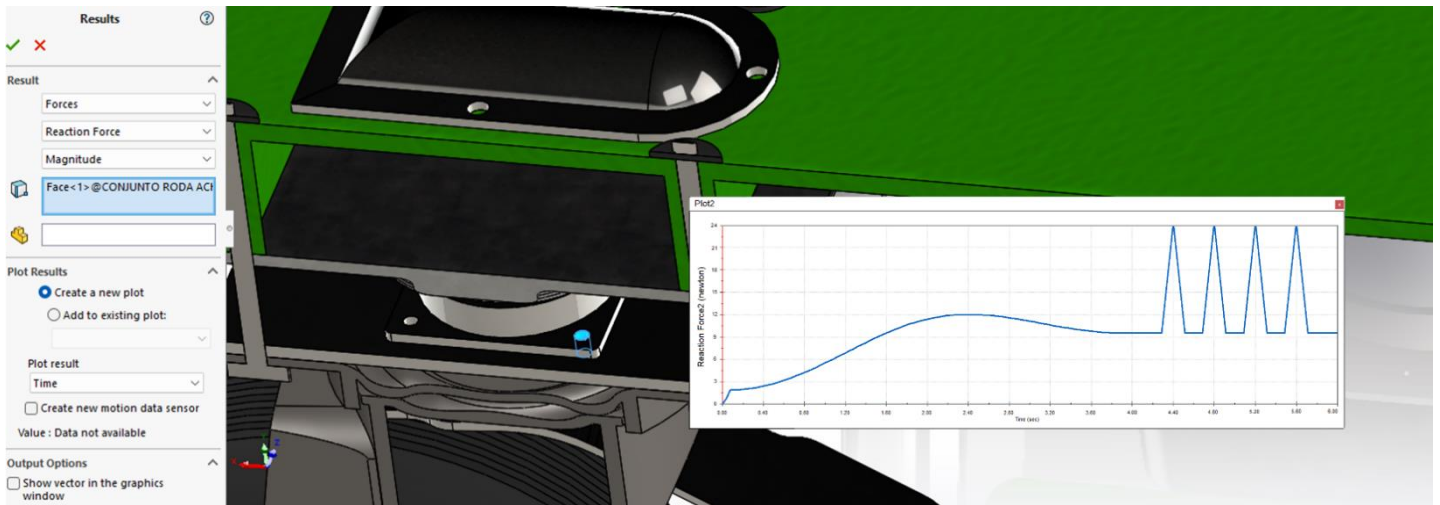


Figura 109 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação da célula de carga em função do tempo

Como se pode observar no gráfico, este gráfico é separado em duas fases. A primeira, definida entre os 0s e os 4 s, é onde se dá o início do movimento do contentor, desde a posição ao nível do chão até á posição final, que corresponde a uma rotação do contentor de 135°, como indicado anteriormente.

Por outro lado, a segunda fase é composta por diversos picos que representam o valor máximo de carga de 24 N. Estes picos acontecem exatamente nos instantes do impacto promovido pelos braços hidráulicos do camião, o que seria expectável.

De seguida, procedeu-se ao cálculo da tensão de corte aplicada neste parafuso M4, assumindo um coeficiente de segurança de 2,5:

$$\text{Carga aplicada: } T_{\text{corte, parafuso}} = 24 \text{ N}$$

$$\text{Tensão cedência: } \sigma_c = 206,8 \text{ MPa}$$

$$\text{Coeficiente de segurança: } c.s. = 2,5$$

$$\text{Tensão admissível: } \sigma_{\text{adm}} = \sigma_c / c.s. = 206,8 / 2,5 = 82,72 \text{ MPa}$$

$$\text{Tensão de corte admissível: } \tau_{\text{adm}} = \sigma_{\text{adm}} / \sqrt{3} = 82,72 / \sqrt{3} = 47,8 \text{ MPa.}$$

$$\text{Área transversal do parafuso (diâmetro de 4 mm): } A = \pi \times r^2 = \pi \times (4/2000)^2 = 1,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{Tensão de corte aplicada: } \tau = T_{\text{corte, parafuso}} / A = 24 / (1,25 \times 10^{-5}) = 1,9 \text{ MPa}$$

Como a tensão de corte aplicada no parafuso é muito inferior à tensão de corte admissível, o pino está bem dimensionado e apto para operar nas condições impostas.

De seguida, verificou-se a carga aplicada nos parafusos do sensor RADAR.

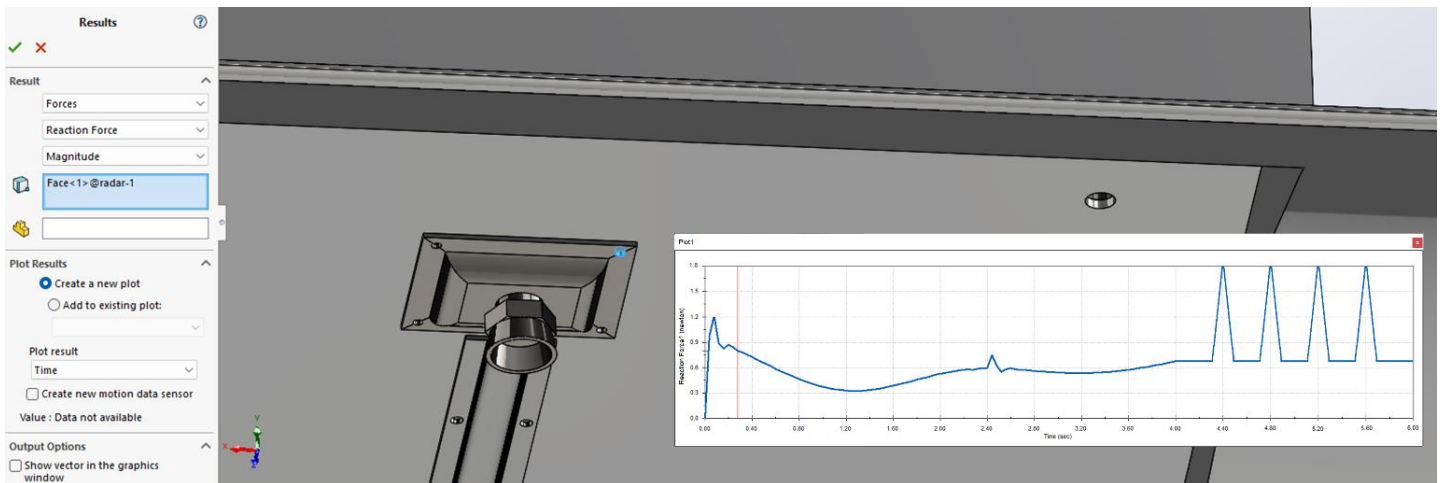


Figura 110 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação do sensor RADAR em função do tempo

Da mesma forma, este gráfico desenvolve-se em duas fases, como indicado no caso de estudo anterior.

Como seria expectável, como o pino de fixação do sensor de RADAR apenas deve suportar o peso do sistema RADAR, a aceleração gravítica e a aceleração reduzida produzida pelo movimento dos braços hidráulicos, a carga aplicada neste parafuso é de no máximo 1,2 N na primeira fase. Por outro lado, na segunda fase, o valor máximo é de 1,8 N.

Estando projetado para este sistema de fixação parafusos M4, é mais que suficiente para suportar estas cargas, já que tem a mesma secção e material do parafuso de fixação da célula de carga, e a força aplicada ao parafuso é inferior.

De seguida, verificou-se os outros parafusos de fixação para os restantes elementos:

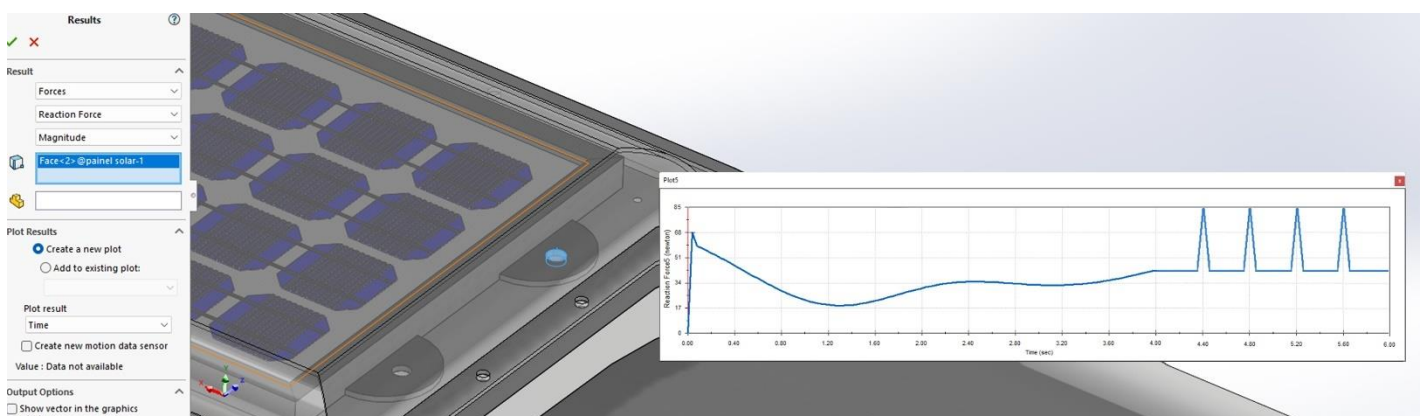


Figura 111 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação do painel solar em função do tempo

Verificou-se que em relação aos parafusos de fixação da proteção de acrílico do painel solar, o gráfico da força aplicada em função do tempo é igual à força aplicada aos parafusos que fixam o próprio painel solar.

Por esse motivo, não se colocou o gráfico de distribuição da força em função do tempo, já que o seu comportamento é igual, por se tratar de zonas muito perto uma da outra (indicando que a transferência de força para os parafusos, em resposta ao movimento do contentor, é igual).

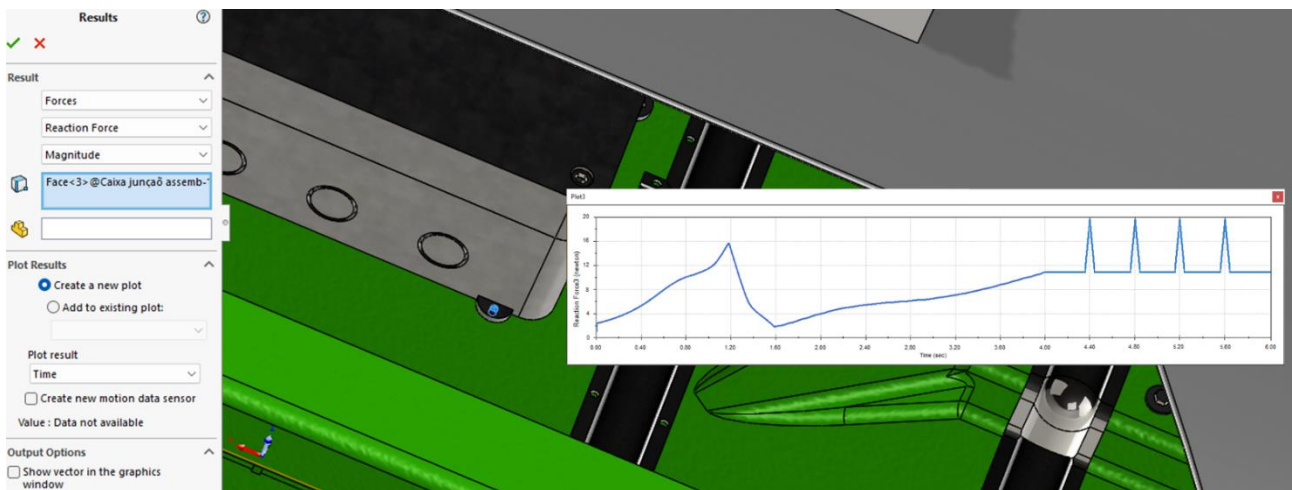


Figura 112 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação da caixa de ligações em função do tempo

De seguida, procedeu-se à análise das cargas aplicadas aos parafusos de fixação das calhas de proteção para os cabos elétricos.

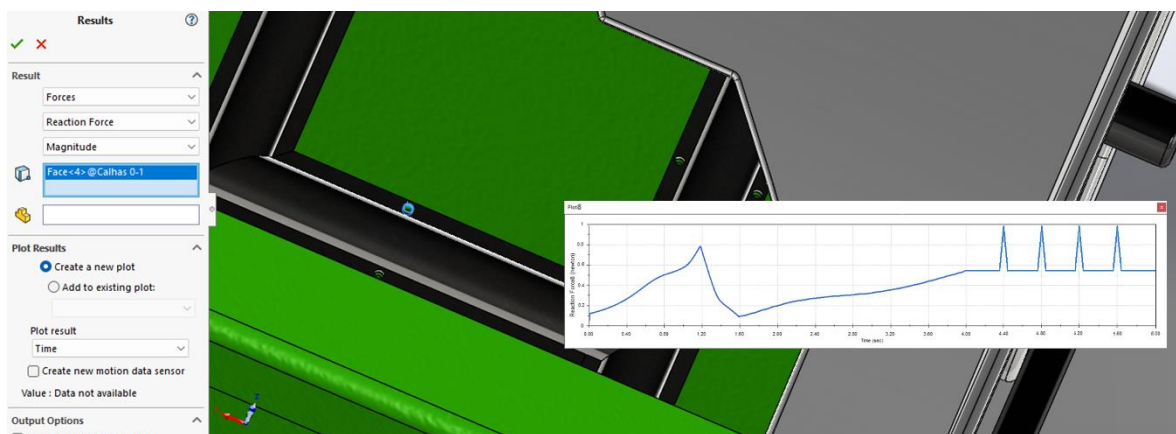


Figura 113 - Análise dinâmica - Força aplicada nos parafusos de fixação da calha horizontal em função do tempo

Como se pode verificar na figura anterior, o comportamento do parafuso de fixação da calha horizontal é exatamente igual ao comportamento do parafuso de fixação da caixa de ligação. Isto deve-se ao facto de o componente que transmite a carga a estes parafusos é o mesmo, ou seja, o corpo do contentor.

Por outro lado, nota-se que a força aplicada é muito inferior. Isto deve-se ao facto da calha horizontal estar a ser fixa não por 4 parafusos (como é o caso da caixa de ligações), mas sim por 18 parafusos (18 em cada calha horizontal), distribuindo a carga total aplicada por vários parafusos.

Para a calha vertical e calha curva instalada na parte interior da tampa, verificou-se que o mesmo se aplicava, embora com valores de força muito inferiores, o que seria expectável.

Na seguinte tabela, verifica-se a carga aplicada a cada parafuso de fixação de cada elemento, de forma a comprovar que todos os parafusos estão bem seleccionados e aptos para operar dentro do contentor, mesmo submetidos aos movimentos originados pelo camião afeto ao despejamento dos contentores.

*Tabela 24 - Tensão de corte aplicada nos parafusos de fixação - Cálculo*

Item	Carga máxima aplicada F [N]	Tensão admissível, $\sigma_{adm}$ [MPa]	Tensão de corte admissível, $\tau_{adm}$ [MPa]	Área da secção do parafuso, A [mm <sup>2</sup> ]	Tensão de corte aplicada, $\tau$ [MPa]
Parafuso de fixação ISO 7045 M4x6 (célula de carga)	24	82,7	47,8	12,6	1,9
Parafuso de fixação ISO 7045 M4x4 (sensor RADAR à tampa)	1,8	82,7	47,8	12,6	0,1
Parafuso de fixação ISO 7380 M12x16 (painel fotovoltaico e tampa)	85	82,7	47,8	113,1	0,8
Parafuso de fixação ISO 7380 M8x10 (tampa e cobertura do painel fotovoltaico)	85	82,7	47,8	50,3	1,7
Parafuso de fixação ISO 7045 M5x8 (caixa de eletrónicos ao contentor)	20	82,7	47,8	19,6	1,0
Parafuso de fixação ISO 7045 M6x6 (calhas horizontais e corpo do contentor)	1	82,7	47,8	28,3	0,0
Parafuso de fixação ISO 7045 M6x6 (calha vertical e corpo do contentor)	2,2	82,7	47,8	28,3	0,1
Parafuso de fixação ISO 7045 M5x6 (calhas e a tampa)	1,4	82,7	47,8	19,6	0,1

Como se pode verificar através da tabela anterior, o valor da tensão de corte aplicada é muito inferior que a tensão de corte admissível, em todos os casos.

Conseguimos por isso garantir que a quantidade e tipo de parafusos selecionados para a fixação dos diversos sistemas do contentor inteligente estão bem selecionados para as cargas em causa.

## 7.4 Análise Dinâmica – Peças Novas

Este capítulo tem como objetivo analisar se as cargas aplicadas às peças novas são inferiores que as cargas admissíveis, de forma a concluir que as peças estão bem dimensionadas e aptas para operar nas condições impostas. Esta análise vai ser feita para todas as dez peças construídas.

Estando definidos os movimentos do contentor na simulação *Motion* (definido na análise do capítulo anterior), verificou-se a tensão aplicada em cada peça.

De seguida, apresentam-se os gráficos das tensões provocadas peças cargas estáticas provenientes do peso dos resíduos urbanos e pelas cargas dinâmicas oriundas do despejamento do contentor.

Ainda em ambiente *Motion*, usou-se a função ‘Isolate’ para isolar a peça que se quer analisar. De seguida, executou-se a função ‘Stress Plot’, para obter o gráfico da tensão de von Mises.

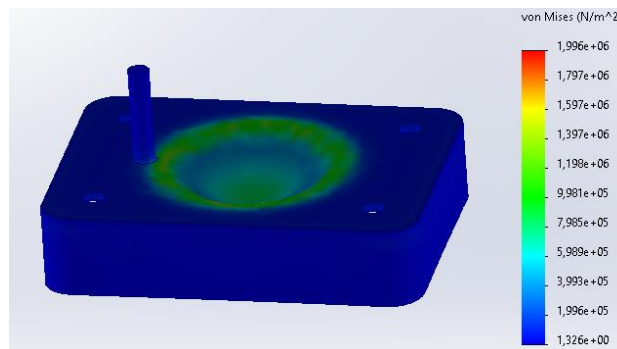


Figura 114 - SolidWorks Motion - Peça nº1 - Tensão de von Mises aplicada

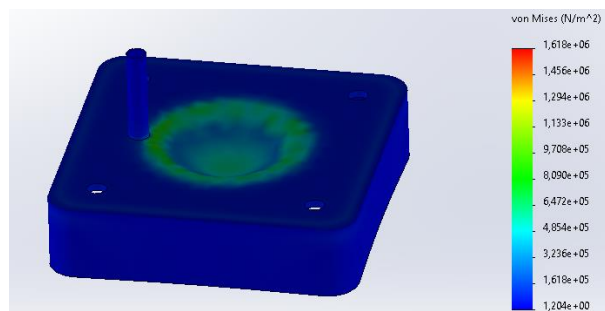


Figura 115 - SolidWorks Motion - Peça nº2 - Tensão de von Mises aplicada

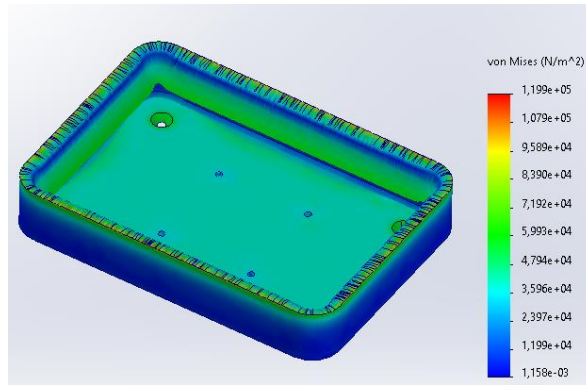


Figura 119 - SolidWorks Motion - Peça nº3 - Tensão de von Mises aplicada

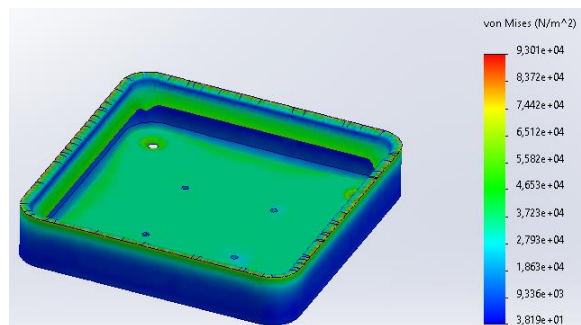


Figura 118 - SolidWorks Motion - Peça nº4 - Tensão de von Mises aplicada

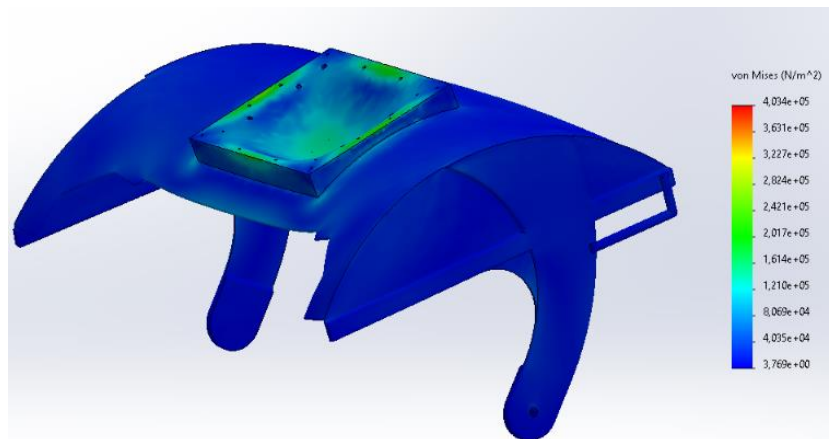


Figura 117 - SolidWorks Motion - Peça nº5 - Tensão de von Mises aplicada

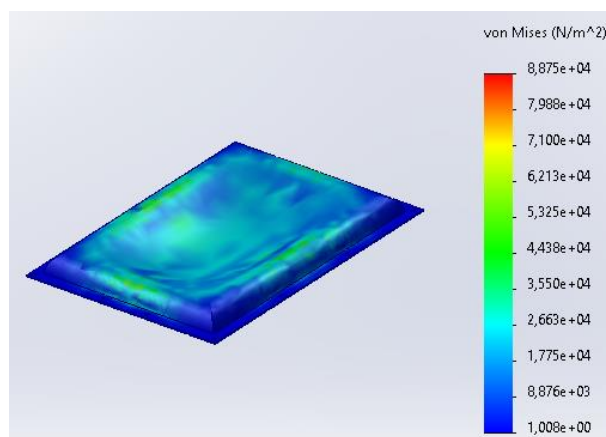


Figura 116 - SolidWorks Motion - Peça nº6 - Tensão de von Mises aplicada

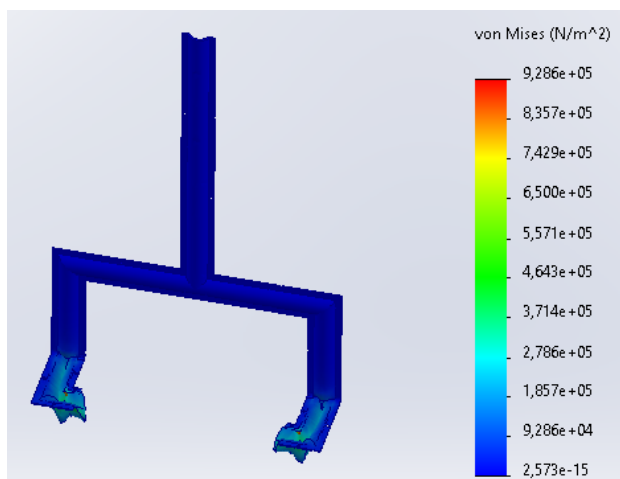


Figura 122 - SolidWorks Motion - Peça n<sup>o</sup>7 - Tensão de von Mises aplicada

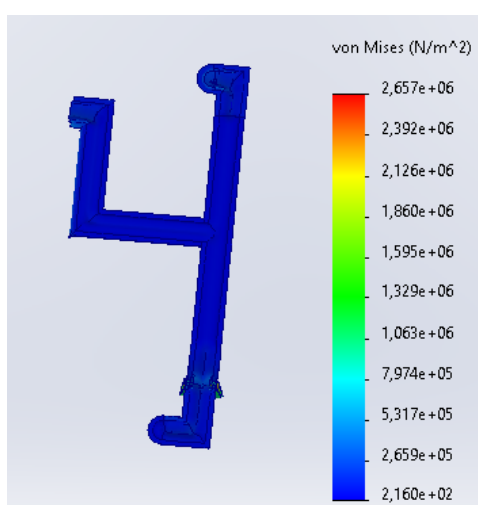


Figura 121 - SolidWorks Motion - Peça n<sup>o</sup>8 e 9 - Tensão de von Mises aplicada

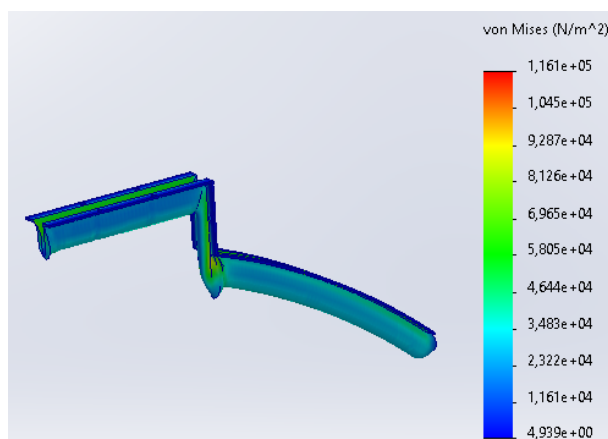


Figura 120 - SolidWorks Motion - Peça n<sup>o</sup>10 - Tensão de von Mises aplicada

Após se ter extraído todos os gráficos aplicáveis de cada peça, fez-se uma comparação com os valores de tensão retirados do software e da tensão de cedência de cada material.

*Tabela 25 - Tensão de cedência vs Tensão von Mises aplicadas para cada peça*

Número da peça	Tensão de Cedência do material [MPa]	Tensão de von Mises [MPa]
1	235	1,99
2	235	1,62
3	235	0,12
4	235	0,09
5	35	0,40
6	45	0,09
7	275	0,93
8	275	2,66
9	275	2,66
10	275	0,12

Como se pode observar através da tabela anterior, a tensão aplicada a cada peça, proveniente das cargas estáticas e dinâmicas provocadas pelo movimento de despejamento e impactos dos braços hidráulicos do veículo afeto ao despejamento, é muito inferior à tensão de cedência de cada material, já definido no capítulo 6.

Isto permite concluir que todas as peças estão bem dimensionadas no que diz respeito às espessuras selecionadas, e por esse motivo aptas para as condições de serviço às quais estarão sujeitas.

## Capítulo 8. Conclusões

O principal objetivo desta dissertação foi realizar o estudo e dimensionamento de um contentor inteligente, que consiga medir o nível de enchimento e o peso dos respetivos resíduos alocados no mesmo. Desta forma, poder-se-á controlar a quantidade de resíduos no Campus do ISEL e traçar metas de redução de resíduos, diminuindo o impacto no ambiente.

O estudo efetuado demonstra não só que o sistema de monitorização do nível de enchimento de contentores é tecnologicamente concebível, mas também que é viável do ponto de vista comercial e energético.

O sistema desenvolvido no decurso deste trabalho é aplicável em qualquer contentor semelhante. Através de uma plataforma on-line, acessível através de qualquer dispositivo com ligação à Internet, o sistema permitirá monitorizar em tempo-real o nível de enchimento e o peso de todos os contentores dos contentores de resíduos urbanos (câmara municipal ou empresa privada).

Servindo-se de um painel solar de pequenas dimensões, este sistema é autossuficiente do ponto de vista energético. O sistema é ainda composto por um sensor RADAR instalado na parte interna da tampa do contentor, um módulo GSM para comunicação do estado dos contentores via TCP-IP, uma placa de processamento com microcontrolador, a bateria que é alimentada pelo painel solar e um retificador. Estes últimos elementos estão instalados dentro de uma caixa que cumpre com os requisitos de *IP Ingress Protection* adequados para impedir passagem de líquidos ou pó para dentro da caixa. Por outro lado, também os sensores possuem proteção adequada contra a entrada de pó e líquidos.

Apesar disto, um dos problemas é que, como o painel solar ficará instalado na tampa do contentor, estará ao alcance de vandalismos e furtos. O mesmo acontece com o sensor RADAR por dentro da tampa.

Sendo o objetivo deste trabalho o dimensionamento de um contentor autossustentável, com a presença de um painel solar, a única hipótese seria, naturalmente, a instalação dele numa posição em que fosse mais favorável em termos de captação energética (radiação solar), neste caso no topo do contentor de monitorização de resíduos.

O facto do sistema utilizar exclusivamente a luz solar no seu processo de alimentação é uma garantia de ecologia e autossustentabilidade.

Após se estudar a concepção do contentor e proceder-se à seleção de todos os componentes integrantes no conjunto do contentor de monitorização, passou-se à fase de seleção de materiais e processos de fabrico para as peças novas e alterações nas peças existentes.

Inicialmente selecionou-se as alterações a aplicar no contentor existente, nomeadamente um corte na tampa do contentor e furações no fundo do contentor.

De seguida, para as peças novas, estudou-se os diversos tipos de materiais tendo em conta os objetivos de cada peça, bem como as condições de serviço.

Para as peças nº1, 2, 3 e 4 foi selecionado um aço galvanizado grau S235JR, por ser um aço de baixo custo, resistente à corrosão e com propriedades mecânicas adequadas para as condições de serviço. O processo de fabrico selecionado foi corte por arranque de apara, calandragem das laterais com cantos curvos, furação e soldadura, por ser um processo menos dispendioso, já que o volume de peças a fabricar é baixo.

Para a peça nº5, foi selecionado o material polietileno de alta densidade, por ser um material rígido, de baixa densidade, com alta resistência à corrosão e com uma temperatura de exposição máxima adequada para o seu serviço. O processo de fabrico selecionado foi corte por arranque de apara, furação e soldadura, por ser um processo menos dispendioso, já que o volume de peças a fabricar é baixo.

Para a peça nº6, foi selecionado o material PMMA, mais conhecido como acrílico, por se tratar de um material rígido, com alta resistência a raios ultravioleta e com um nível de transmitância elevado. O processo de fabrico selecionado foi corte por arranque de apara e furação, por ser um processo menos dispendioso, já que o volume de peças a fabricar é baixo.

Para as peças nº7, 8, 9 e 10, foi selecionado um aço galvanizado grau S275JR, por ser um aço de baixo custo, resistente à corrosão e com propriedades mecânicas adequadas para as condições de serviço. O processo de fabrico selecionado para o fabrico destas peças foi a quinagem, corte por arranque de apara, furação e soldadura.

Para todas as alterações ao contentor existente foram produzidos desenhos técnicos, de forma a ficar bem definido os locais das alterações. Desenhos técnicos também foram produzidos para as novas peças que devem ser fabricadas e instaladas no contentor.

De seguida, passou-se à fase de modelação em ambiente 3D e a respetiva análise mecânica.

Ao se estar a introduzir elementos sensíveis num contentor como os sensores e os restantes elementos eletrónicos, dever-se-á verificar se estes podem estar sujeitos às cargas aplicadas diretamente no contentor e transmitida para os mesmos, nos atos de despejamento do contentor.

Dessa forma, para simular a realidade, colocou-se o modelo sob carga, de forma a obter as acelerações impostas pelo movimento criado pelo camião no contentor. Depois, verificou-se se estes valores de resistência ao choque são ou não superiores aos valores indicados para cada sensor, definidos pelos respetivos fabricantes.

Começou-se pela modelação individual de cada componente, incluindo todos os sensores seleccionados, através dos desenhos incluídos nos respetivos *data sheets*, seguida da montagem de subconjuntos. Após todos os componentes estarem montados em subconjuntos, fez-se uma última montagem, obtendo o conjunto do contentor finalizado.

De seguida procedeu-se à análise mecânica, que se divide em duas fases. Inicialmente começou-se pela análise estática onde foi efetuado o estudo da malha, comprovando que a malha seleccionada é suficientemente fina para se obter dados mais precisos. Neste caso, verificou-se que o modelo 3D tem um comportamento semelhante ao de um contentor real.

Nesta fase definiu-se as cargas aplicadas ao contentor e as relações de fronteira necessárias. Aplicou-se a força do peso dos resíduos urbanos no fundo do contentor, e fixou-se 4 apoios simples na estrutura de fixação das rodas. Por se tratar de 4 apoios, um apoio por cada roda, é expectável que a carga calculada para cada roda seja  $\frac{1}{4}$  da força provocada pelo peso dos resíduos urbanos no interior do contentor.

Para uma primeira análise, foi criada uma malha padrão, nem muito fina nem muito grosseira. Executou-se o programa, tendo obtido valores que se afastavam da realidade. O desvio relativo entre o valor calculado e o valor expectável para a carga aplicada nos apoios fixos foi de 24%. Concluiu-se que a malha não estava fina o suficiente, e dessa forma, fez-se uma nova iteração, diminuindo a área de cada tetraedro que compõem a malha para metade. À terceira iteração, o desvio relativo entre o valor calculado e o valor expectável para a carga aplicada nos apoios fixos foi de 0,2%, valor que é aceitável.

Estando a malha bem definida, procedeu-se à análise dinâmica do conjunto.

Como indicado anteriormente, de forma a obter as acelerações impostas aos sensores, foram impostos movimentos que simulam a ação de despejamento do contentor pelo camião.

A CML permitiu o acesso à visualização de um circuito de despejamento de contentores no interior do ISEL, tendo sido possível estudar o sistema de fixação do camião ao contentor, bem como o próprio movimento de despejamento do contentor.

Após se impor ao modelo os movimentos para simular a realidade, verificou-se que o pico de aceleração tem origem no final da operação de despejamento, quando ocorrem movimentos bruscos criados pelo operador, de forma a retirar os restantes resíduos que não foram despejados com sucesso apenas com a ação da gravidade.

Depois, verificou-se se estes valores de resistência ao choque (medido em função da aceleração gravítica) são ou não superiores aos valores indicados para cada sensor, definidos pelos respetivos fabricantes.

Para todos os elementos, concluiu-se que todos estavam bem seleccionados, já que a resistência ao choque definida pelo respetivo fabricante do elemento é sempre superior ao valor calculado com recurso ao *SolidWorks Motion*.

De seguida, procedeu-se ao cálculo ao estudo dos elementos de fixação dos sensores, calhas e caixa de eletrónicos. Nesta etapa, com recurso ao *SolidWorks Motion*, verificou-se a carga aplicada em cada parafuso.

Tendo em conta o diâmetro e o material de cada parafuso, verificou-se que a tensão de corte aplicada em cada parafuso é inferior ao valor admissível, para todos os casos, corroborando a seleção e dimensionamento dos parafusos.

No final, foram ainda analisadas as tensões aplicadas em cada uma das peças novas, de forma a comparar estas tensões com o valor da tensão de cedência de cada material. Verificou-se que o valor da tensão de *von Mises* aplicada em cada peça é muito inferior ao valor da tensão de cedência do material.

Podemos então concluir que as peças novas estão bem dimensionadas no que diz respeito às espessuras seleccionadas, e por esse motivo aptas para as condições de funcionamento para a qual estarão sujeitas.

Neste projeto não foi abordado a parte prática de montagem de um protótipo, testagem de ligações e programação interna do microprocessador, podendo este projeto ser melhorado futuramente, de forma a poder-se instalar um modelo no Campus do ISEL.

# Capítulo 9. Proposta de Melhoria e Trabalhos Futuros

Como proposta de melhoria desta dissertação, propõem-se os seguintes pontos:

- Considerar na simulação dinâmica os efeitos associados ao impacto do contentor inteligente com o solo, provocado pelo veículo de recolha de resíduos;
- Estimativa de custo global de materiais e serviços, incluindo mão obra necessária e manutenção básica anual;
- Execução do programa informático para ser inserido na placa de processamento, que definirá o ritmo das leituras entre sensores, intervalos de tempo de envio de informação para o módulo GSM e todas as ações de controlo dos componentes eletrónicos;
- Criação de um servidor / plataforma on-line, onde a informação relativamente ao nível de enchimento e peso dos contentores vai ser disponibilizada para os operadores da Câmara Municipal;
- Montagem de um protótipo real para ser instalado no Campus do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Verificação de ligações e testes reais da transmissão de informação para a plataforma on-line.

# Referências

- [1] T. B. P. Com Eurostat (2001). "The Development of Waste Indicators at European Union Level: some recent Eurostat experiences". Conference of European Statisticians, Joint ECE/Eurostat Wok Session on Methodological Issues of Environment Statistics, 1-4 October. Ottawa, Canada
- [2] Taylor, D. (1999). Mobilizing resources to collect municipal solid waste: illustrative East Asian case studies. *Waste Management & Research*, 17, 263-274.
- [3] Decisão n.º 1386/2013/EU, de 20 de Novembro, do Parlamento Europeu e do Conselho – 7º Programa de Acção da União em Matéria de Ambiente. Viver bem, dentro dos limites do nosso planeta. *Jornal Oficial da União Europeia*, 28 de Dezembro de 2013. Bruxelas.
- [4] Ristić, G. (2005). Basic Indicators of Integrated Solid Waste Mangement. *FACTA UNIVERSITATIS, Series: Working and Living Environmental Protection*, 2(5), 383 - 392.
- [5] EuroStat. (04 de 03 de 2013). Stat 13/33. (EU, Ed.) Eurostat newsrelease - Environment in the EU27.
- [6] El-Fadel, M., Findikakis, A., & Leckie, J. (1997). Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. *Journal of Environmental Management*, 50, 1–25.
- [7] Rejane Pieratti, presidente da ONG - Organização Não-Governamental Reciclagem, AB Ambiente Brasil
- [8] Portaria n.º 187-A/2014, de 17 de setembro, do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, *Diário da República (I Série)* n.º 179, de 17 de setembro de 2014 (aprova o PERSU 2020 - Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos para Portugal Continental).
- [9] OCDE (2011). *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, Waste –Investing in energy and resource efficiency*. November, 2011. OCDE.

- [10] APA (2012). Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990 - 2012, Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Amadora.
- [11] EEA (2013a). Managing municipal solid waste — a review of achievements in 32 European countries.
- [12] European Environment Agency, Copenhagen. EEA (2013b). Municipal Waste Management in Portugal. EEA - European Environment Agency, Copenhagen.
- [13] ERSAR (2015). Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal. Volume 1 - Caracterização do Sector de Águas e Resíduos. Lisboa.
- [14] ERSAR (2014). Regulamento tarifário do serviço de gestão de resíduos urbanos (aprovado a 17 de fevereiro de 2014).
- [15] APA (2016). Dados sobre Resíduos Urbanos.  
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=936>
- [16] PORDATA. (2015). Resíduos urbanos recolhidos selectivamente por habitante (R) nos Municípios.
- [17] Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill International Editions.
- [18] Dahlén, L. e Lagerkvist, A. (2010). Pay as you throw. Strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden. *Waste Management*, 30, 23-31.
- [19] Marques, R. C. e Simões, P. (2009). Incentive regulation and performance measurement of the Portuguese solid waste management services. *Waste Management & Research*, 27, 188–196.
- [20] Manuel Jacinto Silva Ramos  
O Efeito do Preço do Petróleo na Crise Portuguesa
- [21] Smart Containers – UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, © 2008.  
<http://smartcontainers.utad.pt>

- [22] Marco Barbosa, José Faria, Martinha Rocha, André Sousa, Prof. João Barroso.  
Smart Containers. © 2008 UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- [23] INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial, © 2009.  
<http://www.inpi.pt>
- [24] Esp@cenet – European Patent Office, © 2008.  
<http://www.espacenet.com>
- [25] Google Patents Beta, © 2009.  
<http://www.google.com/patents>
- [26] USPTO – United States Patent and Trademark Office, © 2008.  
<http://www.uspto.gov/patft/index.html>
- [27] WasteEdge, AMCS Scalable platform
- [28] Sopinal - Fábrica de Equipamentos Urbanos e Metalurgia, Lda - Contentor de polietileno MGB
- [29] Noctula - Consultores em Ambiente, acedido em Junho de 2023  
<https://noctula.pt/energia-solar/>
- [30] Certificação Energética de Edifícios, Energia Solar em Portugal  
<https://www.sce.pt/wp-content/>
- [31] Portal Energia, Painéis Solares Fotovoltaicos mais eficientes  
<https://www.portal-energia.com/paineis-solares-mais-eficientes/>
- [32] Electricidade Solar na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, © 2009.  
<http://solar.fc.ul.pt>
- [33] FF Solar – Sistemas de Energias Alternativas Portugal, Lda © 2022.  
<http://www.ffiolar.com>

- [34] Blsystems - Sistemas Solares Com Baterias De Lítio, Lda, © 2022, acessido em Junho de 2023  
<http://www.blsystems.pt>
- [35] Painel Solar solarV, modelo Enjoysolar, Polycrystalline Solar Panel, acessido em Agosto de 2023  
<https://solarv.de/en/product/polycrystalline-solar-panel-5w-12v/>
- [36] Bateria xunzel, modelo SolarX - 3 Deep cycle battery, acessido em Agosto de 2023  
<https://www.xunzel.com/inicio/solarx-3/?lang=pt-pt>
- [37] Lacroix, H.L. Van der Tempel, L. (2007)  
Thermohydroelastic properties of polymethylmethacrylate
- [38] Sensor RADAR MaxBotix, modelo MB7062 MaxSonar WR1, acessido em Agosto de 2023  
<https://maxbotix.com/products/mb7062>
- [39] Célula de Carga ZhiminSensor, modelo ZMC1, agosto de 2023  
[https://www.zhiminsensor.com/compression-load-cell-10kg-30kg-50kg-100kg-300kg\\_p83.html](https://www.zhiminsensor.com/compression-load-cell-10kg-30kg-50kg-100kg-300kg_p83.html)
- [40] Regulador de diferença de potencial MaxBotix, modelo MB7986, acessido em Agosto de 2023  
<https://maxbotix.com/products/mb7986-voltage-regulator#:~:text=Description,supplying%20power%20to%20your%20sensors.>
- [41] Microcontrolador Microchip, modelo PIC18F252, acessido em Agosto de 2023  
<https://www.microchip.com/en-us/product/pic18f252>
- [42] Placa de Processamento Microchip, modelo  $\mu$ Start for PIC, acessido em Agosto de 2023  
<https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus/pic-mcus/get-started-now>
- [43] Módulo GSM da Telit, modelo GE910-QUAD V3, acessido em Agosto de 2023  
[https://www.telit.com/wp-content/uploads/2022/05/Telit\\_GE910-QUAD\\_V3\\_Product\\_Brief.pdf](https://www.telit.com/wp-content/uploads/2022/05/Telit_GE910-QUAD_V3_Product_Brief.pdf)

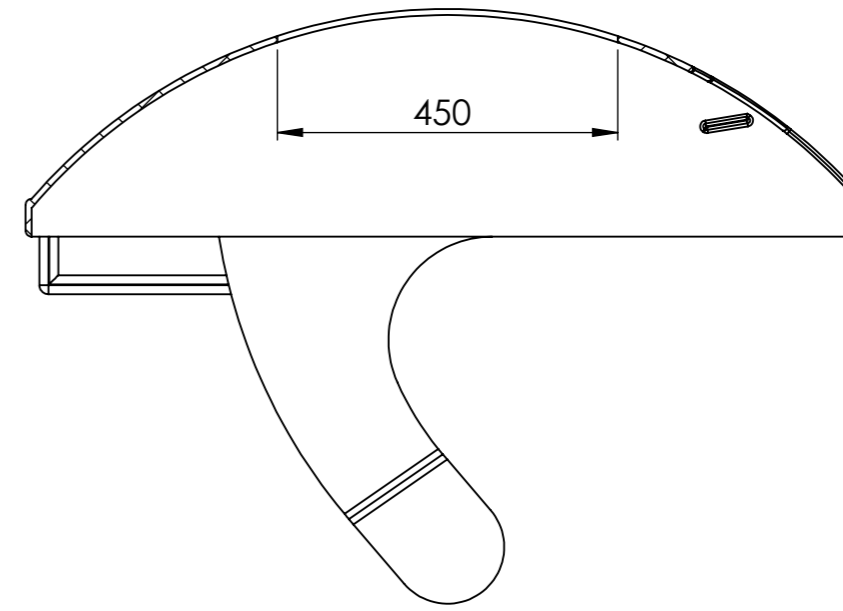
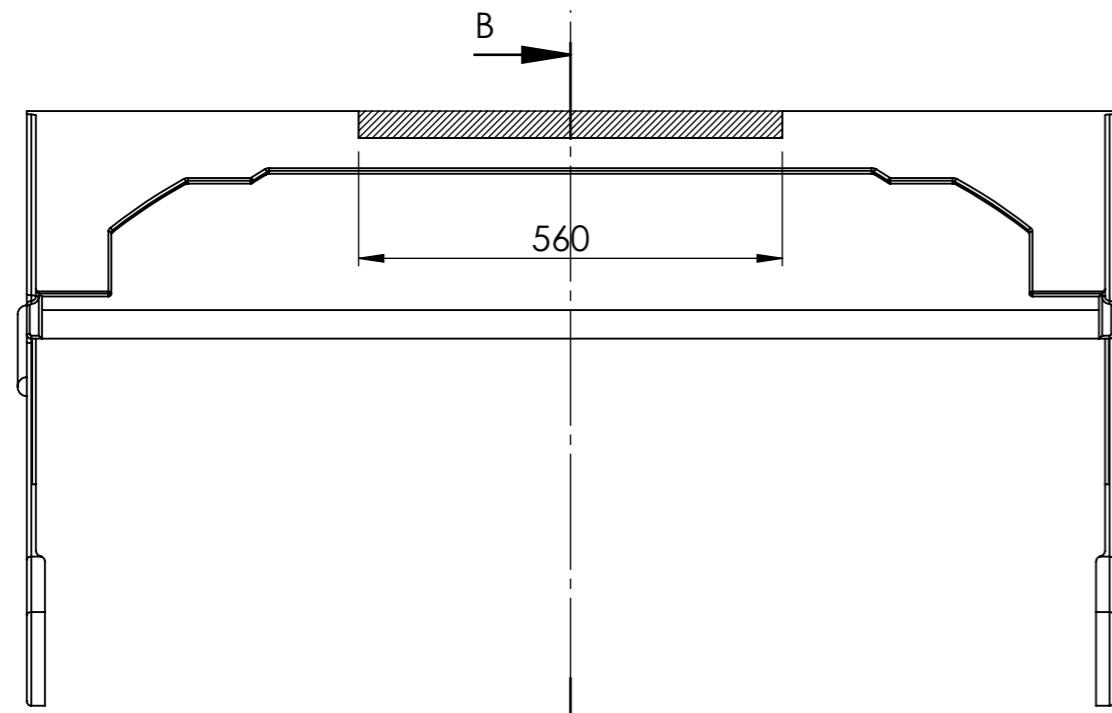
[44] Regulador da bateria STECA, modelo SolSum 6.6C, acessado em Agosto de 2023

<https://www.steca.com/index.php?Steca-SolsumC-en>

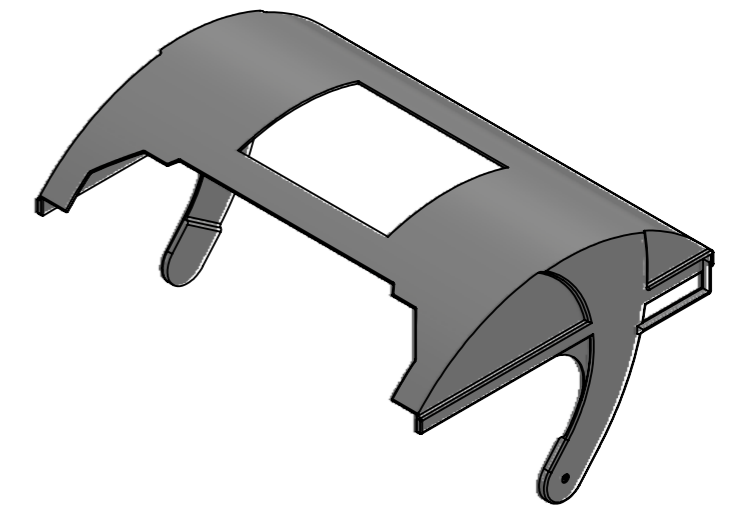
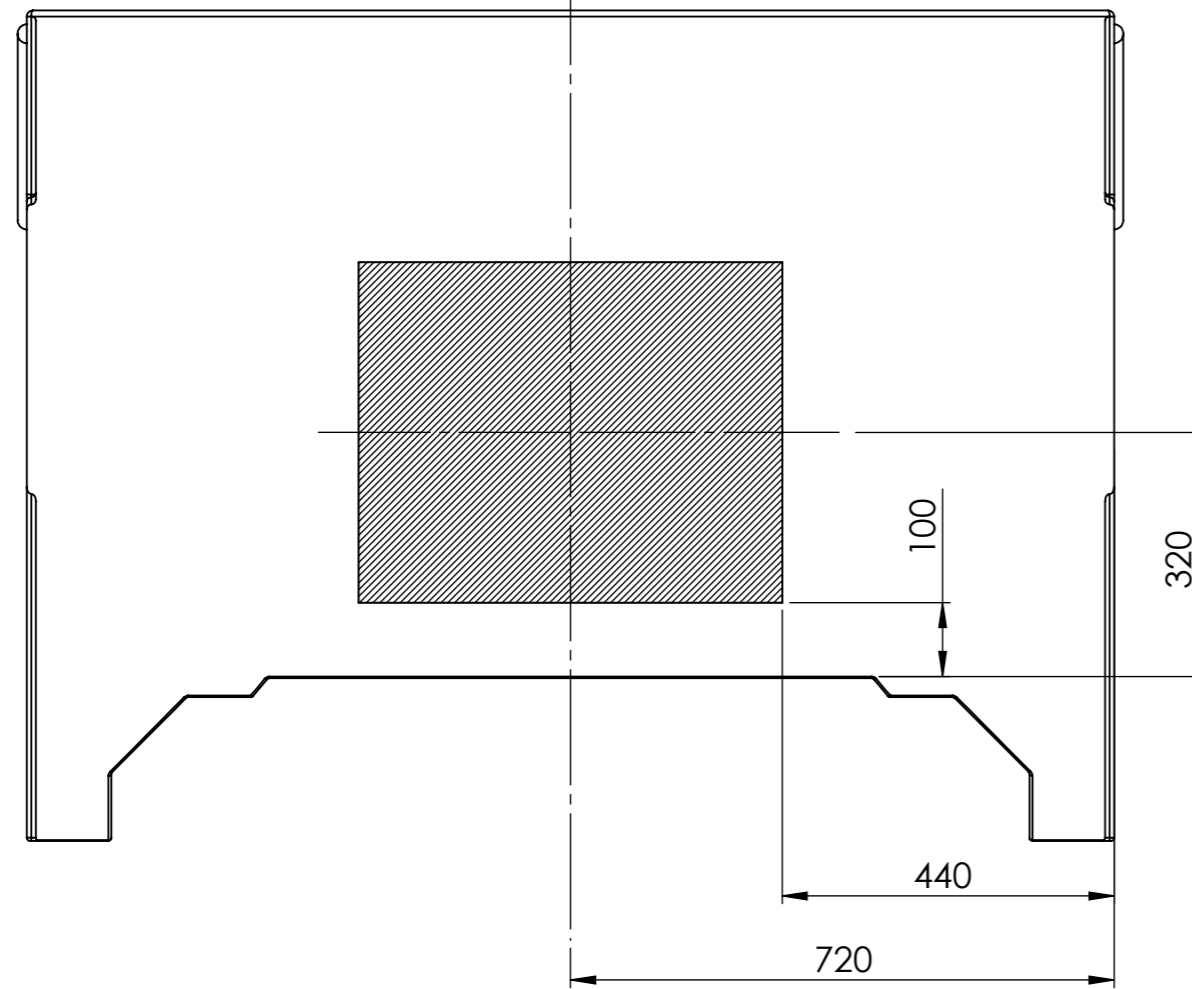
[45] Cabo de sinal / alimentação retrátil, acessado em Agosto de 2023

<https://www.labfacility.com/cable-wire/prt-sensor-cables-wires-wires/retractable-curly-lead.html>

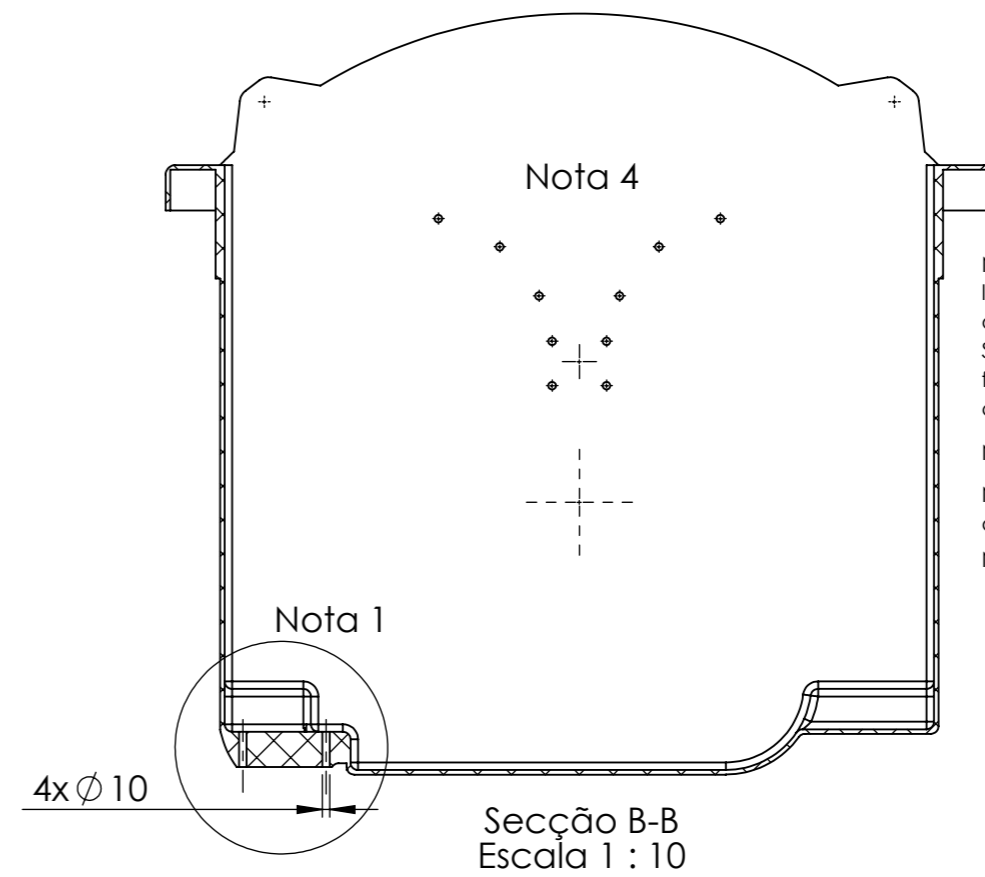
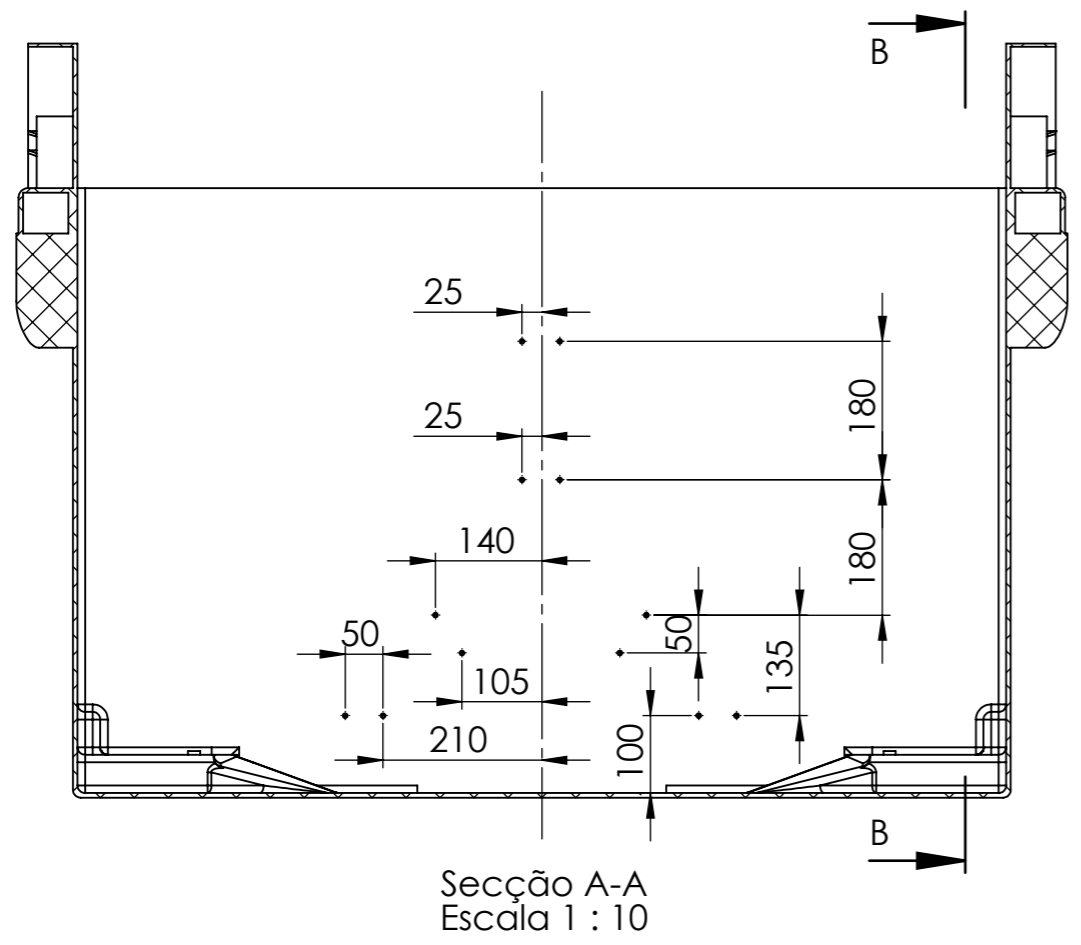
# ANEXO A – Desenhos Técnicos de Alterações



SECTION B-B  
SCALE 1 : 10



	ESCALA:	1:10	NOME	DS	DATA	13/08/2023		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>		
	MATERIAL:	Polietileno de Alta Densidade	DESENHOU	VERIFICOU	APROVOU	CONJUNTO:		Tampa do Contentor		
TOLERÂNCIA GERAL:	ISO 2768	NOTAS:	Daniel Santos A44940			COMPONENTE:	Tampa - corte			
ACABAMENTOS:		DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:					
		<b>A3</b>	01.005.001	1/1	18700	A				

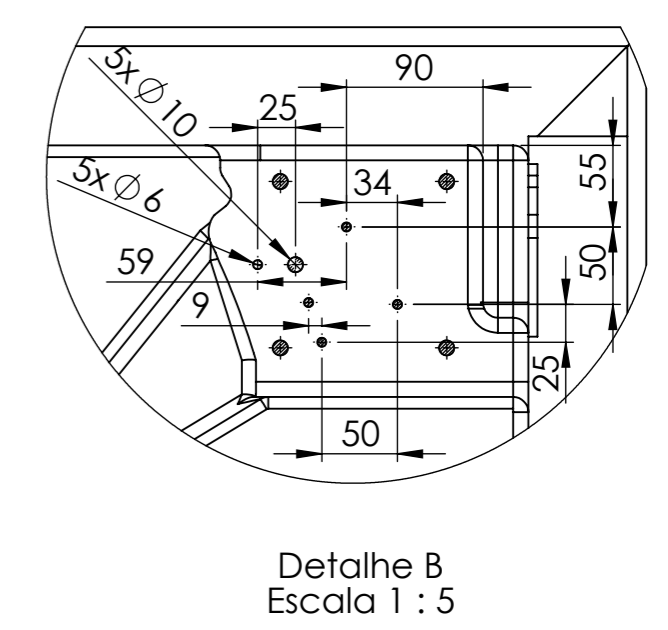
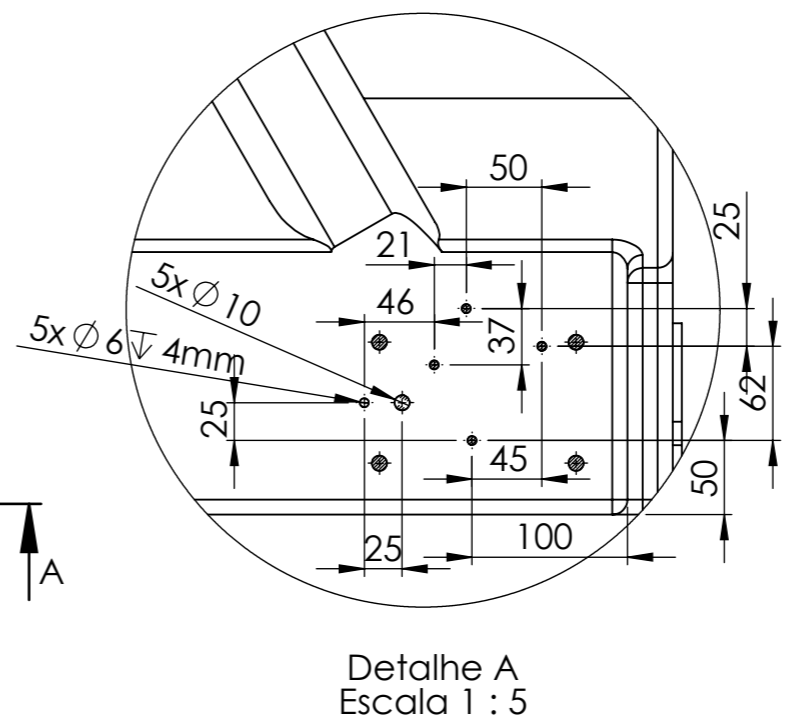
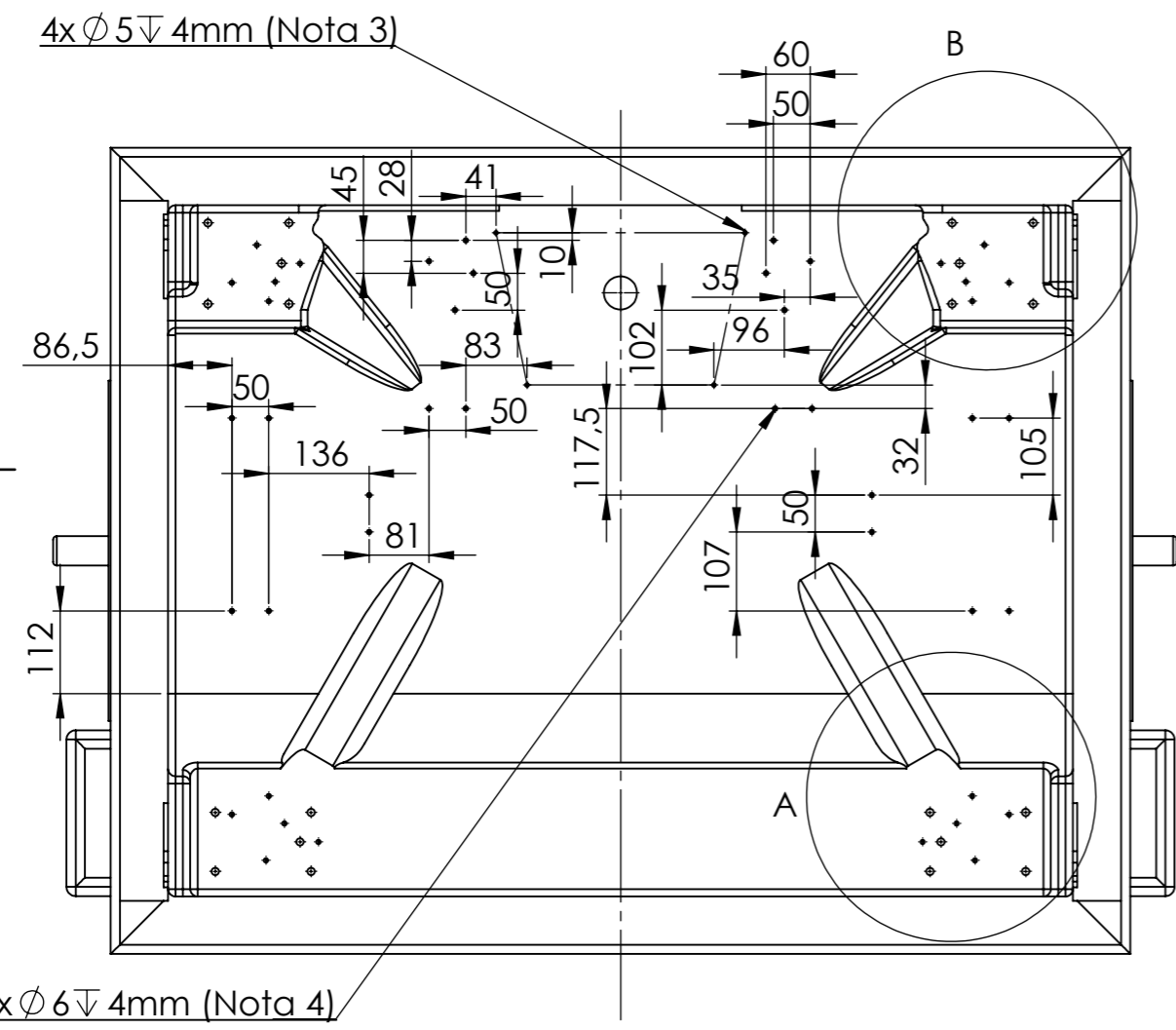


Nota 1: Estes furos são existentes, para ligação aparafusada entre as rodas e o contentor (4 parafusos por roda). Será apenas necessário atravessar o furo até se atingir o interior do contentor.

Nota 2: Furos existentes.

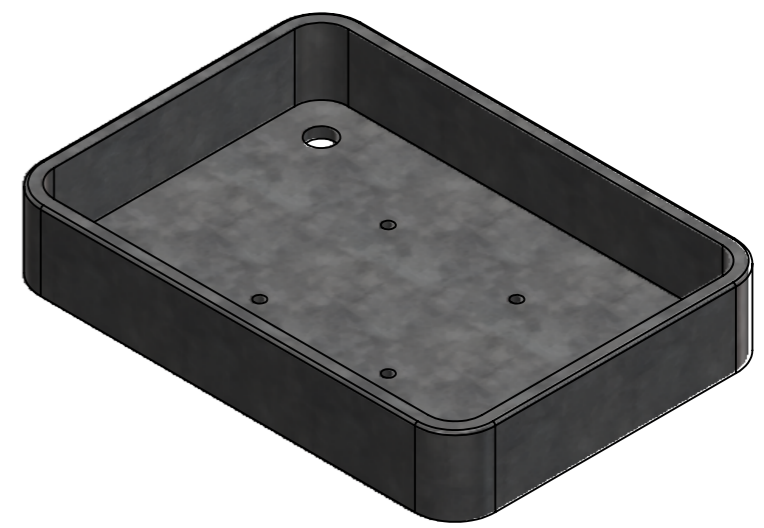
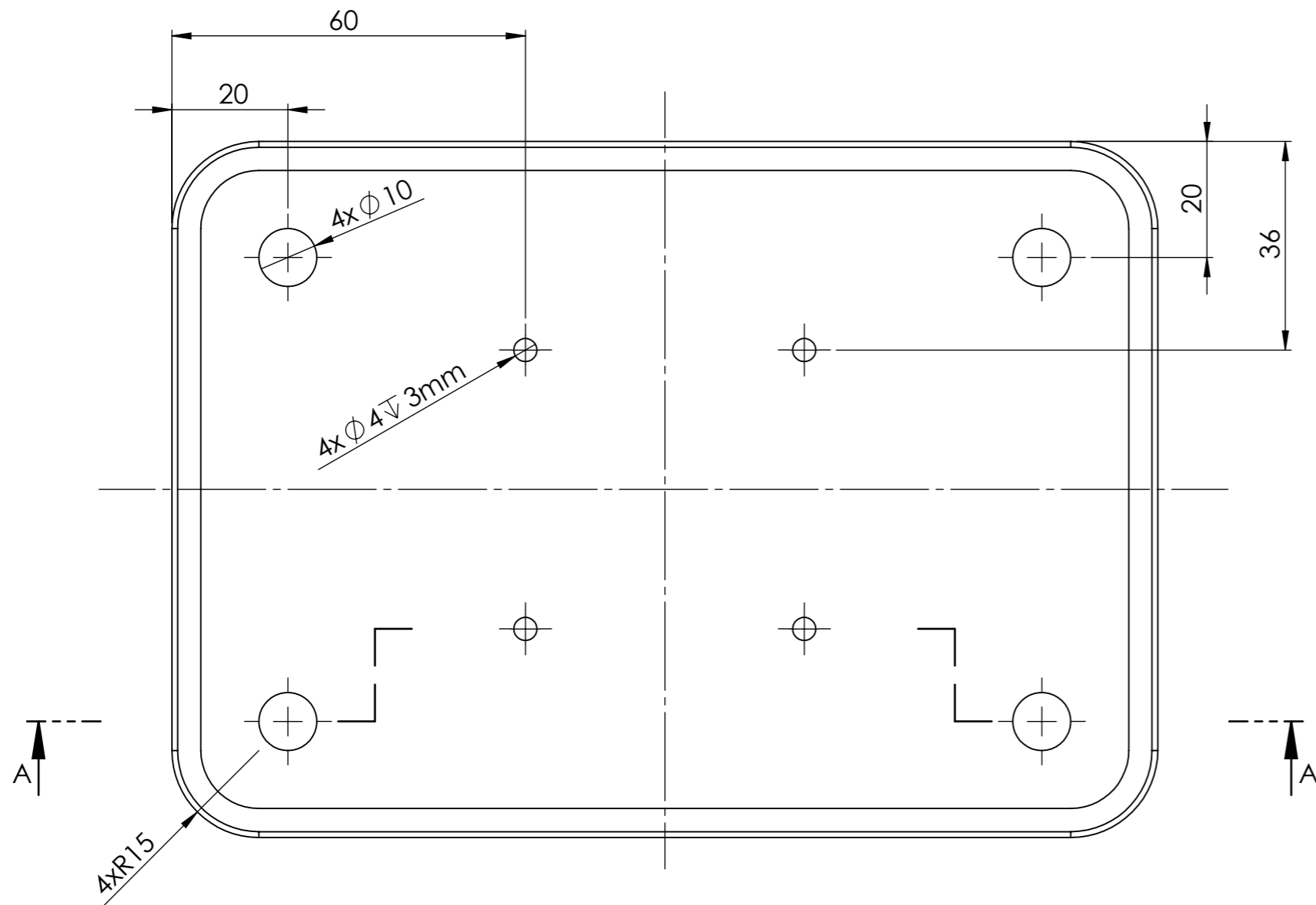
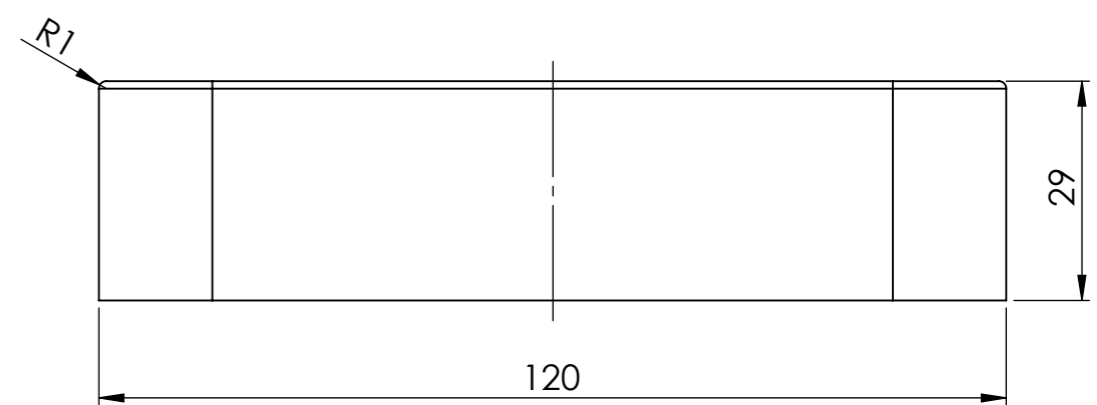
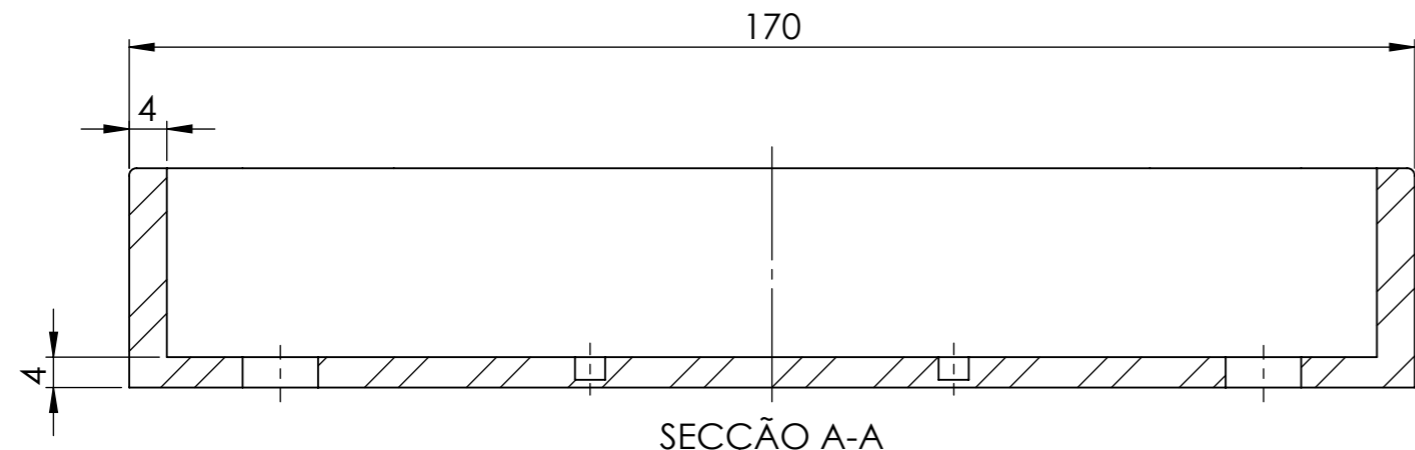
Nota 3: 4 furos para fixação da caixa de ligações no interior do contentor.

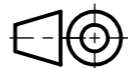
Nota 4: Furos para fixação de calhas.

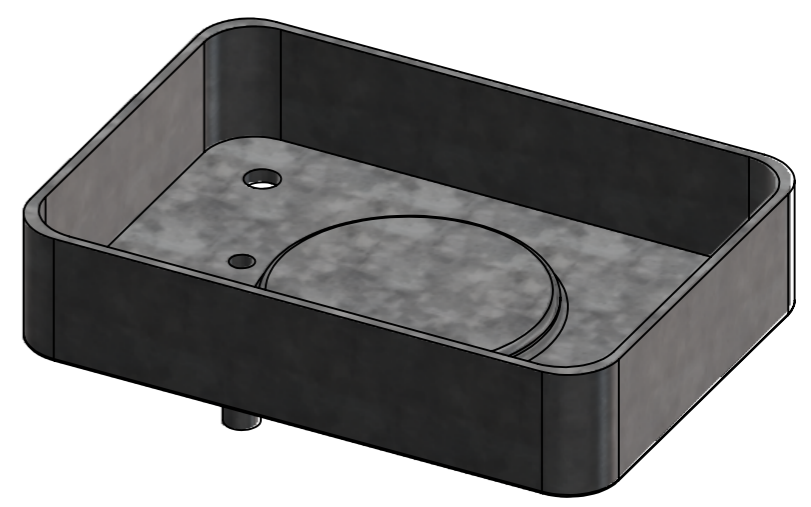
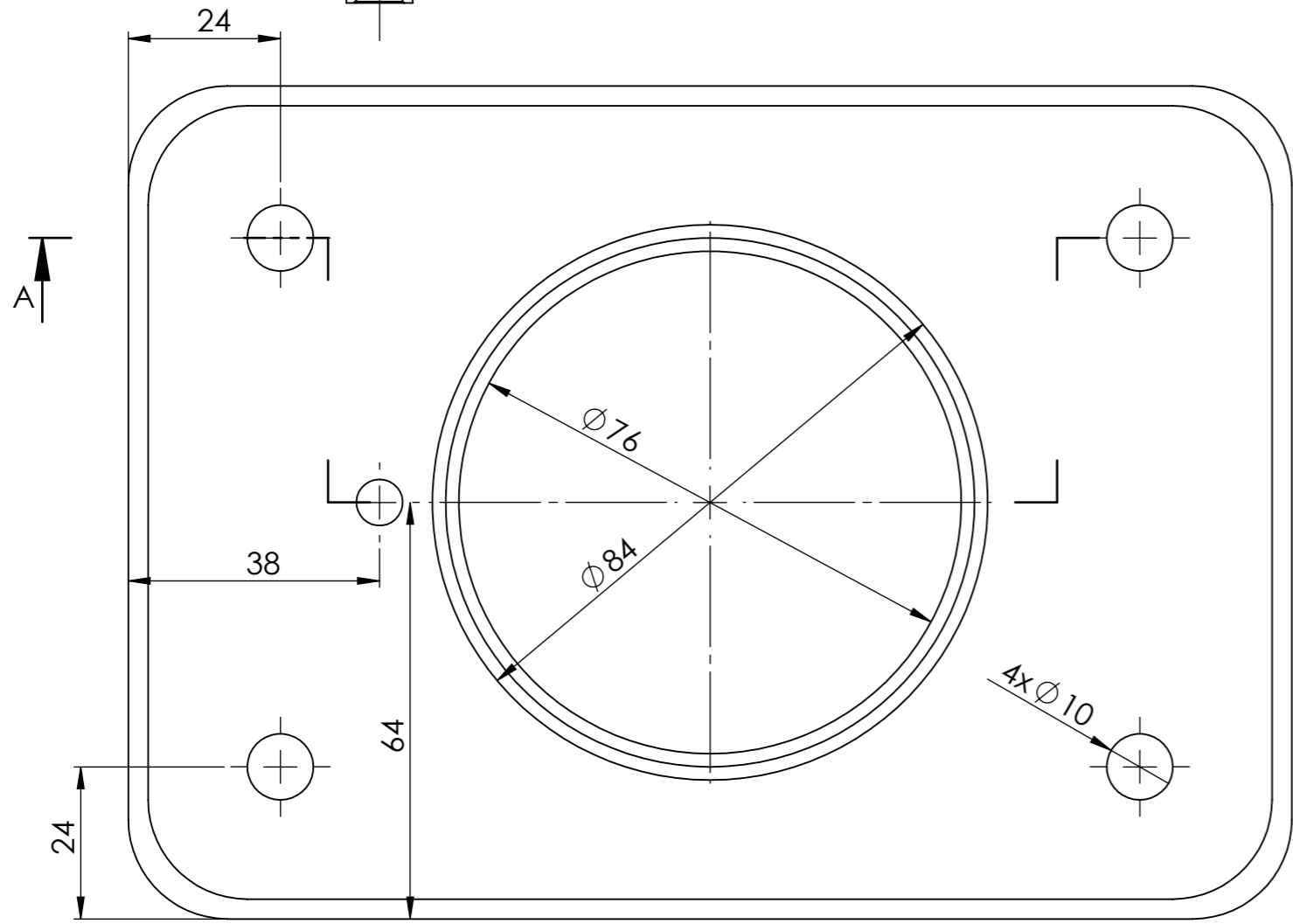
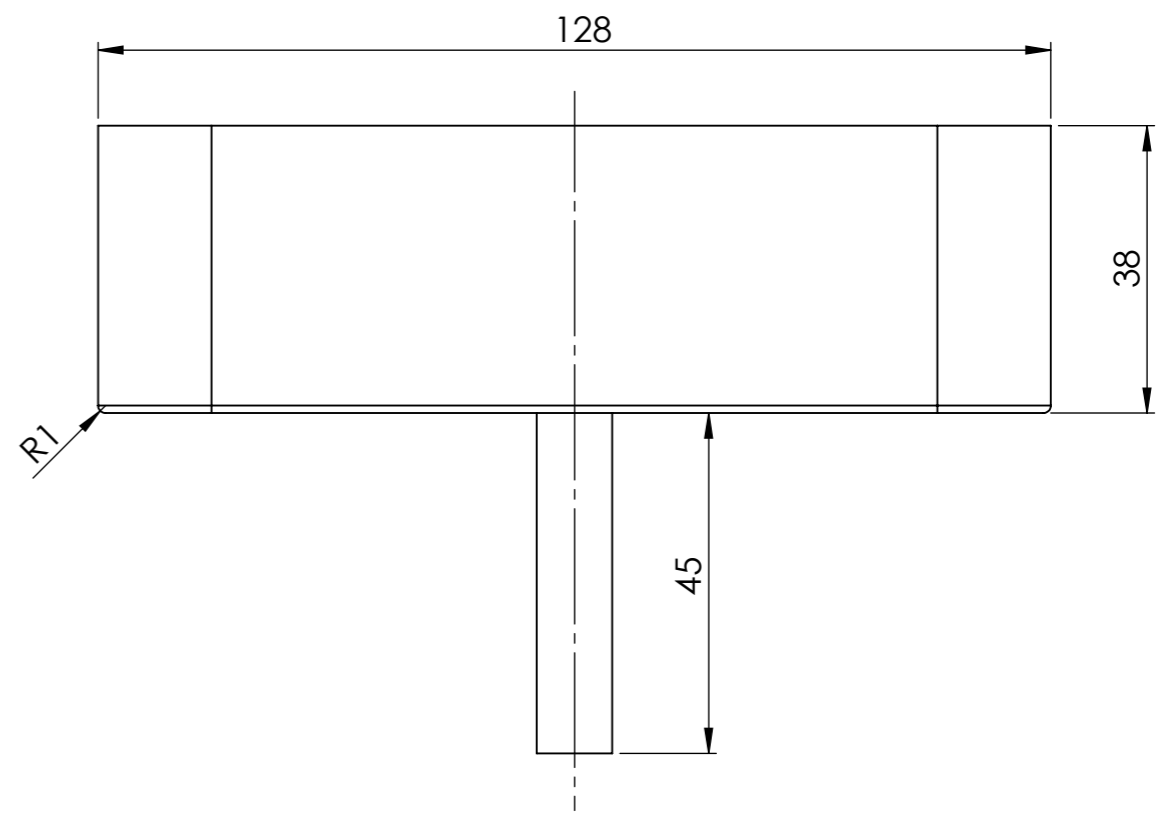
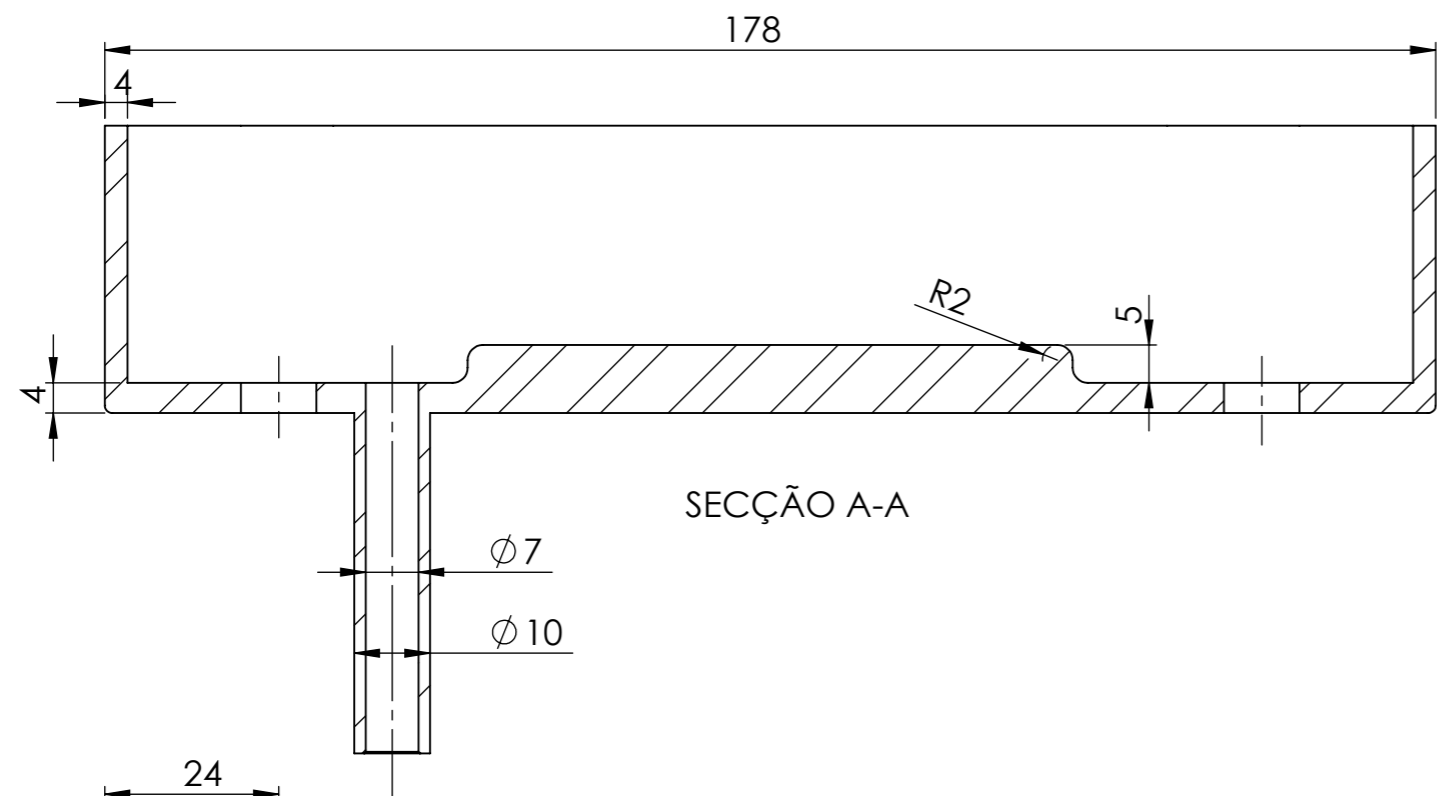


	ESCALA:	NOME	DATA		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>			
	1:10	DESENHOU	DS		14/08/2023	CONJUNTO: Corpo do Contentor COMPONENTE:		
MATERIAL:		NOTAS:		Corpo do contentor - furações				
Polietileno de Alta Densidade		Daniel Santos A44940						
TOLERÂNCIA GERAL:		ACABAMENTOS:		DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:	
ISO 2768				A3	01.006.001	1/1	50800	A

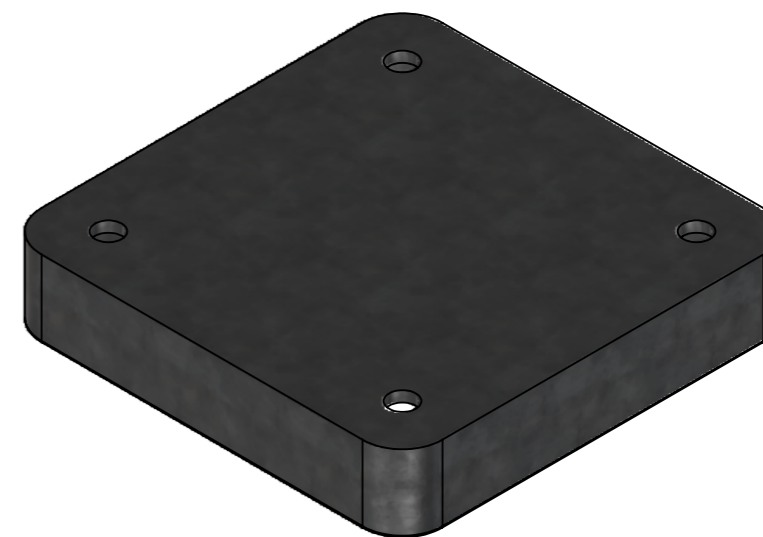
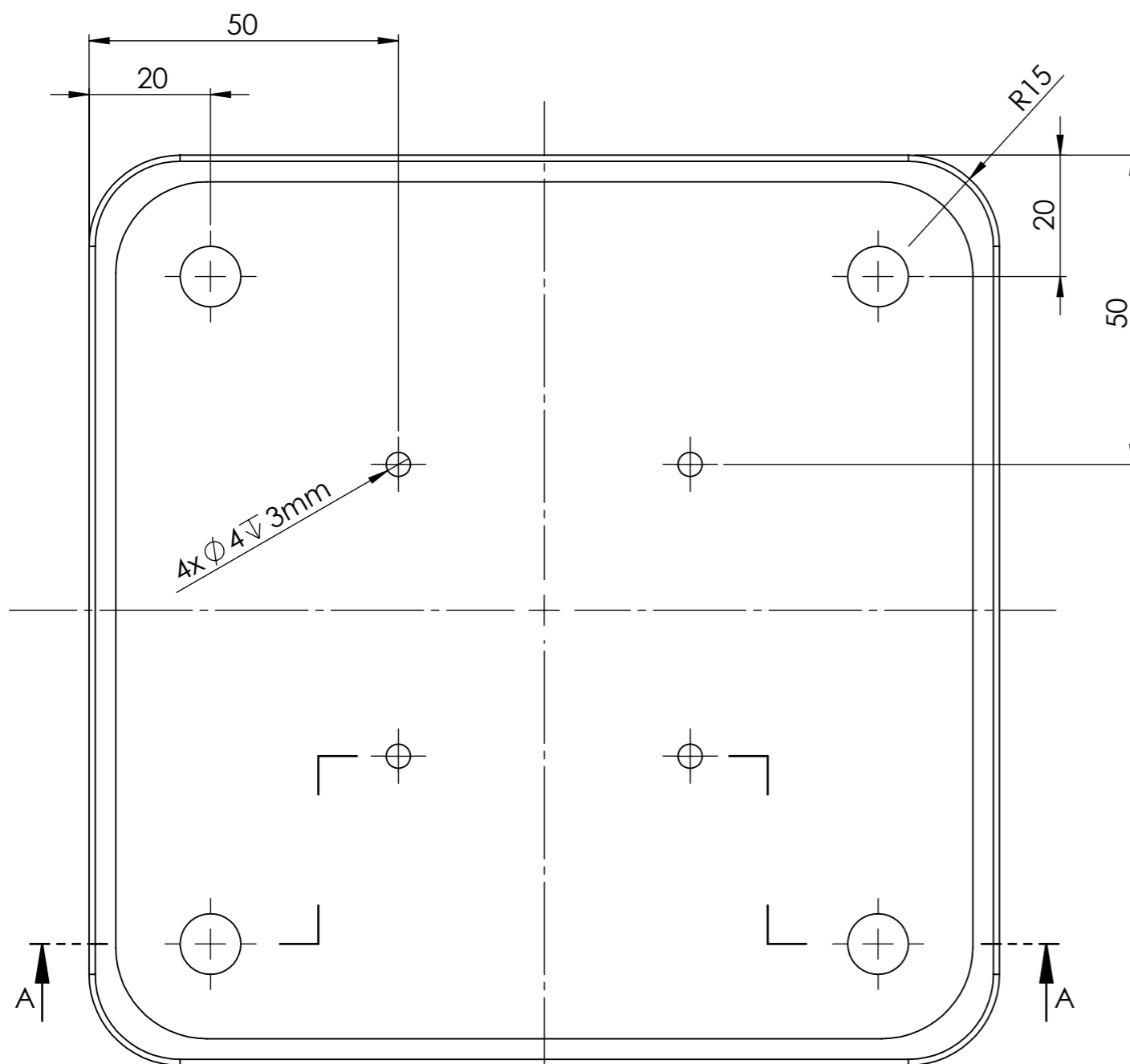
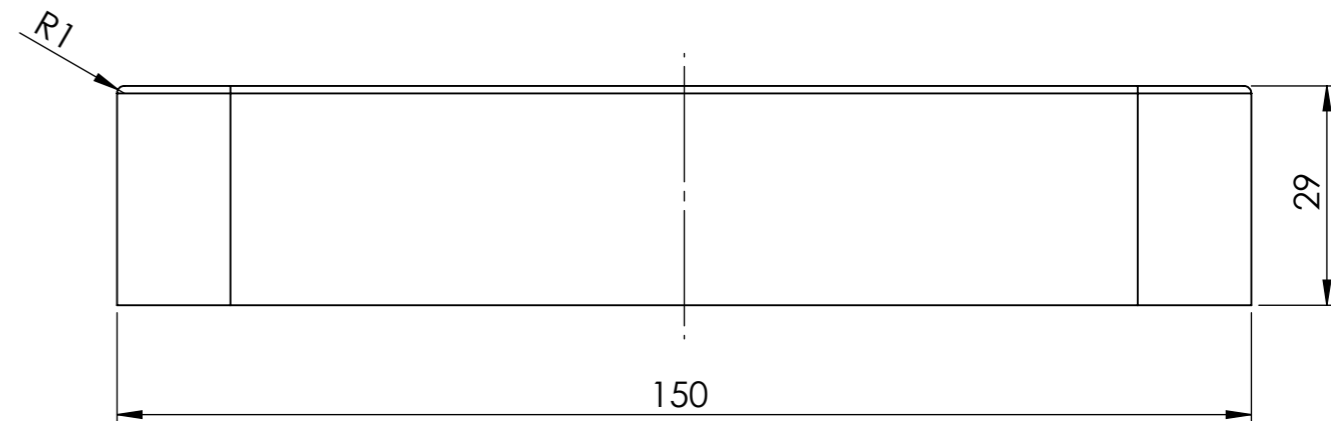
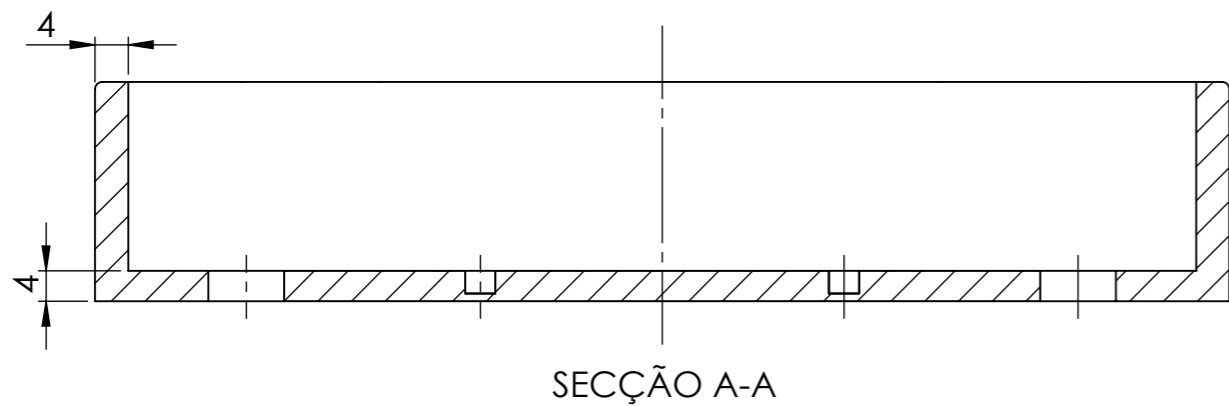
# ANEXO B – Desenhos Técnicos de Peças Novas



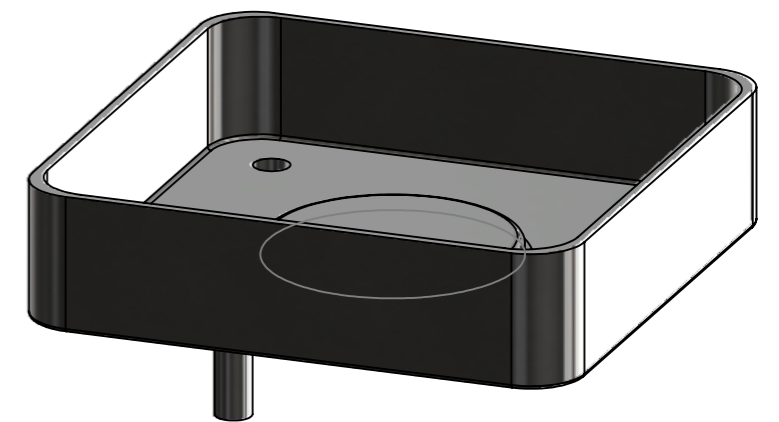
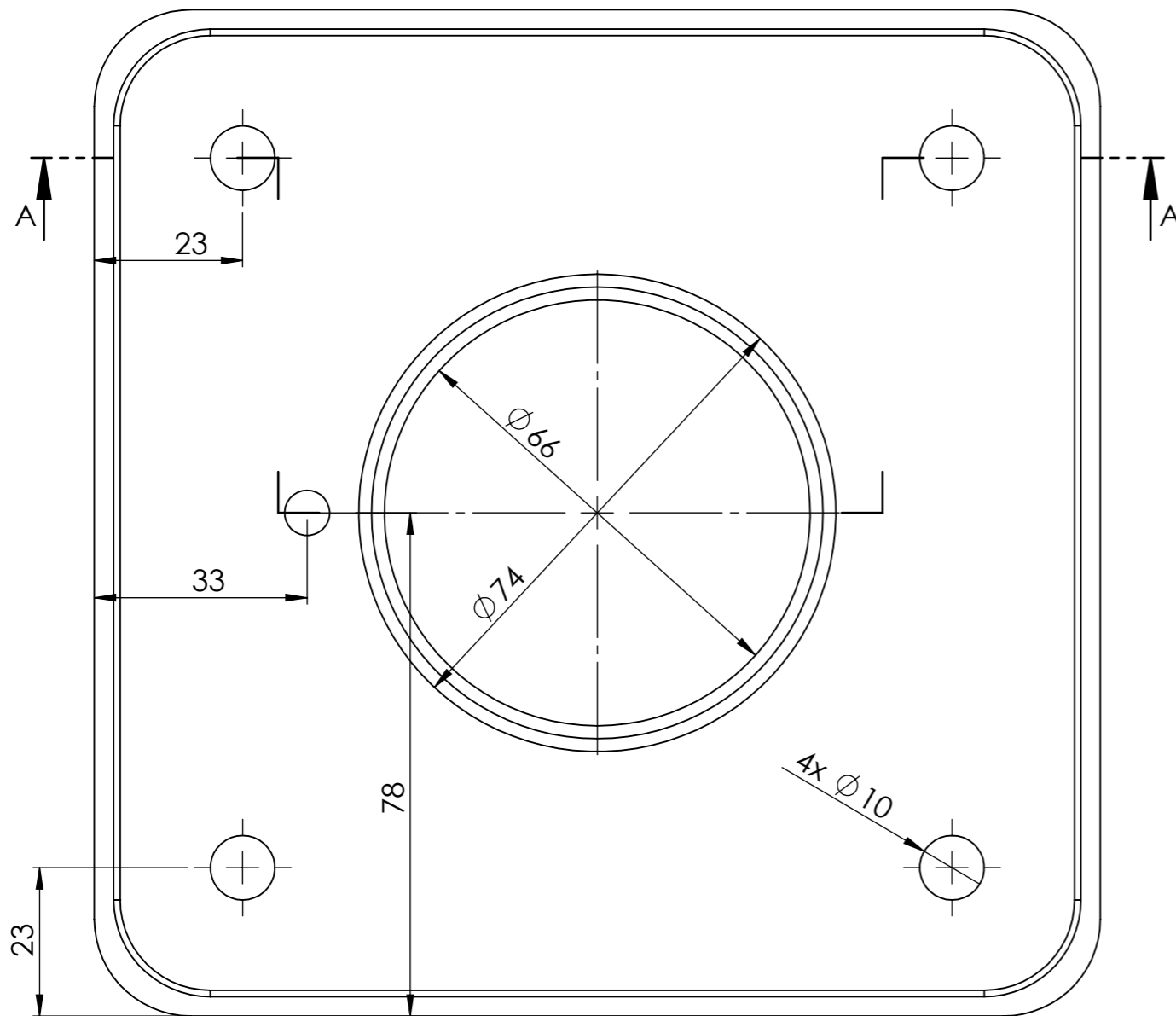
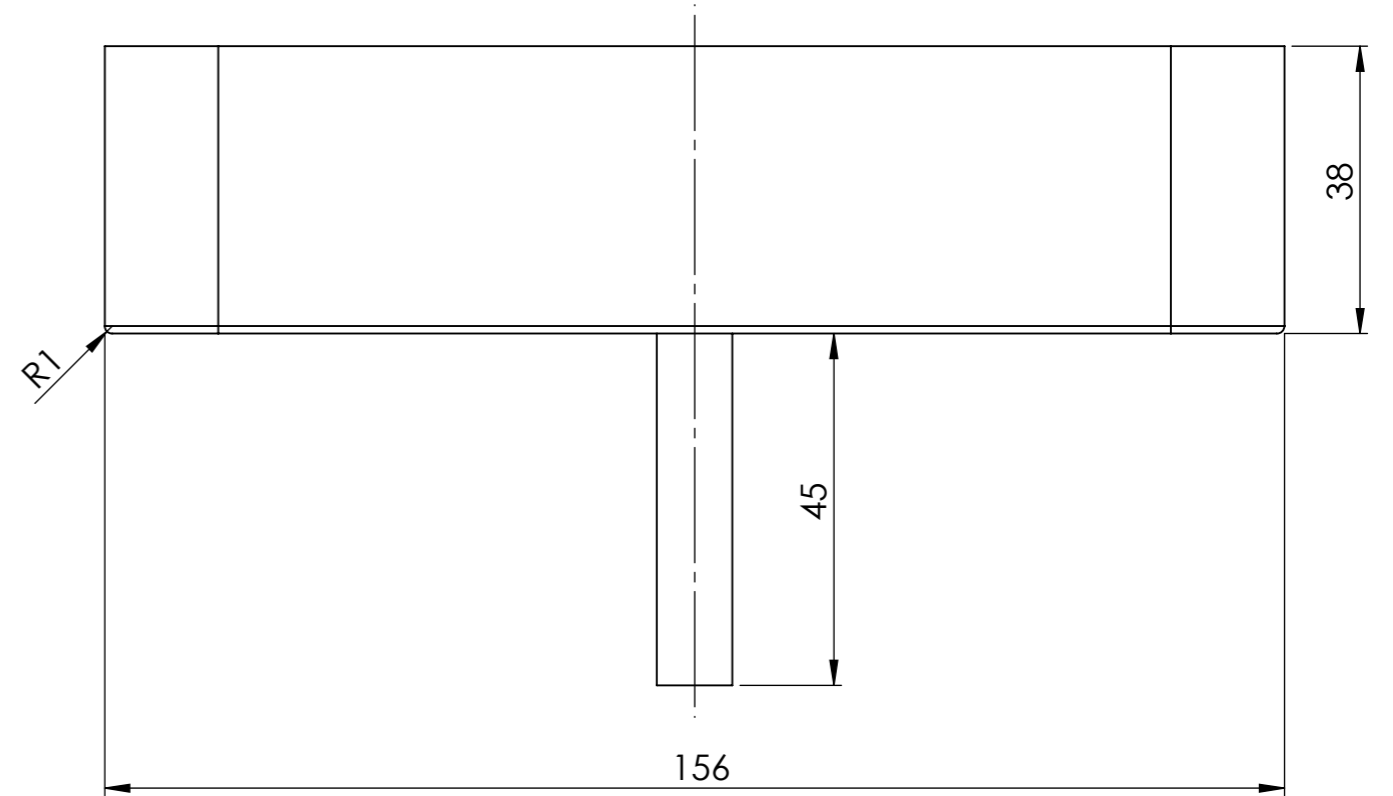
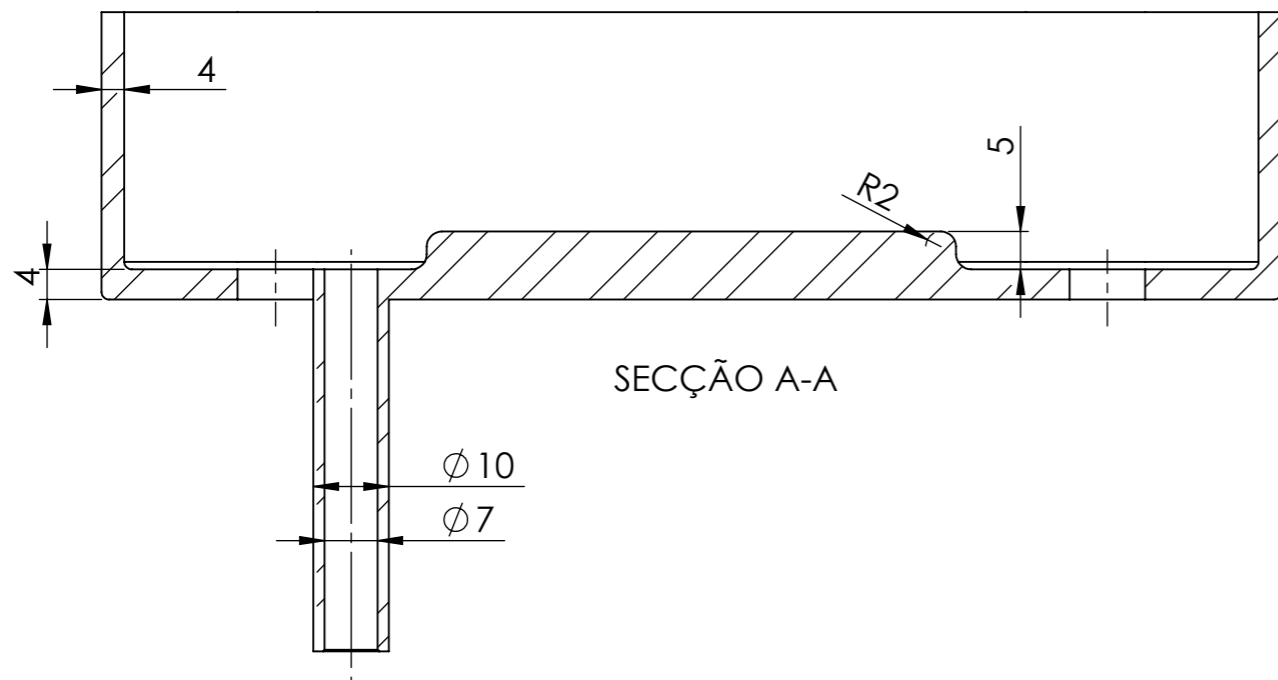
	ESCALA:	NOME	DATA	 <b>ISEL</b>	INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>			
	<b>1:1</b>	DESENHOU	DS		05/09/2023	CONJUNTO: ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DA CÉLULA DE CARGA		
MATERIAL:	Aço Galvanizado	VERIFICOU			COMPONENTE:			
TOLERÂNCIA GERAL:	ISO 2768	APROVOU			<b>BASE DE FIXAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA -          RÔDAS DIANTEIRAS</b>			
ACABAMENTOS:		NOTAS:		<b>A3</b>	DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:
		Daniel Santos A44940			01.001.001	1/1	1150	A



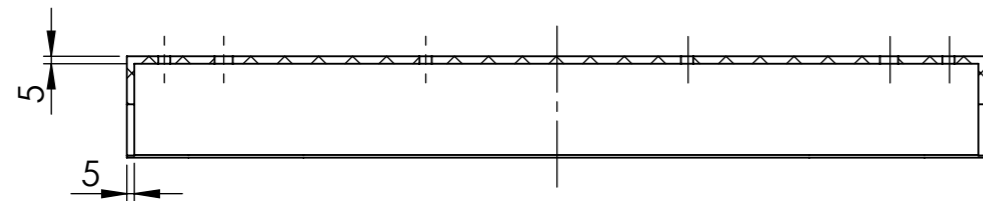
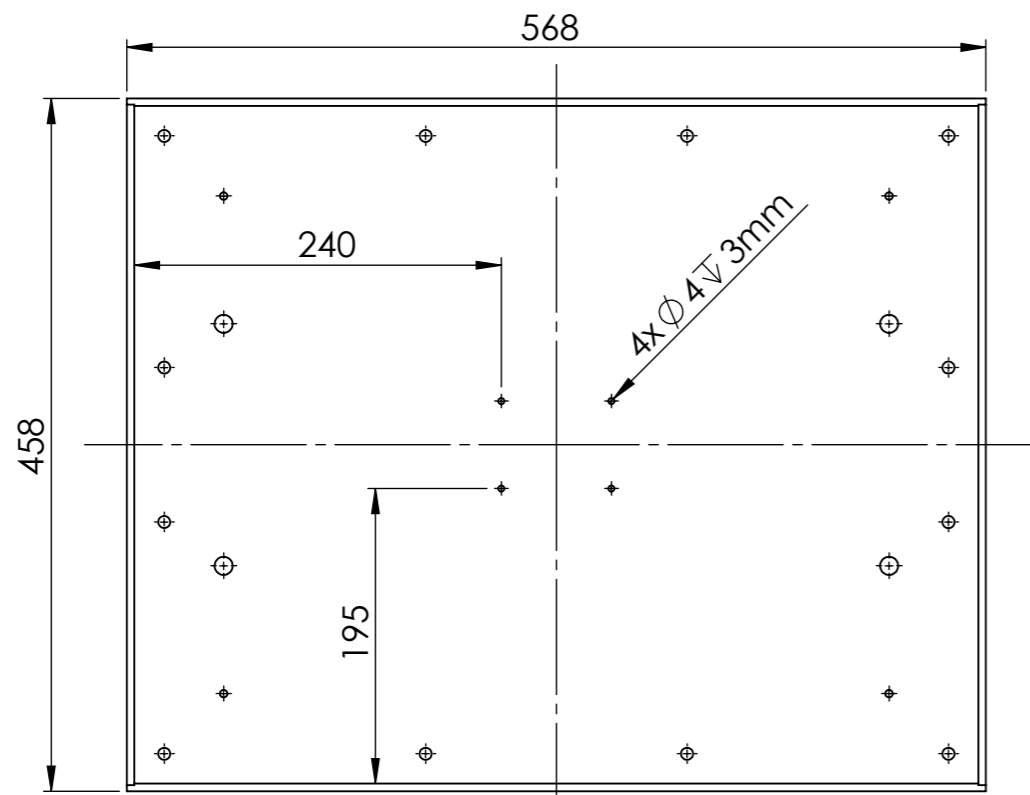
	ESCALA:	NOME	DATA		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>			
	<b>1:1</b>	DESENHOU	DS		05/09/2023	CONJUNTO: ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DA CÉLULA DE CARGA		
MATERIAL:	Aço Galvanizado			VERIFICOU	COMPONENTE:			
TOLERÂNCIA GERAL:	ISO 2768			APROVOU	ENCAIXE SUPERIOR - RODAS DIANTEIRAS			
ACABAMENTOS:				NOTAS:	Daniel Santos A44940			
				DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:	
				<b>A3</b>	01.001.002	1/1	1400	A



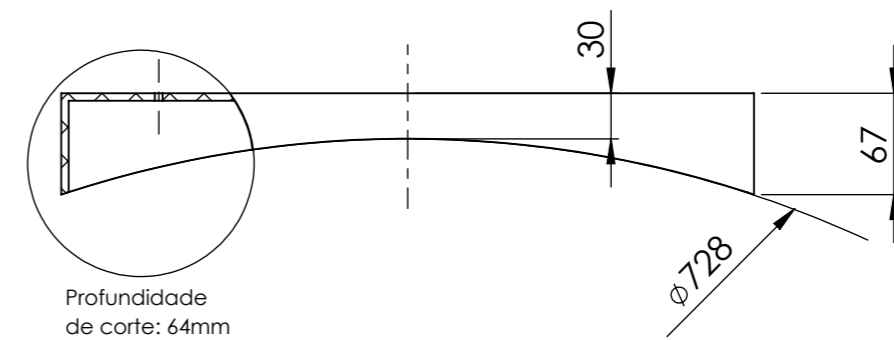
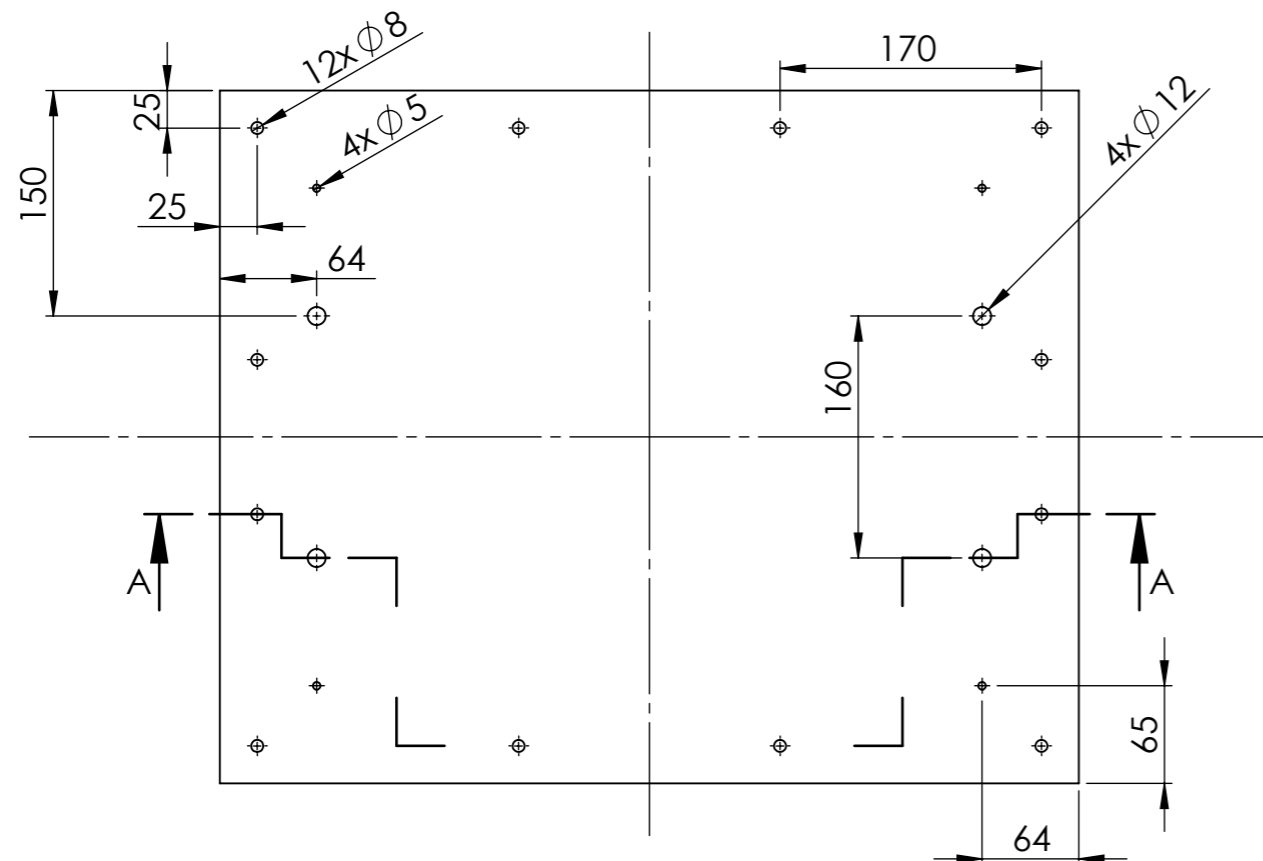
	ESCALA:	NOME	DATA		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>				
	<b>1:2</b>	DESENHOU	DS		05/09/2023	CONJUNTO: ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DA CÉLULA DE CARGA			
	MATERIAL:	VERIFICOU				COMPONENTE: BASE DE FIXAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA - RODAS TRASEIRAS			
Aço Galvanizado	APROVOU								
TOLERÂNCIA GERAL:	NOTAS:			<b>A3</b>					
ISO 2768	Daniel Santos A44940								
ACABAMENTOS:				DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:		
				01.001.003	1/1	1600	A		



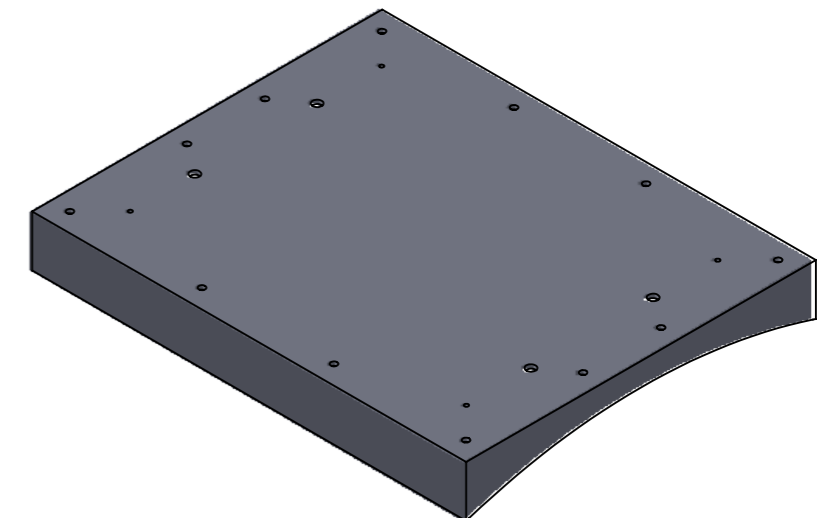
	ESCALA:	NOME	DATA		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>			
	<b>1:2</b>	DESENHOU	DS		05/09/2023	CONJUNTO: ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DA CÉLULA DE CARGA		
MATERIAL:	Aço Galvanizado			VERIFICOU	COMPONENTE:			
TOLERÂNCIA GERAL:	ISO 2768			APROVOU	ENCAIXE SUPERIOR - RODAS TRASEIRAS			
ACABAMENTOS:				NOTAS:	Daniel Santos A44940			
A3		DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:			
		01.001.004	1/1		A			



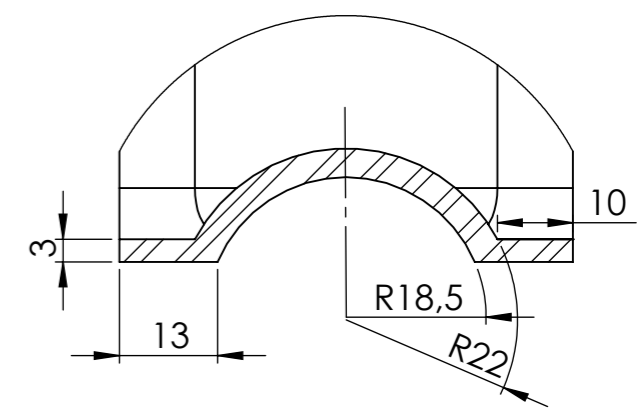
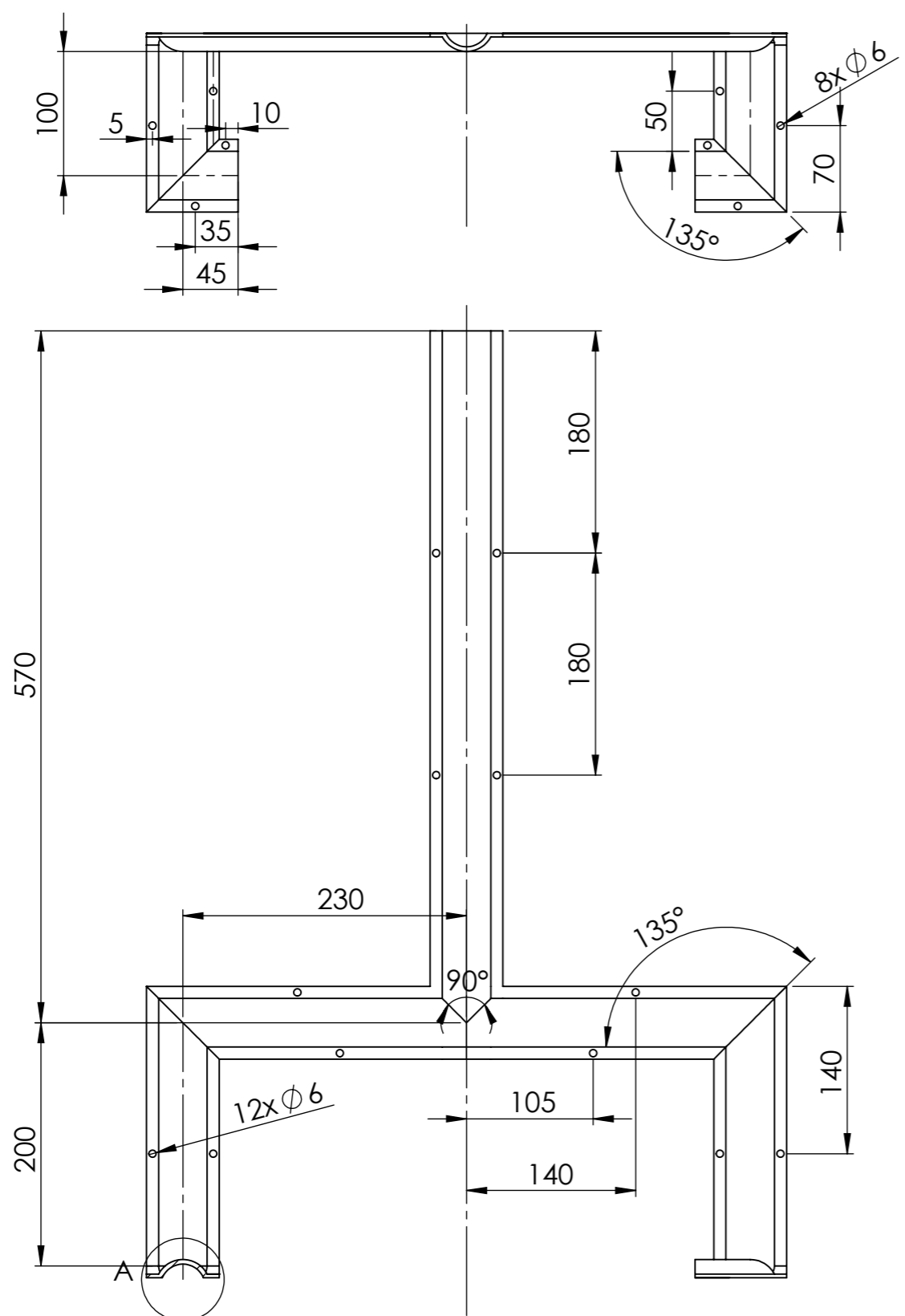
SECÇÃO A-A



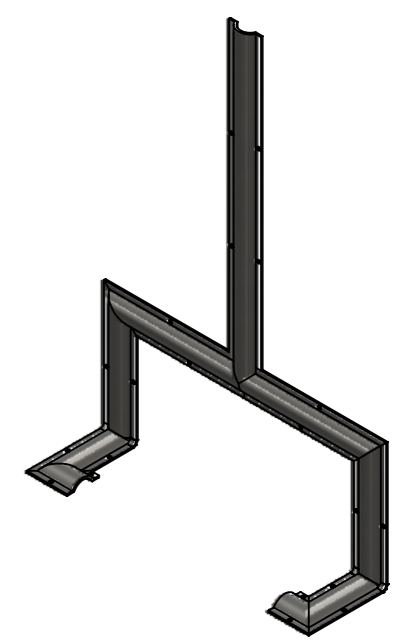
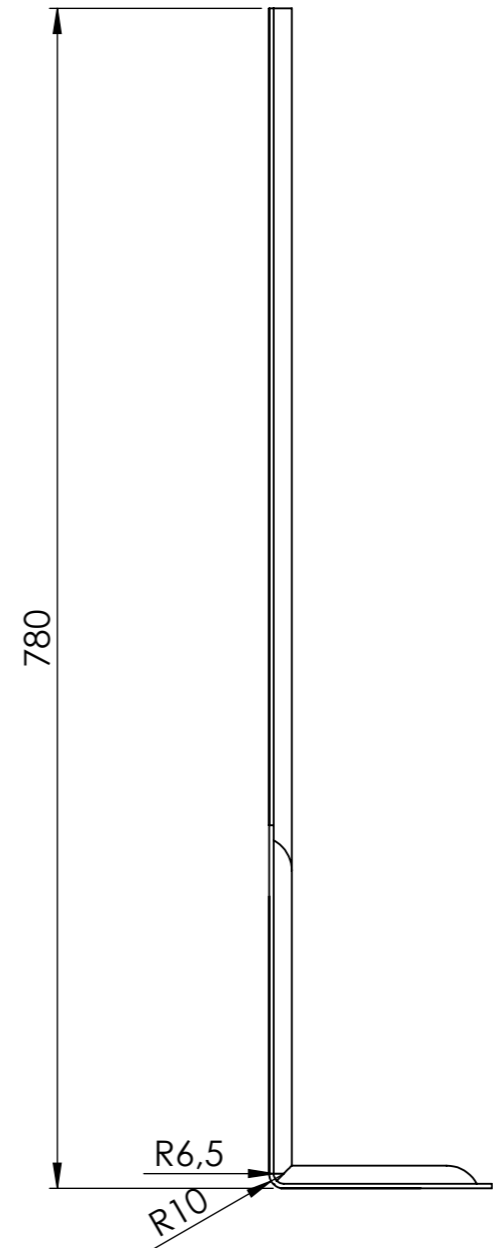
Profundidade de corte: 64mm



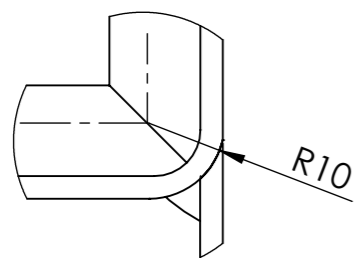
	ESCALA:	NOME	DATA		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>			
	<b>1:5</b>	DESENHOU DS	11/08/2023		CONJUNTO: Plataforma Plana para Instalação do Painel Solar COMPONENTE: Plataforma Plana			
MATERIAL: Polietileno de Alta Densidade		APROVOU		NOTAS: Daniel Santos A44940				
TOLERÂNCIA GERAL: ISO 2768		ACABAMENTOS:		DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:	
				<b>A3</b>	01.002.001	1/1	1800	A



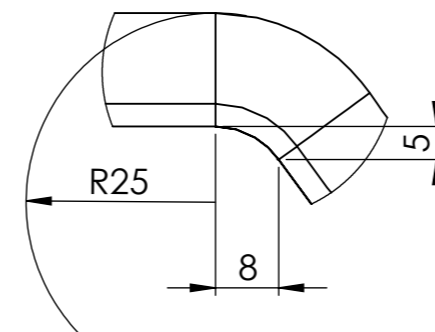
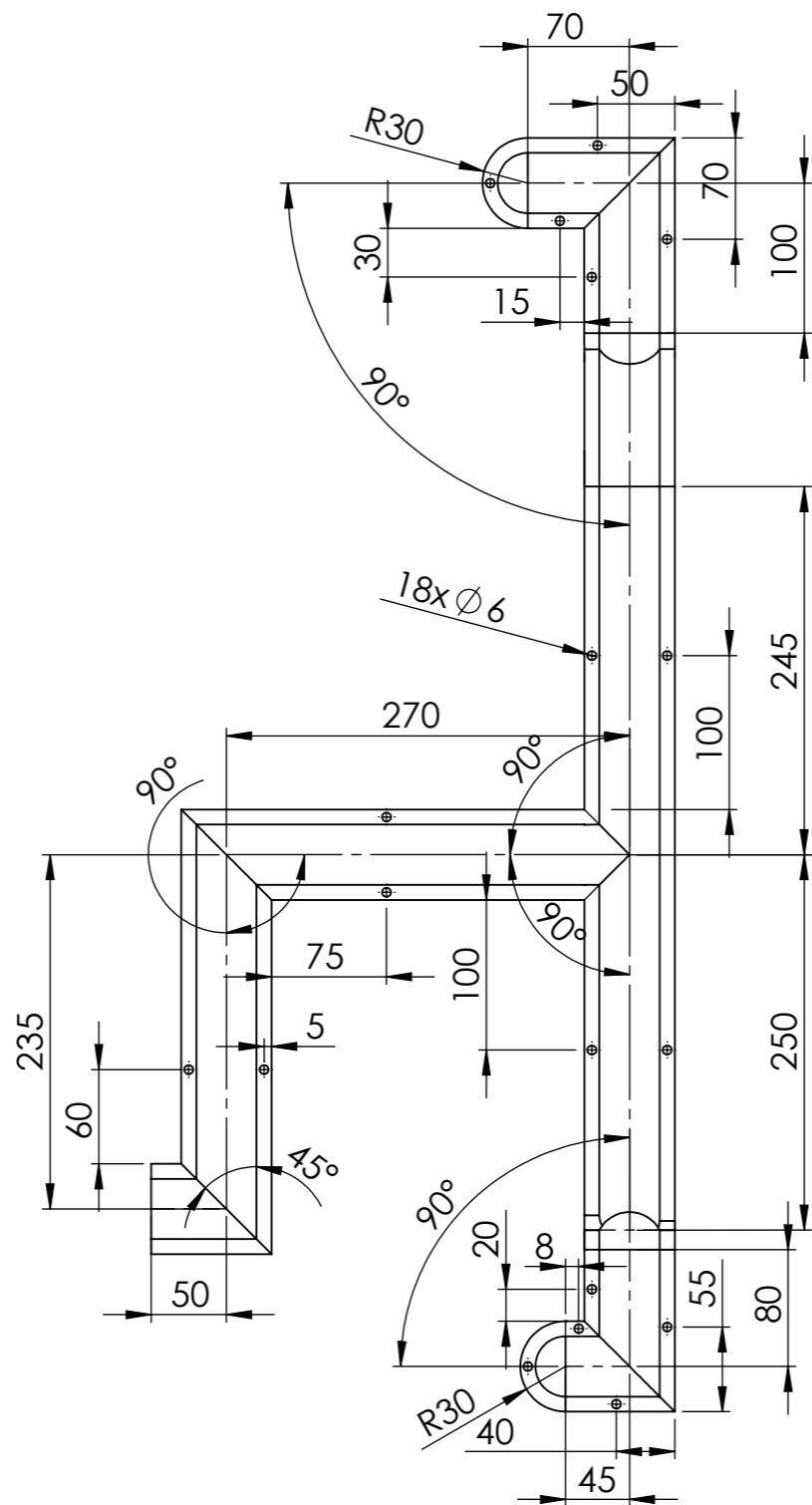
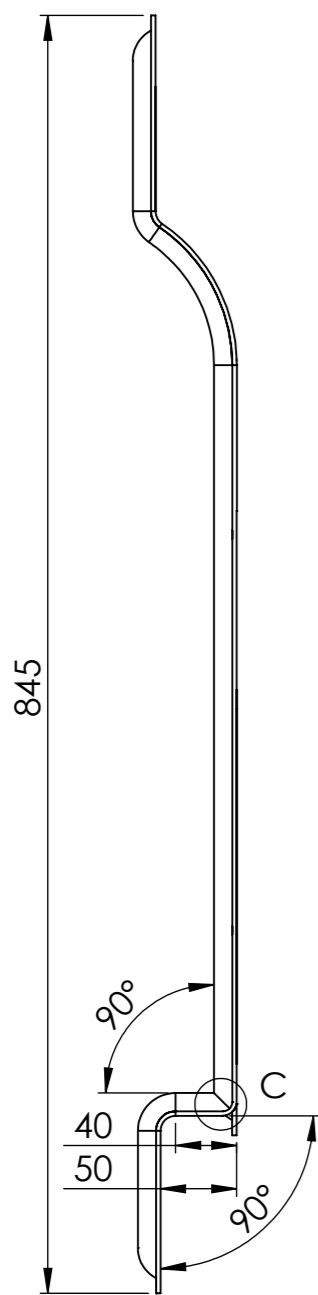
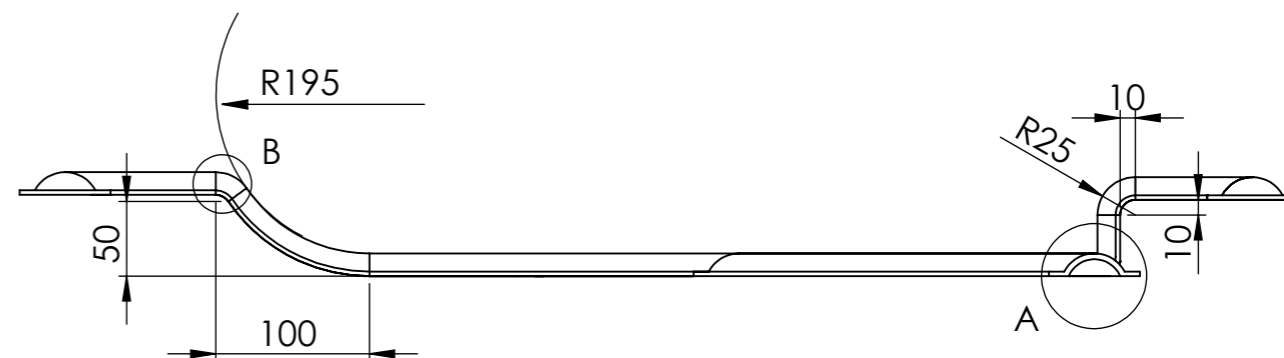
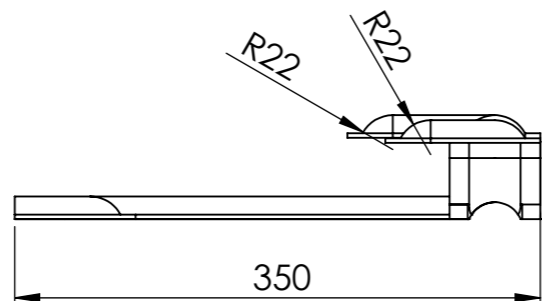
Detalhe A  
Escala 1 : 1



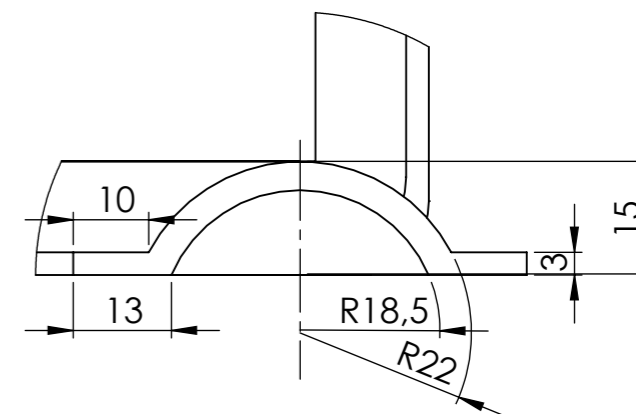
	ESCALA:	NOME	DATA		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>				
	<b>1:5</b>	DESENHOU	DS		13/08/2023				
MATERIAL:	NOTAS:	VERIFICOU		CONJUNTO: Calhas de Proteção					
Aço Carbono		APROVOU		COMPONENTE:					
TOLERÂNCIA GERAL:	Daniel Santos A44940	Calha vertical							
ISO 2768									
ACABAMENTOS:		DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:				
		<b>A3</b>	01.003.001	1/1	3300	A			



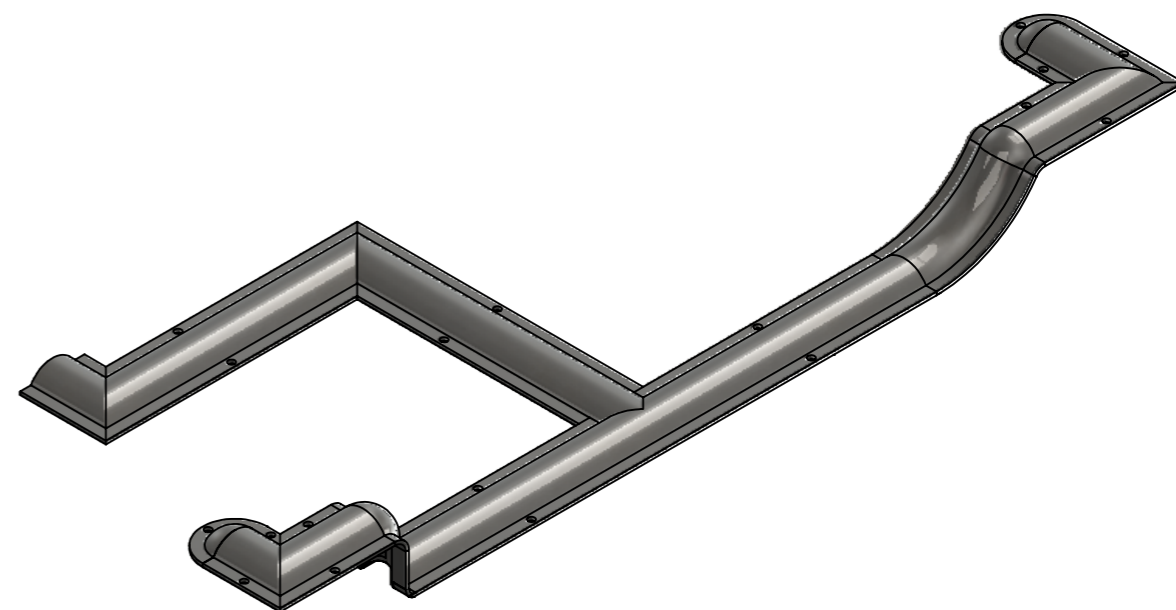
Detalhe C  
Escala 1 : 1



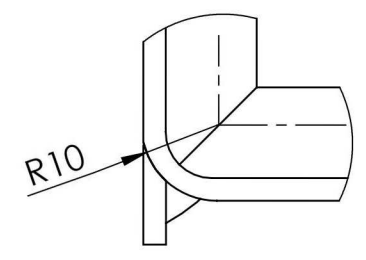
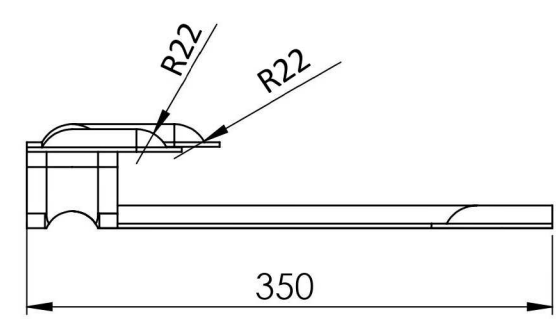
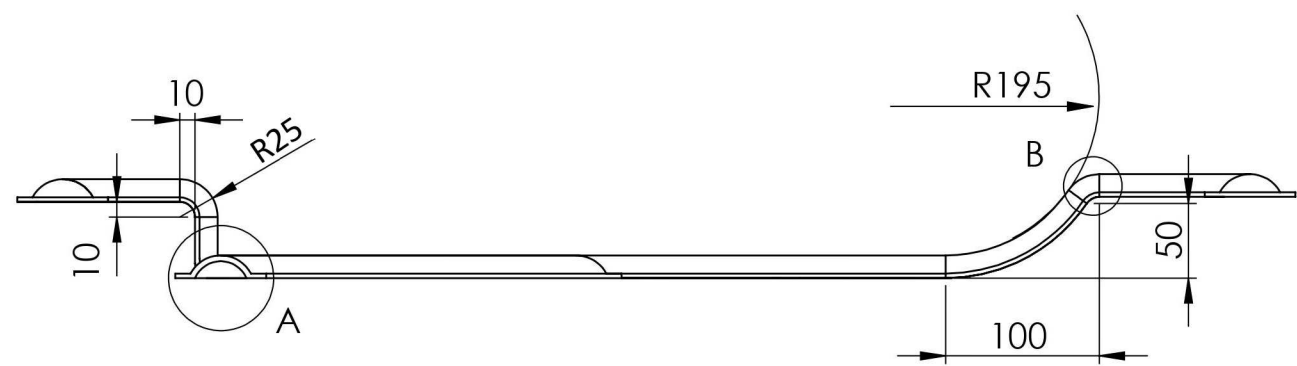
Detalhe B  
Escala 1 : 1



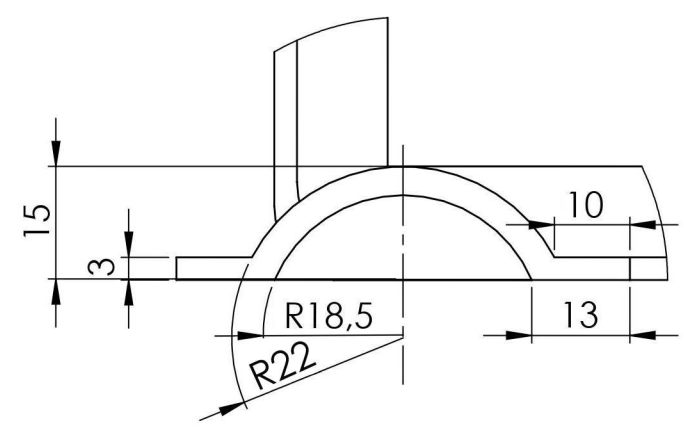
Detalhe A  
Escala 1 : 1



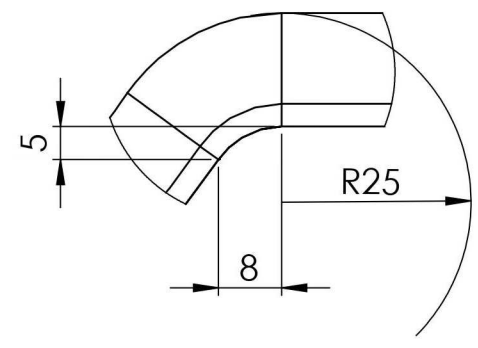
	ESCALA:	NOME	DATA		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>				
	<b>1:5</b>	DESENHOU	DS		13/08/2023	CONJUNTO: Calhas de Proteção			
MATERIAL:	Aço Carbono	VERIFICOU			COMPONENTE:				
TOLERÂNCIA GERAL:	ISO 2768	APROVOU			Calha horizontal				
ACABAMENTOS:		NOTAS:	Daniel Santos A44940		DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:	
					<b>A3</b>	01.003.002	1/1	2900	A



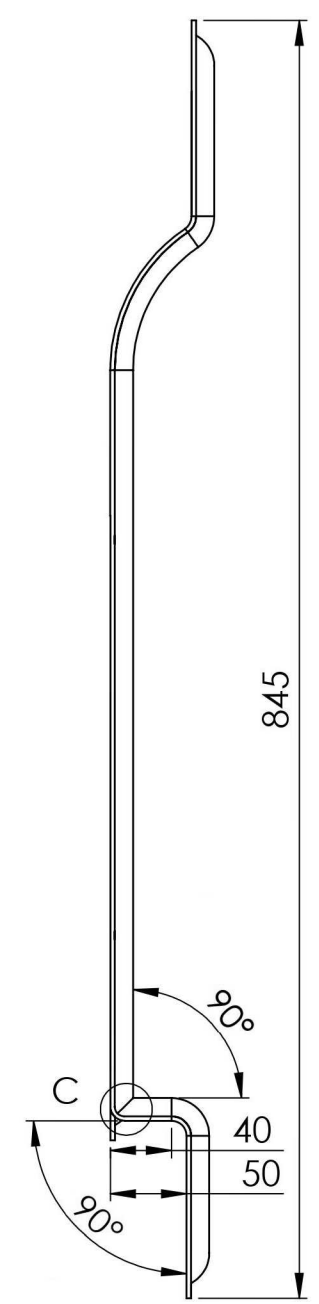
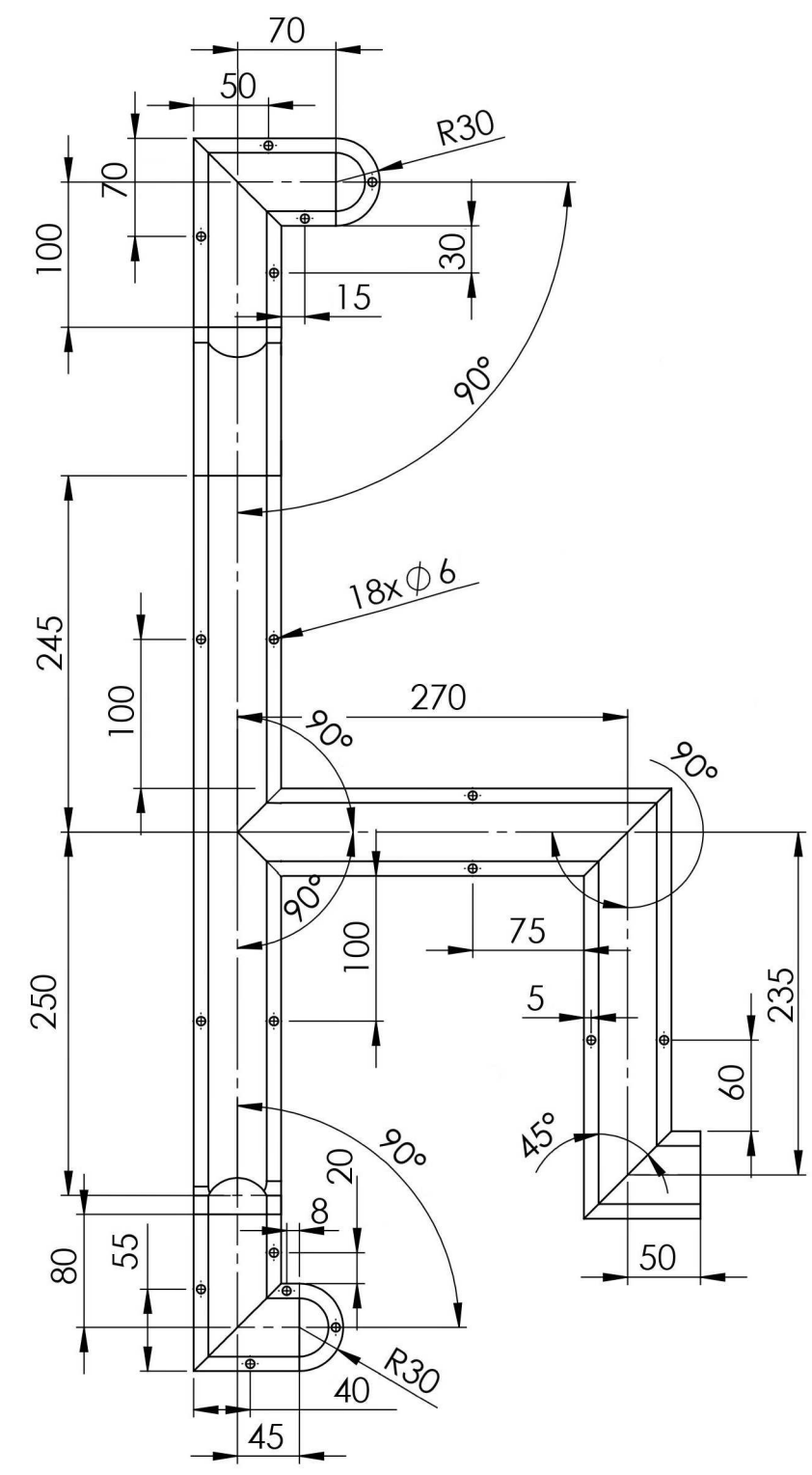
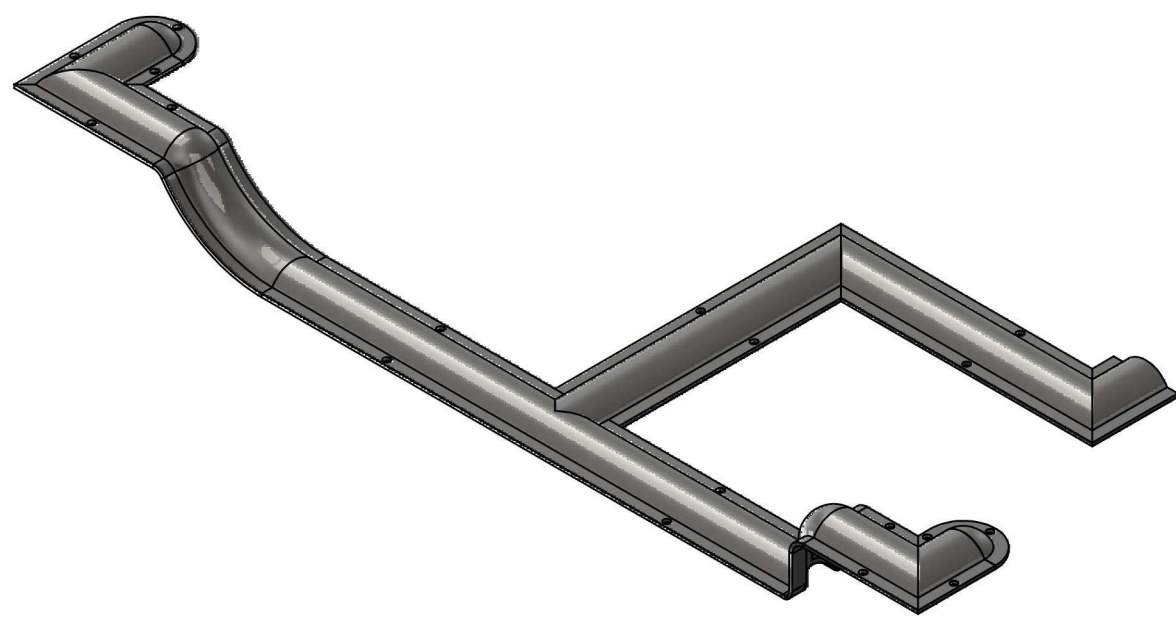
Detalhe C  
Escala 1 : 1



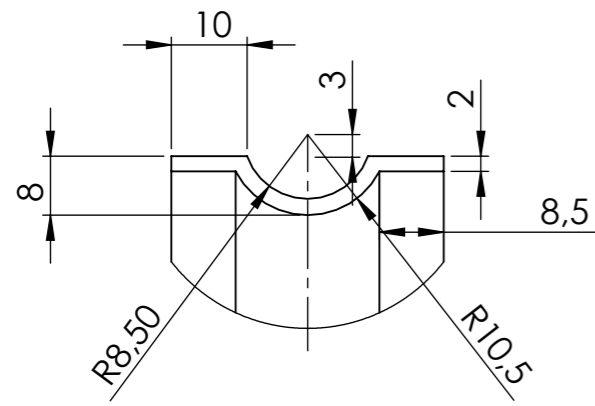
Detalhe A  
Escala 1 : 1



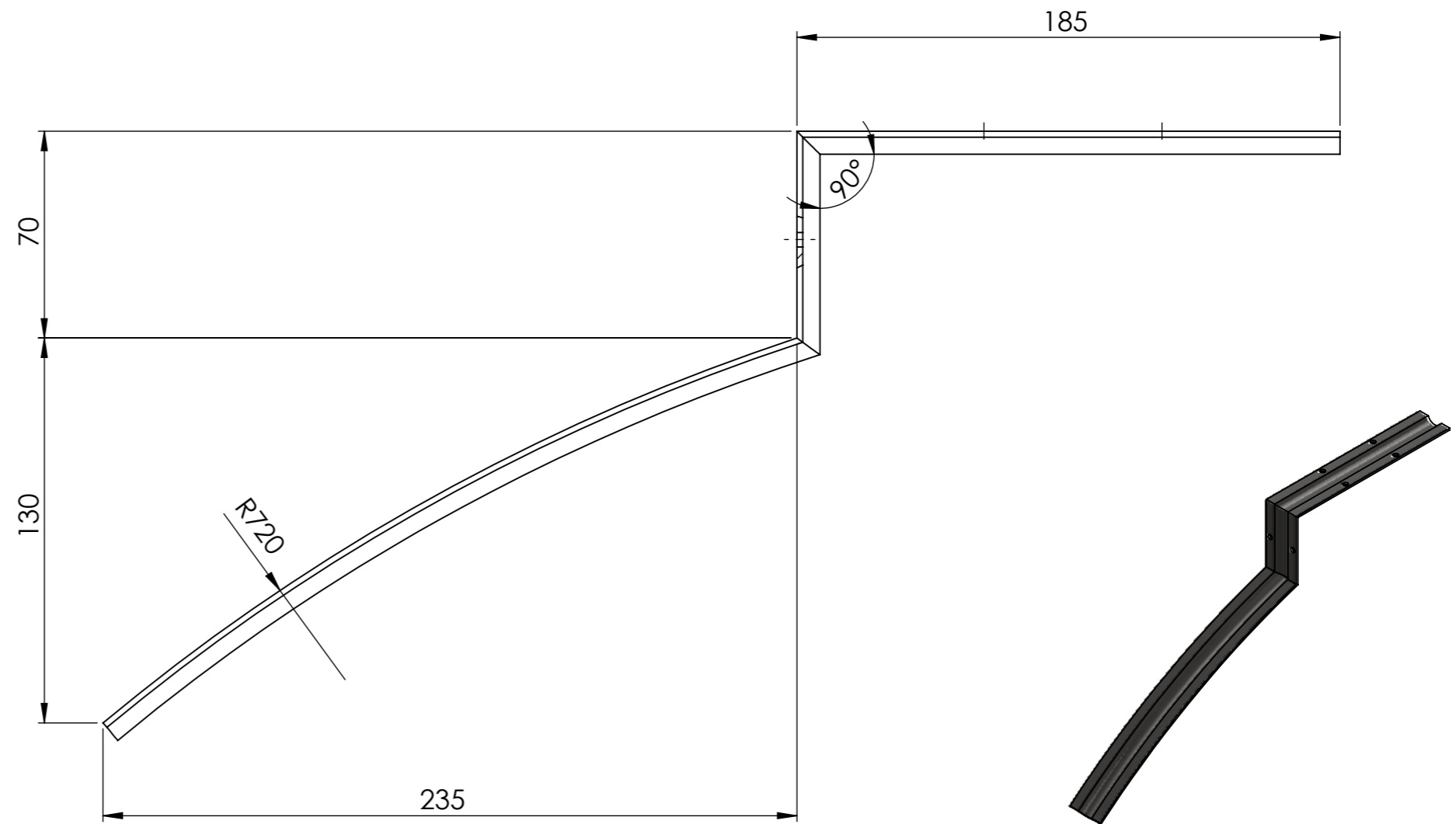
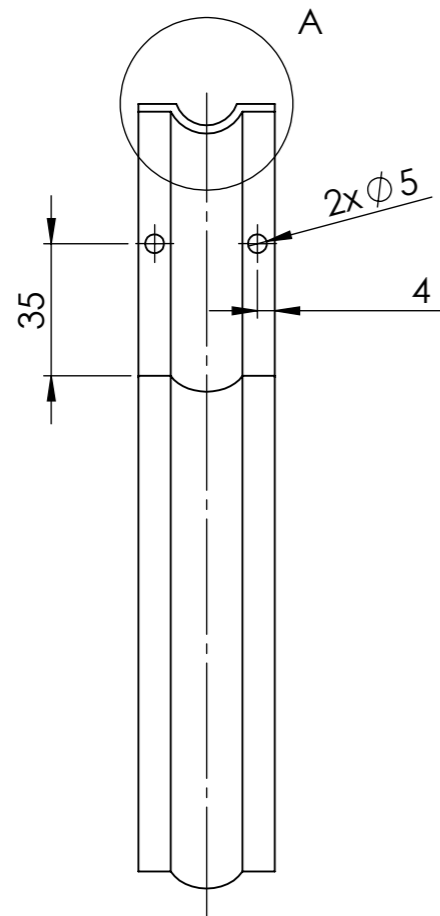
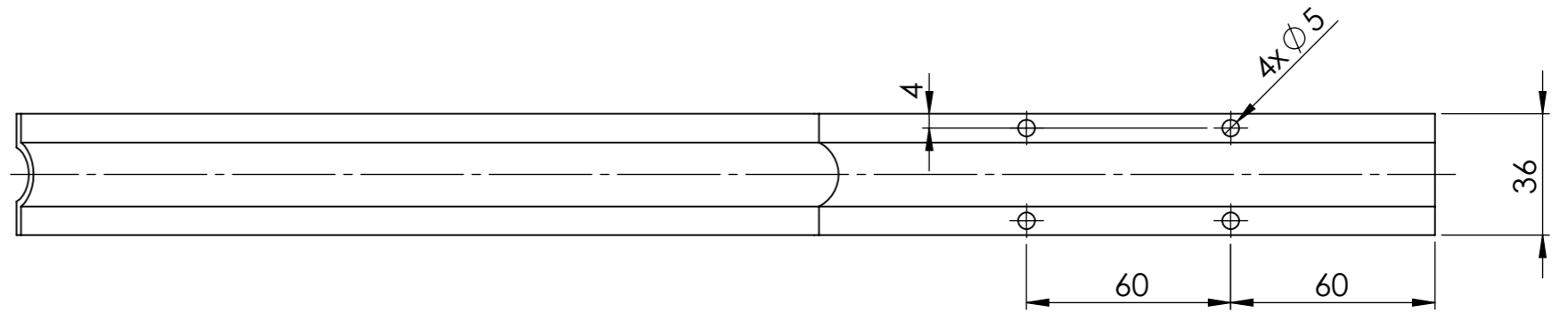
Detalhe B  
Escala 1 : 1



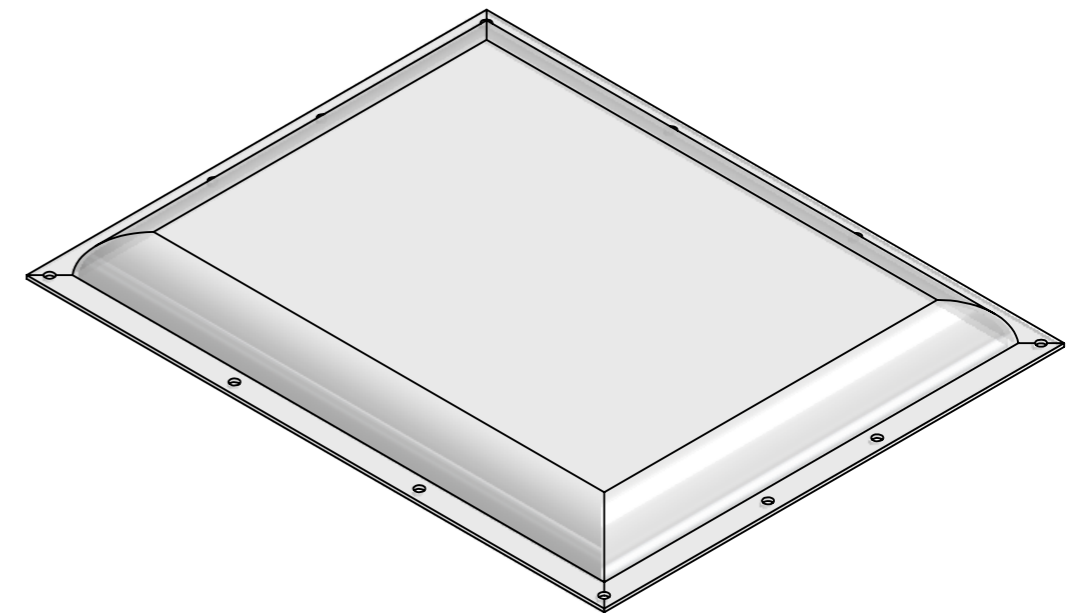
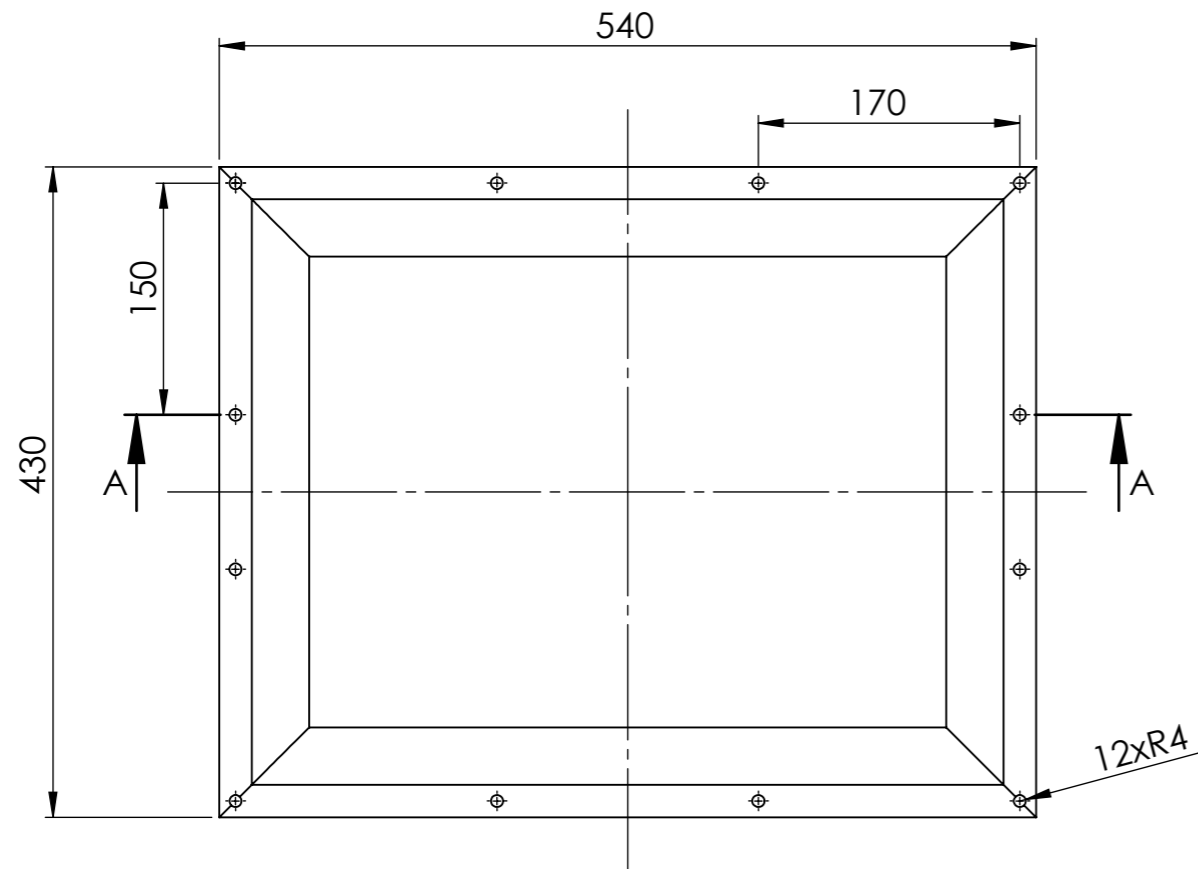
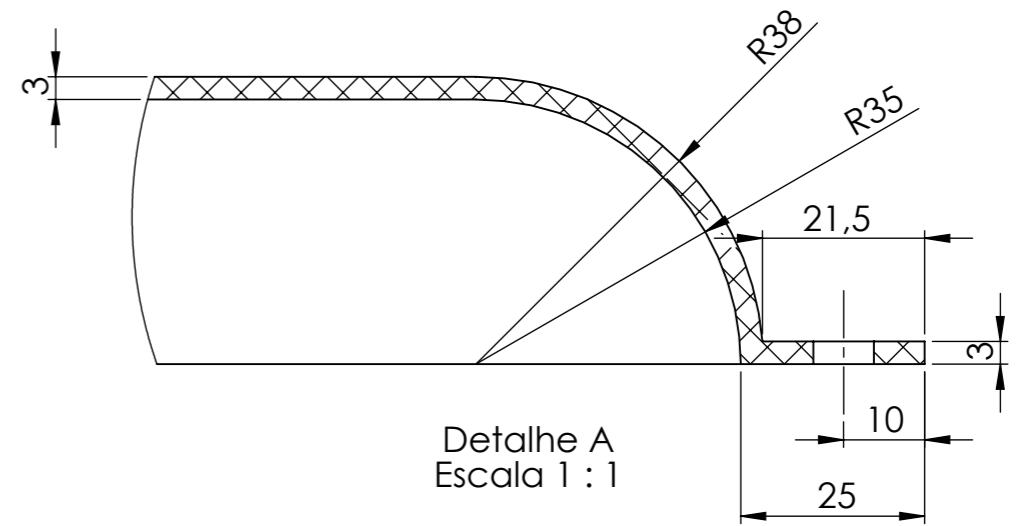
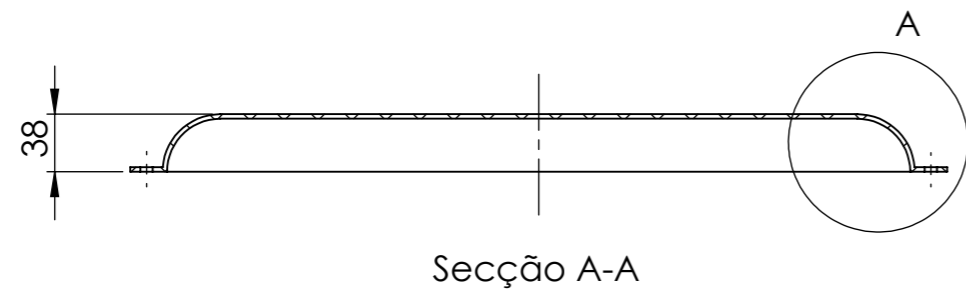
	ESCALA: <b>1:5</b>	NOME DS	DATA 13/08/2023	<b>INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA</b> ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>
	MATERIAL: Aço Carbono	DESENHOU	VERIFICOU	
TOLERÂNCIA GERAL: ISO 2768	NOTAS: Daniel Santos A44940			CONJUNTO: Calhas de Proteção
ACABAMENTOS:	COMPONENTE: Calha horizontal			DESENHO N.º <b>A3</b> 01.003.003
		FOLHA: 1/1	MASSA [g]: 2900	REVISÃO: A



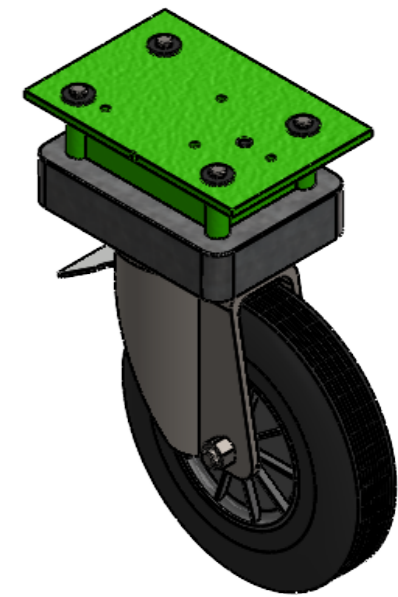
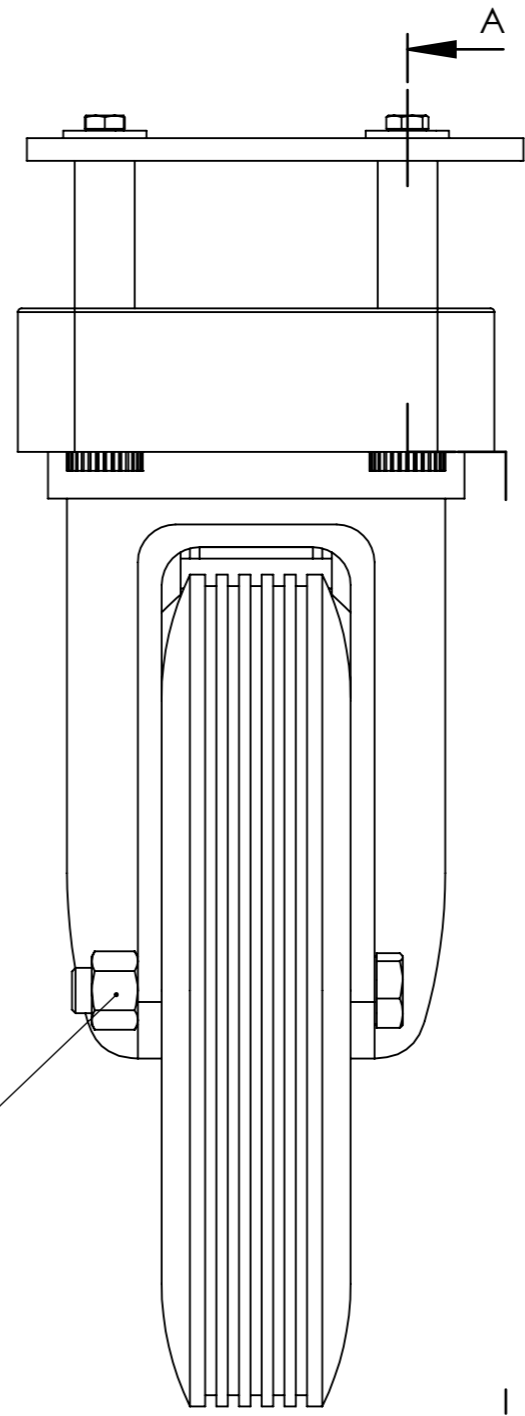
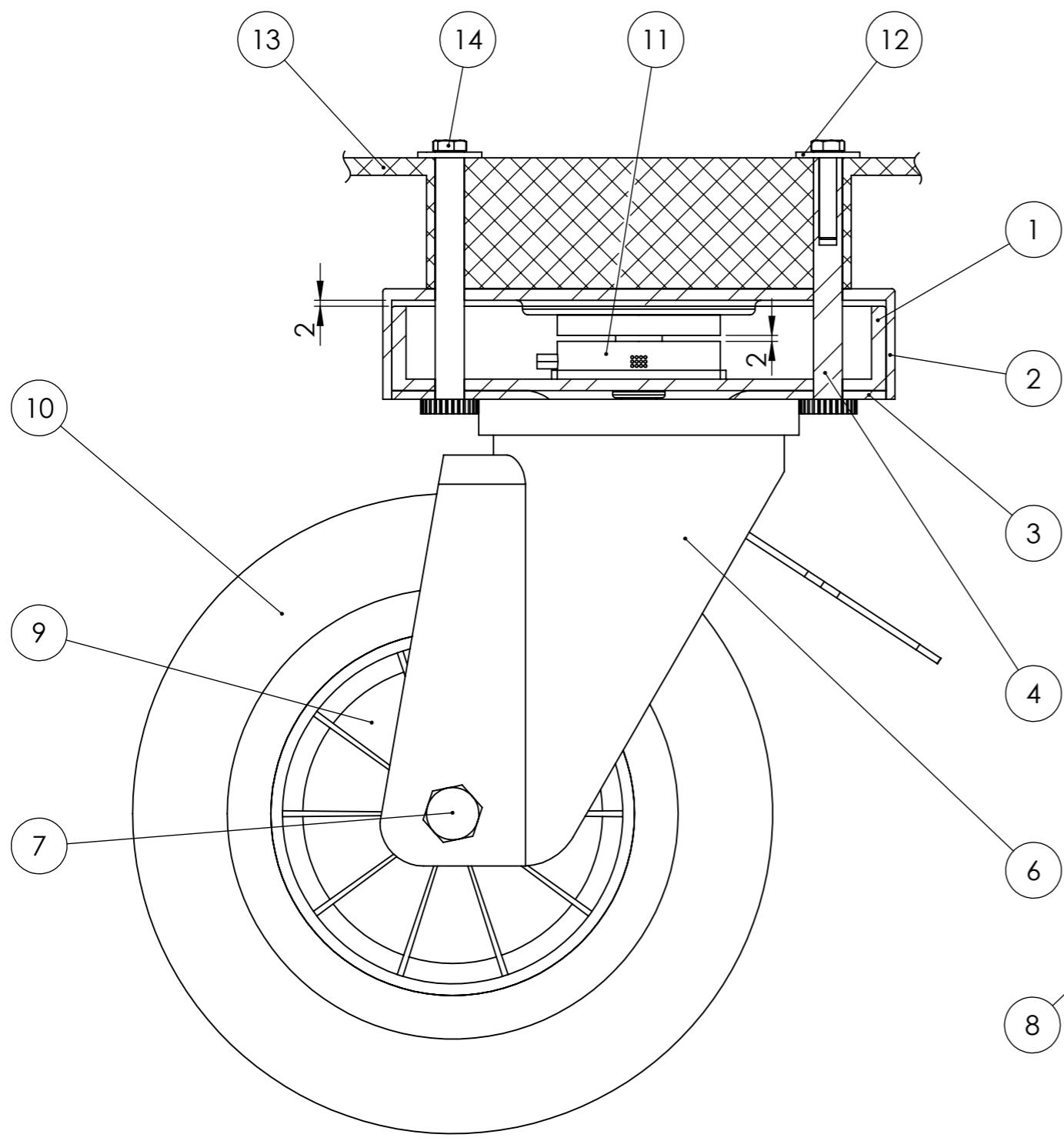
Detalhe A  
Escala 1 : 1



	ESCALA:	1:2	NOME	DS	DATA	07/09/2023	<b>INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA</b> ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>			
	DESENHOU		VERIFICOU		APROVOU			CONJUNTO: Calhas de Proteção		
	MATERIAL:	Aço Carbono	NOTAS:					COMPONENTE:	Calha para tampa	
TOLERÂNCIA GERAL:	ISO 2768	Daniel Santos A44940				DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:	
ACABAMENTOS:						<b>A3</b>	01.003.004	1/1	160	A

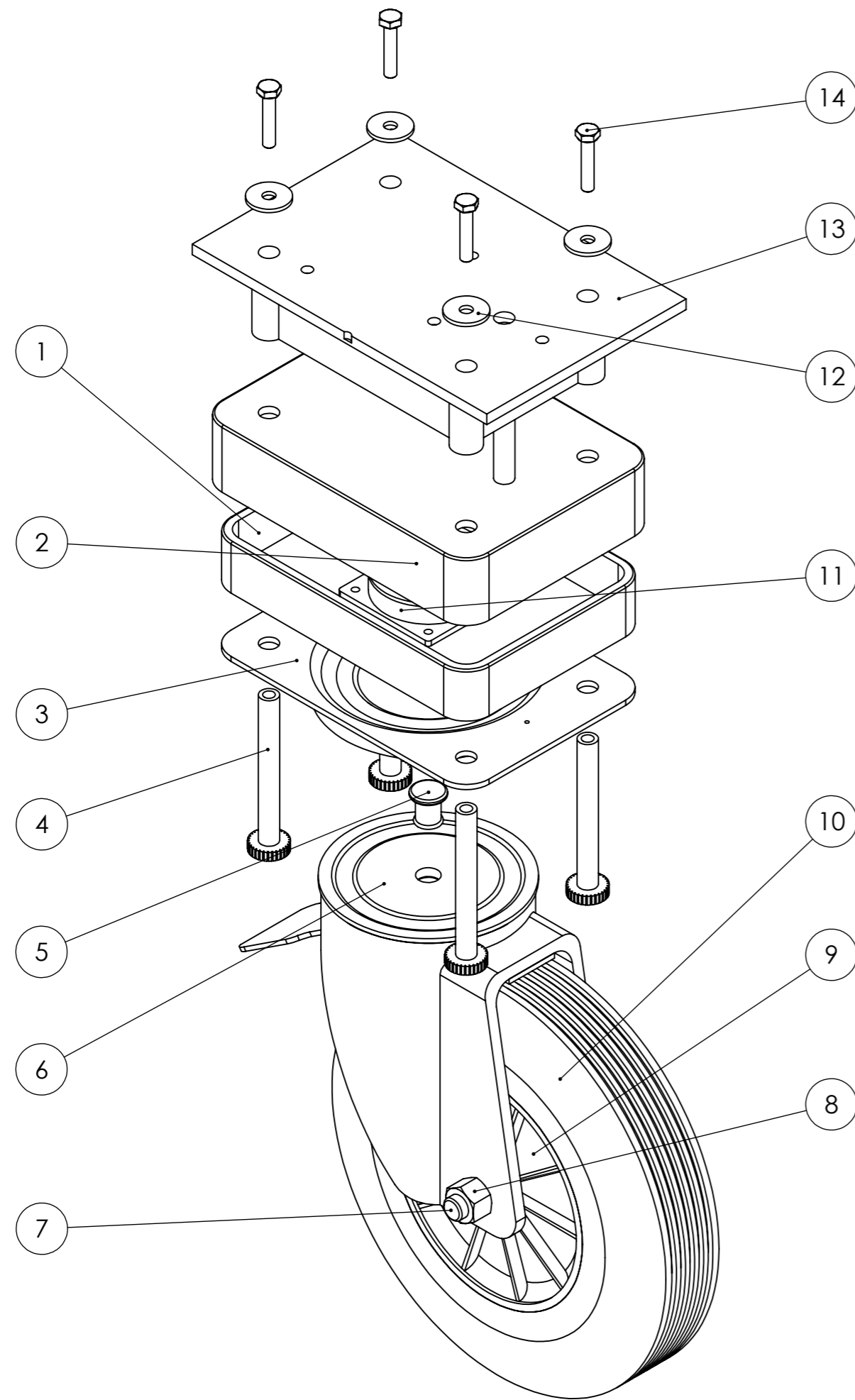


	ESCALA:	DESENHOU	NOME	DATA		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>			
	<b>1:5</b>	DS		13/08/2023					
MATERIAL:		VERIFICOU			CONJUNTO: Tampa do Contentor				
Acrílico		APROVOU			COMPONENTE:				
TOLERÂNCIA GERAL:		NOTAS:			Proteção de Acrílico				
ISO 2768		Daniel Santos A44940							
ACABAMENTOS:					DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:	
					<b>A3</b>	01.004.001	1/1	950	A



Secção A-A  
Escala 1 : 2

	ESCALA:	1:2	NOME	DS	DATA	12/12/2023	<b>INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA</b> ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>	
	MATERIAL:		DESENHOU		VERIFICOU			CONJUNTO: Conjunto Roda Dianteira
	TOLERÂNCIA GERAL: ISO 2768		APROVOU					COMPONENTE: Conjunto Roda Dianteira
ACABAMENTOS:		NOTAS:	Daniel Santos A44940					
							DESENHO N.º: <b>A3</b> 01.007.001 FOLHA: 1/2 MASSA [g]: - REVISÃO: A	



Nº	DESIGNAÇÃO	NORMA DES.Nº	QTD.
1	Base de fixação da célula de carga - Rodas dianteiras	01.001.001	1
2	Encaixe superior - Rodas dianteiras	01.001.002	1
3	Base de fixação da estrutura metálica da roda		1
4	Parafuso união 10x80		4
5	Pino de fixação		1
6	Estrutura metálica da roda		1
7	Parafuso M12 x 80 x 30-N	ISO 4014	1
8	Porca M12-N	ISO 4034	1
9	Jante da roda		1
10	Roda		1
11	Célula de carga		1
12	Junta M6 x 2		4
13	Corpo do contentor	01.006.001	1
14	Parafuso M6 x 30 x 18-N	ISO 4014	4

	ESCALA:	NOME	DATA		INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA MECÂNICA <b>TRABALHO FINAL DE MESTRADO</b>			
	<b>1:5</b>	DESENHOU	DS		12/12/2023	CONJUNTO: Conjunto Roda Dianteira COMPONENTE:		
MATERIAL:	NOTAS:			Conjunto Roda Dianteira - Vista explodida				
TOLERÂNCIA GERAL:	Daniel Santos A44940							
ACABAMENTOS:	Conjunto explodido em axonometria isométrica							
		DESENHO N.º	FOLHA:	MASSA [g]:	REVISÃO:			
		<b>A3</b>	01.007.001	2/2	-	A		

## ANEXO C – Esclarecimentos Técnicos



## Zhimin load cell reply

Caixa de entrada x



**Sean** <info@zhiminsensor.com>  
para mim

Dear Daniel

Thanks for your inquiry. The load cell can bear 30g acceleration. 10g is not big for load cell.

Sean  
Kind regards

---

### Anhui Zhimin Electrical Technology Co.,Ltd

Sean Xiao  
Master of science in Marketing  
Sale Engineer  
Tel: +86 15318771702  
Address: No.712 Laoshan Road, Longzihu District, Bengbu 233000, Anhui, China  
A leading load cell&force transducer manufacturer



Responder

Encaminhar



### Contact Technical Support | Case Number: 00465761

Caixa de entrada x



**TS-EMEA** <ts-emea@telit.com>

para mim

Dear Daniel Santos,

the module passed the following test:

Vibration Variable Frequency (VVF): 20g, 20-2000 Hz, 1 decade/min, 4 cycle (each axis. X.Y.Z) , Service condition 1  
Mechanical Shock (MS): half sine, 1500 g, 0,5 ms, 5 in each dir.6 Service condition B

Best Regards,

Andrea Ghezzi

EMEA Technical Support  
Telit Cinterion Application Engineering

Description: Hello,

could you please confirm what is the impact resistance of the model GE910-QUAD V3 , in m/s2 or g's?  
I wanted to confirm if this model could withstand more than 10g's of acceleration.

Thank you. Regards  
Daniel Santos

ref:\_00D58HT6e.\_500411ax1Vd:ref

Thank you for the answer.

Thank you for the information.

That's great, thank you very much.

Responder

Encaminhar



## Model MB7986 Voltage Regulator

Caixa de entrada x



**Daniel Santos** <danielsantos.9.9b@gmail.com>  
para techsupport

Hello,

could you please confirm what is the impact resistance of this model, in m/s<sup>2</sup> or g's?  
I wanted to confirm if this model could withstand more than 10g's of acceleration.

Thank you. Regards  
Daniel Santos



**Scott Wielenberg** <sdwielenberg@maxbotix.com>  
para mim, Tech

Hi Daniel,

Thanks for your questions.

That being said, the transducer is rated for shock: After impact of 50G is applied following X,Y,Z

How many units will your project require? When is the project scheduled for production?

I look forward to hearing from you.

Best Regards,

Scott Wielenberg  
Sales Manager



 [Click to schedule a meeting](#)

Office: +1 (218) 454-0766  
Direct: +1 (218) 454-7327