



Estudo de um sistema de compactação para reciclagem de embalagens

DIOGO FILIPE NUNES MEIRELES

julho de 2025

Estudo de um sistema de compactação para reciclagem de embalagens

Diogo Filipe Nunes Meireles

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

Orientador: Professor Adriano Manuel de Almeida Santos

Co-orientador: Professor António José de Sousa Ferreira da Silva

Júri:

Presidente:

Hernâni Miguel Reis Lopes, Professor Coordenador, ISEP

Vogais:

António José Ramos da Silva, Professor Auxiliar, FEUP

Adriano Manuel de Almeida Santos, Professor Adjunto, ISEP

Porto, junho 2025

Agradecimentos

A realização desta dissertação foi uma longa jornada, marcada por momentos bons e menos bons, no entanto, sinto-me orgulhoso pelo trabalho realizado não só da dissertação, mas ao longo de todos estes anos.

Agradeço ao meu orientador professor Adriano Manuel de Almeida Santos, por me ajudar nesta última etapa, por me ensinar e até por me orientar profissionalmente. Conselhos que levo para a vida.

Queria agradecer a todas as pessoas que fizeram parte deste percurso porque sem elas, esta jornada não teria sido tão divertida, enriquecedora e cheia de momentos que levo para a vida.

À minha mãe, por ser o meu exemplo de vida, o meu maior apoio e saber o que dizer nos melhores momentos.

À Beatriz por todo o apoio incondicional não só na vida académica, mas também na vida pessoal querendo sempre o melhor de mim.

À Margarida, ao Carlos e ao Miguel que me ajudaram nos momentos de maior dificuldade, mesmo quando eu não acreditava que era possível, tornando este percurso mais leve.

Às Ritas (Pinho e Monteiro) e à Isabel Aluai por todos os momentos vividos e pela amizade que criamos que tenciono levar para o resto da vida.

Resumo

A concessão de um ecoponto com sistema de compactação de resíduos urbanos tem como objetivo a otimização dos ecopontos existentes de modo a reduzir fatores económicos e ambientais, mais nomeadamente, na fase de recolha e processamento dos resíduos.

Para o desenvolvimento deste projeto foi fundamental abordar temas como a gestão de resíduos urbanos em Portugal, com especial ênfase na sua evolução, na transição para a economia circular e na otimização dos processos de recolha e transporte.

Desde 2014, que se verifica um aumento da produção de resíduos, que em 2023 atingiu cerca de 5,06 milhões de toneladas, com uma média per capita de 1,40 kg/dia. Apesar de uma estabilização recente, a recolha indiferenciada continua a representar a maior parte dos resíduos, dificultando o cumprimento das metas de reciclagem [2].

A gestão eficiente dos resíduos implica também o estudo dos principais modelos de ecopontos (Cyclea e Iglo), considerando as suas características dimensionais e capacidade de armazenamento. É ainda abordada a importância da compactação dos resíduos como estratégia para aumentar a eficiência do transporte e reduzir o número de viagens, com impacto positivo na redução de emissões e custos operacionais.

Para finalizar a revisão bibliográfica, são analisadas as propriedades dos principais materiais recicláveis – plásticos e metais – e a sua resposta à compressão, essencial para o desenvolvimento de soluções técnicas eficazes.

A revisão conclui que a integração de sistemas de compactação nos ecopontos pode representar um avanço significativo na gestão sustentável dos resíduos urbanos.

De seguida o objetivo foi o desenvolvimento da prensa de compactação que se iniciou com a seleção do seu material, sendo escolhido o alumínio 6061 devido à sua leveza, resistência à corrosão e facilidade de fabrico.

Posteriormente, os componentes principais da prensa foram modelados utilizando o software *SolidWorks*, permitindo simular e verificar a funcionalidade mecânica da estrutura. A prensa foi composta por uma estrutura tubular, êmbolo, alavancas, porta de segurança, tampa e parede de fixação e, o seu dimensionamento foi feito com base nas dimensões dos resíduos a serem compactados. Para terminar a modelação, todas as ligações entre os componentes foram detalhadas, e o uso do *SolidWorks* foi fundamental para otimizar o projeto e garantir a viabilidade do sistema.

Para simular o comportamento estrutural da prensa de compactação e, analisar a aplicabilidade da estrutura foi utilizada a ferramenta *SolidWorks Simulation*. Inicialmente, foram analisadas as forças aplicadas durante a compressão de garrafas plásticas e latas de conserva, com base em gráficos de força-deslocamento.

Dois cenários críticos foram considerados: compressão de garrafas plásticas (300 N) e latas de conserva (5000 N). A partir dessas forças, foram desenvolvidos diagramas de corpo livre para calcular as forças nos componentes da estrutura, incluindo o manípulo de forma a verificar se um humano conseguiria executar o movimento e se o sistema se mostraria funcional.

Para terminar a sua validação, foram realizadas simulações no *SolidWorks Simulation* para avaliar o comportamento estrutural da prensa nos dois cenários apresentados. O estudo permitiu identificar as zonas de maior concentração de tensões e verificar as deformações resultantes. Nos dois casos estudados, as tensões permaneceram abaixo do limite admissível do material, indicando segurança estrutural. No entanto, no segundo caso, a força necessária no manípulo (1705,6 N) revelou-se excessiva para operação manual, apontando limitações ergonômicas.

Assim, o desenvolvimento de um ecoponto com sistema de compactação representa uma solução inovadora e sustentável para a gestão de resíduos urbanos, respondendo aos desafios atuais de eficiência operacional e cumprimento das metas ambientais.

Através da análise do contexto nacional, da seleção criteriosa de materiais e da modelação detalhada em *SolidWorks*, foi possível conceber uma estrutura funcional e estruturalmente segura para a compactação de resíduos recicláveis. No entanto, os resultados obtidos evidenciam também a necessidade de ajustes no sistema de operação manual, especialmente em cenários de maior resistência, reforçando a importância da ergonomia e da possível integração de mecanismos de assistência.

Deste modo, este projeto demonstra não só a viabilidade técnica da proposta, como também o seu potencial contributo para uma gestão de resíduos mais eficiente e alinhada com os princípios da economia circular.

PALAVRAS-CHAVE: Ecoponto, Cyclea, compactação, reciclagem, resíduos.

Abstract

The aim of providing a recycling point with a system for compacting municipal waste is to optimize existing recycling points in order to reduce economic and environmental factors, specifically in the waste collection and processing phase.

To develop this project, it was essential to address issues such as urban waste management in Portugal, with special emphasis on its evolution, the transition to the circular economy and the optimization of collection and transport processes.

Since 2014, there has been an increase in waste production, which in 2023 reached around 5,06 million tons, with a per capita average of 1,40 kg/day. Despite a recent stabilization, undifferentiated collection still accounts for the majority of waste, making it difficult to meet recycling targets [1].

Efficient waste management also involves studying the main recycling point models (Cyclea and Iglo), considering their dimensional characteristics and storage capacity. The importance of compacting waste as a strategy for increasing transport efficiency and reducing the number of journeys, with a positive impact on reducing emissions and operating costs, is also discussed.

To conclude the literature review, the properties of the main recyclable materials - plastics and metals - and their response to compression are analyzed, which is essential for developing effective technical solutions.

The review concludes that the integration of compaction systems in recycling bins could represent a significant advance in the sustainable management of municipal waste.

The next objective was to develop the compaction press, which began with the selection of its material, with 6061 aluminum being chosen due to its lightness, resistance to corrosion and ease of manufacture.

Subsequently, the main components of the press were modeled using *SolidWorks software*, allowing the mechanical functionality of the structure to be simulated and verified. The press was made up of a tubular structure, plunger, levers, safety door, cover and fixing wall, and was sized based on the dimensions of the waste to be compacted. To complete the modelling, all the connections between the components were detailed, and the use of *SolidWorks* was key to optimizing the design and ensuring the viability of the system.

The *SolidWorks Simulation* tool was used to simulate the structural behavior of the compaction press and analyze the applicability of the structure. Initially, the forces applied during the compression of plastic bottles and cans were analyzed, based on force-displacement graphs.

Two critical scenarios were considered: compression of plastic bottles (300 N) and cans (5000 N). Based on these forces, free-body diagrams were developed to calculate the forces on the structure's components, including the handle, in order to check whether a human could perform the movement and whether the system would prove functional.

To complete its validation, simulations were carried out in *SolidWorks Simulation* to assess the structural behavior of the press in the two scenarios presented. The study made it possible to identify the areas of greatest stress concentration and verify the resulting deformations. In both cases studied, the stresses remained below the permissible limit of the material, indicating structural safety.

However, in the second case, the force required on the handle (1705,6 N) proved to be excessive for manual operation, indicating ergonomic limitations.

Thus, the development of an recycling point with a compaction system represents an innovative and sustainable solution for urban waste management, responding to the current challenges of operational efficiency and meeting environmental targets.

Through analysis of the national context, careful selection of materials and detailed modeling in *SolidWorks*, it was possible to design a functional and structurally safe structure for compacting recyclable waste. However, the results obtained also highlight the need for adjustments to the manual operation system, especially in scenarios of greater resistance, reinforcing the importance of ergonomics and the possible integration of assistance mechanisms.

In this way, this project demonstrates not only the technical feasibility of the proposal, but also its potential contribution to more efficient waste management in line with the principles of the circular economy.

KEYWORDS: Recycling point, Cyclea, Compaction, Recycling, Waste.

Índice

Lista de Figuras	xiv
Lista de Tabelas	xvii
Acrónimos e Símbolos	xix
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Metodologia	3
1.4. Estrutura	4
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. Gestão de Resíduos urbanos em Portugal	5
2.2. Economia linear e economia circular	9
2.3. Modelos de ecoponto	10
2.4. Recolha e transporte de resíduos urbanos	13
2.5. Características dos materiais	15
2.5.1. Plásticos	16
2.5.2. Metais	17
2.6. Modelo doméstico de compactação	17
2.7. Estudo prensas manuais	19
3. Desenvolvimento	21
3.1. Modelo Cyclea	21
3.2. Prensa de compactação	21
3.2.1. Seleção do material	22
3.2.2. Componentes da prensa	23
3.2.3. Elementos de ligação dos componentes da prensa	30
3.3. Cálculos de esforços na prensa	35
3.3.1. Força aplicada no êmbolo	35
3.3.2. Força aplicada no manípulo	38
3.4. Tensões e deformações utilizando a ferramenta <i>Solidworks Simulation</i>	47
4. Resultados e Discussão	51
4.1. Apresentação de resultados	51
4.1.1. Análise do caso da compactação de garrafas plásticas	51
4.1.2. Análise do caso da compactação de latas de conserva	54
5. Conclusão	59
5.1. Conclusões finais	59
5.2. Limitações e trabalhos futuros	60

Referências	63
Declaração de Integridade	65
Apêndice A	67
Anexo A	81
Anexo B.....	83

Lista de Figuras

Figura 1 – Produção de Resíduos Urbanos nos últimos anos [2].	6
Figura 2 – Evolução da recolha de resíduos urbanos (%) entre 2019 e 2023.	6
Figura 3 – Produção (t) e capitalização de RU (kg/hab.dia) por SGRU, em 2023 [5].	7
Figura 4 – Mapa da distribuição dos SGRU em Portugal Continental [5].	8
Figura 5 – Percentagem de resíduos em Portugal em 2023 [5].	8
Figura 6 – Processo da Economia Linear (a) e Circular (b) (adaptado de [8]).	9
Figura 7 – Modelo Cyclea 1500 [12].	11
Figura 8 – Modelo Cyclea 2500 [13].	11
Figura 9 – Modelo Iglo 2500 [14].	12
Figura 10 – Modelos de camiões utilizados no transporte de resíduos [16].	14
Figura 11 – Número de rondas de recolha de resíduos não compactados e compactados (adaptado de [4]).	15
Figura 12 – Modelo doméstico de compactação (adaptado de [22]).	18
Figura 13 - Prensa e compactação manual estudada.	19
Figura 14 – Sistema de compactação de embalagens desenvolvido.	23
Figura 15 – Vista explodida 3D dos elementos da prensa.	24
Figura 16 – Estrutura tubular.	26
Figura 17 – Êmbolo.	27
Figura 18 – Alavanca.	28
Figura 19 – Porta de segurança.	29
Figura 20 – Tampa.	29
Figura 21 – Parede de fixação.	30
Figura 22 – Ligação entre o êmbolo e a porta de segurança.	31
Figura 23 – Ligação entre o êmbolo e a alavanca.	32
Figura 24 – Ligação entre as diferentes barras da alavanca.	32
Figura 25 – Ligação entre o manípulo e barra da alavanca.	33
Figura 26 – Ligação entre a parede de fixação e alavanca.	33
Figura 27 – Ligação entre a tampa a estrutura tubular.	34
Figura 28 – Ligação entre estrutura tubular e parede de fixação.	34
Figura 29 – Curva força deslocamento de uma lata de conserva, adaptado de [22].	36
Figura 30 – Curva força deslocamento de uma lata de refrigerante, adaptado de [22].	37
Figura 31 – Curva força deslocamento de uma garrafa de plástico, adaptado de [22].	38
Figura 32 – Diagrama de corpo livre do êmbolo vista frontal – Caso 1.	39
Figura 33 - Diagrama de corpo livre do êmbolo vista lateral – Caso 1.	40
Figura 34 – Diagrama de corpo livre da barra curta – Caso 1.	41
Figura 35 – Diagrama de corpo livre da barra longa – Caso 1.	42
Figura 36 – Diagrama de corpo livre do manípulo – Caso 1.	43
Figura 37 - Elementos de ligação entre os componentes da prensa.	43
Figura 38 – Diagrama de corpo livre do êmbolo vista frontal – Caso 2.	44
Figura 39 – Diagrama de corpo livre do êmbolo vista lateral – Caso 2.	44
Figura 40 – Diagrama de corpo livre da barra curta – Caso 2.	45
Figura 41 – Diagrama de corpo livre da barra longa – Caso 2.	46

Figura 42 – Diagrama de corpo livre do manipulador – Caso 2.....	46
Figura 43 – Condições atribuídas no <i>software</i> de simulação – Caso 1.	49
Figura 44 – Condições atribuídas no <i>software</i> de simulação – Caso 2.	49
Figura 45 – Tensões instaladas na estrutura – Caso 1.	52
Figura 46 – Ponto de tensão máxima utilizando a ferramenta <i>iso clipping</i> – Caso 1.....	53
Figura 47 – Deformações provocadas na estrutura – Caso 1.....	54
Figura 48 – Tensões instaladas na estrutura – Caso 2.	55
Figura 49 – Ponto de tensão máxima utilizando a ferramenta Iso Clipping – Caso 2.....	56
Figura 50 – Deformações provocadas na estrutura – Caso 2.....	57

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Quadro resumo das características mais importantes.	12
Tabela 2 – Propriedades dos possíveis materiais a utilizar na prensa (adaptado de [23]).	22

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
MEF	Método dos Elementos Finitos
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
REA	Relatório do Estado do Ambiente
RU	Resíduos Urbanos
SGRU	Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos
CAD	Desenho Assistido por Computador

Lista de Símbolos

F	Força	N
M	Momento	N.m

1. Introdução

A introdução é dividida em quatro subcapítulos, que contextualizam o tema da dissertação. Inicialmente, é realizado um enquadramento, onde são apresentados os problemas que inspiraram a realização deste projeto, assim como as soluções que se procuraram desenvolver e as respetivas vantagens. De seguida, são explicitados os objetivos, o tipo de metodologia utilizada na investigação e ainda a estrutura do presente relatório, com uma breve explicação dos assuntos que serão abordados.

1.1. Enquadramento

O aumento exponencial da população tem um impacto significativo na produção de resíduos, uma vez que uma maior densidade populacional implica um maior consumo de recursos e, conseqüentemente, uma maior produção de resíduos. À medida que as cidades se expandem e os padrões de vida melhoram, a procura por bens de consumo aumenta, levando a um aumento na produção de embalagens, plásticos e outros materiais descartáveis. Este ciclo não só coloca pressão sobre os sistemas de gestão de resíduos, mas também agrava problemas ambientais, como a poluição e a degradação dos ecossistemas, tornando urgente a necessidade de soluções sustentáveis e de uma maior consciencialização sobre a redução do desperdício.

Como agravante da situação, esta produção de resíduos, muitas vezes inclui resíduos tóxicos e perigosos e uma vez que, anualmente são depositados milhões de toneladas de lixo, não só em aterros, mas também na natureza, este problema está seriamente ligado aos níveis de poluição ambiental que são cada vez mais alarmantes [3].

Assim, os principais problemas associados ao excesso de resíduos são:

- O aumento do lixo acumulado em aterros – que atingem os limites da sua ocupação devido ao tempo associado à decomposição dos recursos;
- O aumento da poluição dos oceanos;
- O aumento da contaminação do solo e da água;
- O aumento da energia consumida para a compactação dos recursos nas entidades competentes;
- O aumento da emissão de gases com efeito de estufa – associado à inceneração dos resíduos e aos gases emitidos pelos camiões de recolha.

Para resolver o problema que se impõe, é crucial implementar a reciclagem de forma eficaz. A reciclagem permite que materiais como papel, plástico, metal entre outros, sejam reaproveitados,

Introdução

diminuindo a necessidade de extrair novas matérias-primas e, conseqüentemente, a energia e os recursos associados a esse processo. Além disso, a prática da reciclagem contribui para a redução da quantidade de resíduos enviados para os aterros, minimizando a poluição e promovendo uma gestão mais sustentável dos recursos. Assim, fomentar a reciclagem e a conscientização ambiental é fundamental para garantir um futuro mais equilibrado e sustentável.

Um dos maiores desafios ambientais da atualidade é o excesso de resíduos produzidos/acumulados no planeta, provocando um enorme impacto na pegada ecológica – que relaciona o consumo de recursos com a capacidade de regeneração do planeta. Deste modo, para diminuir a pegada ecológica é fundamental consumir menos do que aquilo que o planeta produz bem como minimizar os resíduos depositados, uma vez que estes têm impacto direto na capacidade de regeneração do planeta [4].

É assim essencial motivar comportamentos sustentáveis, porque, para além da questão ambiental, a falta de reciclagem implica um elevado encargo financeiro tanto para os cidadãos como para as entidades responsáveis [3].

No entanto, a motivação à prática de comportamentos sustentáveis não se tem mostrado suficiente, pelo que se torna necessário a implementação de outras estratégias. O processo de reciclagem envolve várias etapas — desde o depósito dos resíduos nos contentores, passando pelo transporte, até à separação e tratamento nas entidades competentes. Portanto, é possível focar em qualquer uma dessas fases para melhorar a eficácia da reciclagem e incentivar a participação da comunidade.

De acordo com os dados recolhidos, os processos de recolha seletiva não apresentam grande evolução tecnológica. O objetivo é que esta estagnação na evolução seja contrariada, adotando-se e implementando-se novas estratégias em diferentes áreas do sistema de gestão de resíduos [3].

A partir dos pontos anteriormente apresentados, conclui-se que a reciclagem para além de ser fundamental em termos de prevenção da poluição, também influencia diretamente fatores como a eficiência de uso dos recursos e, conseqüentemente, as estratégias a implementar nomeadamente a economia circular [5].

Assim, com esta dissertação, pretende-se melhorar o existente sistema de reciclagem a partir da implementação de um sistema mecânico de compactação a integrar nos ecopontos. Apesar da solução para este problema estar dependente do indivíduo para que as metas de reciclagem sejam atingidas, pretende-se adotar uma estratégia que melhore a eficiência do próprio sistema de reciclagem. Pretende-se que este sistema seja uma mais-valia para o planeta e para a sociedade uma vez que o seu desenvolvimento apresenta inúmeras vantagens, sendo as mais importantes:

- Menor gasto de energia para comprimir os resíduos nas instalações adequadas;
- Maior capacidade de armazenamento do ecoponto e do veículo de recolha, este veículo poderá dar menos voltas reduzindo a poluição associada ao uso de combustíveis;
- Redução da pegada ecológica.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste projeto é desenvolver um sistema de compactação de resíduos, para ser instalado num dos ecopontos mais utilizados em Portugal, o ecoponto Cyclea. O ecoponto escolhido para este projeto está destinado para a recolha seletiva de latas metálicas e embalagens de plástico. Esta solução prevê uma melhoria significativa nos problemas anteriormente mencionados uma vez que no próprio ecoponto irá ser implementado um sistema que compacte o produto reciclável. A implementação do sistema de compactação no próprio ecoponto visa solucionar problemas relacionados ao volume excessivo de resíduos, uma vez que o sistema reduzirá o espaço ocupado pelos materiais recicláveis.

O sistema desenvolvido fará uso de uma prensa e a compactação dos resíduos deverá ser realizada manualmente e de forma segura, tendo-se desenvolvido um estudo sobre a forma como deverá ser constituída esta estrutura. A prensa de compactação ficará localizada na parte externa do contentor e será devidamente identificada. Este desenvolvimento foi realizado com o auxílio do *software SolidWorks*¹.

Com a implementação deste projeto melhora-se o sistema de gestão de recursos e, é expectável um aumento da eficiência na reciclagem bem como uma diminuição da pegada ecológica, uma vez que se minimiza a energia consumida pelos veículos de recolha e nas instalações de reciclagem. Os benefícios incluem a redução do tempo do processo de reciclagem, já que a compactação será feita pelo próprio utilizador e a extração dos resíduos é facilitada uma vez que estes já se encontram compactados dentro do próprio ecoponto. Por outro lado, irá também existir uma diminuição do número de viagens, pois será possível transportar mais resíduos num mesmo veículo de iguais dimensões.

1.3. Metodologia

A metodologia adotada nesta dissertação dividiu-se em três etapas principais: revisão bibliográfica, desenvolvimento técnico e validação estrutural.

Inicialmente, foi realizada uma análise da gestão de resíduos urbanos em Portugal, com foco na evolução dos ecopontos, nas metas da economia circular e na importância da compactação de resíduos.

Seguidamente, foi desenvolvido o protótipo da prensa de compactação, com base na seleção do alumínio 6061 como material principal e na modelação dos componentes em *SolidWorks*.

Por fim, recorreu-se ao *SolidWorks Simulation* para avaliar o comportamento estrutural do sistema em dois cenários críticos, garantindo a sua viabilidade mecânica e identificando limitações na operação manual.

¹ Versão 2023

1.4. Estrutura

O presente relatório divide-se em cinco capítulos. Inicia-se pela introdução, onde se faz um breve enquadramento sobre o tema em desenvolvimento, apresentam-se os objetivos, a atingir e, por fim é a apresentado a forma como o relatório foi estruturado.

No capítulo dois, é desenvolvida a revisão bibliográfica onde se apresenta a problemática na qual se baseia o desenvolvimento deste projeto. Para que se obtivesse um sistema que fosse aplicável no sistema de reciclagem português foram abordados temas como:

- A gestão de resíduos urbanos em Portugal e os seus impactos na economia, fazendo-se uma distinção dos métodos de economia linear e economia circular;
- Os tipos de ecopontos mais utilizados no país e quais as soluções a aplicar para que se pudessem implementar melhorias aos mesmos;
- O sistema de recolha e transporte de resíduos urbanos para determinar de que forma a sua eficiência poderia ser melhorada,
- As características e o comportamento à compressão dos plásticos e metais (materiais para os quais o sistema iria ser utilizado) o que permitiu dimensionar o sistema;
- Finalmente apresenta-se o primeiro sistema de compactação doméstico determinando as melhorias que poderiam ser implantadas ao mesmo.

No capítulo três, procede-se ao dimensionamento da prensa de compactação. Este processo exigiu a seleção do material a utilizar na sua construção, tendo-se realizado uma análise detalhada das propriedades mecânicas do mesmo, de modo a garantir a sua adequação funcional e estrutural.

Posteriormente, são descritos todos os componentes constituintes da prensa, que foram projetados e modelados em CAD, com recurso à ferramenta *SolidWorks*. Foram ainda definidos os elementos de fixação e ligação entre os diversos componentes, assegurando a integridade estrutural do conjunto.

Com a estrutura dimensionada, foi necessário efetuar um estudo sobre os materiais a compactar, com o objetivo de determinar os esforços aplicados à estrutura durante o processo. Com base nesta análise, foi calculada a força necessária à compactação que seria exercida por uma pessoa, permitindo validar a viabilidade mecânica do sistema proposto.

Para uma verificação mais rigorosa do desempenho estrutural, recorreu-se à ferramenta *SolidWorks Simulation*. Esta foi utilizada para a análise das tensões induzidas e das deformações resultantes sob as condições de carga aplicadas, permitindo avaliar a robustez e segurança da estrutura.

Finalmente, é apresentada, no capítulo quatro, uma análise crítica do trabalho desenvolvido. No capítulo 5 são expostas as principais conclusões retiradas. O relatório termina com uma proposta de continuação para trabalhos futuros. O último capítulo é reservado aos anexos, que complementam e fundamentam a informação técnica e científica abordada ao longo do documento.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo desenvolve-se a revisão bibliográfica, onde se abordam os temas com mais influência no projeto a ser realizado: um sistema de compactação para reciclagem de embalagens.

Inicialmente, abordou-se a gestão de resíduos urbanos em Portugal, a problemática da produção de resíduos e apresentam-se as principais entidades de recolha de resíduos em Portugal Continental. De seguida, descrevem-se os principais modelos de produção e consumo, fazendo-se uma análise das diferenças e semelhanças dos seguintes modelos: “economia linear” e “economia circular”. Em cada modelo mencionam-se as principais características de cada um e as respetivas vantagens, relacionando-as com as políticas associadas à reciclagem.

De seguida apresentam-se as características dos ecopontos predominantes em Portugal para que se possa estudar a melhor forma de implementar o sistema. Após este estudo passou-se à análise do sistema de gestão de resíduos em Portugal, estudando-se o sistema de transporte para melhor compreender as melhorias que poderiam ser implementadas. Para esse efeito analisou-se o impacto da instalação de um sistema de compactação de resíduos num camião de transporte.

Adicionalmente, investigou-se as propriedades e o comportamento na compactação dos resíduos relevantes para o projeto em causa (plásticos e metais) e, para finalizar, realizou-se uma pesquisa sobre ecopontos com sistema de compactação existentes, apresentando-se as características de modelos já existentes.

2.1. Gestão de Resíduos urbanos em Portugal

Desde 2014 que se tem verificado que em Portugal continental a produção total de resíduos urbanos tem vindo a aumentar. Analisando o Relatório do Estado de Ambiente (REA) sabe-se que em 2023 foram produzidos aproximadamente 5,06 milhões de toneladas de resíduos. Este valor pode ser observado na figura 1 – onde se apresenta a produção de resíduos dos últimos anos – o que equivale a uma capitalização anual de 502 kg/hab·ano, isto significa que cada habitante produz diariamente cerca de 1,40 kg de resíduos [2].

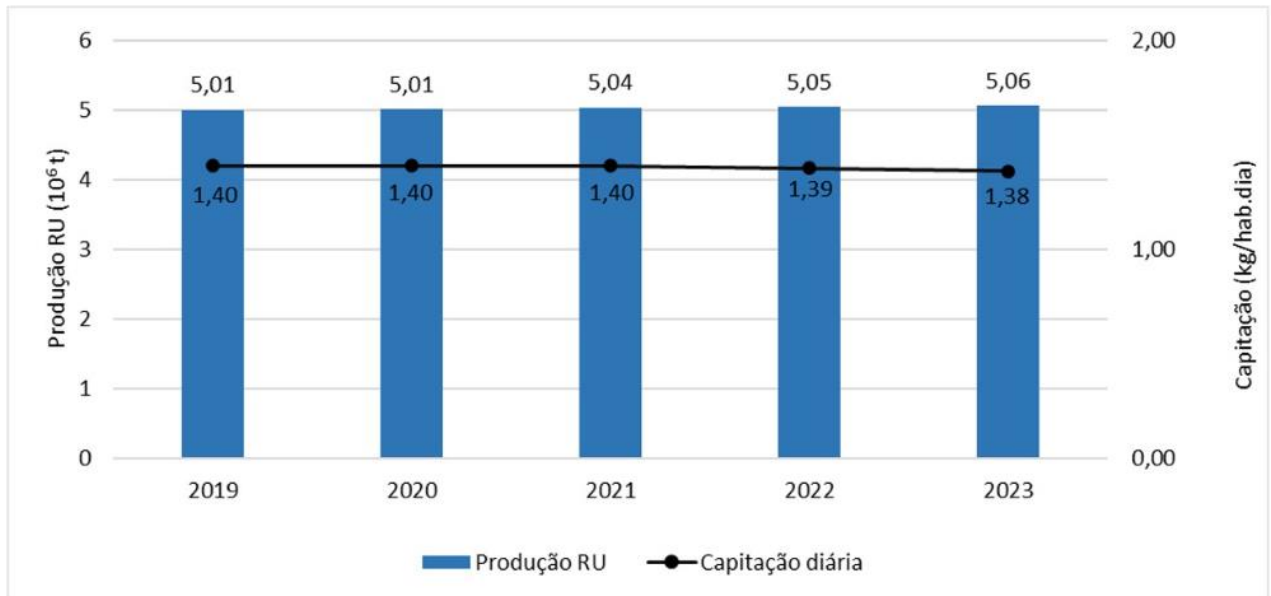


Figura 1 – Produção de Resíduos Urbanos nos últimos anos [2].

Por outro lado, e observando a evolução da produção de resíduos ao longo dos últimos anos, verifica-se que esta tendência de crescimento da produção de resíduos estabilizou desde 2019 –figura 1.

Contudo, apesar desta estabilização, quando se analisa o tipo de resíduos recolhidos, a recolha indiferenciada continua a ser o tipo de recolha com mais expressão, correspondendo a cerca de 76% dos resíduos recolhidos no ano de 2023 – figura 2.

Observando estes valores entende-se que a taxa de recolha diferenciada não aumentou da forma que se esperava. No entanto, o aumento que ocorreu deveu-se à ligeira diminuição da recolha indiferenciada, o que é considerado o cenário ideal [4]

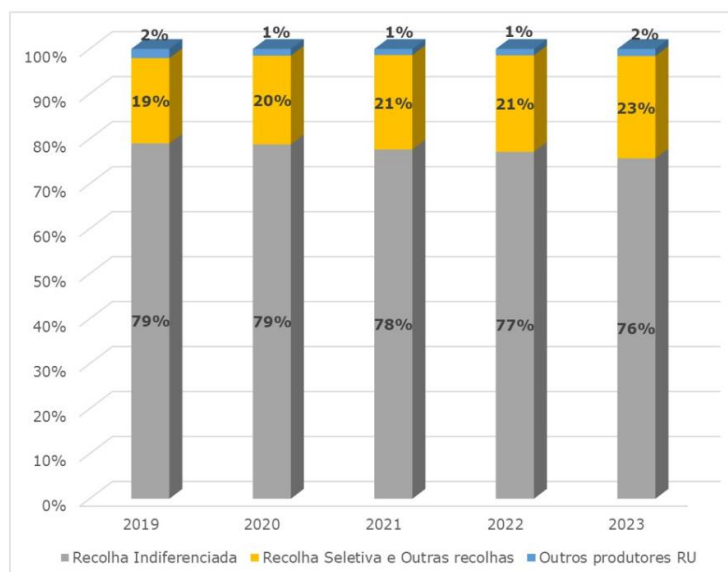


Figura 2 – Evolução da recolha de resíduos urbanos (%) entre 2019 e 2023.

De seguida, foi feita uma análise relativamente às zonas de maior produção de resíduos. Observando a figura 3 concluiu-se que quanto maior a concentração da população em determinada zona, maior a produção de resíduos nessa mesma zona [4].

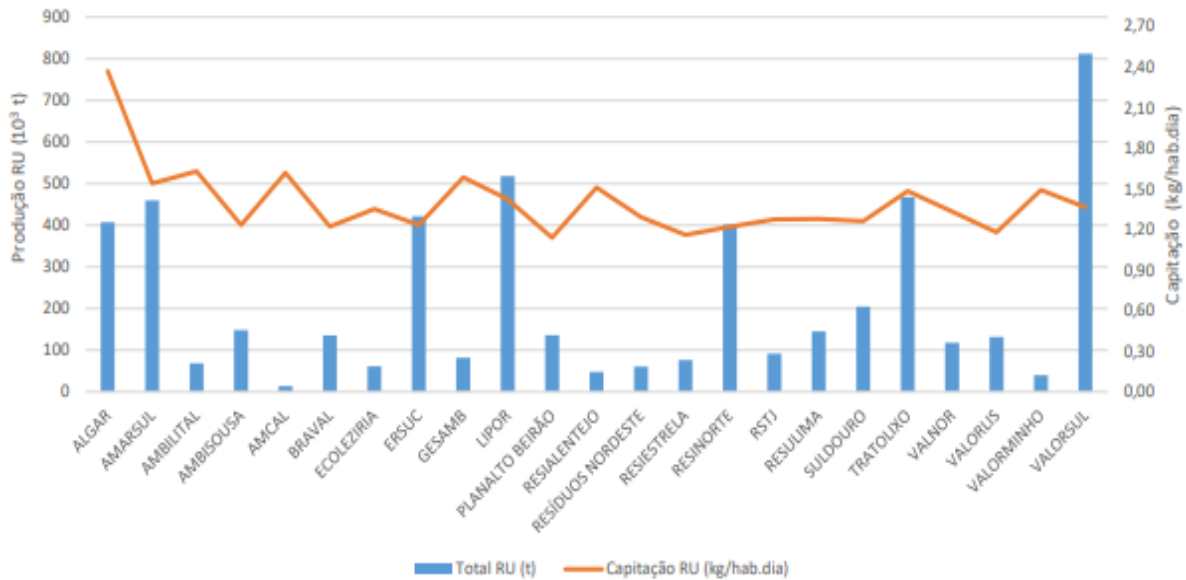


Figura 3 – Produção (t) e capitalização de RU (kg/hab.dia) por SGRU, em 2023 [6].

Ponderando os valores apresentados pela Quercus conclui-se que em todo o mundo são produzidos cerca de 2,01 mil milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Os resíduos diários, que são produzidos apenas por pessoa, assumem nos dias de hoje uma média de 0,74 kg, mas mais uma vez variam fortemente de acordo com as regiões. Comparando estes valores com os obtidos anteriormente, verifica-se que Portugal posiciona-se consideravelmente acima da média mundial [7].

Segundo esta associação, cerca de 9% dos resíduos de embalagens recolhidos para reciclagem não puderam ser reciclados. Estes dados indicam que a reciclagem mesmo quando realizada não é feita de forma correta [7].

Os resíduos urbanos em Portugal, são recolhidos por 23 grandes entidades. Estas estão distribuídas por toda a região de Portugal Continental, como se verifica na figura 4, na sua totalidade constituem o Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU). Na figura 4 pode-se observar a zona de Portugal que cada uma dessas entidades ocupa [7].

Destas 23 entidades, todas realizam a recolha indiferenciada, sendo que 19 procedem também à recolha seletiva. Para além destas grandes empresas, ainda existem 237 entidades de pequena dimensão responsáveis apenas pela recolha indiferenciada [4].

Mesmo assim a maioria das metas de reciclagem não foram cumpridas aumentando assim a acumulação de resíduos urbanos em aterro [7].



Figura 4 – Mapa da distribuição dos SGRU em Portugal Continental [6].

Avaliando os resíduos recolhidos pelas entidades mencionadas anteriormente, é possível quantificar a percentagem dos diferentes tipos de resíduos, como indicado na figura 5.

Através da análise do resultado da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), verifica-se que 11,29% dos resíduos recicláveis produzidos são metais e plásticos, o que evidencia um aumento relativamente a 2023, onde se verificou uma quantidade de 12%. De notar que este aumento, deve-se sobretudo à política de prevenção de resíduos [8].

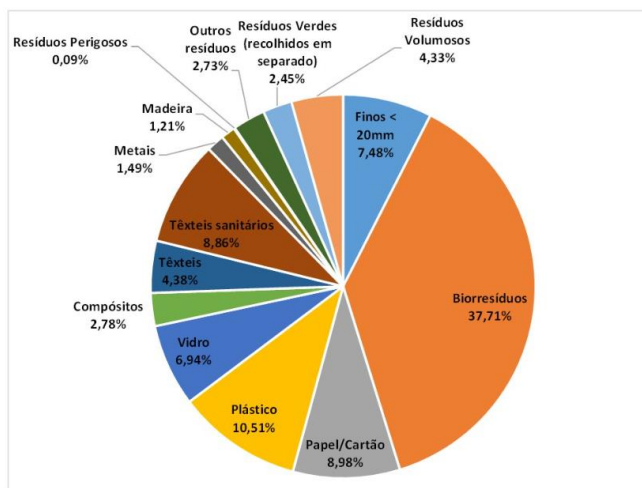


Figura 5 – Percentagem de resíduos em Portugal em 2023 [6].

2.2. Economia linear e economia circular

Na atualidade definem-se dois tipos de modelos de produção e consumo, considerando-se que o segundo modelo é desenvolvido a partir de uma evolução do mais antigo. O primeiro modelo considerado é denominado de “economia linear” e baseia-se num processo simples que tem como princípios fundamentais: extrair, produzir, consumir e descartar. No entanto, após uma breve análise concluiu-se que este processo não tinha em consideração os níveis de poluição produzidos. Assim, pode-se definir como uma das maiores desvantagens deste modelo a ausência de preocupação com a pegada ecológica ou, até mesmo, o facto de os recursos do planeta serem finitos. Fundamentalmente, tem como prioridade os aspetos económicos, mesmo que em detrimento dos aspetos ecológicos e sociais. Isto comprova-se pelo facto dos materiais serem descartados após uma utilização [9].

Seguidamente, e atendendo aos aspetos ecológicos surgiu o modelo da “economia circular”. Este modelo está diretamente relacionado com a política dos 3R's – Reduzir, Reciclar e Reutilizar – uma vez que estes conceitos coincidem com os três primeiros princípios da economia circular. Apesar disso, existem muitas outras estruturas que o complementam, mas os primeiros três R's, são os que fundamentam o seu princípio. Algumas destas estruturas são denominadas de 4R, 6R e 9R e abordam conceitos como: Respeitar, Repensar, Recusar, Reintegrar, Recuperar e Repassar [10].

Como mencionado anteriormente, o desenvolvimento deste modelo teve como objetivo a substituição do modelo linear. Assim, passa-se a utilizar um modelo que prioriza um aumento da vida útil dos recursos, atrasando o seu fim de vida. Este modelo baseia-se no desenvolvimento de produtos duradouros ou, que por outro lado, possam ser reparados, desmontados e reciclados. Aplica-se este método a cada produto desde a sua criação até à reciclagem onde este é novamente transformado e reciclado. Como este modelo reutiliza os recursos, é considerado um processo fechado e cíclico. Na figura 6 é possível observar de forma esquematizada estes dois modelos [9].

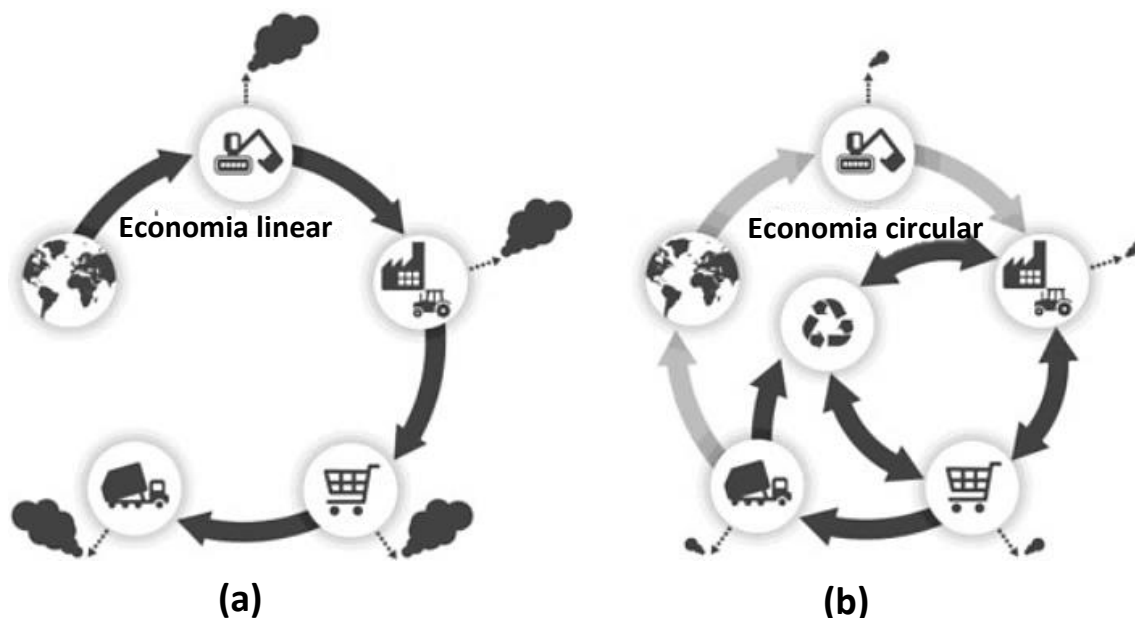


Figura 6 – Processo da Economia Linear (a) e Circular (b) (adaptado de [8]).

Assim este modelo para além de combater a escassez dos recursos disponíveis, também permite uma diminuição da pegada ecológica. Esta diminuição, obtém-se à custa de se abandonar o conceito de

descartar os produtos após uma utilização, o que provocava um grande impacto no meio ambiente, nos recursos e nos benefícios económicos [10]. Deste modo, a transição para um modelo de economia circular na atualidade, tem vindo a ajudar a combater dois dos temas mais fulcrais para a manutenção do planeta, sendo determinante para reduzir a poluição e não esgotar os recursos naturais.

Uma das diferenças significativas entre estes dois modelos é o conceito de desenvolvimento sustentável. Quando se aplica este conceito ao modelo da “economia linear”, que apenas é focado no processo após a produção e consumo dos produtos, adotam-se estratégias como a redução de resíduos, reciclagem e redução da poluição. No entanto, da forma que os processos estão desenvolvidos neste modelo, os mesmos não estão preparados para a utilização de matérias reutilizáveis [8].

É neste aspeto que a economia circular se destaca, uma vez que é claramente direcionada para os recursos. Este modelo tem em consideração tanto a matéria que entra como o produto que sai. Assim sendo, os vários especialistas da área não chegam a um consenso sobre a aplicabilidade deste conceito aos dois modelos sendo muitas vezes visto como um fracasso quando aplicado ao modelo de produção da economia linear.

2.3. Modelos de ecoponto

Para que se aplique o mecanismo da melhor forma possível é fundamental conhecer o sistema de reciclagem implementado em Portugal. Para isso, é necessário conhecer os aspetos dimensionais dos ecopontos, para os quais se vai desenvolver o modelo, apresentando-se as principais características de alguns ecopontos implementados no país.

Relativamente aos ecopontos do modelo Cyclea estes definem-se como contentores de força vertical para recolhas seletiva de resíduos e distinguem-se pelas suas respetivas cores. Existem dois tipos de ecopontos Cyclea, o modelo 1500 que se destina ao vidro ou plástico/metalo, consoante a sua cor, e o modelo 2500 que está destinado unicamente ao depósito de papel/cartão [11].

Para além destes dois modelos que possuem uma estrutura retangular, existe o modelo Iglo 2500 que é muito semelhante ao modelo Cyclea. Este outro modelo é destinado a plásticos e metais, mas possui uma estrutura mais ovalizada, e, por isso, apresenta diferentes aspetos dimensionais que mais adiante serão evidenciados [11].

O modelo Cyclea 1500 – apresentado na figura 7 – é um modelo destinado a vidros ou a plásticos/metalo, como foi mencionado anteriormente. Este modelo possui uma altura de 1850 mm, uma largura de 1000 mm e 1140 mm de comprimento. No entanto, a característica de maior ênfase para este estudo é o volume, que neste modelo é de 1500 L. Contudo apesar do seu volume, este ecoponto possui um peso em vazio de apenas 135 kg e tem capacidade para mais 600 kg de resíduos para além do seu peso, como se pode verificar no ANEXO A.

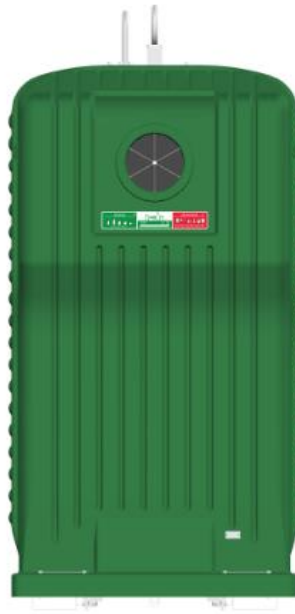


Figura 7 – Modelo Cyclea 1500 [12].

Relativamente ao modelo Cyclea 2500 – apresentado na figura 8 – e que é destinado a resíduos de papel e cartão, possui uma altura de 1850 mm, uma largura de 1280 mm e um comprimento total de 1140 mm. Este ecoponto possui um volume superior ao modelo apresentado anteriormente, atingindo uma capacidade de 2500 L e suporta um peso em resíduos de até 1000 kg, sendo que possui um peso em vazio de 156 kg como se indica no ANEXO B.



Figura 8 – Modelo Cyclea 2500 [13].

Os dois modelos apresentados anteriormente apenas diferem na sua dimensão de largura o que tem como consequência uma diferença entre os seus volumes e, ainda, no seu peso em vazio.

Relativamente ao tipo de construção e à sua funcionalidade os modelos são semelhantes. Este modelo tem características como colocação rápida, boa estabilidade e aderência ao solo [11].

Já o modelo Iglo 2500 destina-se aos resíduos como plásticos/metais e possui uma altura de 1870 mm, uma largura de 1620 mm e um comprimento de 1620 mm. Como se pode observar na figura 9 este possui um formato diferente do anteriormente apresentado [14].



Figura 9 – Modelo Iglo 2500 [14].

De forma mais resumida e condensada, a tabela 1 apresenta as características mais relevantes para o caso em estudo, permitindo uma melhor comparação entre os diferentes tipos de modelos.

Tabela 1 – Quadro resumo das características mais importantes.

	Cyclea 1500	Cyclea 2500	Iglo 2500
Peso em vazio [kg]	135	156	95
Altura [mm]	1850	1850	1870
Largura [mm]	1000	1280	1620
Comprimento [mm]	1140	1140	1620
Peso Nominal [kg]	600	1000	530
Capacidade [L]	1500	2500	2500

Quando comparamos o modelo Iglo que possui 2500 L de capacidade com o Cyclea 2500 – um modelo de igual capacidade – verificamos que este apresenta um peso em vazio bastante inferior – cerca de 95 kg quando comparado com os 156 kg do modelo Cyclea. Todavia este modelo apresenta uma grande desvantagem quando se fala sobre a sua capacidade de armazenamento uma vez que apenas suporta um peso em resíduos de 530 kg – aproximadamente metade da capacidade apresentada pelo modelo Cyclea 2500.

É fundamental estudar os aspetos dimensionais dos ecopontos, uma vez que o sistema de compactação, vai ser desenvolvido de forma a ser implementado em ambos os modelos.

2.4. Recolha e transporte de resíduos urbanos

Uma recolha e transporte adequado dos resíduos está diretamente relacionada com a existência de um Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU) de boa qualidade. Este sistema define-se como uma estrutura com meios humanos, logísticos, equipamentos e infraestruturas desenvolvidas para que se executem todas as operações relacionadas com gerir os Resíduos Urbanos (RU) [5].

Existem metas específicas a atingir, que estão explicitadas no Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos, sendo que as medidas a implementar para atingir as mesmas, estão estabelecidas no Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU) [5].

O PERSU 2030 tem como objetivo orientar todos os agentes envolvidos neste processo, de forma que as suas ações contribuam para: o aumento da prevenção sobre o uso de resíduos, o aumento da reciclagem dos recursos e, ainda, que se adotem novas formas de valorização dos resíduos urbanos, possibilitando assim a redução do consumo de matérias-primas naturais [5].

Os serviços de gestão de RU abrangem as seguintes fases [5]:

- Recolha e transporte;
- Triagem;
- Valorização/eliminação.

A principal etapa da gestão de resíduos urbanos é a recolha dos mesmos – esta etapa resume-se ao levantamento de dois principais tipos de resíduos: os indiferenciados (resíduos orgânicos) ou os seletivos (papel, cartão, plástico, metal e vidro). Para estes resíduos consideram-se dois tipos de origem: “de habitação” e “como outras origens” – para os restantes casos. Após a recolha, estes são transportados até uma instalação de tratamento adequado [2, 12].

De uma forma mais detalhada estes são os resíduos urbanos que se consideram existir definidos pela agência portuguesa do ambiente [2, 12]:

- Das habitações inclui-se papel e cartão, vidro, metais, plásticos, biorresíduos, madeira, pilhas ou produtos têxteis, resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos, e ainda colchões e mobiliário;
- De outras origens, consideram-se os resíduos que quer na sua natureza quer na sua composição são semelhantes aos resíduos das habitações.

Com o agravamento dos níveis de poluição ambiental, como anteriormente mencionado, é necessário ter em atenção os recursos utilizados e, conseqüentemente, analisar de que forma se pode otimizar o processo de reciclagem.

Desta forma, para além de se considerarem formas de aumentar a quantidade de recursos reciclados torna-se fundamental focarmo-nos noutros parâmetros. Tendo em consideração que a quantidade de resíduos reciclados está a aumentar, procura-se então otimizar aspetos como: o armazenamento dos recursos nos contentores e a forma como são transportados.

O sistema de transporte para resíduos sólidos urbanos engloba vários tipos de camiões, que são destinados a diferentes fins e, consoante a finalidade, a sua estrutura vai variar. Os vários tipos de camiões disponíveis apresentam-se na figura 10. A sua capacidade varia consoante o tipo de transporte a realizar e de acordo com o fabricante. No entanto, a sua capacidade terá valores mínimos e máximos que rondam os 6 e os 35m³, respetivamente [16].



Figura 10 – Modelos de camiões utilizados no transporte de resíduos [16].

Observando novamente a figura 2, é possível verificar que, apesar de lentamente, está a aumentar a quantidade de resíduos reciclados em Portugal. Assim sendo, o sistema desenvolvido ao longo desta dissertação mostrar-se-á extremamente vantajoso. Isto porque, ao se realizar a compactação dos resíduos, está-se a aumentar a quantidade de resíduos armazenados num contentor de determinado volume e, conseqüentemente, a minimizar o número de viagens para o centro de reciclagem – este fator pode ser explicado pelo facto dos resíduos ocuparem menos espaço tanto no contentor como no veículo.

Para que esta recolha e transporte sejam realizados com máxima eficiência, existem pessoas e equipamentos qualificados para a sua realização, assim sendo, este processo será estudado para que se proceda à sua otimização, através do sistema desenvolvido.

No sistema de transporte existente atualmente em Portugal, são utilizados dois tipos de camiões. Entre estes, um deles apresenta um sistema de compactação incluído, e o outro não. A existência, deste sistema, tem um elevado impacto na quantidade de recursos recolhidos numa só viagem. Isto é explicado devido ao facto do camião que possui este sistema estar continuamente a compactar os resíduos, desta forma o aproveitamento do espaço é consideravelmente maior. A partir desta redução do espaço ocupado o camião necessitará de realizar menos viagens de recolha que um camião que não possui o sistema de compactação [4].

Realizou-se um estudo relativamente ao tema anteriormente mencionado, em que se compara o número viagens que um veículo sem compactação realiza com o número realizado por um veículo com compactação – esta análise pode ser feita a partir da figura 11:

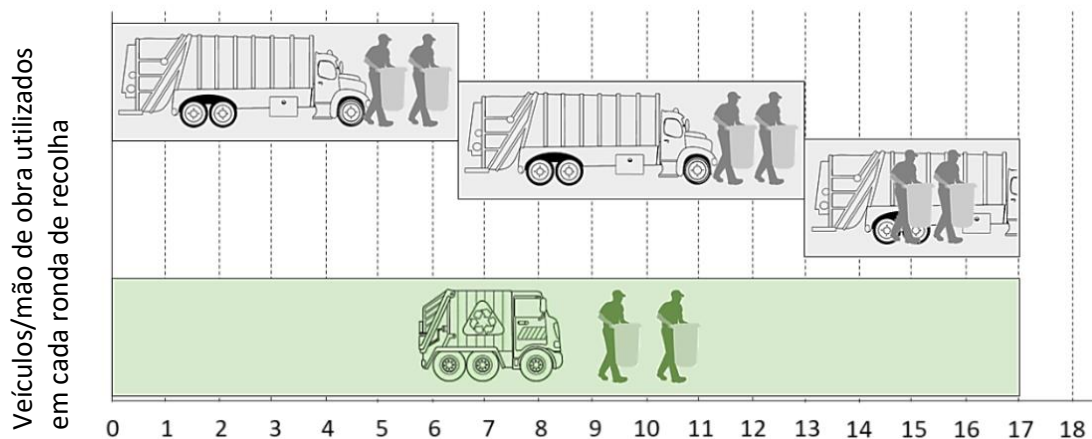


Figura 11 – Número de rondas de recolha de resíduos não compactados e compactados (adaptado de [4]).

Observando a figura 11 e comparando os dois camiões, é possível observar que o primeiro possui uma maior capacidade que o segundo, apresentando volumes de 15 m^3 e $5,5 \text{ m}^3$, respetivamente. No entanto, ao contrário do espectável, pelo facto de apresentar aproximadamente um terço da capacidade, o segundo camião consegue realizar um número maior de viagens. Observando a figura 11, conclui-se que o camião sem produtos compactados realiza 6,5 rondas até ficar totalmente cheio e o que apresenta produtos compactados consegue realizar cerca de 17 rondas, ou seja, mais do dobro das rondas realizadas pelo primeiro [4].

Assim, este estudo permite concluir que um sistema de pré-compactação antes da recolha iria reduzir o número de voltas que um veículo teria de efetuar, o que iria contribuir para reduzir as emissões associadas à queima dos combustíveis fósseis, bem como a energia utilizada na compactação que seria consumida nas instalações de processamento de Resíduos Sólidos Urbanos [4].

Um sistema incluído no próprio contentor ainda seria mais vantajoso, uma vez que, para além de permitir uma maior quantidade de resíduos transportados numa só vez, também permitiria aumentar a capacidade dos ecopontos e, conseqüentemente demoraria mais tempo até necessitarem de ser descarregados.

2.5. Características dos materiais

Como mencionado anteriormente, é vantajoso que todos os resíduos sólidos sejam compactados. A compactação dos mesmos permite poupar energia, tanto no seu transporte (diminuindo o número de viagens), como nas instalações onde estes resíduos são reciclados. Isto, é justificado pelo facto de nestes locais, deixar de ser necessário realizar a compactação total dos materiais. Uma vez que a mesma passa a ser realizada pelas pessoas no próprio ecoponto e sem consumir energia.

Deste modo, e para o desenvolvimento de um sistema funcional, é fundamental que se estudem as características dos materiais e o seu comportamento durante o processo de compressão. Assim sendo,

para o desenvolvimento do sistema torna-se indispensável estudar as características dos materiais que seriam submetidos a este processo e, por isso, estudam-se os plásticos e os metais.

De entre estes dois materiais, os mais propícios a regenerar à sua forma inicial, após compressão, são os plásticos. No entanto, apesar destes materiais apresentarem diferentes comportamentos, quando reciclados dividem o mesmo contentor e, deste modo, é crucial analisar as suas características de forma equitativa.

2.5.1. Plásticos

O estudo deste material é fundamental uma vez que o consumo do mesmo tem aumentando ao longo dos últimos anos. O plástico é uma das maiores inovações do século 20, e é usado no dia-a-dia da população e nas indústrias. Assim sendo, para além de ser necessário que haja uma diminuição no seu consumo, este precisa de ser urgentemente reciclado, uma vez que, o aumento do seu consumo, provocou uma acumulação deste material por todo o mundo e este é considerado um material não degradável [17].

Desta forma, os níveis de reutilização e reciclagem têm de aumentar, pois para além do facto deste material possuir uma baixa taxa de degradação, apresenta uma natureza volumosa e, por isso, o aterro de plástico também pode ser perigoso. O motivo deste aterro ser considerado perigoso deve-se a vários fatores, como o facto de poder obstruir o fluxo de água no subsolo, restringir o movimento das raízes e o facto de conter na sua composição elementos tóxicos como o chumbo [17].

Para o desenvolvimento do sistema é fundamental estudar o comportamento destes materiais durante a compressão. Para isso, analisam-se características como o módulo de elasticidade, que mede a rigidez do material e, conseqüentemente, a sua capacidade de voltar à forma original, após a aplicação de uma força. Esta é a característica de maior destaque neste material uma vez que estes apresentam baixo módulo de elasticidade e, portanto, baixa rigidez [18].

Por outro lado, é importante definir conceitos como o limite elástico, que é o ponto de máxima tensão que um material suporta antes de sofrer deformação permanente. Ou seja, esta propriedade define o nível de tensão (força por unidade de área) até à qual se pode deformar um material elasticamente, de forma que o mesmo retorne à sua forma original quando a força é removida. Quando este limite é ultrapassado, entra-se no regime plástico, não sendo possível voltar novamente ao tamanho e forma original. Desta forma, o módulo de elasticidade está diretamente ligado ao fim do domínio elástico [18].

O regime plástico é caracterizado pela mudança de forma permanente quando o material é submetido a uma determinada tensão, sem que ocorra a rutura do material. Ao contrário do que acontece no regime elástico, este nunca voltara ao estado inicial [19].

Desta forma, durante a compactação, é necessário ter em atenção em que regime está o material – elástico ou plástico – para que o material não volte à forma original, ocupando o menor volume possível.

2.5.2. Metais

Durante o século passado, iniciou-se uma procura cada vez maior pelos metais, o que gradualmente aumentou a pressão exercida sobre os recursos naturais. Este fator mostra que os mesmos são uma área prioritária a intervir, tornando-se assim necessário tomar medidas para que um crescimento económico não implique a degradação do planeta e o consumo excessivo de recursos [20].

Os resíduos metálicos podem ter um impacto muito negativo no ambiente, o que pode ser explicado pelo facto de possuírem substâncias tóxicas. Isto significa que se não forem tratados adequadamente estas vão ser depositadas no meio ambiente. Os impactos ambientais associados a esta deposição são influenciados por vários fatores relacionados ao ciclo de vida do metal, incluindo fatores como: o nível de uso do metal, taxa de reciclabilidade e a própria vida útil do produto [20].

Posto isto, a reciclagem de metais é um processo no qual os metais são recolhidos, separados e processados para produzir novos materiais. A sua reciclagem é fundamental devido à poupança de recursos naturais, à poupança de energia (que se verifica no fabrico de novos produtos, por exemplo, na extração a partir de minérios) e à redução da poluição [21].

Quando se fala dos metais, ao contrário dos plásticos, estes apresentam elevada resistência à compressão. Assim sendo, estes suportam grandes forças antes de sofrer deformação significativa podendo-se dizer que são materiais dúcteis pois deformam-se consideravelmente antes de falharem por compressão. Por estes motivos, tal como mencionado anteriormente é fundamental ter em atenção o limite elástico de forma que este seja ultrapassado para que os diversos materiais não retornem à sua forma inicial após serem comprimidos. Garantindo que este limite é ultrapassado minimiza-se o espaço ocupado pelos resíduos.

Quando comparados aos plásticos, os metais podem geralmente ser moldados em formas mais complexas e suportar forças maiores. No entanto, como mencionado anteriormente, quando sujeitos a esforços de compressão, é necessário garantir uma maior força para que haja uma deformação significativa.

2.6. Modelo doméstico de compactação

Na Grécia foi desenvolvido um estudo de um dispositivo de compressão doméstico – figura 12. Foi proposto um modelo inovador, que era tanto um separador, como compressor, de resíduos em miniatura. Este modelo foi projetado e desenvolvido para a separação de resíduos sólidos urbanos em fontes domésticas [22].

Apesar da solução proposta resultar numa redução substancial do volume ocupado pelos resíduos depositados, este método iria gerar um aumento do custo para a população, que iria ter de investir num sistema a instalar na própria habitação.

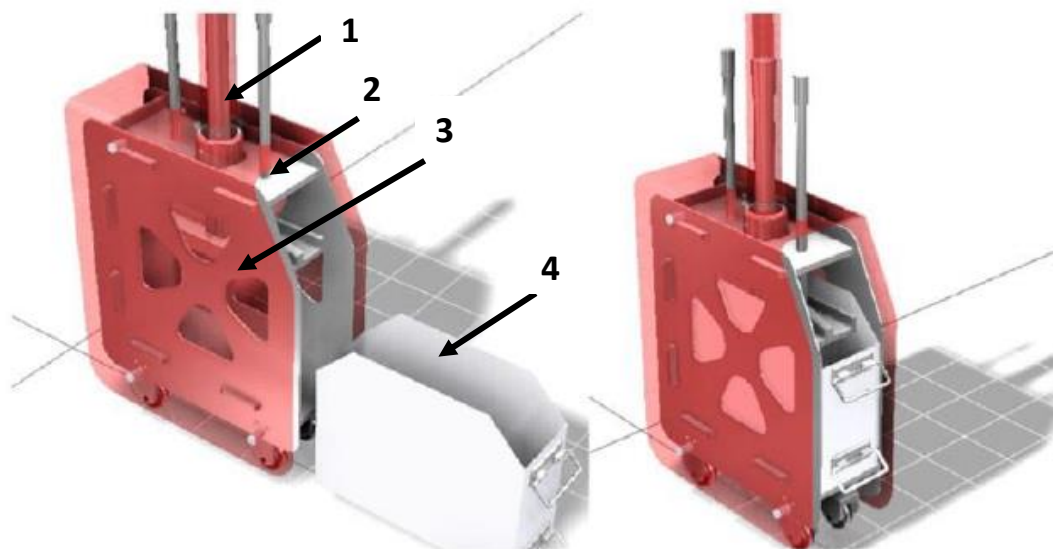


Figura 12 – Modelo doméstico de compactação (adaptado de [22]).

Este modelo é constituído por vários componentes, sendo os que se destacam:

1. Pistão hidráulico;
2. Elemento compressor;
3. Caixa principal;
4. Caixa secundária;

O compressor é capaz de comprimir os vários tipos de resíduos simultaneamente. Esta solução foi pensada em função da espessura, peso e custo dos materiais. Apesar de aparentar ser uma solução inovadora, este tem um elevado custo a nível doméstico. Assim, é mais viável a sua aplicação em áreas escassamente povoadas, onde predominam os elevados custos de transporte [22].

Para a construção deste modelo foram tidos em conta parâmetros como [22]:

- **Simplicidade de construção:** Desenvolvido a partir de geometrias simples para que possa ser fabricado facilmente – utilizando materiais simples e económicos;
- **Operacionalidade:** Para que qualquer pessoa possa utilizar;
- **Durabilidade e materiais:** Utilizam-se materiais como aço inoxidável para garantir durabilidade e uma melhor aparência;
- **Consumo mínimo de energia:** A ideia é minimizar as necessidades energéticas do sistema de reciclagem.
- **Praticidade:** O sistema deve ser facilmente integrado.
- **Relação custo-eficácia:** Devem ser conjugados todos os aspetos anteriormente apresentados com o custo para que a solução seja viável.

2.7. Estudo prensas manuais

Para além deste modelo, também é importante estudar outros sistemas semelhantes e, por isso, estudou-se um outro sistema que também seria aplicado aos ecopontos Cyclea. Este modelo, tal como o desenvolvido nesta dissertação, seria utilizado para compactar resíduos de recolha seletiva tais como plásticos e metais.

Este sistema utiliza uma prensa manual, tal como se pode observar na figura 13, tem um formato de prisma retangular unido por rebites e, é contruída em alumínio e aço [23].

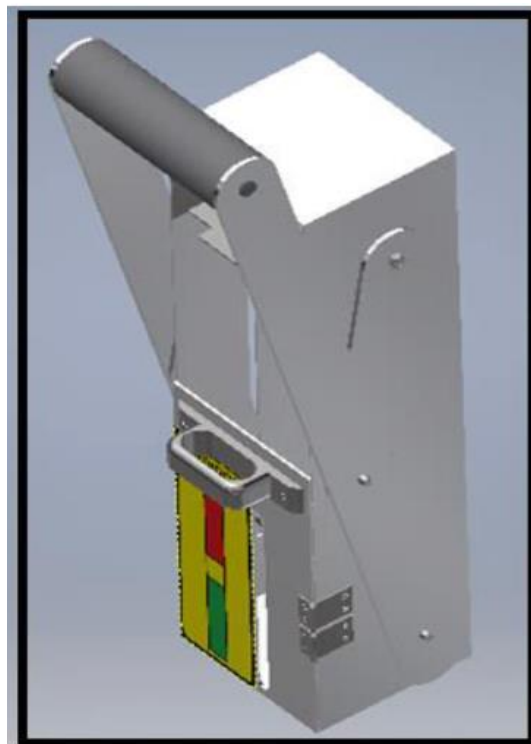


Figura 13 - Prensa e compactação manual estudada .

Avaliando a sua funcionalidade esta apresentava falhas como:

- As ligações entre os componentes são feitas através de rebites – um tipo de ligação permanente, o que não permite a manutenção dos componentes, e a substituição individual de componentes danificados.
- Necessidade de implementação de uma tampa para acesso ao interior, impossibilitando a resolução de problemas em caso de encravamento e acesso para manutenção.
- Limitações a nível de formato, uma vez que o seu formato não é semelhante ao dos resíduos em estudo.

Revisão Bibliográfica

3. Desenvolvimento

Este capítulo consiste no desenvolvimento de um sistema de compactação que possa ser instalado modelo Cyclea, que foi apresentado nos capítulos anteriores. Este novo modelo é semelhante ao anterior, mas é adicionado uma prensa manual, através de uma ligação aparafusada.

Este capítulo desenvolve-se em três subcapítulos. O primeiro consiste no estudo do modelo Cyclea e dos seus componentes.

De seguida, é realizado o dimensionamento da prensa. Este processo inicia-se pela escolha do seu material e, posteriormente procede-se à modelação dos seus componentes, utilizando a ferramenta *Solidworks*, onde se definem as ligações dos mesmos, tendo em atenção ao funcionamento do mecanismo e do movimento de cada componente.

Para terminar, foram calculados os esforços aplicados à estrutura durante o processo, determinados através da força necessária para compactar os resíduos. Assim, foi possível determinar a força necessária à compactação, permitindo determinar se seria ou não válido aplicar esta solução.

3.1. Modelo Cyclea

O novo modelo Cyclea é uma combinação do modelo antigo com adição de uma prensa manual, através de uma ligação aparafusada. Com isto, será reaproveitado todos os modelos existentes e instalados atualmente sendo apenas necessário efetuar a ligação aparafusada da prensa manual toda montada.

A prensa, novo componente neste modelo, tem como função compactar os resíduos correspondentes ao ecoponto amarelo, neste caso, todo o tipo de garradas de plástico e latas de conserva.

Como mencionado anteriormente, os ecopontos onde podem ser adicionados a prensa serão os ecopontos Cyclea 1500 e ecoponto Cyclea 2500.

3.2. Prensa de compactação

Neste subcapítulo serão abordados todos os tópicos relativamente ao fabrico e ao desenvolvimento do projeto. Será definido o material utilizado para cada componente assim como o dimensionamento do mesmo e o tipo de ligação entre eles.

Para isto, utilizou-se a ferramenta *SolidWorks* para modelar cada um dos componentes e verificar se a estrutura seria mecanicamente funcional.

3.2.1. Seleção do material

O primeiro passo para o desenvolvimento do sistema foi a seleção do material a utilizar para a construção da prensa. Para isso, foram analisados alguns metais dos quais as propriedades se apresentam na tabela 2.

É fundamental estudar o material a partir do qual esta estrutura irá ser fabricada, pois dependendo do escolhido a estrutura poderá ou não suportar as cargas aplicadas, alterando a sua durabilidade e custos de manutenção.

Tabela 2 – Propriedades dos possíveis materiais a utilizar na prensa (adaptado de [23]).

	Alumínio	Aço - carbono	Ligas de aço	Aços inoxidáveis	Cobre
Densidade (kg/m³)	2600-2800	7850	7850	7750-8810	8920
Módulo de elasticidade (GPa)	69	190-210	190-210	190-210	110-128
Resistência elétrica específica (W·m)	28,2 x10 ⁻⁹	130 x10 ⁻⁹ - 1250 x10 ⁻⁹	210 x10 ⁻⁹ - 1251 x10 ⁻⁹	75,7 x10 ⁻⁹ - 1020 x10 ⁻⁹	17 x10 ⁻⁹
Ponto de fusão (°C)	660	1426-1538	---	1371-1454	1357
Coefficiente de Poisson	0,33	0,27-0,3	0,27-0,3	0,27-0,3	0,34
Calor específico (J/kg·K)	938	450-2081	452-1499	420-500	385
Tensão de ruptura (MPa)	230-570	276-1882	758-1882	515-827	---
Condutividade térmica (W/m·K)	150-180	24,3-65,2	26-48,6	11,2-36,7	401
Expansão térmica (K⁻¹)	20,4x10 ⁻⁶ - 25 x10 ⁻⁶	11 x10 ⁻⁶ - 16,6 x10 ⁻⁶	9 x10 ⁻⁶ - 15 x10 ⁻⁶	9x10 ⁻⁶ - 20,7 x10 ⁻⁶	16,5 x10 ⁻⁶
Tensão de cedência (MPa)	215-205	186-758	366-1793	207-552	70

Observando a tabela 2 consegue-se comparar as propriedades dos diferentes materiais. Entre os disponíveis o material selecionado foi o Alumínio. Este material apresenta densidade muito mais baixa em relação aos outros materiais, aliado de um elevado modulo de elasticidade – apresenta-se então como um material leve e pouco rígido [24].

Para além destas propriedades é um material que apresenta: um baixo grau de impurezas, tem uma elevada resistência à corrosão e oxidação e ainda, grande facilidade na formação de ligas [24].

Pensando no fabrico do sistema, este destaca-se a nível de propriedades uma vez que é um material que apresenta ótima conformação mecânica, é facilmente maquinado, maleável, fácil de soldar e montar, compatível com as diferentes geometrias pretendidas e com diversos acabamentos superficiais, por exemplo apresenta ótimo polimento [24].

Assim, devido às propriedades apresentadas, o material a partir do qual será produzida a prensa é o alumínio 6061. Este material é utilizado em diversos setores sendo as suas aplicações mais comuns:

aplicações estruturais, construção naval e rebites, sendo adequado também para chapas, barras e perfis.

3.2.2. Componentes da prensa

Após a escolha do material, o passo seguinte foi desenvolver o sistema usando a ferramenta *SolidWorks*. Na figura 14 apresenta-se o sistema desenvolvido e na figura 15 apresentam-se os principais componentes da prensa.

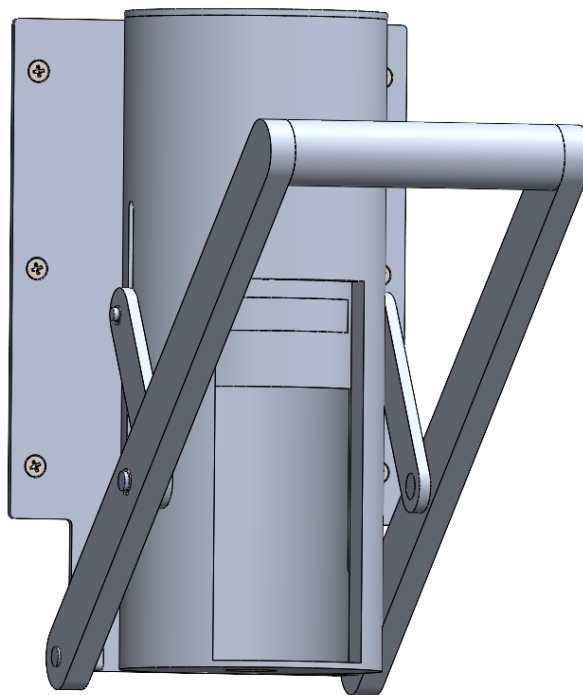


Figura 14 – Sistema de compactação de embalagens desenvolvido.

Desenvolvimento

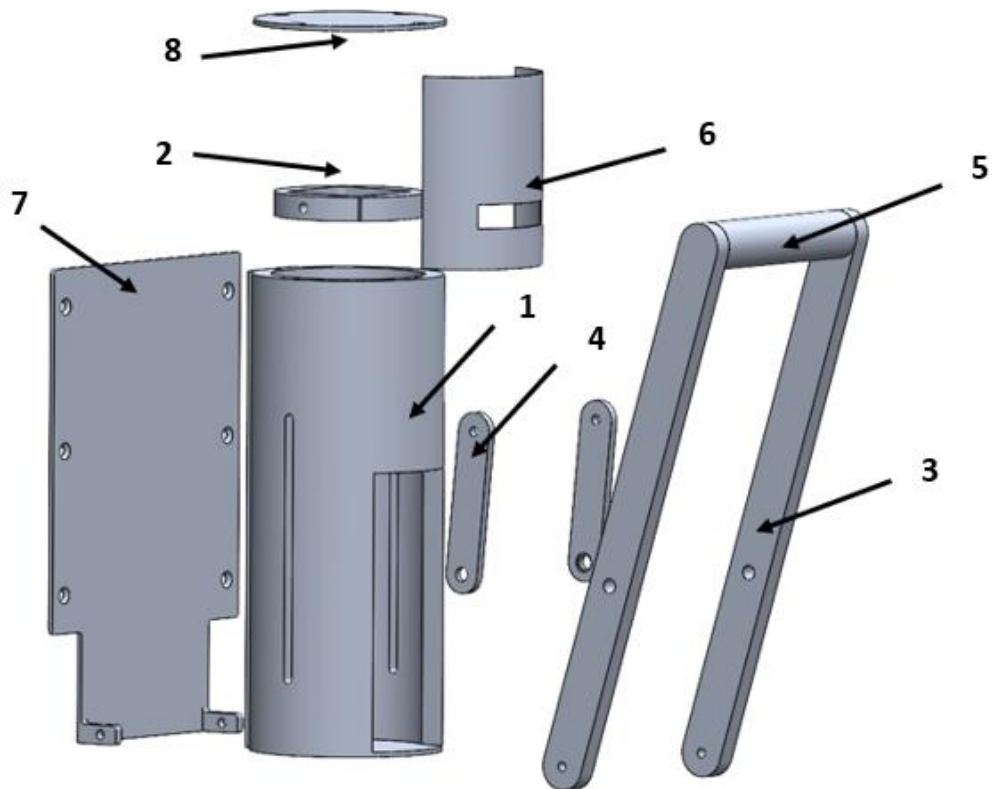


Figura 15 – Vista explodida 3D dos elementos da prensa.

Observando a figura 15 verifica-se que a prensa é constituída por 8 principais elementos que são:

1. Estrutura tubular
2. Êmbolo;
3. Alavanca – Barra longa;
4. Alavanca – Barra curta;
5. Alavanca – Manípulo;
6. Porta de segurança;
7. Chapa de fixação;
8. Tampa;

De modo a que se possa representar todos estes elementos com um maior detalhe técnico foram desenvolvidos desenhos de cada peça – Apêndice A – deste modo pode-se analisar com maior detalhe as dimensões das mesmas, os materiais e tolerâncias aplicadas. Deste modo, após distinguir os diferentes elementos, é fundamental apresentar os critérios usados para o seu dimensionamento e quais as suas funções. Assim sendo, de seguida apresenta-se cada um dos elementos.

1 – Estrutura tubular

Este processo iniciou-se com um estudo das dimensões dos resíduos que iriam ser compactados, que permitiu iniciar o dimensionamento da estrutura tubular. Para isso, observaram-se as dimensões de latas de conserva de uso doméstico e de garrafas plásticas.

Após essa análise, considerou-se que a estrutura tubular apresentaria um diâmetro exterior de 200 mm, um diâmetro interior de 160 mm e uma altura de 585 mm. A escolha do formato tubular relaciona-se com o formato típico destes resíduos. Na figura 16 apresenta-se esta estrutura onde é possível observar em pormenor todos os seus elementos.

A estrutura tubular desempenha diversas funções, entre as quais se destaca a de servir como guia para o deslocamento vertical do êmbolo. Para tal, esta estrutura possui ranhuras laterais – identificadas como o elemento A na figura 16 – que permitem limitar esse movimento.

Adicionalmente, a estrutura apresenta um rasgo – identificado como o elemento B na figura 16 – que viabiliza a entrada dos resíduos. Este rasgo apresenta uma largura de 120 mm, dimensionada para acomodar resíduos de maior largura, como latas de feijão. Quanto à altura, foi adotado um valor de aproximadamente 310 mm, considerando que os resíduos com a maior altura seriam as garrafas plásticas.

Para além disto, a base desta estrutura possui uma particularidade apresentando um orifício para encaixe do gargalo das garrafas – elemento C da figura 16 – que permite que as garrafas sejam posicionadas voltadas ao contrário. Usando este mecanismo e removendo a tampa da garrafa permite-se que o ar seja extraído da garrafa durante a compactação, o que leva a que não exista um aumento indesejado da pressão no interior da garrafa e, conseqüentemente, da pressão exercida sobre o êmbolo.

No topo, representado pelo elemento D da figura 16 – a estrutura tubular apresenta ainda quatro furos roscados que permitem a fixação da tampa.

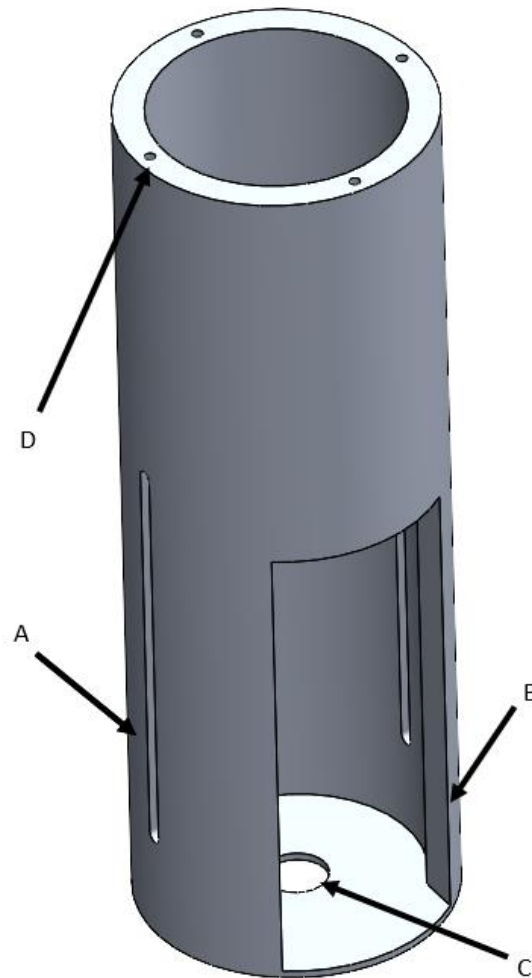


Figura 16 – Estrutura tubular.

Esta estrutura será base da prensa e é o local onde o material será comprimido com o auxílio de um êmbolo e de uma alavanca cujas funções serão apresentadas de seguida.

2 – Êmbolo

O êmbolo possui 150 mm de diâmetro e, na zona frontal apresenta uma saliência – representada pelo elemento A da figura 17 – esta saliência permite o seu encaixe na porta de segurança.

Nas suas laterias apresenta dois furos, estes servem para alojar um pino que fará ligação com a alavanca, impondo assim, um movimento vertical.

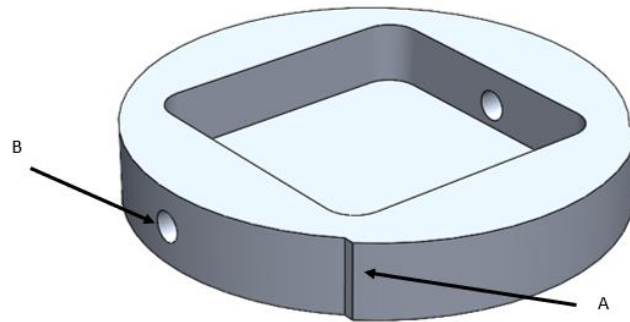


Figura 17 – Êmbolo.

O êmbolo apresenta um deslocamento de cerca de 270 mm, que é o percurso feito durante a compactação e, tem como objetivo, reduzir o volume ocupado por cada um dos resíduos. No pior cenário – correspondente à maior altura possível – foi considerada a altura das garrafas plásticas de 2 L de capacidade, assim o ponto mais alto que o êmbolo atinge é de 327.5 mm de altura.

Como mencionado anteriormente, todo o movimento do sistema vai ser provocado por uma força na alavanca que neste caso será de ação humana e, por isso, entender o seu funcionamento é fundamental.

3, 4 e 5 – Alavanca

A alavanca é constituída por um manípulo e dois pares de braços, um maior e um mais pequeno, que possuem movimentos diferentes. É este elemento que é responsável pela transmissão do movimento, provocado por aplicação da força humana, desde o manípulo até ao êmbolo.

De salientar que o manípulo apresenta um formato arredondado por questões de conforto.

Estas barras apresentam vários furos para alojamento de pinos e, conseqüente ligação a outros elementos, representados na figura 18:

- A. Ligação barra longa – barra curta;
- B. Ligação barra curta – êmbolo;
- C. Ligação barra longa – chapa de fixação.

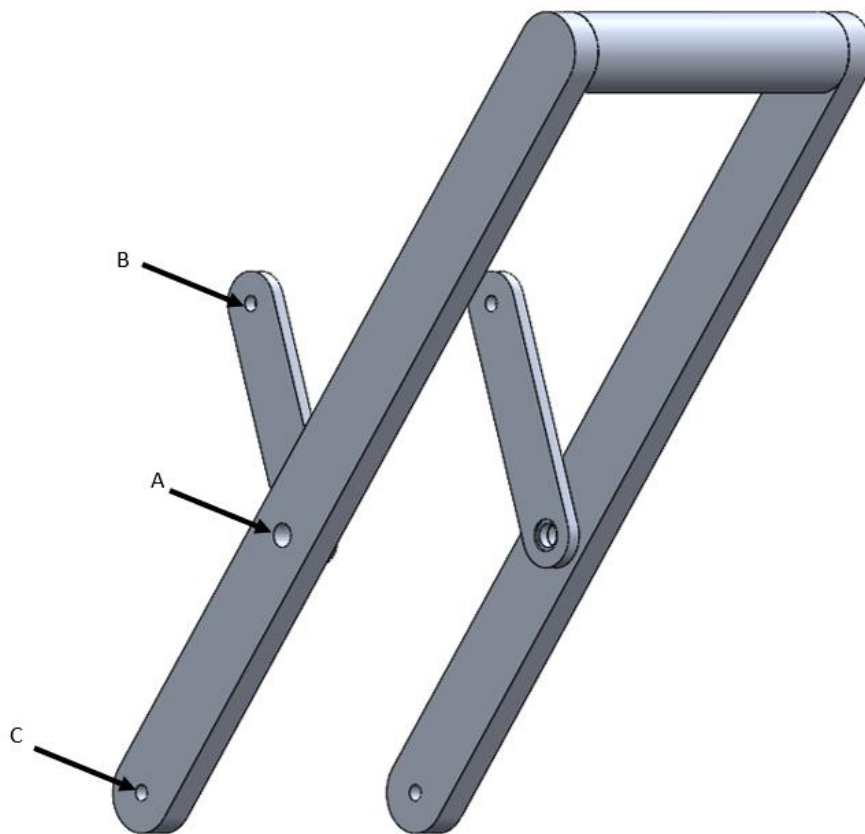


Figura 18 – Alavanca.

6 – Porta de segurança

Para além destes elementos, cuja principal função é a compactação de resíduos, foi adicionada ao sistema uma porta de segurança. Como o nome indica, a sua função está relacionada com a segurança do utilizador e, ao mesmo tempo, de qualquer pessoa nas proximidades.

Inicialmente o projeto estava dimensionado para que a ativação desta porta fosse manual, ou seja, da responsabilidade do utilizador. No entanto, como era possível movimentar o êmbolo livremente sem movimentar a porta de segurança, a sua funcionalidade não estava a ser cumprida. Isto porque, era possível que o utilizador colocasse a mão na base da estrutura tubular, sem que a porta descesse, o que poderia provocar o seu esmagamento.

Assim, para contrariar este efeito, foi realizado um rasgo no centro da porta – elemento A da figura 19. Este será o local onde será acoplada a saliência presente no êmbolo, sendo que este encaixe implica que estas duas peças apresentem um movimento único. Assim sendo, o êmbolo move-se conforme a força aplicada na alavanca e, a porta de segurança irá movimentar-se ao mesmo tempo. Assim a porta fecha à medida que o êmbolo desce impossibilitando que qualquer parte do corpo ou que qualquer objeto que não esteja totalmente dentro da estrutura tubular, seja esmagado.

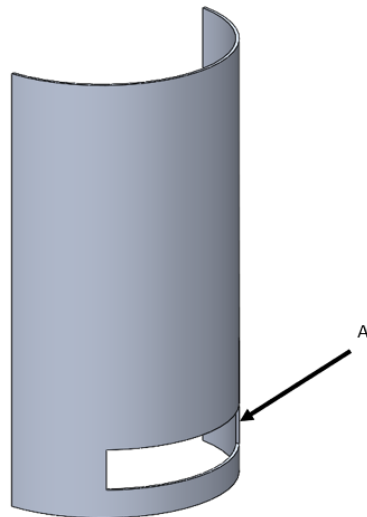


Figura 19 – Porta de segurança.

7 – Tampa

Após ter sido obtida uma estrutura mecanicamente funcional, foi colocada uma tampa no topo da estrutura que possui quatro furos para ligar à estrutura tubular, que podem ser observados na figura 20.

A colocação da tampa, teve como objetivo o impedimento da deposição de resíduos na parte superior do êmbolo, deixando assim o mecanismo disfuncional. Caso a mesma não existisse, era necessário que ocorresse uma limpeza diária, o que não seria viável. Para além disso, funciona como ponto de acesso para efetuar a manutenção da estrutura.

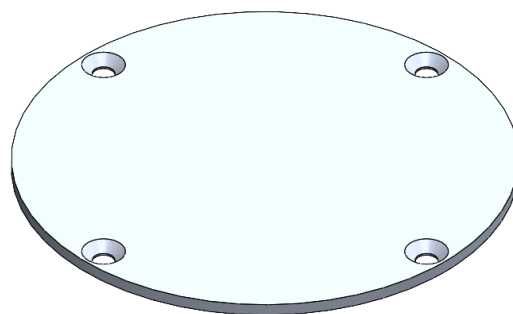


Figura 20 – Tampa.

8 – Parede de fixação

Após o sistema estar totalmente dimensionado, adicionou-se uma parede de fixação, que vai permitir a fixação da estrutura ao ecoponto do modelo Cyclea, visto que o seu formato, ao contrário do formato tubular, garante uma boa estabilidade e adesão à parede do ecoponto.

Esta parede apresenta seis furos – representados pela letra A da figura 21 - onde serão alojados parafusos para ligação ao ecoponto. Na figura 21 e representadas pela letra B, é possível observar duas

Desenvolvimento

patilhas que permitem a ligação à base da alavanca, como mencionado anteriormente e, apresentado pelo elemento C da figura 18.

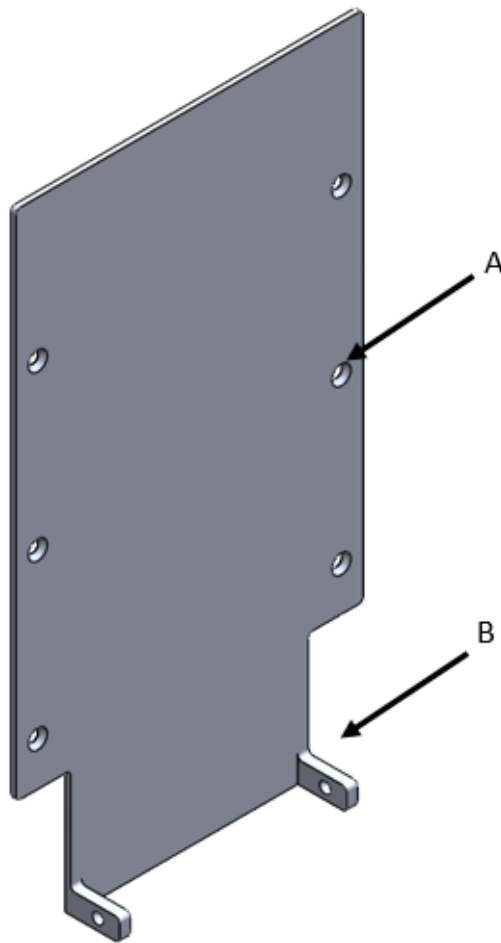


Figura 21 – Parede de fixação.

3.2.3. Elementos de ligação dos componentes da prensa

Após o dimensionamento dos componentes, realizado de acordo com a sua função, é fundamental explicar de que forma é que os diferentes elementos são acoplados para que se obtenha uma estrutura funcional.

Falando sobre o êmbolo este liga-se a dois componentes – porta de segurança e alavanca. Relativamente à sua ligação com a porta de segurança, como indicado anteriormente, este apresenta um entalhe que encaixa na ranhura da porta de segurança – zona A da figura 22. Na zona interior – representado pelo elemento B da figura 22 – estes dois componentes vão ser soldados.

Este tipo de ligação garante o movimento único dos dois componentes, que por motivos de segurança é fundamental.

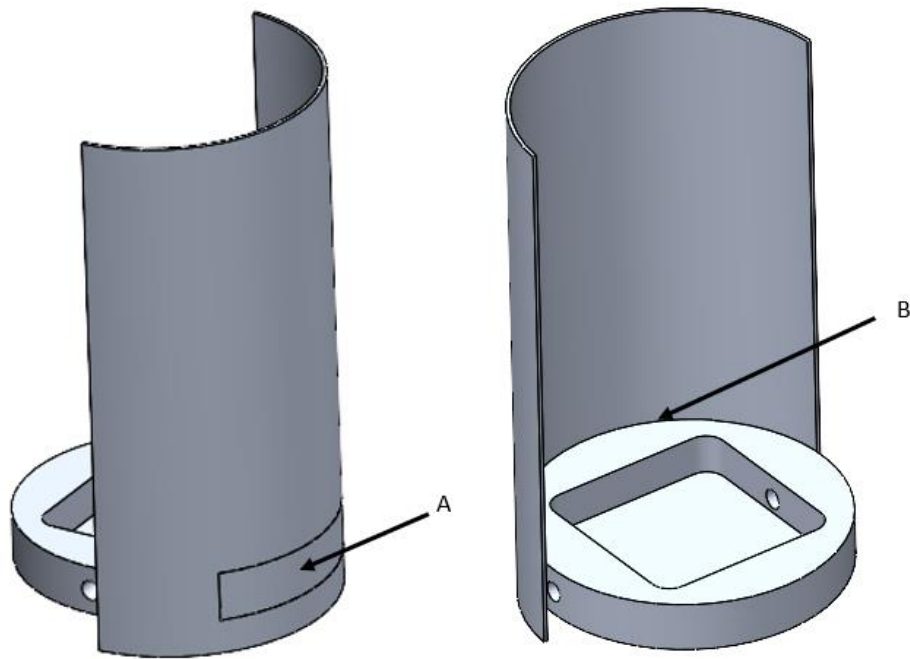
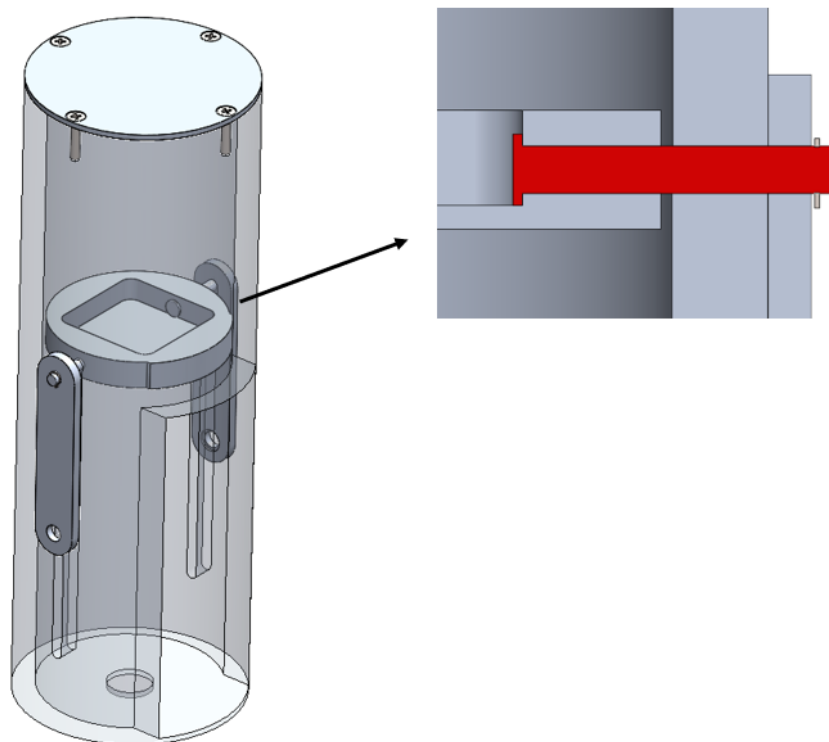


Figura 22 – Ligação entre o êmbolo e a porta de segurança.

Por outro lado, é fundamental clarificar a ligação do êmbolo à alavanca. Este liga-se diretamente à barra curta da alavanca – esta ligação é possível devido à ranhura que existe na estrutura tubular, e é feita através de um pino com anel elástico na sua extremidade (o anel elástico foi implementado para fixação do respetivo pino) – figura 23.



Desenvolvimento

Figura 23 – Ligação entre o êmbolo e a alavanca.

Esta ligação permite que o êmbolo apenas se desloque verticalmente, e que seja guiado pelos dois pinos que apenas se deslocam ao longo da ranhura da estrutura tubular.

Além disso, o pino permite que a barra curta execute um movimento de rotação. Assim sendo, conforme a barra longa sobe ou desce em resposta à força humana aplicada, a barra curta pode girar tendo o pino de fixação como centro de rotação. Esse movimento é melhor compreendido analisando a ligação entre a barra curta e a barra longa, ambos componentes fundamentais da alavanca. Assim, de seguida, serão analisadas as demais conexões que compõem o mecanismo da alavanca.

É de destacar que a alavanca é composta por três tipos de elementos – como se pode observar na figura 18. Serão analisadas as ligações entre estes elementos, mas também as restantes ligações entre os mesmos e as outras peças que constituem o sistema.

Iniciando com a ligação entre a barra longa e a barra curta, procura-se compreender melhor o movimento da segunda barra. Esta está conectada à barra longa através de um pino fixado com um anel elástico – conforme ilustrado na figura 24. Desta forma, ao apresentar este tipo de ligação em ambas as extremidades, a barra curta pode rodar sobre os pinos, permitindo a transmissão de movimento do manípulo para as barras longas e, conseqüentemente, para o êmbolo, que se desloca para cima ou para baixo, dependendo do movimento do manípulo.

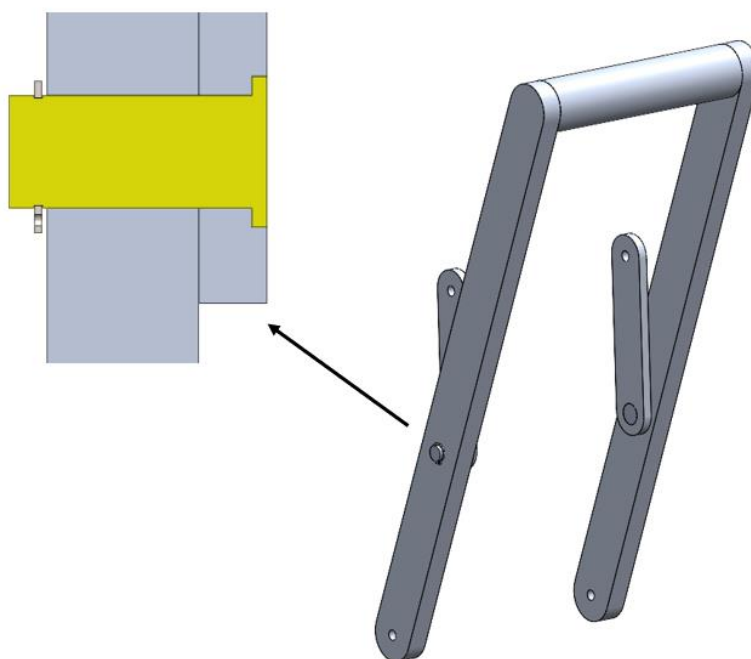


Figura 24 – Ligação entre as diferentes barras da alavanca.

Por outro lado, para além da ligação entre as barras, é fundamental representar a ligação das mesmas ao manípulo. Estes elementos são soldados, o que permite a fixação permanente entre eles – evidenciados pela zona A da figura 25.



Figura 25 – Ligação entre o manípulo e barra da alavanca.

Para terminar, após explicitar as ligações entre os diferentes elementos da alavanca, falta apenas mencionar a ligação entre a alavanca e a parede de fixação, que como indicado anteriormente é feita entre as patilhas da parede e a barra. Mais uma vez a ligação é feita através de um pino fixado por anel elástico para permitir rotação – figura 26.

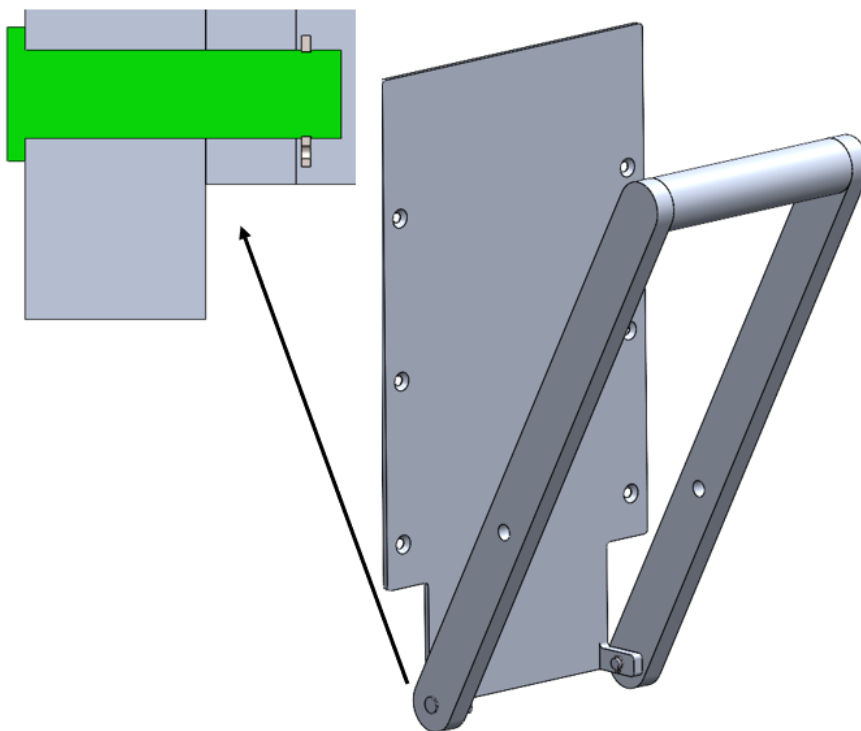


Figura 26 – Ligação entre a parede de fixação e alavanca.

Desenvolvimento

Adicionalmente, foi utilizada uma ligação aparafusada – a partir dos quatro parafusos que se observam na figura 27 – este tipo de ligação permite fixar a tampa na posição pretendida e, ao mesmo tempo torna possível a sua remoção em caso de necessidade.

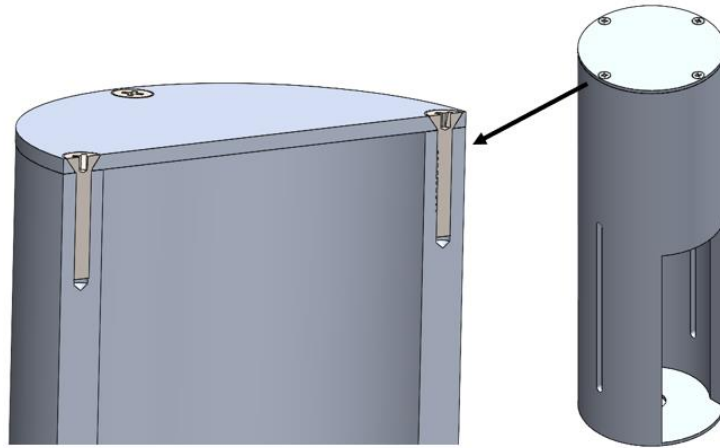


Figura 27 – Ligação entre a tampa a estrutura tubular.

Para terminar, a estrutura tubular, é ligada à parede de fixação, garantindo uma ligação permanente e mantendo o alinhamento vertical da estrutura tubular. No *Solidworks* foi representada esta soldadura, com o objetivo de obter valores mais precisos durante a realização das simulações de elementos finitos, que serão apresentadas nos capítulos seguintes.

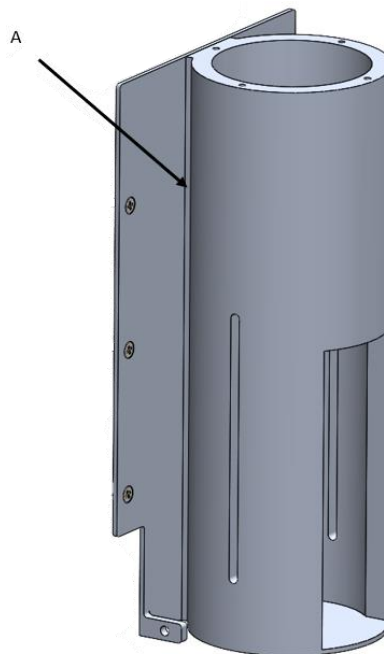


Figura 28 – Ligação entre estrutura tubular e parede de fixação.

3.3. Cálculos de esforços na prensa

Após vários estudos dimensionais e, para a obtenção de um sistema funcional, é necessário realizar um estudo do seu comportamento. Este justifica-se devido aos esforços a que está sujeito durante a compactação dos resíduos, nomeadamente os resíduos considerados neste estudo – garrafas plásticas e latas de conserva metálicas.

Para o estudo deste comportamento vão ser calculadas todas as forças externas aplicadas na estrutura e, conseqüentes tensões e deformações. Para isso, foi utilizada a ferramenta *SolidWorks* que permite obter estes valores de forma mais exata e, conseqüentemente, confirmar a aplicabilidade da estrutura. Ao utilizar esta ferramenta aplica-se o método dos elementos finitos - MEF. De salientar que esta ferramenta foi utilizada anteriormente no projeto da estrutura.

3.3.1. Força aplicada no êmbolo

Para o estudo das tensões e deformações ao longo de toda a estrutura, é fundamental perceber quais as forças que a estrutura vai estar sujeita. Para isso, utilizou-se os dados de investigação do [22], analisou-se o comportamento dos resíduos em estudo quando sujeitos a uma força de compressão. Este estudo permite determinar a força aplicada sobre o êmbolo durante compactação do material.

A partir da pesquisa realizada, foram estudados ensaios de compressão de vários materiais como: latas de conserva, latas de alumínio, e garrafas de plástico.

Nas figuras seguintes, são apresentados os gráficos das curvas força-deslocamento para que se analise o comportamento dos diferentes materiais, durante a compressão. Observando os dados do gráfico, consegue-se verificar a força aplicada – em Newton – e a deformação – em milímetros. A força necessária para que se deforme o material irá ser correspondente à força que está a ser aplicada no êmbolo.

Na figura 29 é possível observar a curva da força-deslocamento das latas de conserva. Ao analisar esta curva, pode-se verificar que é necessária uma força de aproximadamente 5000 N para que se inicie a deformação. Após a deformação inicial, a força necessária para que este material se continue a deformar reduz drasticamente. No entanto, esta volta a aumentar de forma significativa quando se pretende comprimir totalmente o objeto.

Desenvolvimento

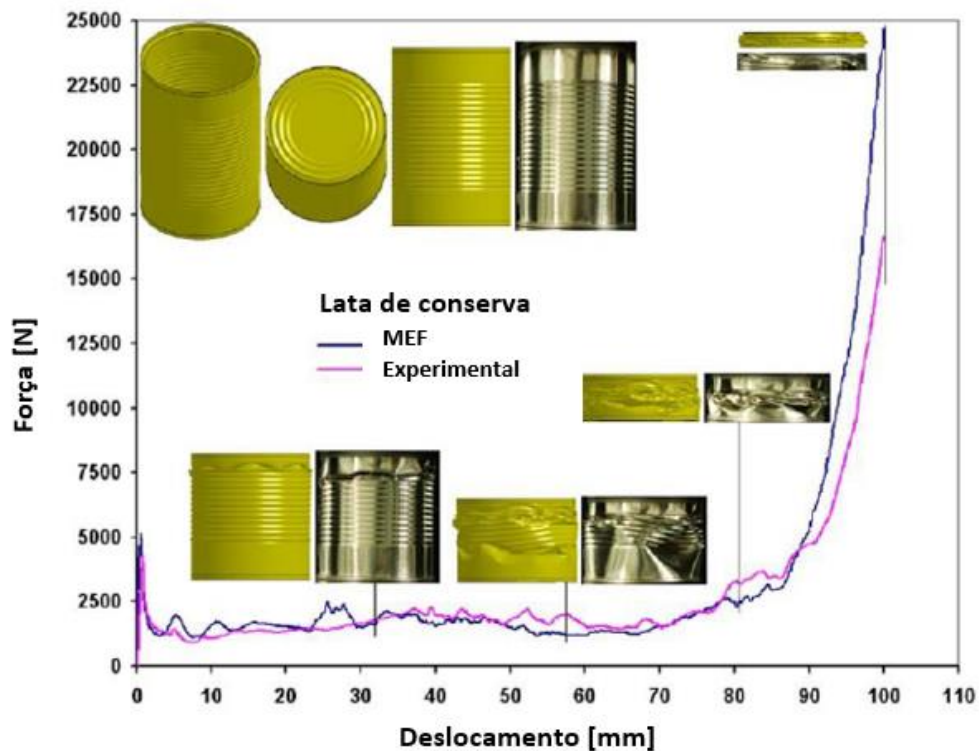


Figura 29 – Curva força deslocamento de uma lata de conserva, adaptado de [22].

Na figura 30 é possível obter a curva força-deslocamento das latas de alumínio, que por sua vez são compostas por elementos em aço e alumínio. Analisando o gráfico, conclui-se que é necessário aproximadamente 800 N para que se inicie deformação.

Após esta deformação inicial, tal como verificado no caso anterior, observa-se uma queda acentuada na força necessária para que a deformação continue. O valor da força necessária para deformar as mesmas apenas volta a aumentar e, de forma bastante significativa, quando as latas se apresentam praticamente compactadas na sua totalidade [22].

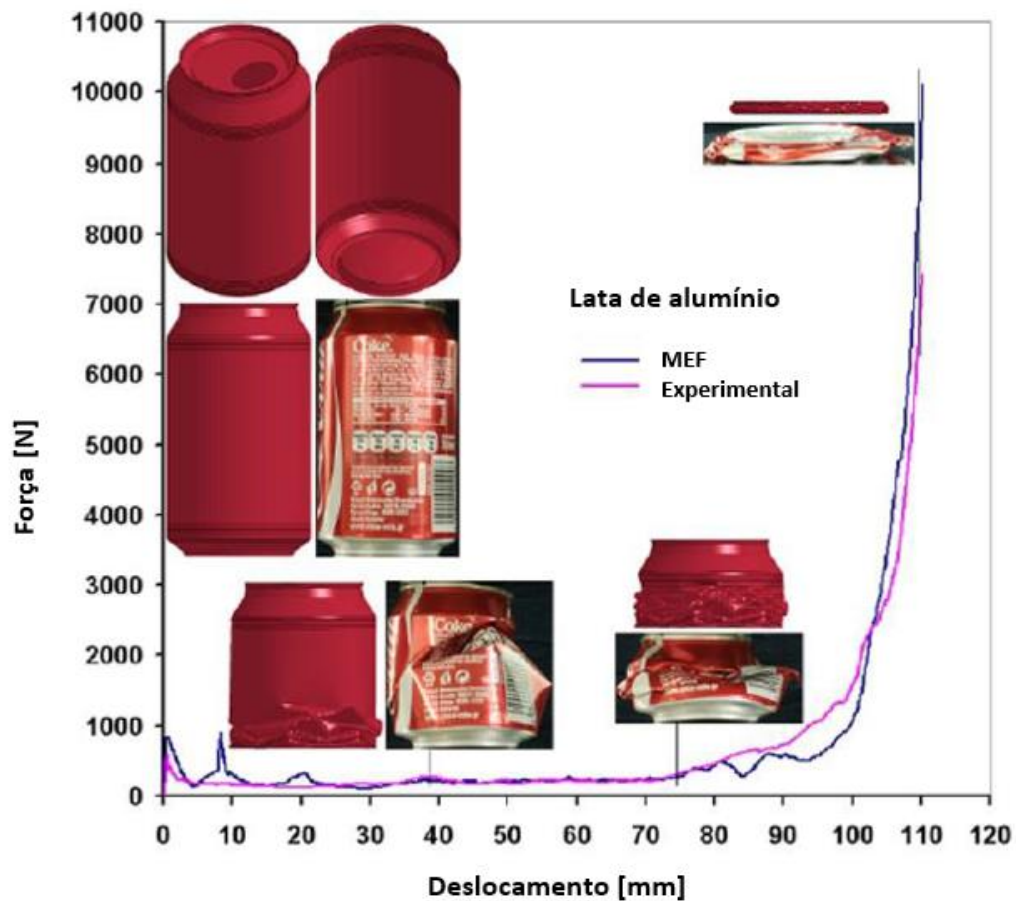


Figura 30 – Curva força deslocamento de uma lata de refrigerante, adaptado de [22].

Para concluir análise das forças necessárias de esmagamento, na figura 31 representa-se a curva força-deslocamento das garrafas de plástico, de notar que as garrafas analisadas são garrafas PEAD (Polietileno de Alta Densidade). Através do gráfico, retira-se que é necessário aproximadamente 300 N para que se inicie a deformação. Quando se compara este valor com os valores anteriormente obtidos, este é consideravelmente mais baixo.

À medida que a deformação aumenta o valor da força necessária para que este se deforme é aproximadamente constante. Ao observar o gráfico verifica-se que, tal como nos outros materiais, também neste existe um aumento substancial da força necessária para comprimir este material. Neste caso associa-se este pico à deformação da zona mais próxima do gargalo, aparentando ser a zona mais resistente deste material.

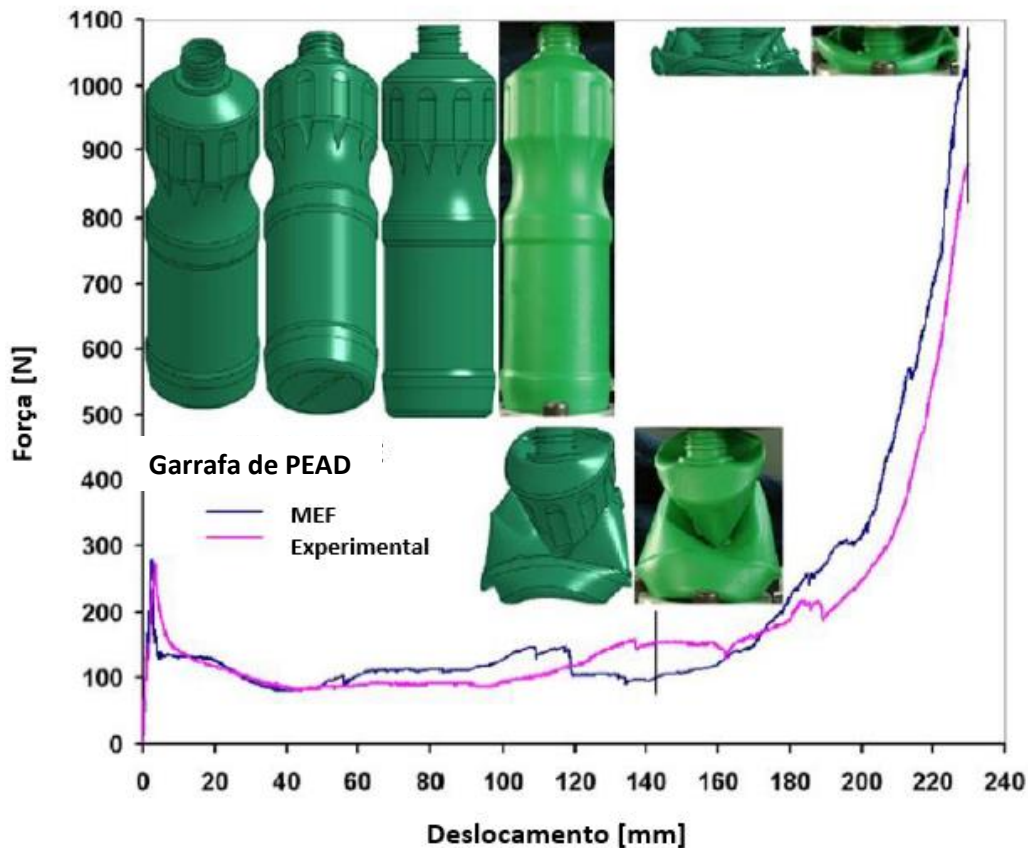


Figura 31 – Curva força deslocamento de uma garrafa de plástico, adaptado de [22].

Para este estudo, foi considerado que nunca se atinge a compactação total do objeto e, por isso, a força máxima a que a estrutura estará sujeita será a força necessária para iniciar a compactação dos resíduos.

A partir dos valores apresentados nos três gráficos anteriormente analisados e, de forma a verificar que o sistema está corretamente dimensionado, considera-se para efeitos de cálculo, os casos mais críticos. Ou seja, aquele em que a estrutura está sujeita a um maior esforço. Para isso fizeram-se dois tipos de análise à estrutura:

- No primeiro caso considera-se a situação em que o êmbolo comprime a garrafa plástica – isto porque corresponde ao caso onde o êmbolo se desloca à sua altura máxima. Para este caso foi considerada uma força de 300 N – figura 31;
- No segundo caso considera-se a situação da compactação de uma lata de conserva, dado que este é o caso para o qual a força necessária para iniciar a deformação é máxima e, correspondente a 5000 N – figura 29.

3.3.2. Força aplicada no manípulo

Após estarem definidos os casos críticos e, deste modo, quais as forças a que o êmbolo poderá estar sujeito, é necessário determinar a força aplicada no manípulo. Ou seja, é necessário determinar a força que o seu utilizador terá de realizar, para comprimir o respetivo resíduo.

Para o primeiro caso – correspondente à compressão das garrafas plásticas – no sentido de determinar a força aplicada no manípulo, foram realizados diagramas de corpo livre dos diferentes componentes. Através das equações de equilíbrio das forças e momentos foi determinada a força no manípulo.

Na representação dos diagramas de corpo livre, dos diferentes elementos, considera-se que as forças estarão aplicadas no centro do elemento de ligação dos respetivos elementos.

Para isto, considera-se que o sistema está em equilíbrio estático, os esforços nestes corpos serão representados pelas equações 1, 2 e 3.

Assim, para aplicar estas equações, o sistema terá de estar em repouso ou a mover-se a uma velocidade constante (aceleração = 0). Nestas condições considera-se que as forças e os momentos que atuam sobre o corpo equilibram-se, de acordo com as seguintes condições:

Equilíbrio de forças:

$$\sum F_x = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (2)$$

Equilíbrio de momentos:

$$\sum M = 0 \quad (3)$$

Inicialmente, foi desenvolvido o diagrama de corpo livre do êmbolo apresentado na figura 32 onde se apresenta a força previamente conhecida, força aplicada pelo resíduo sobre o êmbolo (F_R).

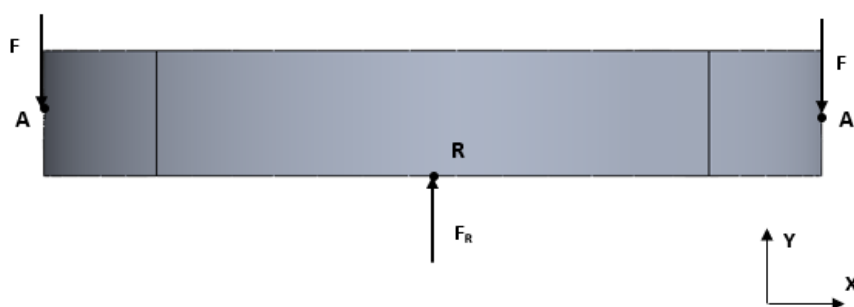


Figura 32 – Diagrama de corpo livre do êmbolo vista frontal – Caso 1.

Para o primeiro caso, considera-se a compactação de garrafas de plástico e, por isso, a força a ser considerada para este caso (F_R) tem a intensidade de 300 N – força máxima durante o processo de compactação e, que, por isso, permite obter as forças máximas aplicadas nos componentes do sistema.

Desenvolvimento

A partir da equação 4 determina-se então a força F – força resultante nos pinos A e A'.

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow F_R - (2 \times F) = 0 \Leftrightarrow F = 150 \text{ N} \quad (4)$$

O passo seguinte foi determinar as forças no elemento de ligação e, para isso, apresenta-se um novo diagrama de corpo livre do êmbolo – figura 33.

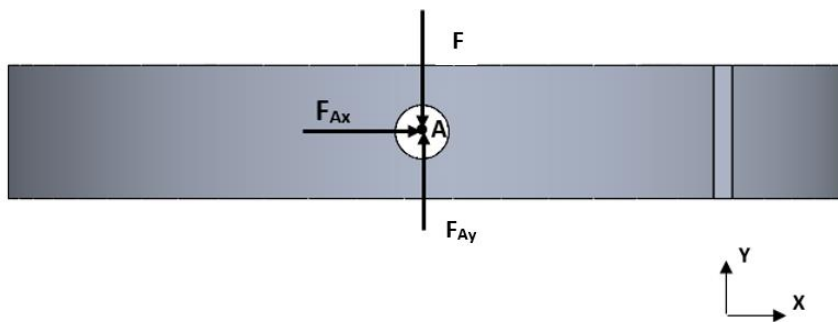


Figura 33 - Diagrama de corpo livre do êmbolo vista lateral – Caso 1.

Posteriormente, aplicam-se as equações 5 e 6 que se baseiam nas equações 1 e 2, obtendo-se as restantes forças aplicadas neste elemento, uma vez que é conhecida a força F .

$$\sum F_x = 0 \Leftrightarrow F_{Ax} = 0 \text{ N} \quad (5)$$

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow F_{Ay} - F = 0 \Leftrightarrow F_{Ay} = 150 \text{ N} \quad (6)$$

A partir das equações apresentadas obtém-se F_{Ay} . Esta força estará também aplicada na barra curta no local onde esta se liga ao êmbolo.

Assim, reúne-se a informação necessária para o desenvolvimento do diagrama do corpo livre da barra curta – representado na figura 34. Aplicando desta vez as equações 7 e 8 determina-se as forças aplicadas no ponto B. A determinação destas forças é fundamental para que se desenvolva o diagrama do corpo livre da barra longa uma vez que as mesmas serão aplicadas no ponto B – elemento de ligação entre estes dois componentes.

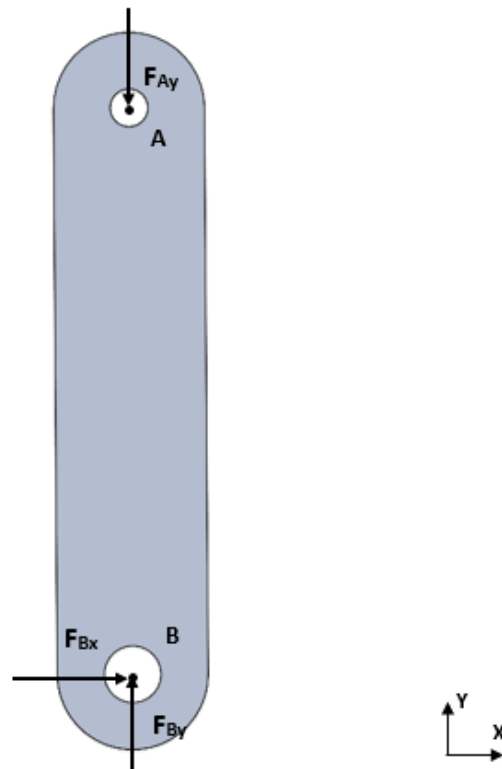


Figura 34 – Diagrama de corpo livre da barra curta – Caso 1.

$$\sum F_x = 0 \Leftrightarrow F_{Bx} = 0 \text{ N} \quad (7)$$

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow F_{By} - F_{Ay} = 0 \Leftrightarrow F_{By} = 150 \text{ N} \quad (8)$$

Assim, o passo seguinte será a representação do diagrama do corpo livre da barra longa – figura 35. Desta forma e, conhecendo os esforços no ponto B, determina-se a força que a mesma exerce no manípulo (FM) – este cálculo é feito a partir da equação 9.

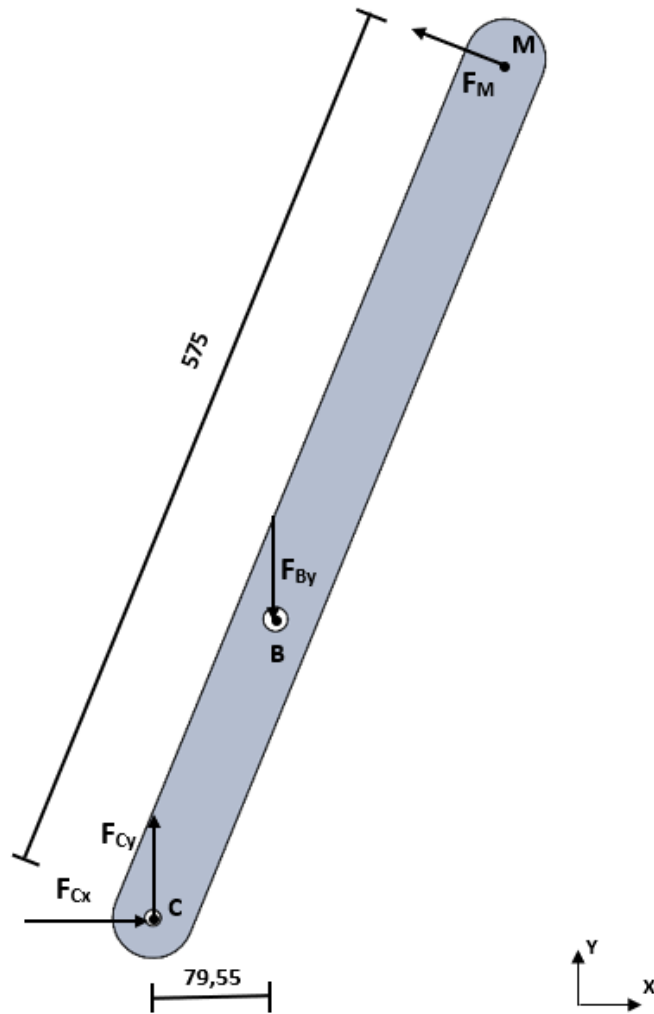


Figura 35 – Diagrama de corpo livre da barra longa – Caso 1.

$$\sum M_c = 0 \Leftrightarrow F_M \times 575 - F_{By} \times 75,99 = 0 \Leftrightarrow F_M = 19,82 \text{ N} \quad (9)$$

Para terminar e, para que se obtenha a força que o ser humano tem de aplicar no manípulo (F_{HT}) desenvolve-se o diagrama de corpo livre do mesmo – figura 36.

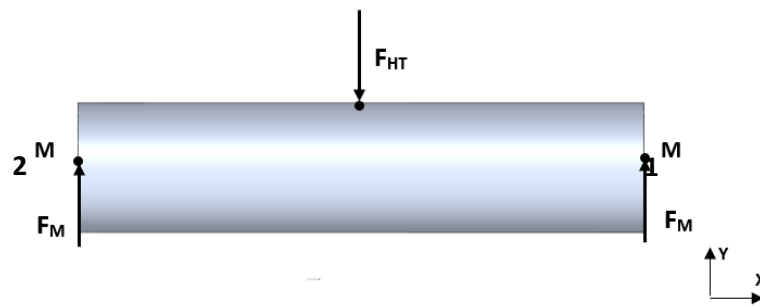


Figura 36 – Diagrama de corpo livre do manípulo – Caso 1.

Aplicando então a equação 10 e, uma vez conhecida a F_{HT} , descobre-se a força humana a aplicar no manípulo (F_{HT})

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow 2 \times F_M - F_{HT} = 0 \Leftrightarrow F_{HT} = 39,65 \text{ N} \quad (10)$$

Na figura 37 consegue-se observar de que forma são transmitidas as forças entre os diferentes componentes da alavanca.

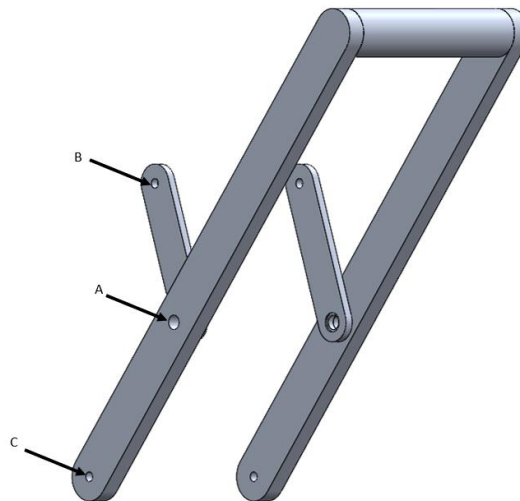


Figura 37 - Elementos de ligação entre os componentes da prensa.

Considerando agora o segundo caso, inicia-se mais uma vez o desenvolvimento do diagrama de corpo livre do êmbolo apresentado na figura 38 – no mesmo apresenta-se a força previamente conhecida, a força aplicada pelo resíduo sobre o êmbolo - F_R .

Desenvolvimento

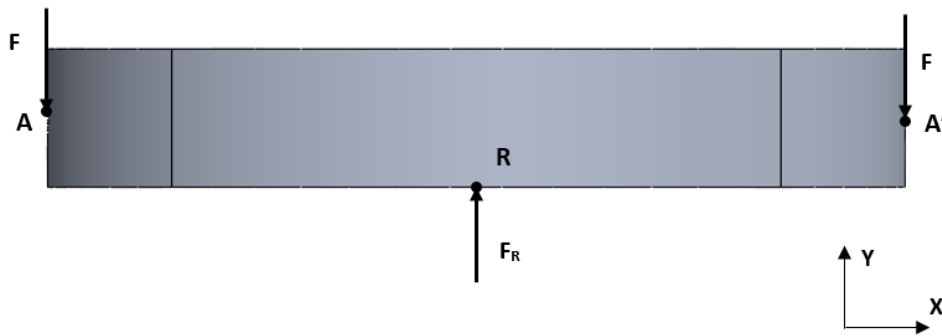


Figura 38 – Diagrama de corpo livre do êmbolo vista frontal – Caso 2.

Como mencionado anteriormente, para o segundo caso, considera-se a compactação de latas de conserva e, por isso, a força a ser considerada para este caso tem a intensidade de 5000 N – força máxima durante o processo de compactação permitindo assim obter as forças máximas aplicadas nos componentes do sistema.

A partir da equação 11 determina-se então a força F.

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow F_R - (2 \times F) = 0 \Leftrightarrow F = 2500 \text{ N} \quad (11)$$

O passo seguinte foi determinar as forças no elemento de ligação e, para isso, apresenta-se um novo diagrama de corpo livre do êmbolo – figura 39.

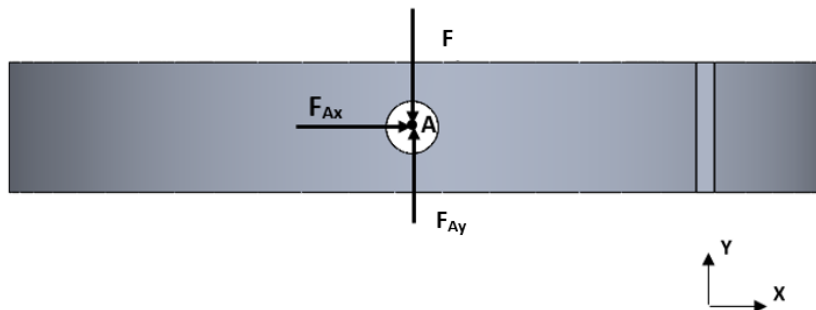


Figura 39 – Diagrama de corpo livre do êmbolo vista lateral – Caso 2.

Consecutivamente, aplicam-se as equações 12 e 13 que se baseiam nas equações 1 e 2, obtendo-se as restantes forças aplicadas neste elemento, uma vez que é conhecida a força F, tal como no caso anterior.

$$\sum F_x = 0 \Leftrightarrow F_{Ax} = 0 \text{ N} \quad (12)$$

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow F_{Ay} - F = 0 \Leftrightarrow F_{Ay} = 2500 \text{ N} \quad (13)$$

Em semelhança ao método utilizado anteriormente, a partir das equações apresentadas obtém-se F_{Ay} , esta força estará também aplicada na barra curta no local onde esta se liga ao êmbolo.

Reúne-se assim a informação necessária para o desenvolvimento do diagrama do corpo livre da barra curta – representado na figura 40. Aplicando, desta vez, as equações 14 e 15 determina-se as forças aplicadas no ponto B. A determinação destas forças é fundamental para que se desenvolva o diagrama do corpo livre da barra longa uma vez que as mesmas serão aplicadas no ponto B – elemento de ligação entre estes dois componentes.

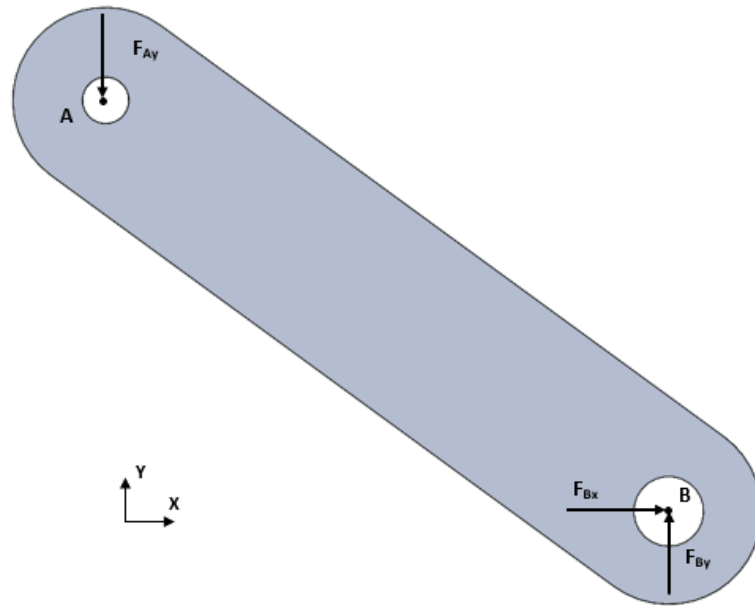


Figura 40 – Diagrama de corpo livre da barra curta – Caso 2.

$$\sum F_x = 0 \Leftrightarrow F_{Bx} = 0 \text{ N} \quad (14)$$

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow F_{By} - F_{Ay} = 0 \Leftrightarrow F_{By} = 2500 \text{ N} \quad (15)$$

Assim, tal como no caso anterior, o passo seguinte será a representação do diagrama do corpo livre da barra longa – figura 41. Desta forma e, conhecendo os esforços no ponto B, determina-se a força que a mesma exerce no manipulador (FM) – este cálculo é feito a partir da equação 16.

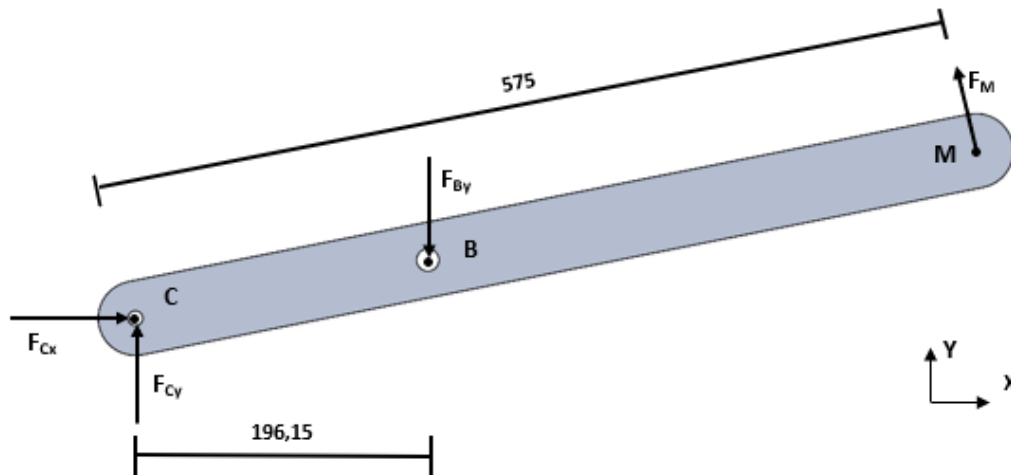


Figura 41 – Diagrama de corpo livre da barra longa – Caso 2.

$$\sum M_c = 0 \Leftrightarrow -F_{by} \times 196,15 + F_M \times 575 = 0 \Leftrightarrow F_M = 852,83 \text{ N} \quad (16)$$

Para concluir e, analogamente ao caso anterior, para que se obtenha a força que o ser humano tem de aplicar no manípulo (F_{HT}) desenvolve-se o diagrama de corpo livre do mesmo – figura 42.

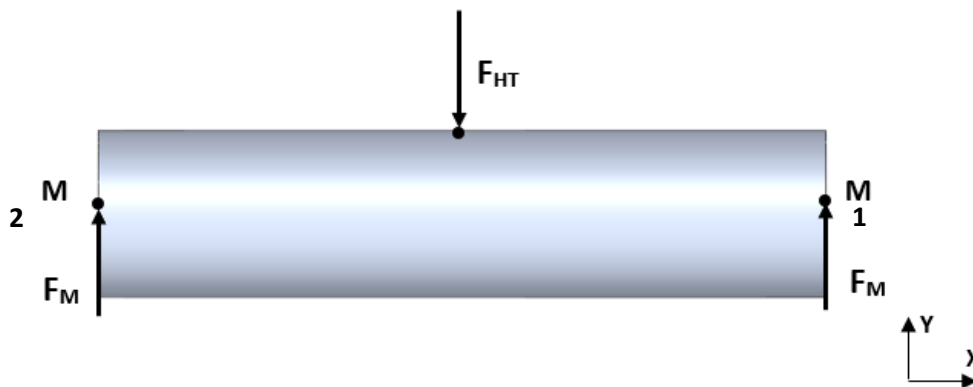


Figura 42 – Diagrama de corpo livre do manípulo – Caso 2.

Finalmente, aplicando a equação 17 e, uma vez conhecida a F_{HT} , descobre-se a força humana a aplicar no manípulo (F_{HT}) para o segundo caso.

$$\sum F_y = 0 \Leftrightarrow 2 \times F_M - F_{HT} = 0 \Leftrightarrow F_{HT} = 1705,6 \text{ N} \quad (17)$$

Assim, está reunida toda a informação para que se realize a análise de elementos finitos, esta é realizada através da ferramenta *SolidWorks Simulation*. Assim, é possível obter as tensões instaladas nos elementos do sistema durante o seu funcionamento.

3.4. Tensões e deformações utilizando a ferramenta *Solidworks Simulation*

Para obtenção dos efeitos das concentrações de tensões e, para que se obtenham resultados mais aproximados à realidade, é fundamental utilizar os métodos numéricos, como os da ferramenta *SolidWorks Simulation*. Este baseia-se no Método de Elementos Finitos (MEF), que devido à sua precisão permite analisar com maior pormenor onde ocorrem as concentrações de tensões e, assim identificar as áreas críticas minimizando os riscos de falha mecânica.

Utilizar esta ferramenta é extremamente vantajoso uma vez que permite obter simulações de elevada precisão. Esta análise é feita considerando todos os esforços aplicados à estrutura e todas as condições a que o sistema está sujeito, inclusive permite ter em consideração as propriedades do tipo de material de cada elemento.

Assim, a partir desta ferramenta, foi possível garantir o desenvolvimento de um sistema mais seguro, uma vez que as zonas críticas são analisadas de forma rigorosa o que permite projetar o sistema de forma mais exigente tornando-o mais confiável.

Como mencionado anteriormente, a partir da ferramenta *SolidWorks Simulation*, foram realizadas as simulações de esforços para os dois casos críticos anteriormente apresentados.

O primeiro caso correspondente à situação em que o resíduo é uma garrafa de plástico, tal como anteriormente explicitado, corresponde aquele em que o êmbolo está sujeito a uma força de 300 N. Para este caso obteve-se uma força necessária a aplicar no manípulo para comprimir os resíduos de cerca de 39,65 N. Esta é a força que se vai utilizar para obter as tensões instaladas no sistema.

O segundo corresponde à situação em que os resíduos são as latas de conserva. Neste segundo cenário, como o êmbolo estará sujeito a uma força de 5000 N, será necessária uma força de 1170 N no manípulo, tal como apresentado no subcapítulo anterior.

Para que seja possível realizar as simulações e analisar as secções críticas, é necessário definir as condições a que estão sujeitos os diferentes elementos que constituem o sistema, como por exemplo, elementos de ligação, cargas aplicadas e restrições de movimento. Estas condições representam-se na figura 43 e na figura 44 onde a cada condição é atribuída uma cor diferente.

Como anteriormente mencionado, antes de serem realizadas as simulações foi necessário atribuir conectores. Estes conectores substituem os elementos de ligação entre os componentes do sistema, neste caso os pinos e parafusos, que na figura 43 e na figura 44 estão representados com a cor verde e vermelha, respetivamente.

Os conectores são usados para simplificar a ligação ou a interação entre diferentes partes do conjunto, simplificando o cálculo de determinadas interações físicas. A partir dos conectores são ainda atribuídas condições de fronteira.

Desenvolvimento

No caso do pino, simula-se a ligação entre duas peças permitindo que ambas girem em torno de um eixo. Enquanto no caso do parafuso simula-se uma fixação aparafusada representando-se a força que seria aplicada pelo parafuso quando apertado, ou seja, a força que mantém as peças unidas.

Para além destes parâmetros, foi fundamental definir interações entre os diferentes componentes. Neste caso, é importante atribuir condições de contacto, para que se analise de que forma as diferentes peças interagem entre si. Consequentemente consegue-se estabelecer como é se transmitem forças e se comportam os componentes quando lhes é aplicada uma carga.

Como referido anteriormente, outro tipo de ligações existentes são as ligações soldadas e, nestes casos a ligação entre as duas peças é definida por uma condição de contacto. Neste tipo de ligação a condição que esta definida é a que garante que não existe qualquer deslizamento ou deslocamento entre as duas peças, comportando-se assim como uma peça única.

Outro parâmetro que é necessário ter em consideração é a restrição de movimento dos elementos do sistema. Esta é usada para limitar ou controlar o movimento das peças durante a simulação, permitindo assim, simular as condições reais de fixação ou apoio das peças, como é o caso da restrição representada pelas setas de cor azul na figura 43 e na figura 44. Esta está associada à parede de fixação e representa a sua ligação ao ecoponto, tal como no caso anterior, esta restrição não permite nenhum tipo de movimento entre as peças fixadas.

Por outro lado, este tipo de restrição é ainda aplicado ao êmbolo. No entanto, neste elemento apenas se restringe o seu movimento na vertical. Neste sentido e, uma vez que a simulação é considerada para os casos críticos do movimento, esta refere-se a situações em que o sistema está estático. Desta forma em cada um dos casos as considerações são diferentes, no primeiro caso o movimento é restringido de forma que o êmbolo esteja fixo em altura – no ponto mais elevado e, correspondente à altura das garrafas de plástico – e, no segundo caso a restrição em altura fixa-o na altura correspondente a uma lata de conserva. Esta restrição está representada na figura 43 e na figura 44 pelas setas de cor verde.

Por último, foi necessário ainda ter em consideração a força que será aplicada no manipululo, realizada por ação humana. Esta força tem diferente intensidade para cada um dos casos, como anteriormente calculado e indicado. Apesar destas apresentarem diferentes intensidades a sua direção é semelhante e é no sentido do movimento do manipululo. Esta força foi introduzida no *software* e representa-se na figura 43 e na figura 44 pela seta de cor lilás.

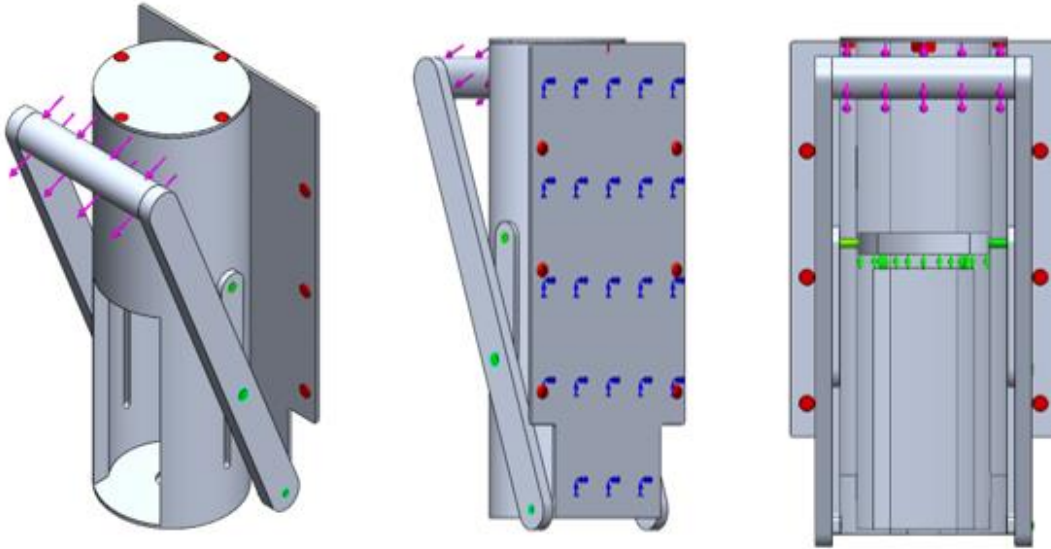


Figura 43 – Condições atribuídas no *software* de simulação – Caso 1.

Relativamente ao segundo caso, as condições a que os diferentes elementos estão sujeitos são semelhantes, as diferenças residem apenas na posição do êmbolo e consequentemente da alavanca e na intensidade da força aplicada sobre o mesmo como é representado na figura 44.

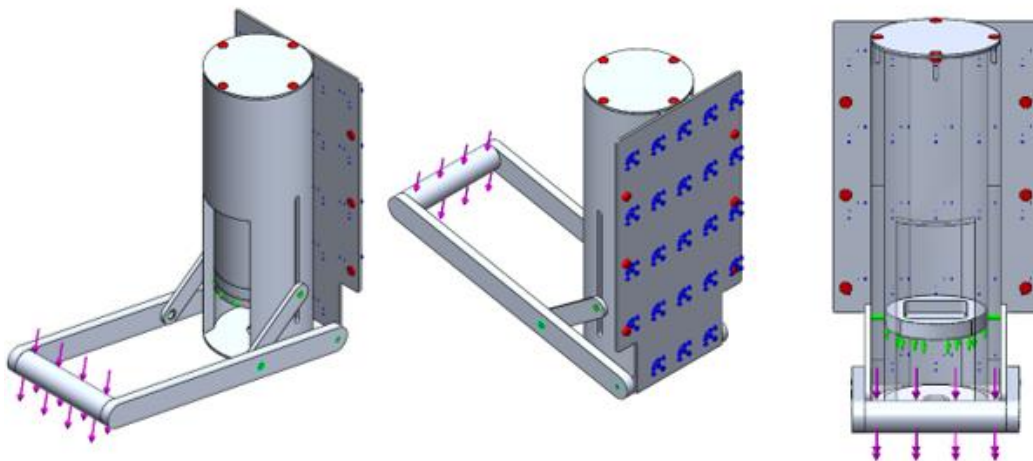


Figura 44 – Condições atribuídas no *software* de simulação – Caso 2.

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos da aplicação da força humana na estrutura, analisam-se as tensões instaladas na mesma e as deformações consequentes da sua utilização. Para isto recorreu-se mais uma vez à ferramenta *SolidWorks*, desta vez com auxílio da função *Simulation* e *Iso Clipping*.

4.1. Apresentação de resultados

Após ter sido realizado todo o dimensionamento do sistema e, estarem definidas todas as condições a que este está sujeito, é possível obter as tensões instaladas nos diferentes componentes do mecanismo.

Utilizando este *software* consegue-se então prever onde irão ocorrer as concentrações de tensões e a sua intensidade, permitindo determinar a zona onde a concentração de tensões é crítica. A partir desta análise, é possível também obter a tensão máxima instalada nos componentes e, comparar este valor com a tensão de cedência do material a partir do qual este é constituído. Por outro lado, é ainda possível analisar as deformações que seriam provocadas nos componentes resultantes da sua utilização.

Tudo isto é possível a partir da realização de simulações no *Solidworks Simulation*, os resultados obtidos a partir desta ferramenta serão apresentados de seguida. Como indicado anteriormente vão ser realizadas as simulações para os dois casos críticos de condições já conhecidas.

4.1.1. Análise do caso da compactação de garrafas plásticas

Como indicado inicialmente e, relativamente ao caso da compressão da garrafa de plástico, iniciou-se este estudo com análise das concentrações de tensões ao longo da estrutura e a sua intensidade.

Para que seja possível uma análise de forma simples e intuitiva, os resultados obtidos através da ferramenta *SolidWorks Simulation* estão apresentados na figura 45. Nesta figura e, de acordo com a escala de cores apresentada, é possível analisar os pontos de concentração de tensões. Os pontos de concentração máxima estão representados de cor vermelha e atingem um valor de $9,998 \times 10^5$ Pa. Neste caso, a concentração de tensões maior encontra-se na barra grande do manípulo próximo do furo.

Por outro lado, outro aspeto relevante é possibilitar a observação direta da intensidade das tensões instaladas em qualquer parte da estrutura.

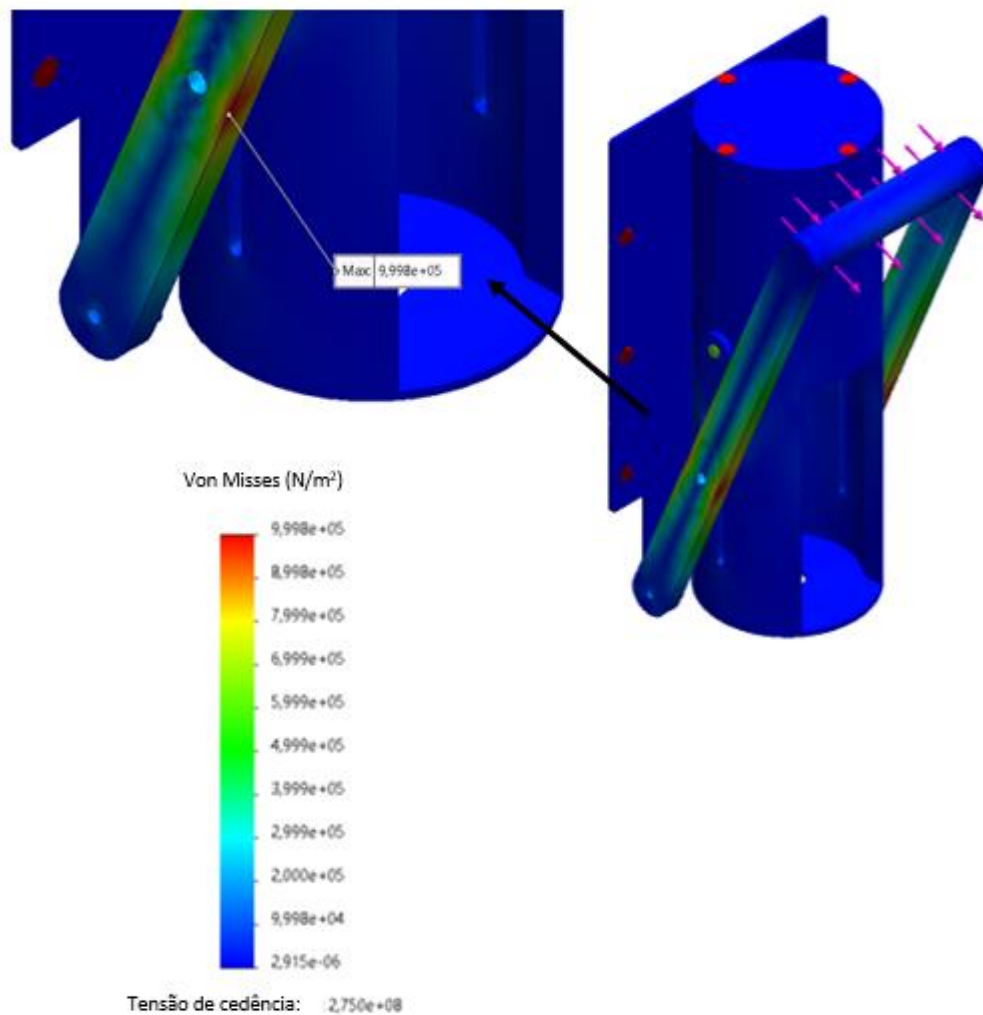


Figura 45 – Tensões instaladas na estrutura – Caso 1.

Esta ferramenta permite utilizar a função *iso clipping*, e foi utilizada para determinar quais seriam os pontos críticos da estrutura, ou seja, onde as zonas de concentração de tensão são maiores. Esta permitiu visualizar de forma simples e direta as zonas de maior tensão. Assim consideram-se como críticos os pontos cujos valores estão na região vermelha, zonas onde a tensão é igual ou superior a $8,998 \times 10^5 Pa$.

Na figura 46 podemos analisar os resultados obtidos, representando as zonas de maiores tensões.

Após análise do gráfico de tensões, é possível observar que a tensão instalada é consideravelmente inferior à tensão de cedência do material ($2,750 \times 10^8 Pa$), apenas permanecendo no regime elástico do material. Como o valor é tão reduzido, este não interfere no funcionamento da estrutura.

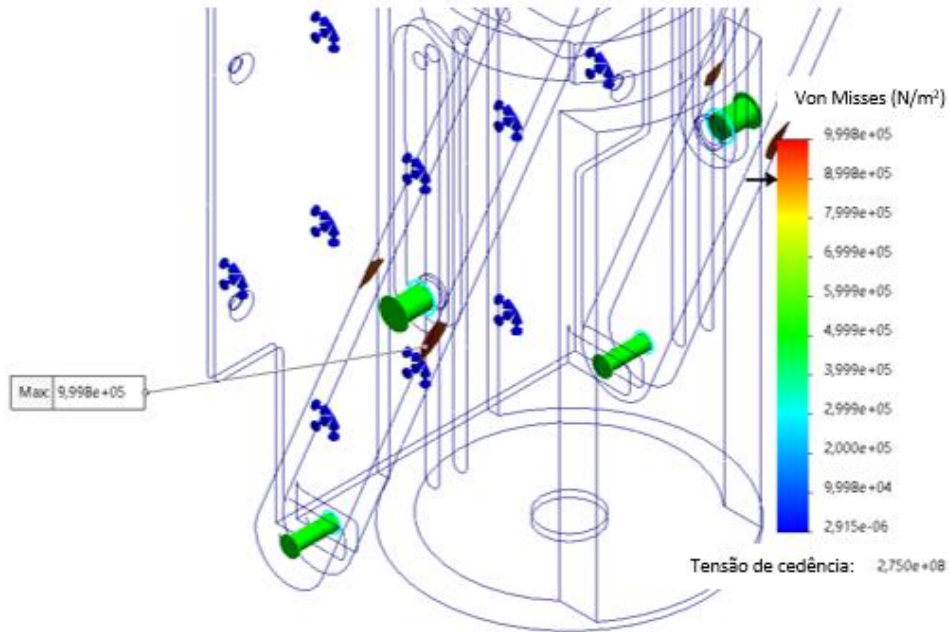


Figura 46 – Ponto de tensão máxima utilizando a ferramenta *iso clipping* – Caso 1.

Na figura 47 está representado o gráfico da deformação resultante dos esforços provocados pela força de ação humana. Observando o gráfico é possível concluir que a deformação máxima ocorrida tem o valor de $4,620 \times 10^{-2}$ mm e verifica-se maioritariamente no manípulo (zona a vermelho). Este valor é extremamente pequeno e, em geral, não compromete a integridade estrutural nem o funcionamento da peça.

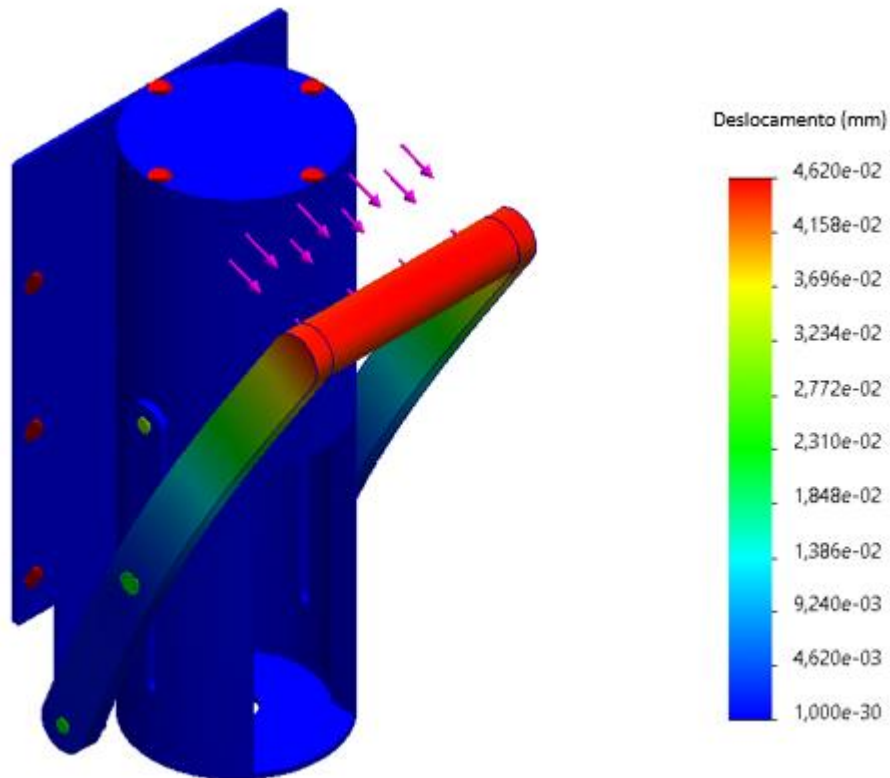


Figura 47 – Deformações provocadas na estrutura – Caso 1.

Em suma, para este caso é necessária uma força no manípulo de 39,65 N para iniciar compressão das garrafas de plástico. A partir deste valor e, analisando os resultados das simulações conclui-se que a estrutura está apta para aguentar os esforços da ação humana e considerando o seu valor verifica-se que este processo pode ser executado por qualquer indivíduo.

4.1.2. Análise do caso da compactação de latas de conserva

Como mencionado anteriormente, o caso número dois corresponde à análise da compressão das latas de conserva, assim sendo, como no caso anterior, analisa-se a concentração de tensões e as deformações que ocorrem na estrutura.

Os resultados apresentados estão na figura 48, em que se verifica uma tensão máxima instalada de $8,478 \times 10^7$ Pa, que mais uma vez está representada com a cor vermelha, esta localiza-se nas patilhas da chapa de fixação. Esta zona está sujeita a uma maior concentração de tensões devido ao facto de ser um ponto de ligação de componentes.

Assim como se observou a intensidade máxima e onde esta instalada, também é possível observar a intensidade da concentração de tensões ao longo de toda a estrutura.

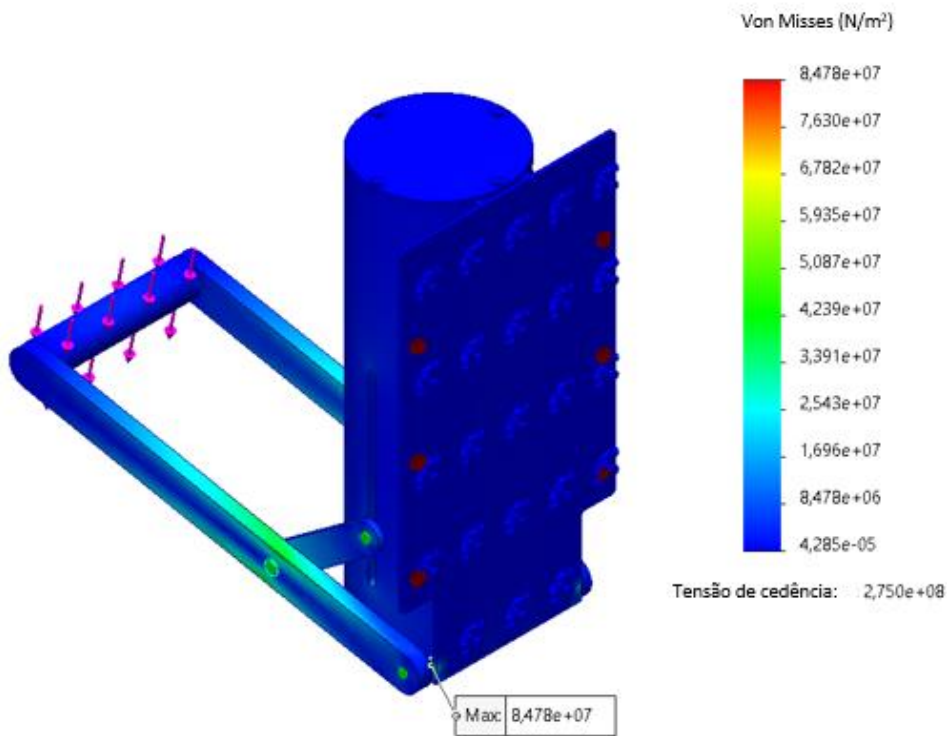


Figura 48 – Tensões instaladas na estrutura – Caso 2.

Tal como no caso anterior, foi utilizada a função *iso clipping*, para determinar os pontos críticos da estrutura - representados a cor vermelha – onde a tensão é igual ou superior a $5,934 \times 10^7$ Pa.

Na figura 49 podemos analisar os resultados obtidos, representando as zonas de maiores tensões.

Neste caso, a tensão instalada é mais elevada do que no caso número um, porém continua a ser inferior à de cedência, concluindo que a estrutura permanecerá no regime elástico não ocorrendo deformações permanentes e, não comprometendo assim o seu funcionamento. É de salientar que a zona afetada por estas tensões é muito reduzida.

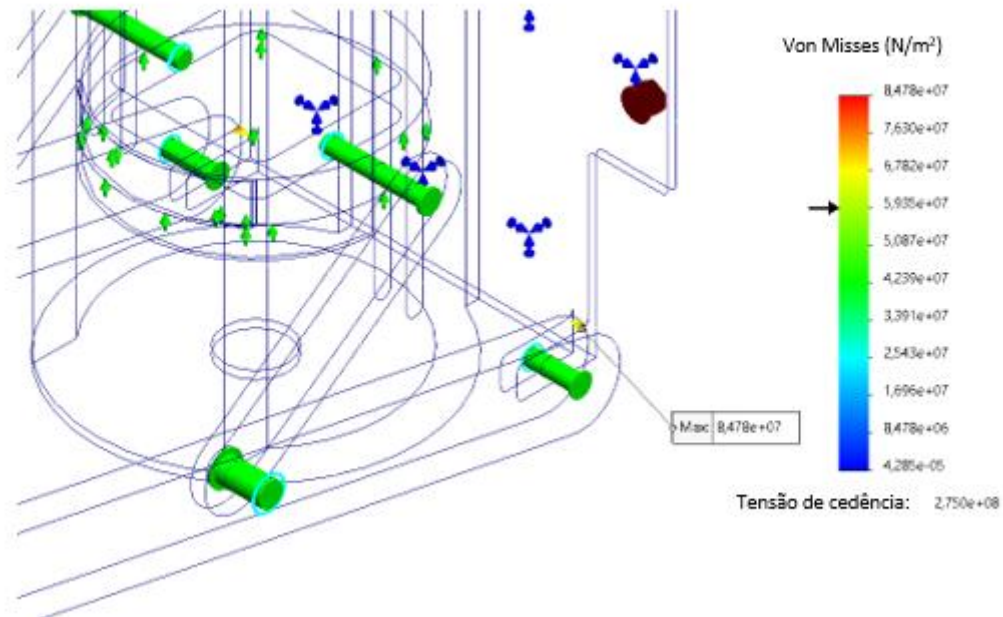


Figura 49 – Ponto de tensão máxima utilizando a ferramenta Iso Clipping – Caso 2.

Analogamente ao realizado para o primeiro caso, realizou-se uma análise das deformações resultante dos esforços provocados pela força de ação humana. Observando o gráfico da figura 50 é possível concluir que a deformação máxima ocorrida tem o valor de 2,37 mm e verifica-se maioritariamente no manipulador (zona a vermelho). Em comparação ao primeiro caso, apresenta um valor de deformação superior, no entanto como o material permanece no regime elástico este não gera deformação permanente, não comprometendo a integridade estrutural da peça nem o seu funcionamento.

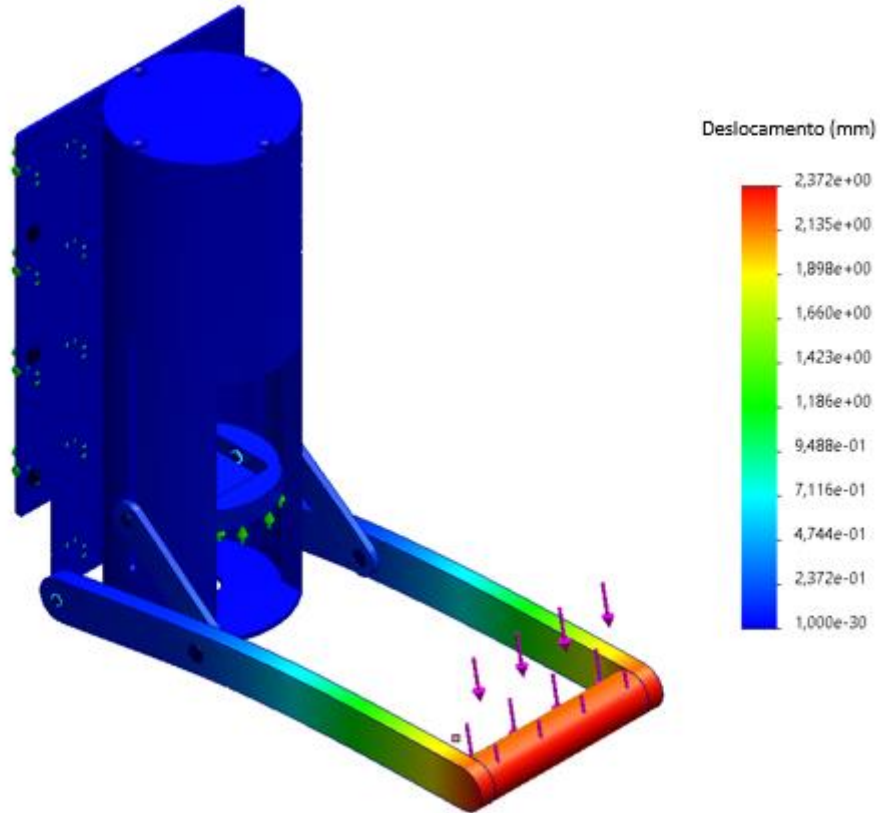


Figura 50 – Deformações provocadas na estrutura – Caso 2.

Relativamente ao segundo caso é necessária uma força de 1705,6N para haver compressão. Apesar da análise feita ao longo deste capítulo demonstrar que a estrutura não irá sofrer deformações significativas resultantes da força humana necessária, considera-se que este valor é demasiado elevado para que a tarefa seja executada manualmente.

5. Conclusão

Este capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho desenvolvido, em função dos objetivos propostos e dos benefícios alcançados.

São também identificadas as principais dificuldades enfrentadas ao longo do projeto e as limitações do mesmo. Por fim, são sugeridas propostas de trabalhos futuros, com vista à melhoria contínua e evolução da solução apresentada.

5.1. Conclusões finais

O presente trabalho consistiu no desenvolvimento de uma prensa manual destinada à compactação de resíduos urbanos, especificamente garrafas plásticas (HDPE) e latas de conserva metálicas. O projeto foi integralmente concebido e simulado através do software *SolidWorks*, o qual permitiu tanto a modelação tridimensional dos componentes quanto a análise estrutural por meio do Método dos Elementos Finitos (MEF).

A estrutura foi dimensionada com base nas características geométricas e resistência dos resíduos-alvo, sendo o alumínio 6061 o material selecionado devido às suas propriedades mecânicas favoráveis, leveza e resistência à corrosão.

A prensa é composta por uma estrutura tubular, êmbolo, alavancas, sistema de segurança e elementos de fixação, com todas as ligações modeladas para garantir funcionalidade e segurança operacional.

Foram considerados dois cenários críticos para validação do projeto:

- **Caso 1 – Compactação de garrafas plásticas:** A força requerida no manípulo foi de 39,65 N. As simulações indicaram tensões máximas de $9,998 \times 10^5$ Pa e deformações da ordem de $4,62 \times 10^{-2}$ mm, valores significativamente inferiores ao limite elástico do material ($2,75 \times 10^8$ Pa), garantindo a integridade estrutural e operacional do sistema.
- **Caso 2 – Compactação de latas de conserva:** A força necessária no manípulo foi de 1705,6 N. Embora a estrutura tenha suportado tensões de até $8,478 \times 10^7$ Pa e deformações de 2,37 mm sem ultrapassar o regime elástico do material, o elevado esforço requerido excede os limites aceitáveis para operação manual, indicando uma limitação funcional para este tipo de resíduo.

Dessa forma, conclui-se que a prensa desenvolvida é estruturalmente segura e funcional para resíduos de baixa resistência mecânica, como garrafas plásticas. No entanto, para resíduos mais rígidos, como latas metálicas, recomenda-se a implementação de melhorias no sistema de alavancagem ou a integração de mecanismos auxiliares, como assistência hidráulica ou motorizada, a fim de viabilizar o uso do equipamento.

O presente trabalho, embora tenha cumprido os objetivos propostos, apresenta algumas limitações. Em primeiro lugar, os resultados obtidos basearam-se exclusivamente em simulações numéricas, não tendo sido realizada a validação experimental do sistema projetado.

As simplificações adotadas nas simulações, como materiais ideais e condições de contato perfeitas, podem não refletir com total precisão o comportamento real da estrutura.

Além disso, a análise ergonómica foi limitada, e os esforços exigidos para a operação manual, especialmente no caso da compactação de latas metálicas, revelaram-se elevados.

A aplicação da prensa ficou também restrita a dois tipos de resíduos, o que limita a sua versatilidade em contextos reais. Por fim, não foram considerados fatores como desgaste por uso contínuo, resistência à fadiga e viabilidade de fabrico.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

Com base nos resultados obtidos e nas limitações identificadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, considera-se pertinente propor algumas linhas de continuidade que poderão contribuir para o aperfeiçoamento da prensa de compactação desenvolvida.

Em primeiro lugar, destaca-se a necessidade de aperfeiçoar o sistema de alavancagem, tendo em vista que o esforço exigido para a compactação de latas metálicas mostrou-se elevado para operação exclusivamente manual. A otimização do sistema mecânico, com alterações nas dimensões ou na configuração das alavancas, poderá reduzir significativamente a força necessária por parte do utilizador.

Complementarmente, sugere-se a integração de assistência mecânica ou hidráulica, nomeadamente através de mecanismos de multiplicação de força, como cilindros hidráulicos manuais ou sistemas de engrenagens. Tal modificação permitiria ampliar o tipo de resíduos a compactar, tornando o sistema mais robusto e acessível a diferentes perfis de utilizadores.

Outro aspeto a considerar é a validação experimental da estrutura desenvolvida. A construção de um protótipo físico e a realização de ensaios mecânicos em condições reais permitiriam verificar a correspondência entre os resultados simulados e os comportamentos efetivos da estrutura, possibilitando ajustes de projeto com base em dados empíricos.

Adicionalmente, seria relevante desenvolver uma análise de durabilidade e fadiga estrutural, considerando a utilização prolongada do equipamento. Ensaios de resistência à fadiga ou simulações específicas permitiriam avaliar o comportamento dos materiais sob cargas cíclicas e prevenir eventuais falhas estruturais.

Por fim, recomenda-se a realização de uma avaliação de viabilidade económica e ecológica do sistema, com vista à sua aplicação em programas de reciclagem doméstica ou comunitária. Este estudo poderia incluir a análise de custos de produção, manutenção e impacto ambiental, bem como a viabilidade de versões modulares ou adaptáveis a diferentes tipos de resíduos.

Referências

No entanto, reconhece-se como possível limitação deste projeto a adesão da população, fator que depende exclusivamente do comportamento individual e que poderá comprometer a eficácia da solução proposta. Assim, recomenda-se a implementação de incentivos e ações de sensibilização que promovam a participação ativa dos cidadãos na utilização do sistema.

Em síntese, os trabalhos aqui propostos visam não apenas a melhoria do desempenho mecânico da prensa, mas também a sua aplicabilidade prática, segurança e sustentabilidade a longo prazo.

Referências

- [1] Agência Portuguesa do Ambiente, “raru_2023,” Oct. 2024, Accessed: Apr. 18, 2025. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/residuos/dados-sobre-residuos-urbanos>
- [2] P. Reis, R. Pitarma, F. Caetano, and C. Gonçalves, “Intelligent system for recycling incentive,” in *2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI 2015*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2015. doi: 10.1109/CISTI.2015.7170487.
- [3] Relatório de Estado do Ambiente, “Produção e Gestão de Resíduos Urbanos.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/produ%C3%A7%C3%A3o-e-gest%C3%A3o-de-res%C3%ADduos-urbanos>
- [4] A. A. Santos, A. F. da Silva, A. Gouveia, C. Felgueiras, and N. Caetano, “Reducing Volume to Increase Capacity—Measures to Reduce Transport Energy for Recyclable Waste Collection,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/en15197351.
- [5] Agência Portuguesa do Ambiente (APA), “APA.” Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/residuos>
- [6] Quercus, “Quercus.” Accessed: Nov. 06, 2024. [Online]. Available: <https://quercus.pt/>
- [7] A. A. Santos, A. F. da Silva, A. Gouveia, N. Caetano, and C. Felgueiras, “Recyclable waste collection—Increasing ecopoint filling capacity to reduce energy for transportation,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 430–436, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.01.066.
- [8] S. Sauvé, S. Bernard, and P. Sloan, “Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research,” *Environ Dev*, vol. 17, pp. 48–56, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.envdev.2015.09.002.
- [9] K. Demestichas and E. Daskalakis, “Information and communication technology solutions for the circular economy,” Sep. 02, 2020, *MDPI*. doi: 10.3390/su12187272.
- [10] M. Lieder and A. Rashid, “Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry,” Mar. 01, 2016, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.042.
- [11] OVO Solutions, “Produtos, Contentores, Superfície.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.ovosolutions.com/pt/index.php?page=produtos&categoria=1&subcategoria=4>
- [12] OVO Solutions, “SUPERFÍCIE CYCLEA 1500.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.ovosolutions.com/pt/index.php?page=produtos&categoria=1&subcategoria=4&produto=18>
- [13] OVO Solutions, “SUPERFÍCIE CYCLEA 2500.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.ovosolutions.com/pt/index.php?page=produtos&categoria=1&subcategoria=4&produto=19>
- [14] OVO Solutions, “SUPERFÍCIE IGLO 2500.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.ovosolutions.com/pt/index.php?page=produtos&categoria=1&subcategoria=4&produto=20>

- [15] Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos, “RSU.” Accessed: Mar. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.residuosdonordeste.pt/residuosSolidosUrbanos>
- [16] Ambipombal, “Ambipombal .” Accessed: Apr. 01, 2025. [Online]. Available: <https://ambipombal.pt>
- [17] R. H. Faraj, H. F. Hama Ali, A. F. H. Sherwani, B. R. Hassan, and H. Karim, “Use of recycled plastic in self-compacting concrete: A comprehensive review on fresh and mechanical properties,” Jul. 01, 2020, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.job.2020.101283.
- [18] Adam Augustyn and The Editors of Encyclopaedia Britannica, “Britannica - Elastic Limit,” *Britannica*. Accessed: Mar. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/elastic-limit#ref893248>
- [19] The Editors of Encyclopaedia Britannica, “Britannica - plasticity,” *Britannica*. Accessed: Mar. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/plasticity>
- [20] M. A. Reuter, United Nations Environment Programme. Working Group on the Global Metal Flows., and United Nations Environment Programme. International Resource Panel., *Metal recycling : opportunities, limits, infrastructure*.
- [21] R. Yokoi, T. Watari, and M. Motoshita, “Future greenhouse gas emissions from metal production: Gaps and opportunities towards climate goals,” *Energy Environ Sci*, vol. 15, no. 1, pp. 146–157, Jan. 2022, doi: 10.1039/d1ee02165f.
- [22] D. Xevgenos *et al.*, “Design of an innovative, ecological portable waste compressor for in-house recycling of paper, plastic and metal packaging waste,” *Waste Management and Research*, vol. 33, no. 5, pp. 439–452, May 2015, doi: 10.1177/0734242X15574589.
- [23] A. Manuel and S. Gouveia, “OTIMIZAÇÃO DE ECOPONTOS,” Instituto Superior Engenharia do Porto, 2020.
- [24] MARGARIDA MARIA MELO MARTINS, “Estudo do comportamento das ligas de alumínio 6061 e 6082,” Universidade de Aveiro, 2008.

Declaração de Integridade

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

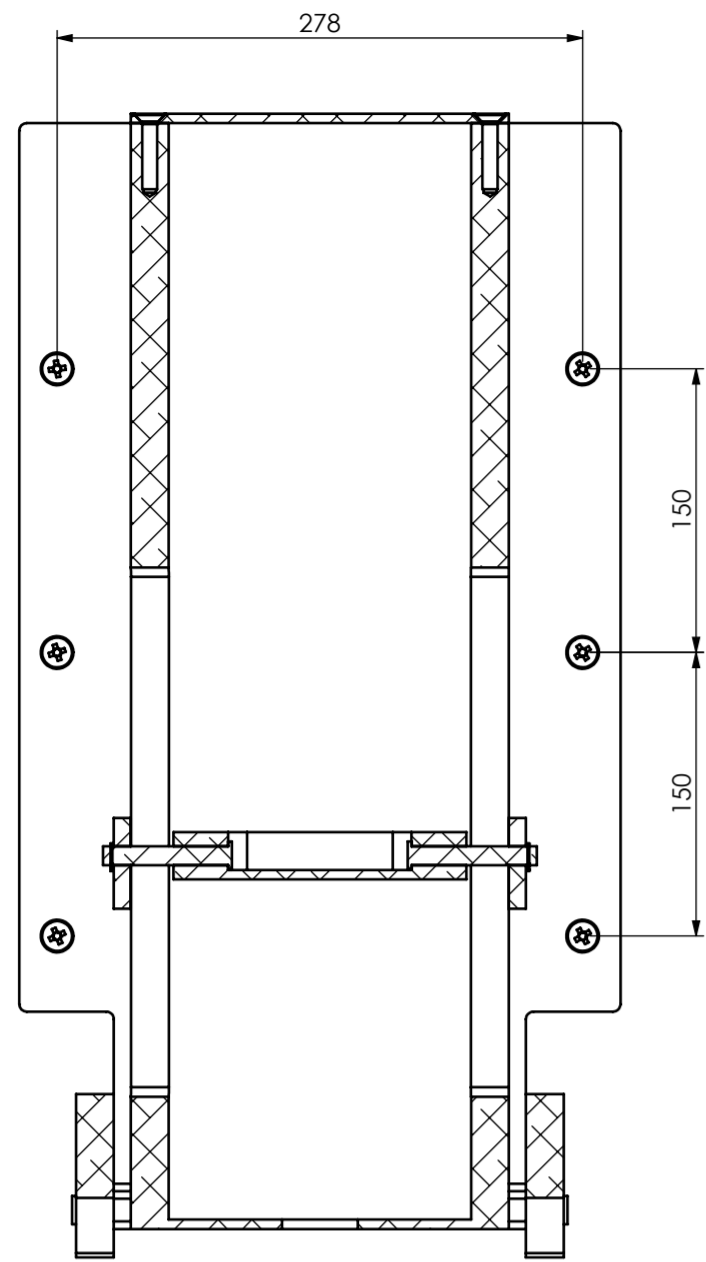
Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

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

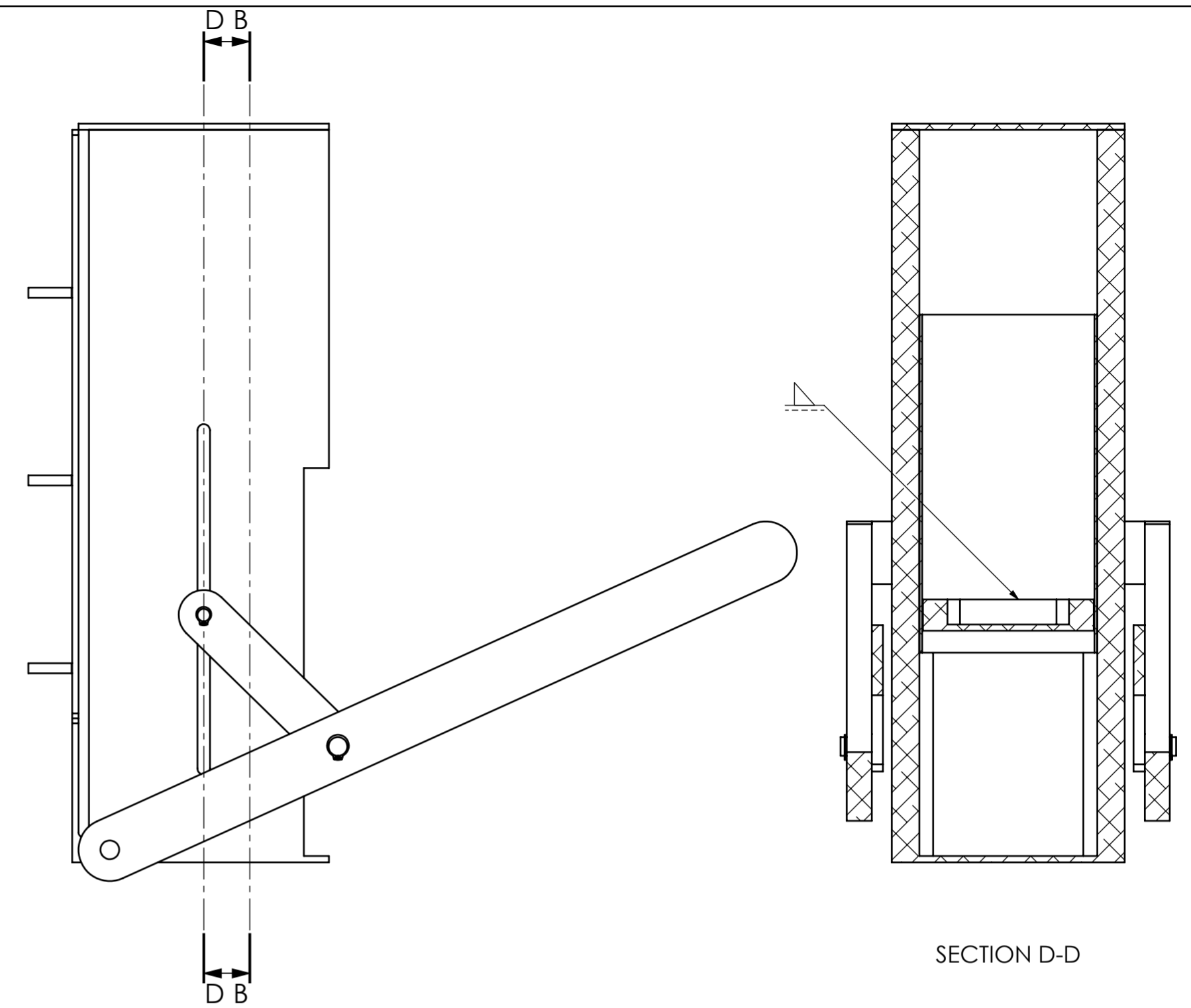
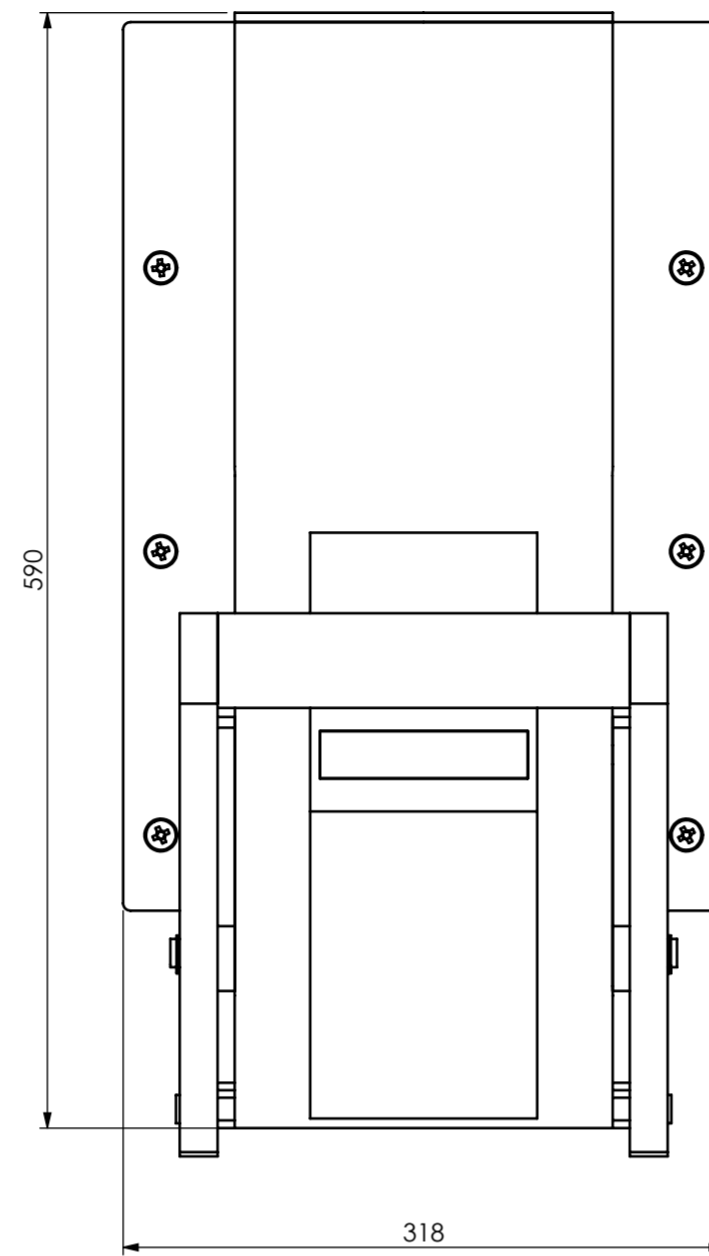
NOME: Diogo Filipe Nunes Meireles

ISEP, Porto, 05 de Junho de 2025

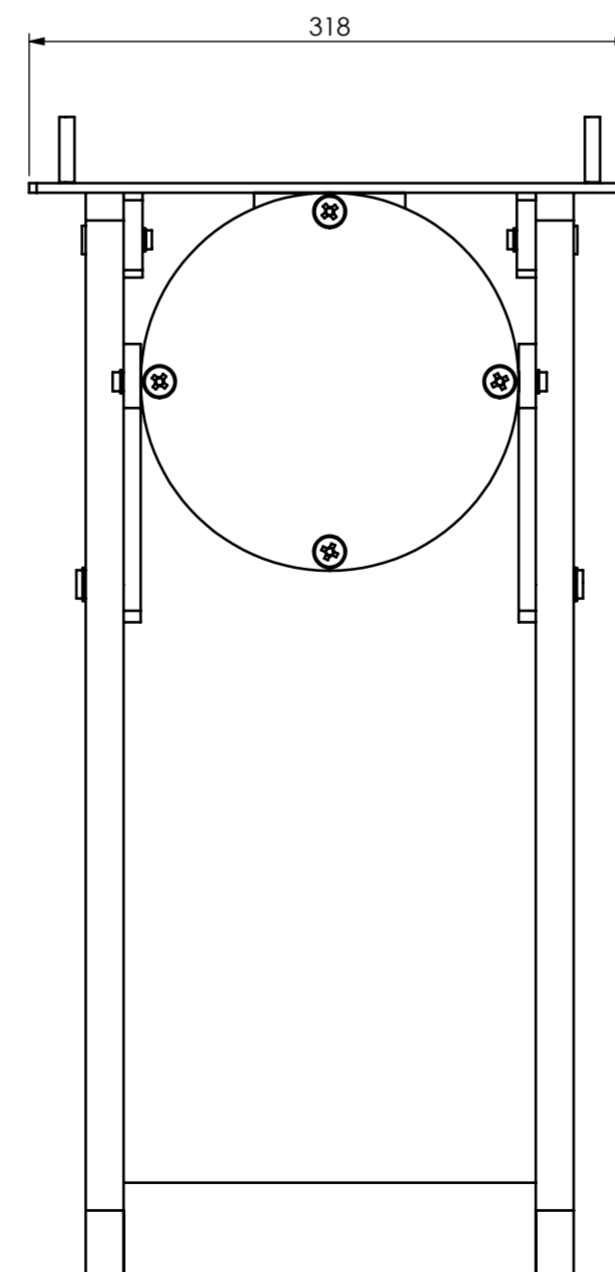
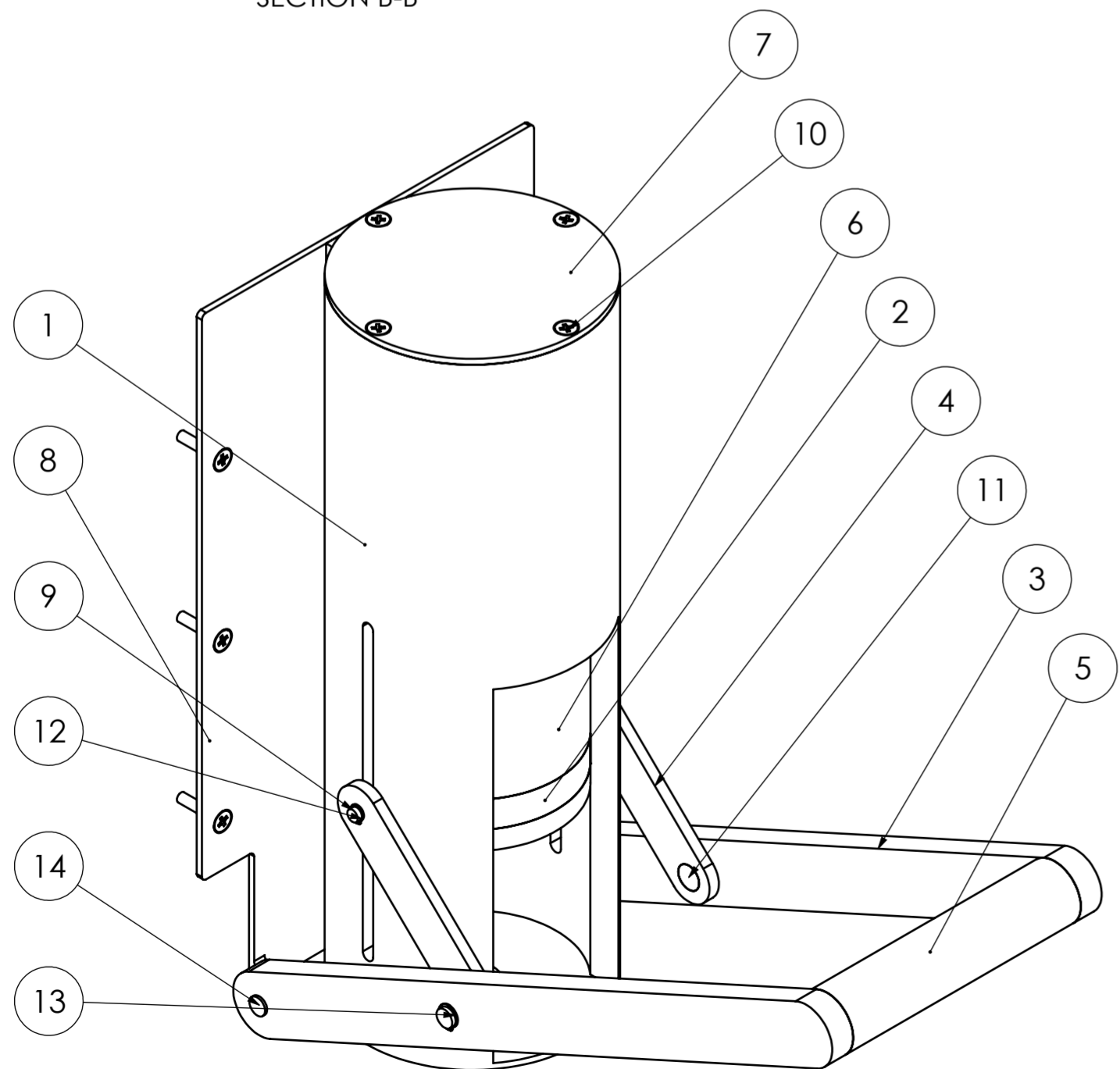
Apêndice A



SECTION B-B



SECTION D-D

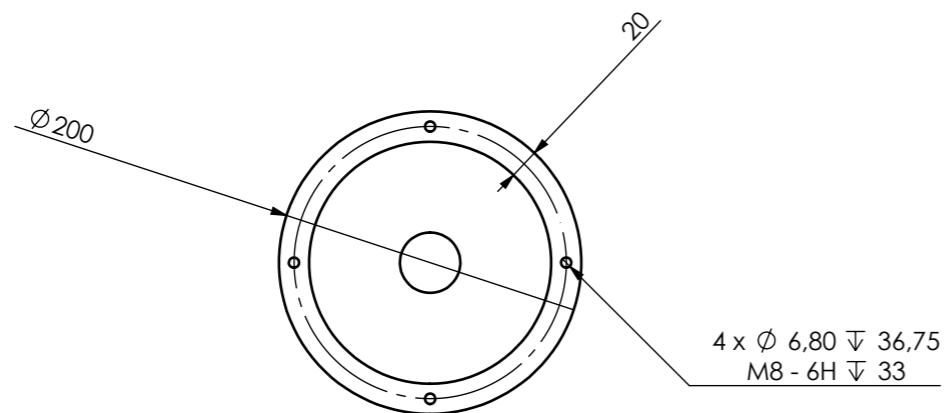
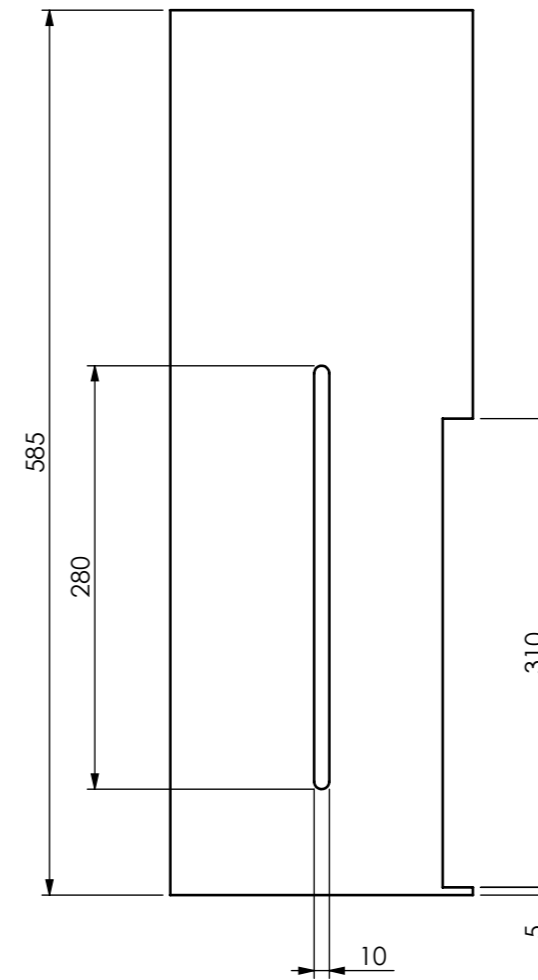
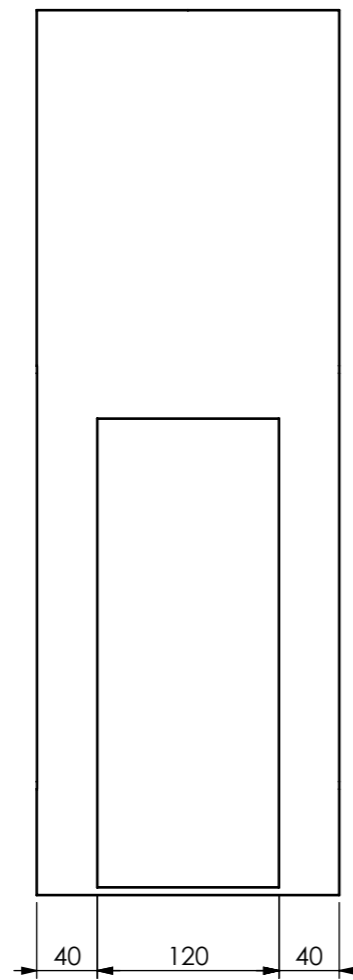
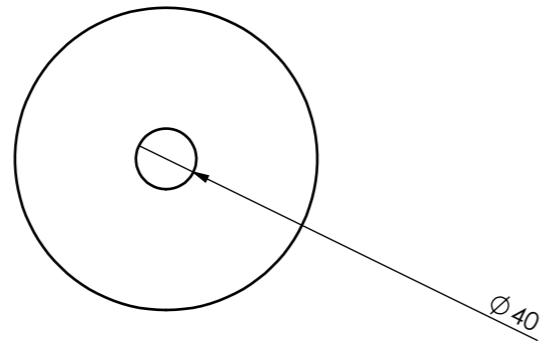


ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Alojamento Tubular	1
2	Embolo Circular	1
3	Braço da manivela	2
4	Braço ligante	2
5	Pega	1
6	Porta de segurança	1
7	Tampa	1
8	Parede de fixação	1
9	Pino	2
10	ISO 7046-1 - M8 x 40 - Z - 40N	10
11	Pino 2	2
12	Circlip DIN 471 - 10 x 1	4
13	Circlip DIN 471 - 15 x 1	2
14	Pino de fixação	2

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK

ESCALA
1:4

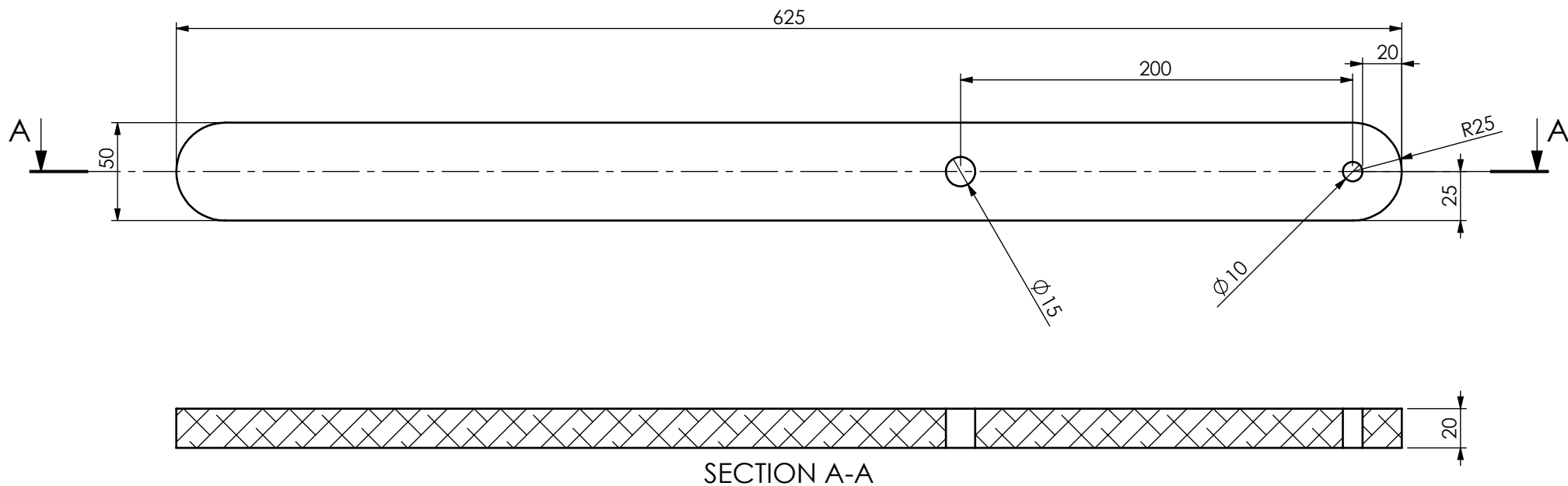
Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	tipo de documento	Estado do documento
Proprietário legal		Título	Número
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto		Compactador Manual	Revisão
			Data de edição
			Língua
			Folha
			PT
			1/1



ESCALA
1:5

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

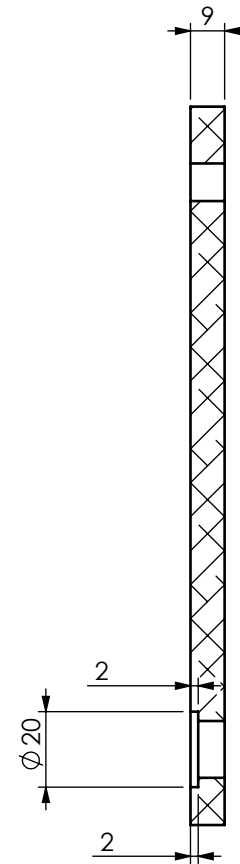
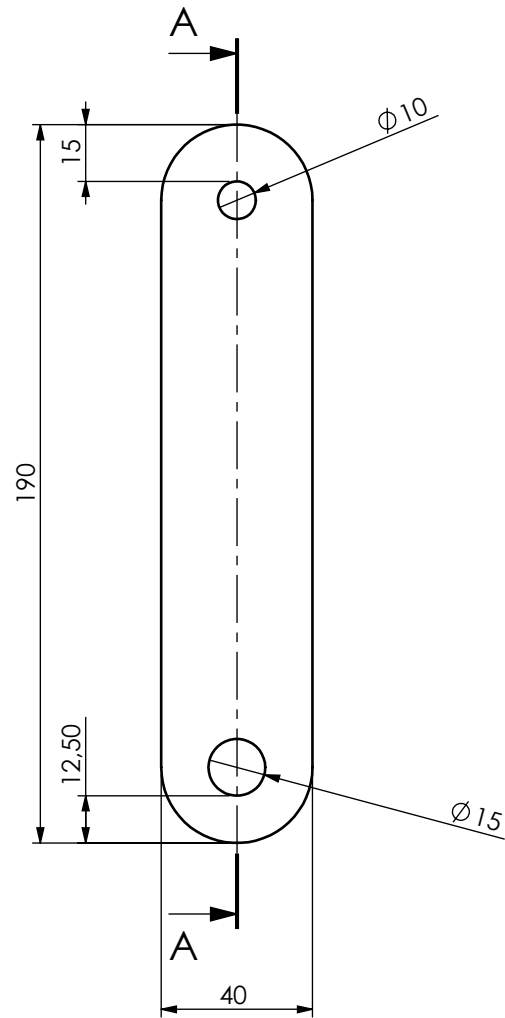
Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento	Estado do documento			
Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto		Título Alojamento tubular	Número			
		Revisão	Data de edição	Lingua PT	Folha 1/1	



ESCALA
1:3

Tolerâncias gerais: ISO 21678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal <i>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto</i>		Título Braço Manivela		Número	
		Revisão	Data de edição	Lingua PT	Folha 1/1

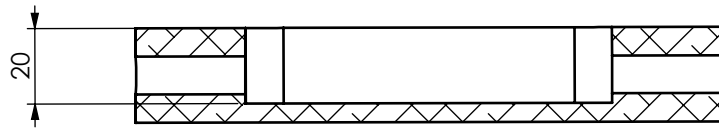


SECTION A-A

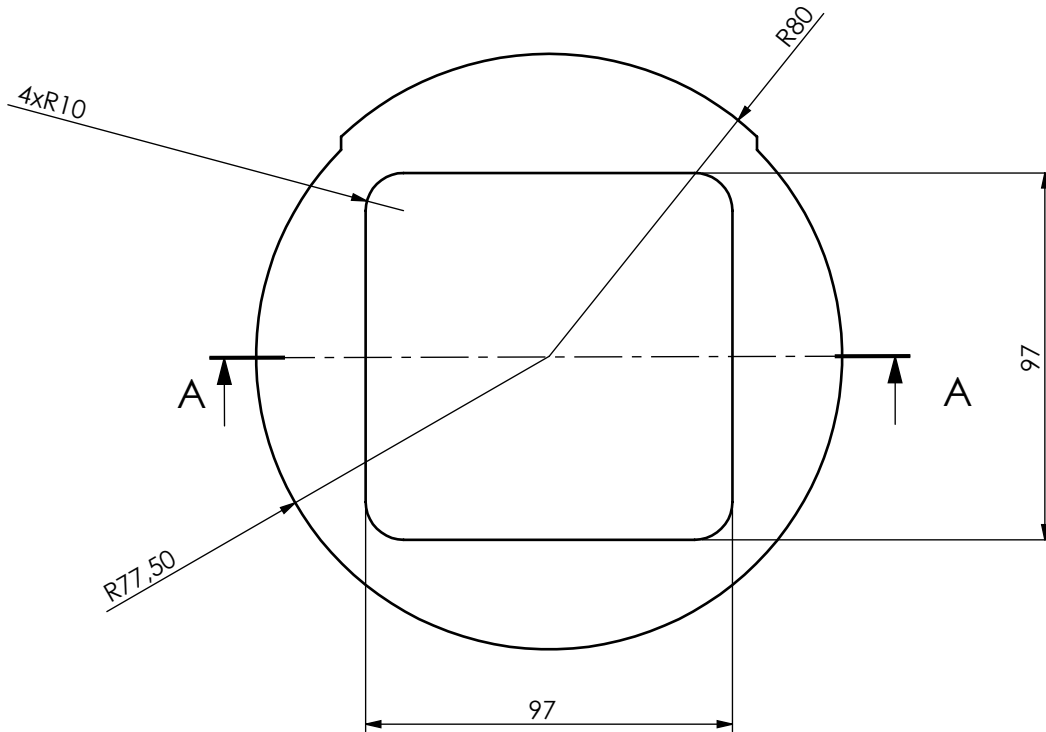
ESCALA
1:2

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

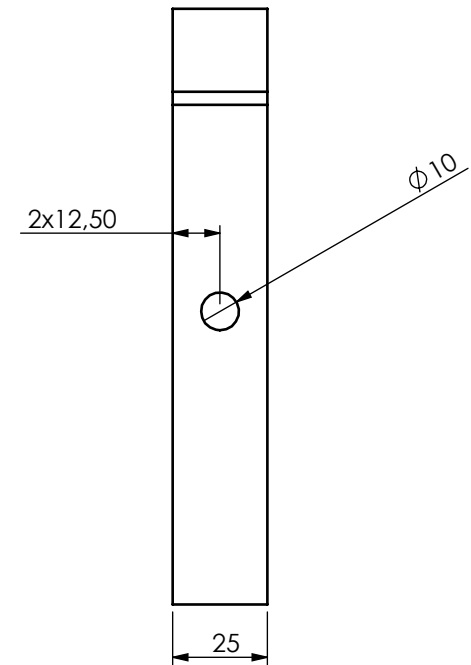
Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal <i>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto</i>		Título Braço Ligante		Número	
		Revisão	Data de edição	Língua PT	Folha 1/1



SECTION A-A

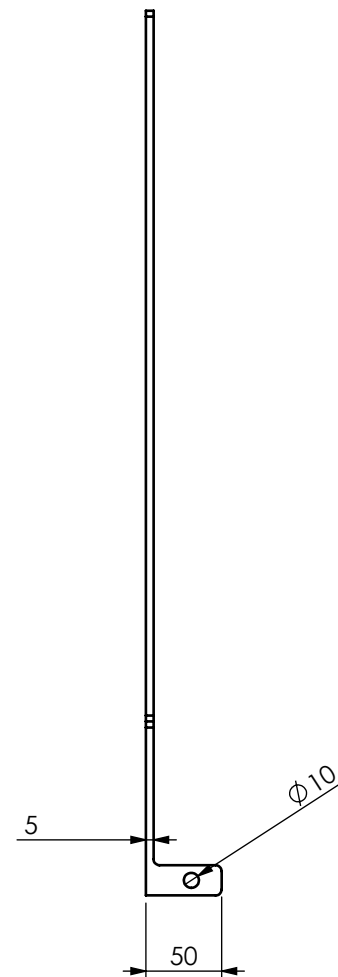
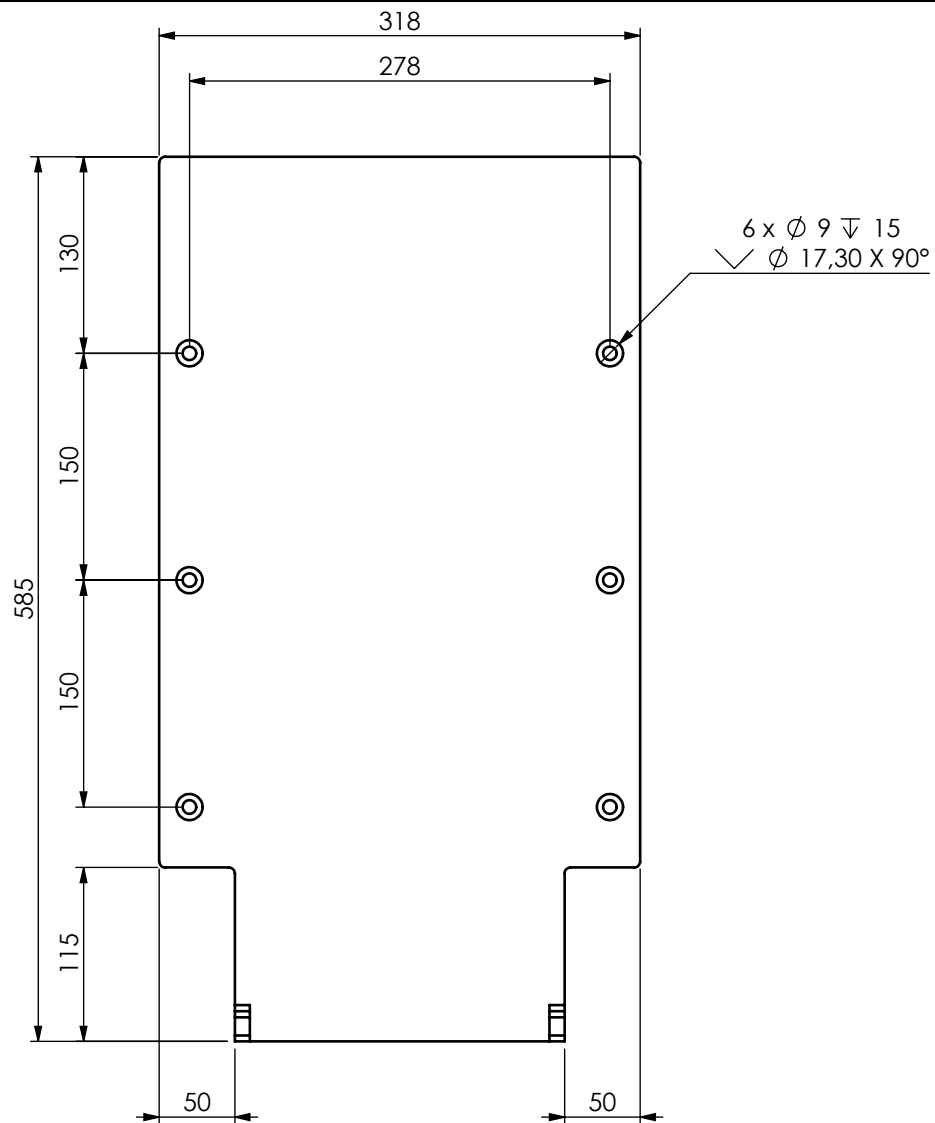


ESCALA
1:2



Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

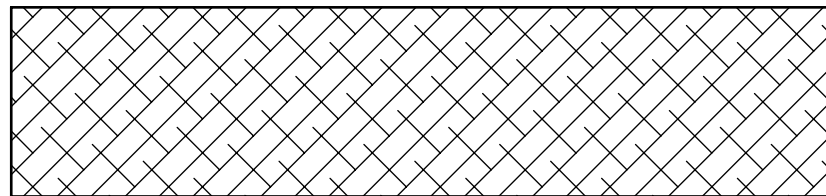
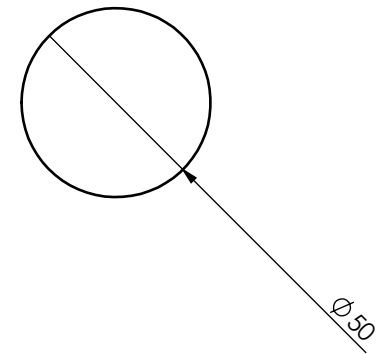
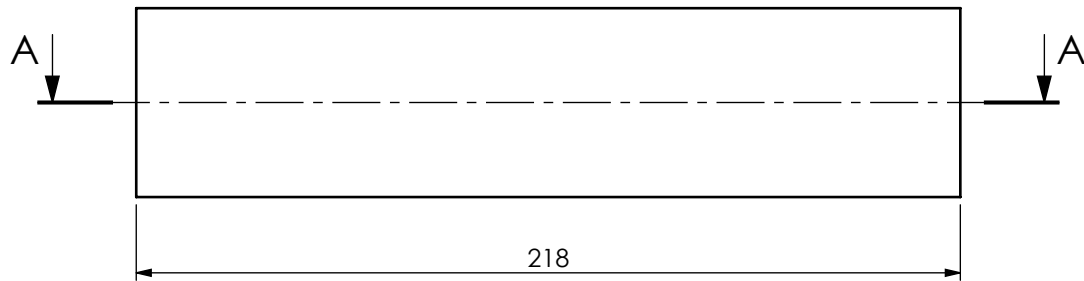
Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal <i>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto</i>		Título Embolo Circular		Número	
		Revisão	Data de edição	Língua PT	Folha 1/1



ESCALA
1:5

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal <i>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto</i>		Título Parede de Fixação		Número	
		Revisão	Data de edição	Lingua PT	Folha 1/1

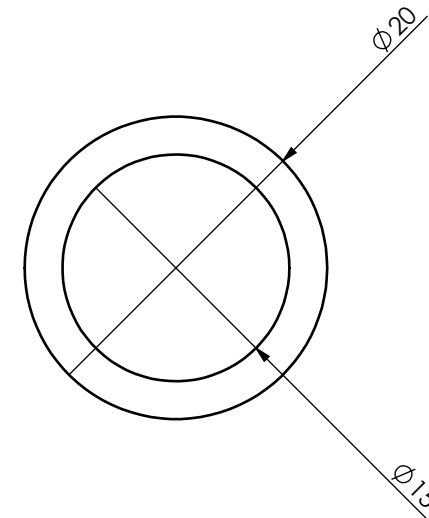
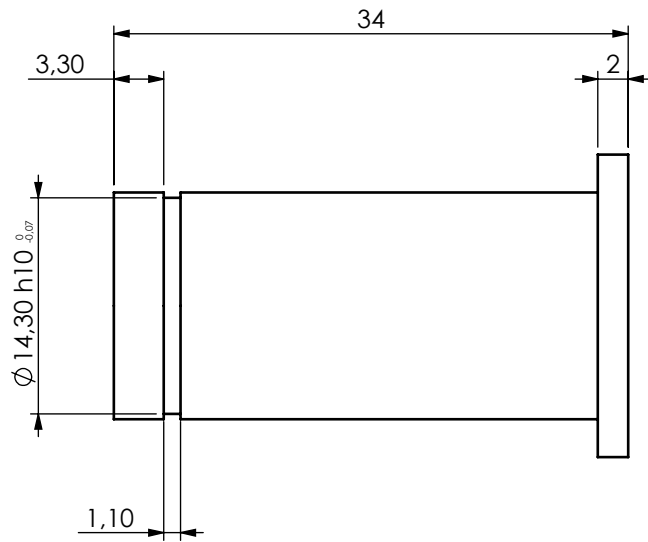


SECTION A-A

ESCALA
1:2

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

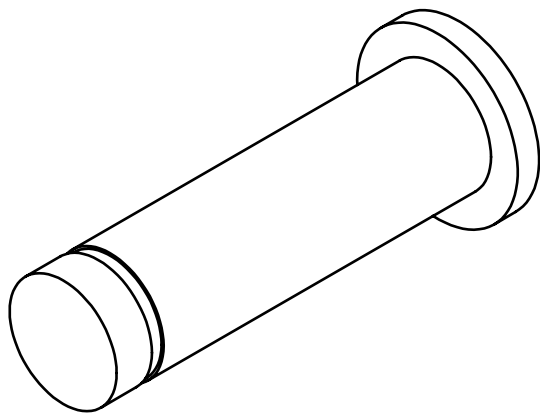
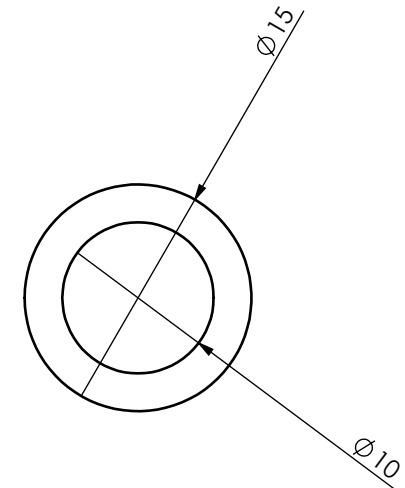
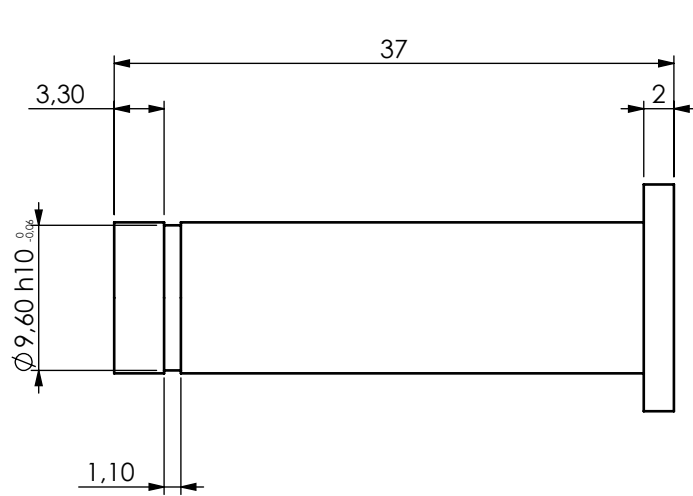
Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal <i>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto</i>		Título PEGA		Número	
		Revisão	Data de edição	Lingua PT	Folha 1/1



ESCALA
2:1

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

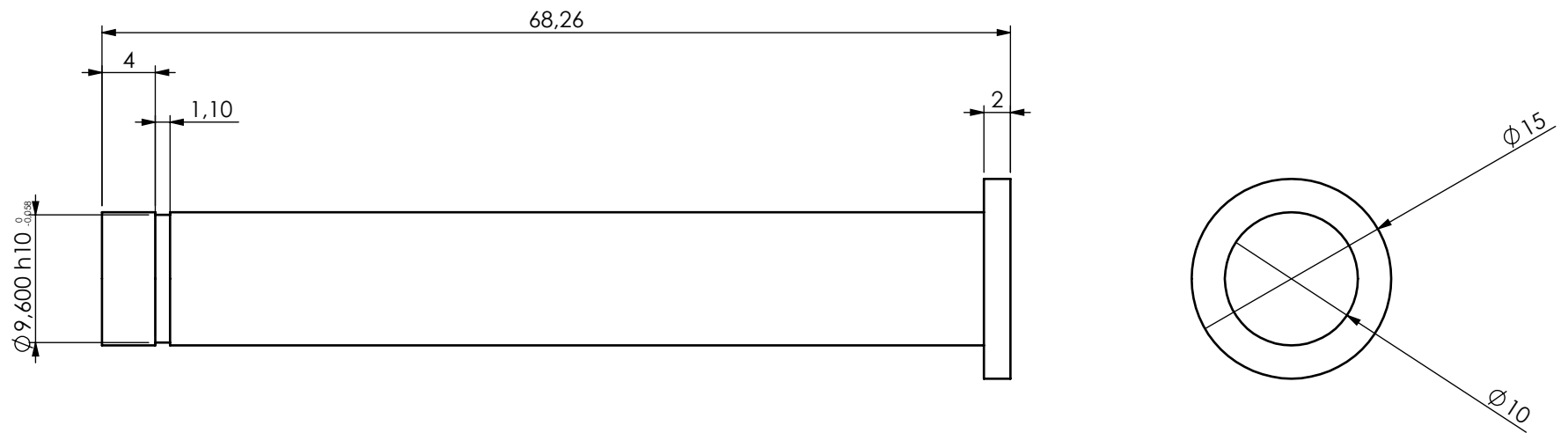
Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal <i>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto</i>		Título PINO 2		Número	
		Revisão	Data de edição	Lingua PT	Folha 1/1



ESCALA
2:1

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

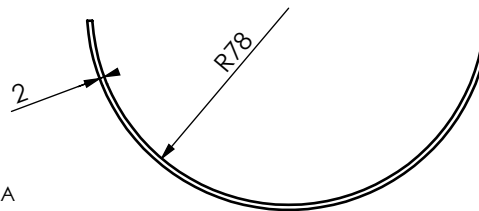
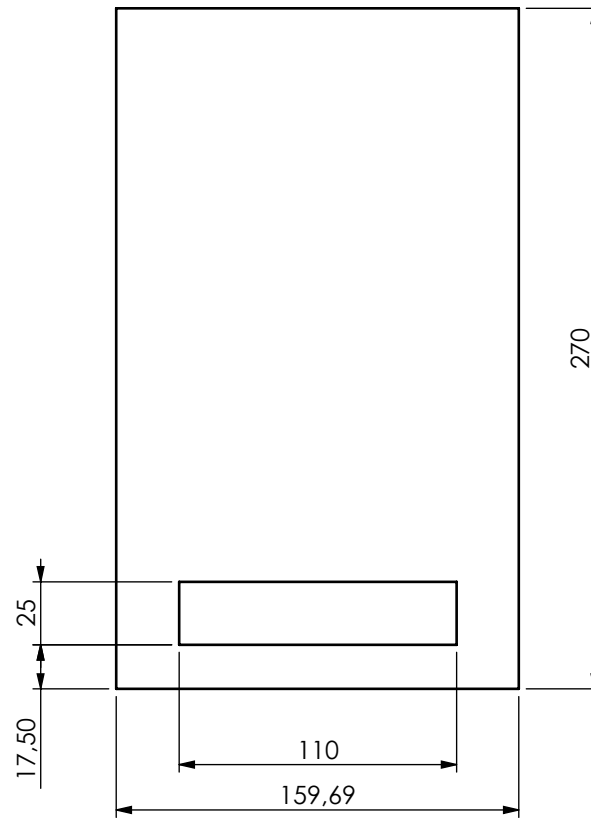
Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal <i>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto</i>		Título PINO FIXAÇÃO		Número	
		Revisão	Data de edição	Lingua PT	Folha 1/1



ESCALA
2:1

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

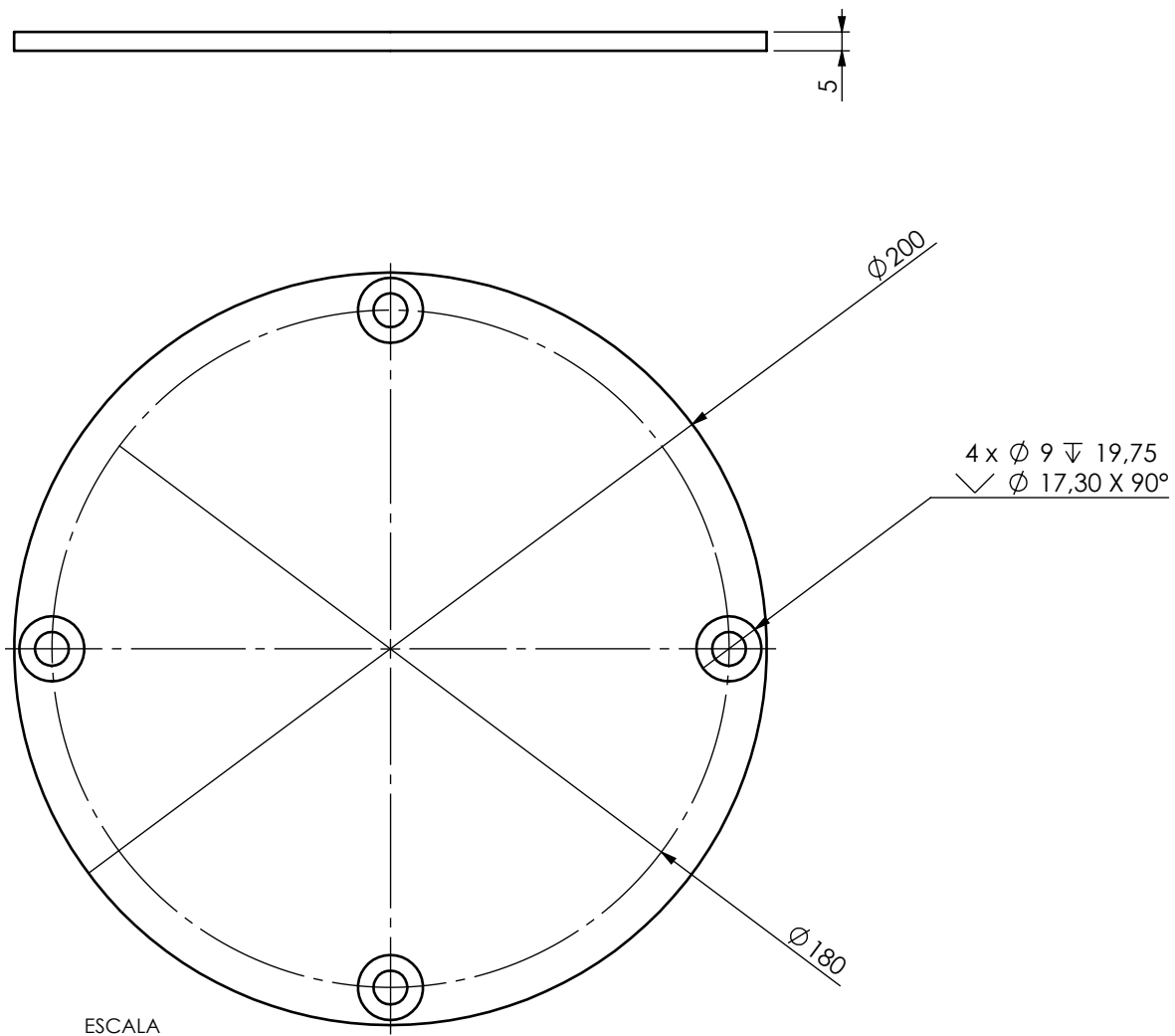
Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto		Título PINO		Número	
		Revisão	Data de edição	Língua PT	Folha 1/1



ESCALA
1:3

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal <i>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto</i>		Título Porta de Segurança		Número	
		Revisão	Data de edição	Lingua PT	Folha 1/1



ESCALA
1:2

Tolerâncias gerais: ISO 2678 - mK
Material: Alumínio AW 6061

Pessoa responsável Diogo Meireles	Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt	Tipo de documento		Estado do documento	
Proprietário legal <i>DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto</i>		Título Tampa		Número	
		Revisão	Data de edição	Língua PT	Folha 1/1

Apêndice A

Anexo A

Contentor de superfície de recolha superior e despejo inferior, fabrico em polietileno pelo processo de rotomoldagem, com capacidade 1500 litros.

Características técnicas:

MATERIAL (Corpo e bocas): Polietileno rotomoldado de alta densidade (HPDE) estabilizado contra raios ultravioletas

MATERIAL (Sistema de elevação): Aço S235JR - Galvanizado a quente segundo norma NP EN ISO 1461 2002

SISTEMA DE ELEVAÇÃO: Situado no topo do contentor, o sistema de elevação é utilizado para recolha e despejo dos contentores (recolha superior e despejo inferior). Possibilidade de incorporar: Anel Simplex, Anel Duplo e Kinshofer. Fecho das portas é automático pelo assentamento do contentor no solo.

FUNCIONALIDADE: Recolha selectiva de Papel, Vidro e Embalagens, deposição através de orifícios específicos para estes tipos de materiais. Existem orifícios em duas faces do contentor, protegidos com borracha preta.

CORES REFERÊNCIA: (Corpo e Bocas)



Opções:

- Colocação de personalizações, como por exemplo Autocolantes ou serigrafias
- Possibilidade de aplicar pilhão LIPO

VOLUME NOMINAL

1500L

VOLUME ÚTIL

1100L

PESO EM VAZIO

135kg

PESO NOMINAL

600kg

MASSA TOTAL PERMITIDA

735kg

ALTURA

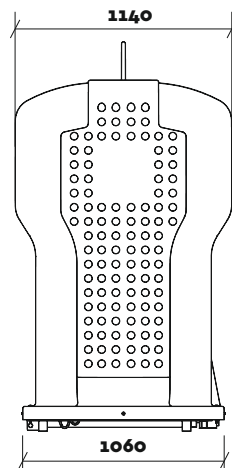
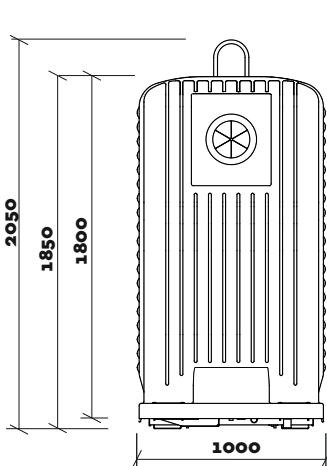
1850mm

LARGURA

1000mm

PROFUNDIDADE

1140mm



Certificações

- EN 13071
- DIRECTIVA 2000/14/EC
- ISO 1461 2002
- ISO 9001:2015

Contentores
SUPERFÍCIE




Anexo B

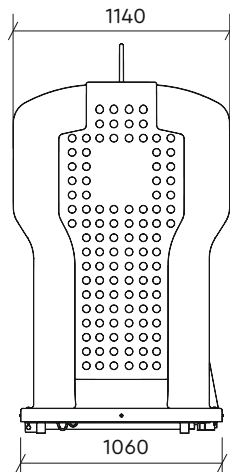
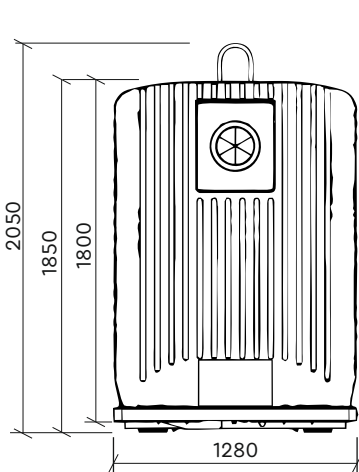
Anexo B

Contentor de superfície de recolha superior e despejo inferior, fabrico em polietileno pelo processo de rotomoldagem, com capacidade 2500 litros.

Características técnicas:

MATERIAL (Corpo e bocas):	Polietileno rotomoldado de alta densidade (HPDE) estabilizado contra raios ultravioletas
MATERIAL (Sistema de elevação):	Aço S235 JR - Galvanizado a quente segundo norma NP EN ISO 1461 2002
SISTEMA DE ELEVAÇÃO:	Situado no topo do contentor, o sistema de elevação é utilizado para recolha e despejo dos contentores (recolha superior e despejo inferior). Possibilidade de incorporar: Anel Simplex, Anel Duplo e Kinshofer. Fecho das portas é automático pelo assentamento do contentor no solo.
FUNCIONALIDADE:	Recolha selectiva de Papel, Vidro e Embalagens, deposição através de orifícios específicos para estes tipos de materiais. Existem orifícios em duas faces do contentor, protegidos com borracha preta.
CORES REFERÊNCIA: (Corpo e Bocas)	
Opções:	<ul style="list-style-type: none"> Colocação de personalizações, como por exemplo Autocolantes ou serigrafias Possibilidade de aplicar pilhão LIPO

VOLUME NOMINAL	VOLUME ÚTIL	PESO EM VAZIO	PESO NOMINAL
2500 L	1980 L	156 kg	1000 kg
MASSA TOTAL PERMITIDA	ALTURA	COMPRIMENTO	LARGURA
1156 kg	1850 mm	1280 mm	1140 mm



Certificações

- EN 13071
- DIRECTIVA 2005/88/CE - 88 dB(A)
- ISO 1461 2002
- OVO SOLUTIONS: ISO 9001:2015

Contentores
SUPERFÍCIE

