Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGV para o Transporte de Pneus em Verde

Projeto Mecânico e Seleção de Componentes

Rafael Filipe Pereira Marinho



Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Ramo de Projeto e Construção Mecânica

Orientador: Professor Doutor José Luís Soares Esteves

Coorientador: Engenheiro Rui Manuel Fazenda da Silva

Junho de 2021

Copyright © - Rafael Filipe Pereira Marinho, 2021

A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a empresa Gislotica - Projeto e Fabrico de Sistemas Mecânicos Lda têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Resumo

Os modelos de produção estão em constante mutação devido às incessantes inovações tecnológicas, que obrigam as empresas a reinventarem-se e a apostarem nas novas tecnologias para conseguirem entrar num mercado de negócios cada vez mais global e competitivo. Assim, a Gislotica, uma empresa dedicada ao projeto e construção de sistemas mecânicos, pretende apresentar aos seus clientes um modelo de AGV para a manipulação de pneus de grandes dimensões, constituindo o presente trabalho o projeto mecânico desse equipamento.

Um AGV trata-se de um equipamento móvel autónomo normalmente utilizado para a movimentação de materiais. Neste caso próprio, pretende-se um veículo para o transporte de pneus, podendo a sua carga total, contabilizando o pneu e restantes acessórios de manipulação, ascender aos 3 000 kg. Além da sua massa elevada, as suas dimensões constituem também um problema, pois o diâmetro externo de um pneu deste tipo pode chegar aos 2 500 mm. Para dar resposta a este desafio, todos os elementos estruturais foram modelados e dimensionados para suportarem as cargas envolvidas. Para além da estrutura do AGV, um completo sistema de elevação teve de ser projetado para dar resposta aos requisitos desta aplicação. A seleção das motorizações também fazem parte do presente trabalho.

De modo a evitar montagens imperfeitas durante a soldadura da estrutura do AGV, desenvolveu-se ainda um acessório para auxiliar esta etapa, que permite garantir que os elementos estão na posição pretendida para soldar.

Após muitas horas de trabalho, o projeto mecânico foi alcançado com resultado satisfatório apresentado uma solução totalmente particularizada que se acredita dar resposta às necessidade da empresa.

Palavras-chave: Veículos industriais, AGV, Pneus, Automação

Abstract

Production models are constantly changing due to incessant technological innovations, which compel companies to reinvent themselves and invest in new technologies in order to enter an increasingly global and competitive business market. Thus, Gislotica, a company dedicated to the design and construction of mechanical systems, intends to present its customers with an AGV model for handling large tires, the present work being the mechanical design of this equipment.

An AGV is an autonomous mobile device normally used for material handling. In this specific case, a vehicle is intended for the transport of tires, and its total load, accounting for the tire and other handling accessories, may reach 3,000 kg. In addition to its high mass, its dimensions are also a problem, as the external diameter of a tire of this type can reach 2 500 mm. To meet this challenge, all structural elements were modeled and dimensioned to support the loads involved. In addition to the AGV structure, a complete lifting system had to be designed to meet the requirements of this application. The selection of engines is also part of the present work.

In order to avoid imperfect assemblies during the welding of the AGV structure, an accessory has also been developed to assist this step, which allows to guarantee that the elements are in the desired position for welding.

After many hours of work, the mechanical design was achieved with a satisfactory result, presenting a completely individualized solution that is believed to respond to the needs of the company.

Keywords: Industrial vehicles, AGV, Tires, Automation

"Scientists study the world as it is, engineers create the world that never has been."

Theodore von Kármán

Agradecimentos

Foram muitas as pessoas que contribuíram para que o desenvolver e o sucesso deste projeto fosse possível. O sucesso deste trabalho deve-se também a eles e todas as palavras serão poucas para expressar a minha gratidão.

Começo por agradecer aos meus pais, à minha irmã e à minha namorada por estarem sempre presentes, pelo apoio e motivação e porque sem eles nada seria possível. O mais especial de todos os agradecimentos é para eles.

Ao Professor José Luís Esteves, orientador deste projeto, por toda a amizade, ajuda prestada e todas as opiniões. Por todos os ensinamentos transmitidos e especialmente por toda a paciência.

Ao Engenheiro Rui Fazenda, coorientador deste projeto, o meu reconhecimento, por toda a orientação, amizade e por tornar possível a realização desta dissertação em ambiente empresarial.

Uma palavra de estima à Gislotica - Projeto e Fabrico de Sistemas Mecânicos, pela oportunidade de estágio e por terem proporcionado todas as condições necessárias para a sua realização. Aos seus colaboradores pela forma acolhedora com que me receberam e por toda a disponibilidade para esclarecerem as minhas dúvidas.

Aos meus amigos por todos os momentos de descontração, pelo apoio e motivação, pelos ensinamentos e pelo espírito de ajuda.

Obrigado!

Índice

Resumo **iii**

Abstract **v**

Agradecimentos **ix**

1 Introdução **1**

1.1 Enquadramento e motivação do projeto 1

1.2 A empresa: Gislotica, Lda 3

1.3 Objetivos da dissertação 4

1.4 Estrutura da dissertação 4

2 Nível de Desenvolvimento Atual **7**

2.1 A Indústria dos Pneus 7

2.2 História dos AGV 9

2.3 Tipos de AGV 11

2.3.1 Empilhadores Automáticos 11

2.3.2 AGV's de Transferência de Carga 11

2.3.3 AGV's Reboque 11

2.3.4 *Underride* AGV's 12

2.4 Controlo de Direção dos AGV's 13

2.4.1 Triangular 13

2.4.2 Diferencial 14

2.4.3 Quadrangular 14

2.4.4 Omnidirecioal 15

2.5 Modos de Navegação 15

2.5.1 Navegação por Laser 15

2.5.2 Navegação por Pontos Magnéticos 16

2.5.3 Navegação por Fita Magnética 17

2.5.4 Navegação Natural 17

2.6 Baterias e Sistemas de Carregamento 18

2.7 Porquê usar AGV's? 20

3 Anteprojeto **21**

3.1 Requisitos Operacionais 21

3.2 Direção do AGV 23

3.3 Baterias 24

3.4 Sistema de elevação 24

3.5 Acionamentos 25

3.6 Legislação Aplicável 26

3.6.1 Diretiva de Máquinas 26

3.6.2 ISO 3691 27

4 Projeto mecânico **29**

4.1 Lança de Suporte da *Gripper* 29

4.2 Sistema de Elevação 31

4.2.1 Base móvel 32

4.2.2 Guiamentos 32

4.2.3 Mecanismo de Elevação 40

4.3 Sistema de Baterias 48

4.3.1 Ligação das Baterias 48

4.3.2 Conjunto de Baterias 51

4.3.3 Rolos Transportadores 51

4.3.4 Posicionador de Baterias 52

4.3.5 Sistema de Fixação das Baterias 53

4.4 Estrutura do AGV 54

4.5 Estabilidade do AGV 55

4.6 Rodas e Motorizações do AGV 57

4.6.1 Binário de Tração 60

4.6.2 Binário de Direção 63

4.7 Seleção de Materiais 63

4.8 Resultado Final 65

5 Técnicas de Corte e Soldadura **69**

5.1 Notas Sobre Modelação 69

5.2 Técnica de Corte e Soldadura de Perfis 71

5.2.1 Corte do Perfil 71

5.3 *Gabarit* de Soldadura 74

5.3.1 Etapas de Soldadura da Estrutura Tubular 74

6 Seleção de Motores e Componentes Elétricos 77

6.1 Conversor de tensão 77

6.2 Selecção de motores 79

6.2.1 Motor de Tração 81

6.2.2 Motor de Direção 82

6.2.3 Motor de Elevação 83

6.3 Dimensionamento das baterias 84

7 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros 89

7.1 Conclusões 89

7.2 Trabalhos Futuros 91

Referências 93

A Desenhos de Fabrico e Montagem 97

B Especificações da Redutora Motriz 245

C Especificações do Conversor de Tensão e das Baterias 247

D Especificações dos Motores Selecionados **253**

Lista de Figuras

1.1 Instalações da Gislotica 3

2.1 Primeiro AGV [2] 10

2.2 Empilhador Automático [6] 11

2.3 AGV de Transferência de Carga [7] 12

2.4 AGV Reboque [8] 12

2.5 Underride AGV [9] 12

2.6 Configuração Triangular 13

2.7 Configuração Diferencial 14

2.8 Configuração Quadrangular 14

2.9 AGV Omnidirecional [10] 15

2.10 Navegação por Laser 16

2.11 Navegação por Pontos Magnéticos 16

2.12 Navegação por Fita Magnética 17

2.13 Navegação Natural 18

3.1 Posição de Transporte de Pneus 21

3.2 Características de um Pneu OTR/AGRO 22

3.3 Possíveis Estruturas para o AGV 23

3.4 Alturas Mínima e Máxima do Sistema de Elevação 25

3.5 Simbolo CE [15] 26

3.6 Distância de Segurança das Rodas [16] 27

3.7 Altura de Elevação Máxima Recomendada [17] 28

4.1 Diagramas de Corpo Livre e Momento Fletor da Lança 30

4.2 Modelo Tridimensional da Lança de Suporte 31

4.3 Modelo Tridimensional da Base Móvel 32

4.4 Diagrama de Corpo Livre do Sistema de Elevação 34

4.5 Diagramas de Corpo Livre e Momento Fletor dos Guiamentos 36

4.6 Sobreposição de Efeitos dos Guiamentos 36

4.7 Solução para Aumentar o Momento de Segunda Ordem 37

4.8 Rolamento PR 4.063 [18] 39

4.9 Possíveis Esquemas de Montagem do Fuso 42

4.10 Modelo de Encurvadura [19] 43

4.11 Velocidade Crítica de Rotação [19] 45

4.12 Fator de Correção [19] 45

4.13 Contactos Rápidos [21] 49

4.14 Conjunto para Ligação das Baterias 49

4.15 Conjunto de Baterias 51

4.16 Distância Máxima Entre Rolos 52

4.17 Método de Posicionamento das Baterias 53

4.18 Conjunto de Fixação das Baterias 54

4.19 Estrutura Principal do AGV 54

4.20 Estabilidade de uma Estrutura Contrabalançada 56

4.21 Estrutura do AGV com Contrapesos 57

4.22 Análise de Carga Sobre as Rodas 58

4.23 Modelo TV 400 [25] 59

4.24 Decomposição da Peso 61

4.25 Perfil de Velocidade 62

4.26 Modelo de AGV Desenvolvido 65

4.27 Atravancamento do AGV 66

5.1 Técnica de Corte a Laser 71

5.2 Conjunto em Esquadria 72

5.3 Espessura de Corte 72

5.4 Corte de Perfis 73

5.5 Novo Conjunto em Esquadria 73

5.6 *Gabarit* de Soldadura 74

5.7 Primeira Etapa de Soldadura 75

5.8 Segunda Etapa de Soldadura 75

5.9 Terceira Etapa de Soldadura 76

5.10 Quarta Etapa de Soldadura 76

6.1 Conversor EPC 5k5 648i [27] 78

Lista de Tabelas

4.1 Propriedades do Perfil Quadrado 350*10 31

4.2 Propriedades Mecânicas - S450 J2 33

4.3 Massa dos Componentes a Elevar 33

4.4 Propriedades do Perfil U PR6 NbV 35

4.5 Propriedades do Rolamento PR 4.063 39

4.6 Propriedades do AGV 67

6.1 Correntes Consumidas e Autonomias - Bateria 200 Ah 86

6.2 Correntes Consumidas e Autonomias - Bateria 330 Ah 87

Acrónimos

AC Designação de Corrente Alternada.

AGRO Agrícola.

AGV Automated Guided Vehicle.

DC Designação de Corrente Contínua.

ISO International Organization for Standardization.

OTR Off the Road.

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo pretende-se contextualizar o projeto desenvolvido, realçando não só a sua motivação e aplicabilidade, como também apresentar brevemente a empresa para a qual foi desenvolvido. A exposição dos objetivos desta dissertação e a organização deste documento também aqui se encontram expostos neste capítulo.

1.1 Enquadramento e motivação do projeto

O desenvolvimento não só da sociedade como das mais diversas áreas do saber e do conhecimento científico refletiu-se no aumento do consumo e das exigências que vão desde as funcionalidades à diversidade e diferenciabilidade dos produtos disponíveis. A necessidade de dar resposta a esta problemática, obrigou as áreas do setor industrial a modificarem-se a um ritmo incessante recorrendo a dois grandes pilares do desenvolvimento mundial, a engenharia e a recente implementação da indústria 4.0, que visam alcançar suportes digitais e automáticos. As constantes inovações tecnológicas estão a originar mudanças nos modelos de produção e negócio em todos os setores de atividade através da implementação de funcionalidades que permitem aperfeiçoar a produção industrial e a operação de equipamentos. Estas mudanças obrigam as empresas tradicionais a reinventarem-se e a apostarem a fundo em novas tecnologias, porque só assim conseguem assegurar a entrada numa economia cada vez mais global e competitiva.

Em vários setores industriais, esta inovação têm-se traduzido na utilização de veículos autónomos, que não requerem qualquer tipo de intervenção humana para desempenhar as

suas tarefas. Estes veículos são popularmente denominados de AGV's, sigla que resulta da sua designação inglesa *Automated Guided Vehicles*. Embora pareça tratar-se de uma tecnologia recente e inovadora, a primeira aplicação de um veículo deste tipo aconteceu à mais de 67 anos, sendo este um equipamento que tinha como função seguir um fio condutor que estaria montado no chão fabril. Como se imagina, a sua aplicabilidade apresentava algumas limitações, nomeadamente de adaptabilidade e flexibilidade do mesmo. Felizmente, a incessante pesquisa e desenvolvimentos deste ramo, têm vindo a permitir um aumento da flexibilidade e fiabilidade destes veículos e, por isso, frequentemente os encontramos presentes nas diversas indústrias.

Atualmente, quando comparados com os sistemas de manipulação manuais, os AGV's são equipamentos mais seguros, reduzindo os danos das cargas em operações de carga e descarga devido à precisão de posicionamento de que são dotados e têm a capacidade de trabalho contínuo com apenas curtas paragens para carregamentos ou troca de baterias. Se conseguir-mos conjugar um AGV com um sistema que permita ajustar a sua trajetória ao ambiente, obtêm-se um veículo capaz de tomar as próprias decisões e com uma enorme capacidade de adaptação às novas necessidades que vão surgindo.

A logística baseada em AGV's é que surge como novidade e, portanto, apesar de serem uma excelente ferramenta da qual devemos tirar proveito, estes têm ainda muito por descobrir devendo ser utilizados com a máxima prudência.

Para finalizar, em todos os processos produtivos é importante aplicar e respeitar todas as normas e legislações em vigor. Neste sentido, destaque para a norma ISO 9001, uma norma cujo enfoque vai para satisfação do cliente e a procura por uma melhoria contínua. Mas como o cliente não deve ser a única preocupação de uma empresa, o processo normativo contempla também a ISO 14001 e a 45001, a primeira direcionada para o ambiente, em que se procura o desenvolvimento de uma indústria sustentável, e a segunda vocacionada para a saúde e segurança no trabalho.

Assim, o projeto proposto surge da necessidade da Gislotica, empresa especializada no projeto e desenvolvimento de sistemas mecânicos, em implementar um AGV para a manipulação de pneus de grandes dimensões e está inserido no âmbito da Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

1.2 A empresa: Gislotica, Lda

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial na empresa Gislotica - Projeto e Fabrico de Soluções Mecânicas com a sua unidade fabril localizada na Rua 9 de Julho em Perafita, Portugal. A empresa foi fundada em 2000 e começou com 100 m^2, hoje a área total é de 28 000 m^2, e as suas instalações podem ser visualizadas na Figura 1.1.



Figura 1.1: Instalações da Gislotica

Esta é uma empresa de engenharia dedicada ao desenvolvimento de equipamentos industriais. Nos dias que correm, todo o seu portfólio de produtos é direcionado para a indústria dos pneus e procuram ir ao encontro dos requisitos do cliente, desenvolvendo soluções personalizadas onde as palavras chave são inovação e automação.

Trata-se de uma empresa totalmente autónoma, assegurando desde a elaboração do projeto até à entrega do produto final, estando preparada para conceber e fabricar todas as soluções mecânicas, elétricas e de automação. Atualmente, cerca de 95% dos equipamentos que produz são para exportação. A Gislotica está presente em mais de 30 países, servindo marcas mundialmente conhecidas como a Continental AG, Michelin, Pirelli e GoodYear, fornecendo-as com produtos como aplicadores de código de barras, estações de marcação e pulverização de pneus, sistemas de transporte, e muitos outros equipamentos personalizados conforme a aplicação a que se destinam.

1.3 Objetivos da dissertação

Esta dissertação tem como principal objetivo o desenvolvimento do projeto mecânico de um AGV para o transporte por *gripper* [1] de pneus em verde [2]. Uma vez que o controlo não faz parte do presente trabalho, as tarefas a desenvolver devem focar-se na estrutura do AGV e no sistema de transporte e elevação.

O modelo desenvolvido deve dar resposta a alguns requisitos funcionais, entre os quais:

- Capacidade de carga de 3000 kg;
- Sistema de elevação elétrico ou hidráulico;
- Troca rápida de baterias;
- Cumprir as normas em vigor para o transporte autónomo de cargas;
- Dispor de uma superfície para instalar uma *gripper*.

O dimensionamento de todos os elementos críticos, para que estes possam resistir às cargas e solicitações, e a seleção das motorizações são aspetos a desenvolver. O projeto final deve ainda contemplar a modelação tridimensional de todo o equipamento efetuada com recurso ao *Solidworks* ®, um software de modelação comercial, e todos os desenhos de fabrico e montagem do equipamento.

1.4 Estrutura da dissertação

No Capítulo 1, procura-se contextualizar o leitor relativamente ao projeto em causa, realçando a motivação, principais objetivos e dar a conhecer a empresa onde a dissertação se realizou.

Após esta breve introdução, segue-se o Capítulo 2 onde uma sucinta exposição do nível de desenvolvimento do processo produtivo de pneus e das tecnologias associadas aos AGV's será apresentada.

[1] Dispositivo que permite segurar um objeto a ser manipulado.

[2] Designação dada a um pneu antes de vulcanizar.

Seguindo-se o Capítulo 3 onde é apresentada com maior detalhe a proposta de trabalho e definidos alguns dos aspetos construtivos a ter em conta de modo a alcançar os objetivos da empresa para a aplicação a que se destina.

O projeto propriamente dito surge apenas no Capítulo 4, onde são apresentados com algum pormenor a sequência de fabrico do AGV e alguns dos componentes modelados que requereram maior atenção durante o projeto. É também neste capítulo que se revelam os dimensionamentos efetuados aos elementos considerados como críticos e se justificam todas as escolhas e decisões tomadas.

A estrutura principal do AGV foi um alvo de grande atenção e necessitou de várias alterações para se conseguir alcançar um resultado possível de ser executado. Assim, o Capítulo 5 é reservado para revelar as técnicas e sequências que devem ser adotadas durante o processo de soldadura da estrutura principal.

Apesar de não fazer parte da área em que esta dissertação se insere, foi necessário efetuar o anteprojeto de alguns componentes elétricos a ser utilizados, como baterias e conversores, de forma a garantir que o projeto possa ter seguimento e ser implementado. O atravancamento e a massa destes acessórios também tiveram de ser analisados para assegurar a sua integração no equipamento. Esse processo é revelado no Capítulo 6.

Por fim, no Capítulo 7 são retiradas as principais conclusões do trabalho desenvolvido e expostas algumas propostas de trabalhos futuros para a otimização e melhoria deste projeto.

Capítulo 2

Nível de Desenvolvimento Atual

Neste capítulo, pretende-se efetuar uma pequena explicação sobre o processo produtivo de pneus e uma apresentação em maior detalhe das tecnologias inerentes aos AGV's.

2.1 A Indústria dos Pneus

Os pneus são o único elo de ligação entre o veículo e a estrada e sem eles seria difícil muitas das vezes chegar ao destino. Em situações críticas, é o nível tecnológico dos pneus que determina se um veículo consegue parar a tempo ou manter-se na faixa de rodagem correta durante manobras difíceis. Existem já várias gamas de pneus desenvolvidos para condições específicas, mas quando se pensa na sua produção, a sua complexidade obriga-nos a travar. Os pneus vão muito além de uma borracha moldada para equipar os veículos, por de trás da sua produção, existe muita pesquisa e muitos processos adjacentes para que seja possível desenvolver produtos com o máximo de qualidade e segurança.

A produção de pneus é um processo bastante mais complexo do que grande parte dos seus utilizadores idealiza. As atividades começam com a produção da borracha onde várias matérias primas são misturadas, de acordo com uma receita que varia em função do tipo de pneu que se pretende produzir, para dar origem a compostos de borracha não vulcanizada. No fim desta etapa, à mistura com aspeto de uma pasta são adicionados os agentes de vulcanização.

Segue-se a fase de preparação de componentes. Pegando no resultado da operação

anterior, são preparados todos os componentes necessários para a montagem dos pneus na etapa seguinte. Tratam-se das camadas de estanquicidade, dos pisos e das paredes dos pneus que são obtidos com recurso a extrusoras, calandras e máquinas de corte. Também nesta fase é incorporado o tecido metálico no composto de borracha.

Com todos os componentes preparados, estes seguem para a etapa de construção. As várias camadas são enroladas sobre tambores rotativos e combinadas entre elas por um processo de expansão para dar origem ao pneu em verde.

Para a obtenção do produto final, os pneus em verde têm de passar pela fase de vulcanização. Este é um processo que submete os pneus a um ciclo de vulcanização em prensas de vapor a elevadas temperaturas durante um período que varia conforme o tipo e medida de pneu que se esteja a processar. É nesta fase que o pneu ganha a forma final, por este processo de moldagem por compressão, origina-se o padrão de piso e todas as gravações que habitualmente se observam num pneu.

Esta é uma descrição resumida do habitual processo de obtenção de pneus que permite apenas uma visão geral do método. Para além das operações referidas, outras podem fazer parte do ciclo produtivo, são exemplos disso operações de aplicação de códigos de barras, marcações a laser de inscrições de elevada qualidade, como códigos QR [1] e etapas intermédias de lubrificação que permitem melhorar a eficácia e eficiência do processo.

De referir que cada tipo de pneu e/ou cada marca tem os seus métodos próprios e estes englobam mais ou menos etapas e operações específicas.

A aplicação de AGV's revela-se uma poderosa ferramenta para as tarefas de transporte dos pneus entre os vários equipamentos, principalmente em pneus de grandes dimensões onde a aplicação de linhas transportadoras não se revela acessível. Estes podem transportar os pneus de e para as prensas de vulcanização passando por equipamentos de lubrificação ou marcação e para os armazéns de produto acabado.

[1] Etiqueta ótica legível por máquinas e que contém informações sobre o item ao qual está anexado.

2.2 História dos AGV

Nos ambientes industriais, frequentemente ouve-se falar de logística, um termo usado para designar a preocupação com a aquisição, movimentação, armazenamento e distribuição de materiais e produtos. Nesta área, os AGV's são uma tendência emergente.

As definições encontradas para este conceito são diversas, mas a base é a mesma para todas. Como referido em [1] um AGV é um sistema de transporte sem condutor utilizado para o movimento de materiais.

Embora este tipo de equipamentos possam por vezes ser vistos como uma tecnologia recente, a sua história começa há quase setenta anos atrás e teve a sua origem nos Estados Unidos. Após a Segunda Guerra Mundial, quando os vários setores industriais reiniciaram a sua atividade com grande celeridade, surgiu a necessidade de incluir sistemas autónomos para auxiliar as cadeias de produção.

O princípio de funcionamento das primeiras máquinas consistia em guiá-las por determinados trilhos físicos instalados na unidade fabril. Em 1950, um inventor americano teve a ideia de substituir os motoristas de tratores reboques por um sistema automático que otimizasse o transporte dos produtos para dentro e fora das fábricas. Foi então que, 4 anos depois, se aplicou o primeiro veículo autónomo numa fábrica de mercearias, cuja tecnologia de funcionamento se traduzia em seguir um fio condutor instalado no chão ao longo do percurso a percorrer. Apesar de se tratar de um sistema com bastantes limitações, note-se a maior flexibilidade de definir um percurso a percorrer com base num fio elétrico em vez de um sistema de guias físico. A base deste tipo de navegação, foi um grande marco na história dos AGV e ainda hoje é utilizada como veremos mais à frente neste capítulo. Este veículo, apresentado na Figura 2.1, foi precursor naquele que veio a ser um conceito inovador e amplamente utilizado em diversas áreas da indústria [2].

Tradicionalmente, os AGV's eram sobretudo utilizados em sistemas de produção. Agora, são encontrados em quase todos os tipos de indústrias, sendo as principais restrições à sua utilização as dimensões das mercadorias a transportar e considerações espaciais. Armazéns, terminais marítimos e transporte de sistemas são exemplos de novos setores onde esta tecnologia se tem implementado. Estas aplicações são, em grande parte, tecnicamente

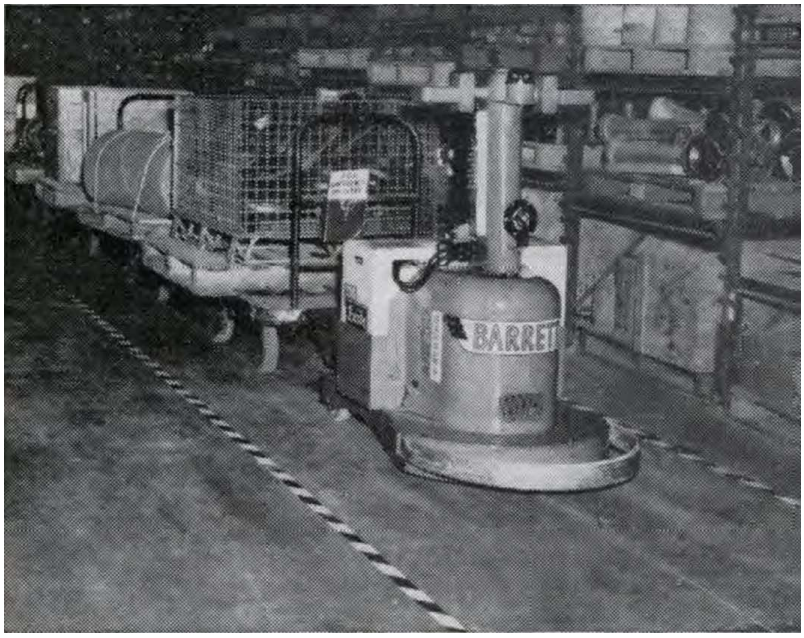


Figura 2.1: Primeiro AGV [2]

viáveis, mas o custo de aquisição e implementação é relativamente elevado obrigando em muitos dos casos a repensar o seu emprego [1].

A operação destes veículos é independente, estes possuem os meios necessários para a sua própria locomoção e são guiados ao logo de uma rota definida na instalação por meio de marcadores, fios, acessórios magnéticos, lasers ou, a tecnologia mais atual, por programação virtual [3].

Uma cuidada aplicação destes permite uma melhoria nos tempos de entrega e satisfação da procura e uma maior flexibilização do plano de produção [4].

A crescente popularidade deste veículos, tem sido resultado não só das suas características técnicas, mas também das suas capacidade de cooperar com outros sistemas de informação e equipamentos. Uma vez mais, uma logística interna cooperativa permite o aumento da produção e flexibilidade [5].

Este é um mercado com tendência a crescer e que se tem revelado em mudança constante, não só pela necessidade de dar resposta a cada vez mais operações e setores mas também pelo contínuo desenvolvimento técnico e científico das mais diversas áreas do saber.

2.3 Tipos de AGV

Para dar resposta aos diferentes requisitos de funcionamento, encontramos no mercado diversos tipos de AGV com características adapatdas ao fim a que se destinam. Os típicos modelos de AGV incluem:

2.3.1 Empilhadores Automáticos

Estes equipamentos, tal como o próprio nome indica, desempenham as funções habituais de um empilhador convencional com a particularidade de não necessitarem de um operador. São utilizados para mover e elevar cargas e materiais, como evidencia a Figura 2.2.



Figura 2.2: Empilhador Automático [6]

2.3.2 AGV's de Transferência de Carga

Estes veículos são também utilizados como auxiliares de manipulação de cargas como paletes ou pequenas peças, mas não possuem um sistema elevatório, devendo as áreas de transferência estarem ao mesmo nível que o transportador que equipa o AGV. Normalmente distribuem as peças entre o armazém e as diferentes estações de trabalho. Este modelo encontra-se exemplificado na Figura 2.3.

2.3.3 AGV's Reboque

A Figura 2.4 mostra um equipamento deste tipo. Estes trazem atrelados a si outras estruturas sobre rodas. A vantagem deste equipamento é que ele consegue transferir várias unidades ao mesmo tempo.



Figura 2.3: AGV de Transferência de Carga [7]



Figura 2.4: AGV Reboque [8]

2.3.4 *Underride* AGV's

Os AGV's *underride* têm a capacidade de se posicionar de baixo da carga a transportar, se esta assim o permitir, e após a elevar a poucos centímetros do chão, faz a sua transferência para o local pretendido. O processo de descarga da-se da maneira inversa ao de carga. Um exemplo deste tipo de AGV pode ser encontrado na Figura 2.5.

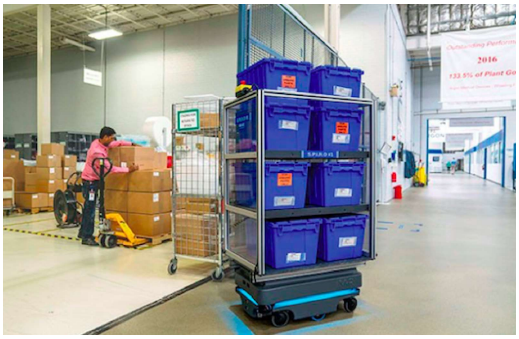


Figura 2.5: Underride AGV [9]

Os diferentes modelos apresentados são apenas alguns exemplos dos modelos mais usuais. Encontram-se ainda AGV's a diesel, indicados para espaços exteriores, AGV's que permitem não só o transporte mas também a montagem de peças em linhas de produção, AGV's específicos para grandes cargas e muitos outros. Na prática, podem existir inúmeros tipos de AGV's personalizados especificamente para o fim a que se destinam.

2.4 Controlo de Direção dos AGV's

O controlo de direção dos AGV's pode ser efetuado de diversas maneiras que se refletem na maior ou menor mobilidade que este consegue ter. Boa mobilidade significa menos tempo e espaço necessários para andar em linha reta e efetuar mudanças de direção. No entanto, esta vantagem técnica carrega consigo um aumento do preço a pagar.

A configuração, o número e tipo de rodas utilizadas, impõem a complexidade, o custo e a flexibilidade de movimento do AGV. Uma vez mais, a criatividade é o limite, sendo a principal limitação a programação e implementação do controlo do movimento. Os tipos de configuração que surgem com maior frequência são:

2.4.1 Triangular

Esta é a configuração mais comum. Como evidencia a Figura 2.6, é constituída por uma roda motriz e duas rodas não motrizes num arranjo triangular. Na parte da frente, uma única roda, equipada com dois acionamentos independentes, é responsável pela tração e direção do veículo. Este modelo confere uma boa manobrabilidade que é suficiente para a maioria das aplicações em AGV's.



Figura 2.6: Configuração Triangular

2.4.2 Diferencial

O modelo diferencial, normalmente constituído por 4 ou 6 rodas, guia o veículo através da velocidade diferencial de duas rodas motrizes. Apresenta uma boa manobrabilidade, uma vez que centro do raio de curvatura coincide com o centro do veículo. Contudo, o posicionamento angular é menos preciso. Este arranjo pode ser visualizado na Figura 2.7.

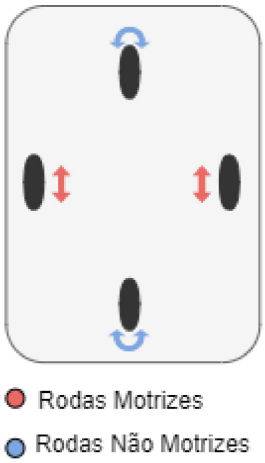


Figura 2.7: Configuração Diferencial

2.4.3 Quadrangular

Com recurso a dois motores de tração e dois motores de direção, como evidencia a Figura 2.8, este arranjo é mais complexo que os anteriores e permite que o veículo gire em torno do seu centro e também que se movimente lateralmente.

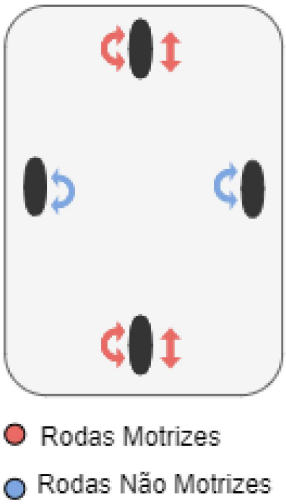


Figura 2.8: Configuração Quadrangular

2.4.4 Omnidirecioal

No que diz respeito a liberdade de movimento, esta é a opção que permite maior flexibilidade mas também a mais complexa e menos económica. Baseia-se na utilização de pelo menos 4 rodas *mecanum* [2], todas elas motorizadas, que conferem ao veículo a capacidade de se deslocar em qualquer direção.



Figura 2.9: AGV Omnidirecional [10]

2.5 Modos de Navegação

Como já referido, os AGV's têm capacidade de navegação autónoma. Deste modo, um ou mais sistemas de navegação têm que ser aplicados para o dotar desta capacidade. Diferentes sistemas de navegação são usualmente adotados neste tipo de veículos. Requisitos do cliente, custo de instalação e projetos de expansões futuras são alguns dos vários fatores que conduzem à escolha de um determinado sistema de navegação. A navegação por laser, por pontos magnéticos, seguimento de fitas magnéticas ou navegação natural são os mais utilizados.

2.5.1 Navegação por Laser

A navegação por laser é o método mais utilizado. O seu princípio de funcionamento consiste na montagem de alvos refletores em locais conhecidos ao longo da instalação onde o AGV irá ser aplicado, e na utilização de um laser, montado no AGV, que é refletido

[2]Roda convencional com um conjunto de rolos presos à sua estrutura.

nestes. Através de algoritmos de programação, é possível conhecer a posição exata do veículo pelo método da triangulação (ver Figura 2.10) [11].

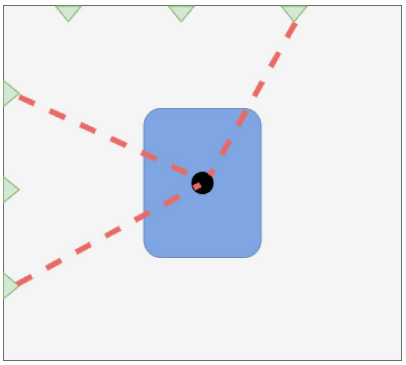


Figura 2.10: Navegação por Laser

2.5.2 Navegação por Pontos Magnéticos

Um conjunto de acessórios magnéticos são incluídos no chão sobre o qual o AGV se desloca em coordenadas bem conhecidas e vão sendo detetados por um sensor, que está montado no veículo, à medida que este vai cruzando sobre eles (ver Figura 2.11). Além destes, um giroscópio e *encoders* [3] devem ser utilizados para manter a direção do veículo e calcular a distância percorrida. O percurso a percorrer pode ser facilmente modificado através de programação [11].

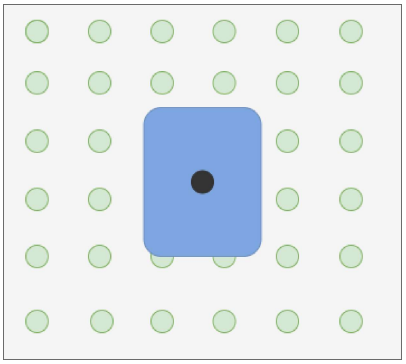


Figura 2.11: Navegação por Pontos Magnéticos

[3]Dispositivo que converte a posição angular de um veio ou eixo num sinal analógico ou digital.

2.5.3 Navegação por Fita Magnética

Nestes casos, o veículo segue uma tira magnética que se encontra no chão industrial (ver Figura 2.12). É um método de navegação limitado a ambientes interiores e com pouca flexibilidade, pois a alteração do percurso implica a substituição da fita dispondo-a ao longo do novo trajeto [11].

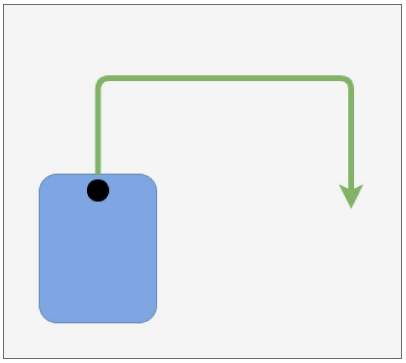


Figura 2.12: Navegação por Fita Magnética

Existem outros tipos de navegação semelhantes a este mas que fazem uso de linhas coloridas pintadas no chão, marcadores apenas visíveis com sensores ultravioleta ou até mesmo um simples condutor elétrico, em substituição da fita magnética sendo o seu princípio de funcionamento o mesmo.

2.5.4 Navegação Natural

Este é o método de navegação mais recente. Imagens de referência da área de trabalho do AGV são registadas na sua memória virtual e a posição real do veículo é calculada com base na sua posição relativa por comparação com esse registo. Podem ainda utilizar-se outros dados como a velocidade e raio das rodas para estimar a sua posição.

Frequentemente, câmaras ou lasers são utilizados para registar o meio de operação e constantemente fazer a atualização do mapa da área operacional. Este método difere do método de navegação por laser por não necessitar da instalação de alvos refletores (ver Figura 2.13) [11].

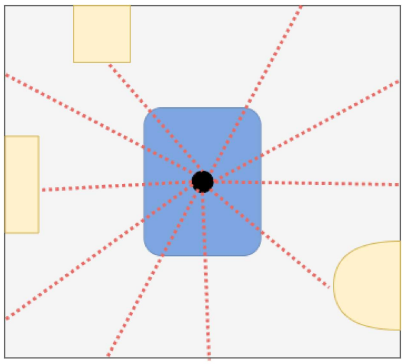


Figura 2.13: Navegação Natural

2.6 Baterias e Sistemas de Carregamento

Como já foi referido, existem alguns AGV´s cuja fonte de energia é o diesel, estes são sobretudo utilizados em aplicações exteriores. Contudo, estes veículos são na sua maioria alimentados por um sistemas de baterias recarregáveis.

Após um estudo do mercado, verifica-se que estes equipamentos utilizam vários tipos de baterias, sendo as mais comuns baterias de chumbo-ácido e de níquel-cádmio. Mais recentemente têm sido implementadas as baterias de iões de lítio.

As baterias de chumbo-ácido são as baterias mais utilizadas. São aquelas em que o custo de aquisição é substancialmente menor, a sua tecnologia é muito bem conhecida fazendo destas uma ferramenta confiável. A desvantagem é o seu forte impacto ambiental. Em algumas aplicações, a sua massa, normalmente elevada, pode também constituir uma desvantagem [12].

As baterias de níquel-cádmio foram principais concorrentes das anteriores para aplicações em veículos. Estas apresentam um tempo de vida útil mais longo, mas o seu custo é geralmente superior e são igualmente prejudiciais para o ambiente [12].

A tecnologia de iões de lítio está-se a difundir rapidamente nestes campos de aplicação e é cada vez mais utilizada em veículos elétricos. O seu baixo peso são uma característica que se destaca face às restantes, e apesar do seu custo de aquisição ser elevado, a quase inexistência de manutenção e o seu tempo de vida útil bastante superior, podem fazer destas uma escolha vantajosa. Em termos energéticos, a energia e potência específicas e a

densidade de energia são normalmente superiores neste tipo de baterias.[12]

Existem ainda casos em que o veículo não utiliza baterias. A sua fonte de energia é um fio condutor que se encontra montado no chão ao longo do caminho a percorrer, e a transferência de energia ocorre sem contacto pelo fenómeno de indução, este é o método denominado por transferência de energia sem contacto e é apenas adequado para esquemas de operação simples pois o fio condutor deve estar disposto ao longo de todo o percurso. Há também a possibilidade de recorrer a um método híbrido, que combina este último com a utilização de baterias que auxiliam o fornecimento de energia em zonas onde a transferência sem contacto não seja tão eficaz, como curvas, ou para permitir que o AGV faça pequenas deslocações pontuais para zonas onde o fio condutor não esteja presente [2].

No caso da fonte de energia ser uma bateria, a sua capacidade é o que define a autonomia do veículo que está a alimentar. Assim que a sua carga atinge um determinado nível, é necessário recarregá-la. O momento em que o carregamento deve ocorrer é um fator importante pois carregar no momento errado pode afetar o sistema de operação e isso custa tempo e dinheiro.

Para este efeito, a troca manual de baterias, troca automática, carregamento de oportunidade, carregamento automático ou híbridos, são as 5 técnicas mais utilizadas [13].

A troca manual é o mais simples dos métodos. Assim que o nível de bateria desce abaixo de determinado nível, o veículo é encaminhado a uma estação de carregamento e, tal como a sua designação indica, é feita a troca das baterias manualmente por um operador. A troca automática difere deste apenas pelo facto de a troca ser realizada por um mecanismo automático, o que conduz, geralmente, a um menor tempo necessário para efetuar a troca.

Quando o carregamento é preferido em vez da troca de baterias, o carregamento pode ocorrer nos tempos mortos do ciclo de trabalho, em que o AGV se desloca para uma estação de carregamento em momentos em que não está a ser utilizado e permanece em carregamento até ser novamente requisitado (carregamento de oportunidade), não afetando assim o tempo de operação.

No caso de não se conseguir prever os tempos mortos, recorre-se ao carregamento automático. Após chegar à estação de carregamento, O AGV irá permanecer nesta até estar

completamente carregado, estando imobilizado durante todo o período de carregamento.

Em alguns casos mais complexos, pode-se usar a combinação entre o método de carregamento de oportunidade e automático (método híbrido).

2.7 Porquê usar AGV's?

Os AGV's são uma tecnologia emergente que se tem difundido nos mais diversos setores industriais. Fábricas, armazéns e até mesmo hospitais são alguns exemplos de locais onde podemos encontrar AGV's em funcionamento, tirando partido dos benefícios que estes oferecem. Destacam-se algumas das vantagens que estes oferecem:

- Operação eficiente e contínua, 24 horas por dia;
- Menores custos de manutenção;
- Redução da mão de obra necessária;
- Menores danos materiais devido à manipulação segura e precisa;
- Um ambiente de trabalho limpo e seguro, reduzindo o risco de acidentes de trabalho;
- Capacidade de operação em condições severas como temperaturas extremas ou na presença de matérias perigosas;
- Fácil de integrar com outros equipamentos existentes;
- Elevada flexibilidade;

Em suma, podemos afirmar que os AGV's fornecem uma vantagem competitiva às empresas aumentando a sua produção e eficiência reduzindo os custos totais de operação. Apesar das grandes vantagens, note-se que se trata de uma tecnologia ainda em desenvolvimento devendo a sua aplicação ser estudada e cuidada.

Capítulo 3

Anteprojeto

Neste capítulo é feita a apresentação do projeto pretendido com maior detalhe e dos pormenores construtivos do AGV necessários delinear antes de dar início ao projeto propriamente dito.

3.1 Requisitos Operacionais

Como já foi mencionado, o principal objetivo desta dissertação é a realização do projeto mecânico de um AGV para o transporte por *gripper* de pneus em verde. Durante o processo produtivo, estes pneus devem ser transportados na posição indicada pela Figura 3.1.

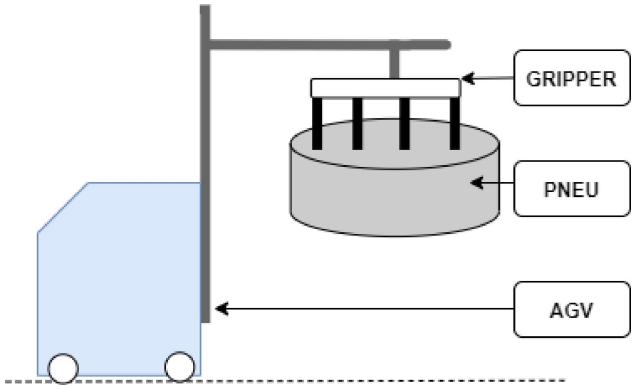


Figura 3.1: Posição de Transporte de Pneus

Os pneus da categoria OTR/AGRO com os quais as máquinas da Gislotica operam podem apresentar 1320 mm (52”) de diâmetro interior e 2500 mm de diâmetro exterior, chegando a pesar 2000 kg no caso do pneu de maior dimensão. Um pneu deste tipo

apresenta uma largura na ordem dos 1200 mm. Contudo, esta dimensão pode atingir os 1500 mm antes de vulcanizar devido à forma como é transportado, uma vez que a borracha em verde tem um comportamento menos rígido. Assim, esse valor máximo será o valor de referência utilizado para o projeto. A características referidas podem ser encontradas na Figura 3.2.

Uma gripper para este tipo de pneus pode pesar no máximo 1000kg, contabilizando assim uma carga total do AGV de 3000 kg.

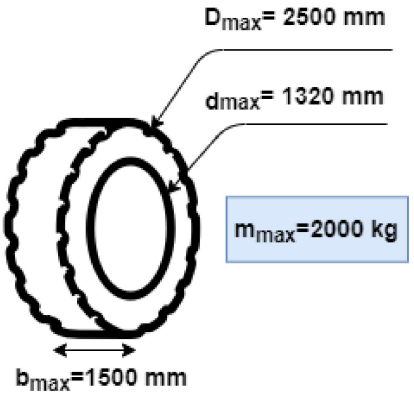


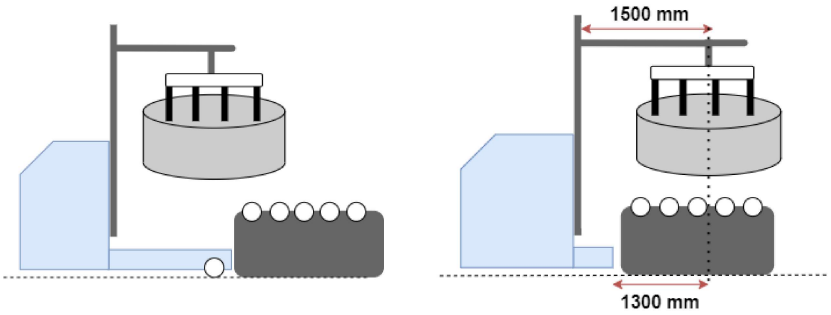
Figura 3.2: Características de um Pneu OTR/AGRO

Estas dimensões obrigam a que a lança de suporte do sistema de elevação tenha uma comprimento mínimo de 1250 mm. Definiu-se que o centro do pneu deveria estar a uma distância de 1500 mm da estrutura de elevação para não haver interferência entre estes durante o transporte.

Uma vez que se tratam de cargas elevadas, a primeira abordagem considerada foi projetar uma estrutura para o AGV com sistema anticapotamento, que não são mais que extensões frontais que permitem acondicionar a carga de forma a que o seu centro de massa se localize entre rodas, conforme evidencia a Figura 3.3a.

Atendendo ao facto de que se pretende um AGV para o uso geral, capaz de efetuar várias operações de transporte entre diferentes máquinas do processo produtivo, conclui-se que não é possível o tipo de estrutura idealizada em primeiro lugar dado que algumas máquinas não permitiriam a entrada dessas extensões de forma a que o AGV consiga alcançar o centro do pneu para operações de carga e descarga, situação igualmente ilustrada na Figura 3.3a.Assim, definiu-se que a face do AGV mais próxima do ponto que coincidirá

com o centro do pneu, deve ser no mínimo de 1300 mm, permitindo assim, no limite, que o AGV alcance o centro do pneu e tenha uma folga de 50 mm entre a sua estrutura e a estrutura da máquina/transportador onde se pretende carregar ou descarregar o pneu. Este modelo pode ser agora encontrado na Figura 3.3b



(a) Anticapotamento (b) Contrabalançado

Figura 3.3: Possíveis Estruturas para o AGV

Deste modo, e de acordo com o exposto no capítulo 2, este modelo assemelha-se a um AGV do tipo empilhador contrabalançado que será projetado de forma personalizada para o fim a que se destina.

3.2 Direção do AGV

Dadas as dimensões do pneu, facilmente se compreende que o AGV terá também de ser um equipamento de grande atravancamento. De forma a diminuir o raio de curvatura do veículo, o espaço necessário para curvar e também o custo, optou-se por um AGV de 3 rodas, montadas de acordo com a configuração triangular apresentada no Capítulo 2.

De acordo com o guia de seleção de empilhadores da referência [14], esta distribuição das rodas pode conduzir a problemas de instabilidade lateral para cargas superiores a 2500/3000 kg, principalmente em pisos irregulares, isto é, o AGV terá maior propensão a tombar lateralmente durante manobras difíceis. Assim, de modo a prevenir este fenómeno, serão utilizados dois rodízios montados junto da roda motriz, apenas de segurança e que, em condições normais, não estarão em contacto com o chão, pois serão montados de forma a ficarem 5 mm mais altos. Nas situações em que surja a tendência para tombar, estes servirão de apoio impedindo a situação de acidente.

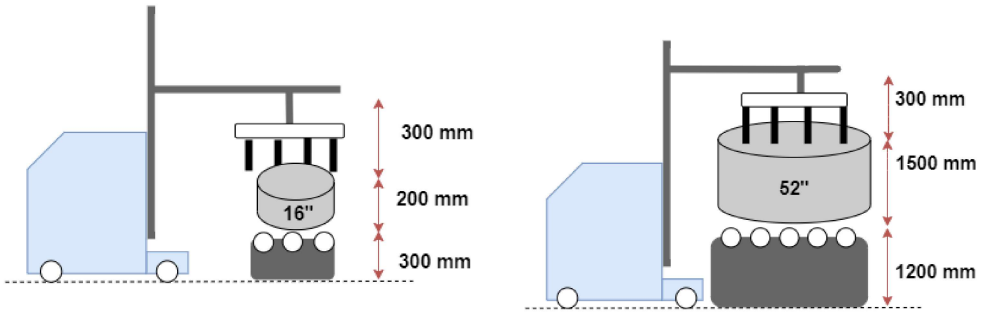
3.3 Baterias

A Gislotica desenvolveu recentemente um outro modelo de AGV no qual utiliza baterias de lítio de 12V, alimentando-o a 48V através da ligação em série de 4 baterias deste tipo. Uma vez satisfeitos com o desempenho destas, a primeira abordagem será tentar utilizar o mesmo tipo de baterias no novo modelo a projetar. O fabricante dessas baterias tem à disposição vários modelos com tensões de 12 e 24V, podendo ser utilizado qualquer um dos modelos disponíveis. Uma limitação encontrada já de início para esta opção é a tensão de alimentação máxima de 48V, uma vez que o fabricante limita a ligação em série das baterias a um máximo de 4 ou 2, conforme se esteja a trabalhar com modelos de 12 ou 24V, respetivamente.

3.4 Sistema de elevação

A proposta inicial deste projeto pretendia que o sistema de elevação a utilizar fosse um conjunto existente no mercado uma vez que existem várias empresas especializadas no desenvolvimento deste tipo de equipamentos. Para o efeito, devem definir-se as alturas máximas e mínimas necessárias para que o sistema de elevação seja capaz de operar com uma gama de pneus desde as 16"às 52".

Segundo dados da Gislotica, a *gripper* a utilizar neste modelo, para todas as medidas de pneus, tem 300 mm de altura, variando a altura dos transportadores, onde se pretende carregar e descarregar, e, logicamente, a altura do pneu. Estas dimensões podem agora ser observadas na Figura 3.4 para ambos os limites.



(a) Altura mínima (b) Altura máxima

Figura 3.4: Alturas Mínima e Máxima do Sistema de Elevação

Assim se conclui que o sistema de elevação deve colocar a face inferior da lança de suporte a uma altura mínima do chão de 800 mm de forma a garantir que consegue alcançar o pneu mais pequeno (ver Figura 3.4a). Por sua vez, para permitir chegar ao pneu de maior dimensão, a mesma face deve ser elevada até uma altura de 3 000 mm (ver Figura 3.4b).

Após uma pesquisa intensiva pelas soluções existentes e contacto com vários fornecedores, conclui-se que não existe no mercado uma solução padrão capaz de suportar este tipo de carga. Note-se que existem vários equipamentos capazes de suportar cargas superiores a 4 500 kg, contudo, o centro de massa da carga encontra-se normalmente a uma distância aos guiamentos típica de 600 mm e como vimos, devido às dimensões do pneu, esta aplicação exige uma distância mínima de 1250 mm. Assim, optou-se por projetar um sistema de elevação completo, capaz de dar resposta às necessidades do equipamento em detrimento de adquirir uma solução existente ou solicitar aos fornecedores uma solução personalizada adaptada às necessidade do AGV.

3.5 Acionamentos

No que respeita aos acionamentos, o objetivo primordial deste projeto é alcançar um AGV 100 % elétrico. Assim a tentativa foi encontrar soluções com acionamentos elétricos. A solução deve ainda permitir a utilização de motores hidráulicos sem a necessidade de grandes alterações ao projeto.

3.6 Legislação Aplicável

Um dos principais requisitos deste projeto é o cumprimento da legislação em vigor aplicável. Assim, foi necessário proceder-se à identificação das normas que abrangem este tipo de equipamentos. Nesta secção, não se pretende uma apresentação exaustiva destas, mas apenas a apresentação dos pontos mais relevantes aplicáveis a este projeto.

3.6.1 Diretiva de Máquinas

O decreto de lei nº 103/208 publicado em diário da república, estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado e a entrada em serviço das máquinas.

As máquinas sujeitas à aplicação das disposições desse decreto só podem ser colocadas no mercado ou entrar em serviço se cumprirem as disposições pertinentes nele estipuladas e não comprometerem a saúde e a segurança das pessoas. A conformidade obrigatória do produto é indicada através da marcação no equipamento do símbolo "CE"(ver Figura 3.5), e é necessária para que este possa ser comercializado no Espaço Económico Europeu.

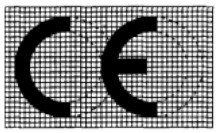


Figura 3.5: Simbolo CE [15]

Atendendo ao exposto nesta diretiva, o AGV além de pertencer à categoria de máquinas, assume também o estatuto de veículo e por isso deve respeitar os requisitos essenciais complementares de saúde e de segurança para limitar os perigos associados à mobilidade das máquinas, expostos no ponto 3 da referida diretiva.

Por fim, deve ainda respeitar o exposto no ponto 4 do mesmo decreto, relativo aos requisitos essenciais complementares de saúde e de segurança para limitar os perigos associados a operações de elevação, uma vez que este também se trata de um equipamento de elevação.

Os requisitos mencionados impõem maioritariamente condições de estabilidade e resistência da estrutura e têm como finalidade garantir que a segurança dos utilizadores dos

equipamentos não é comprometida devendo o seu fabricante assegurar que seja efetuada uma avaliação de riscos a fim de determinar os requisitos de saúde e segurança que se aplicam à máquina.

A utilização de materiais por si só certificados constituem uma mais valia pois facilitam a certificação da máquina que integram.

3.6.2 ISO 3691

Durante a realização deste projeto, além dos critérios de dimensionamento habituais e da diretiva de máquinas, foi ainda consultada a norma ISO 3691 que é a norma que abrange os veículos industriais, como os AGV's, e contempla os requisitos e verificações de segurança. Esta apresenta algumas recomendações úteis:

- **Velocidade de Circulação Máxima:** A velocidade máxima de circulação de veículos guiados automaticamente é estabelecida pela norma como 1.2 m/s.
- **Aceleração Máxima:** A aceleração máxima é também imposta pela norma como 0.5 m/s^2.
- **Troca Automática de Baterias:** Em casos de troca, ou carregamento automático, não devem existir contactos acessíveis no caso de as tensões serem superiores a 60V, no caso de corrente contínua, sendo estes uma possível origem de electrocussão.
- **Proteção das Rodas:** Deve ser garantida uma distância horizontal mínima h entre as rodas e a face exterior do veículo de modo eliminar o risco de atropelamento (ver Figura 3.6).

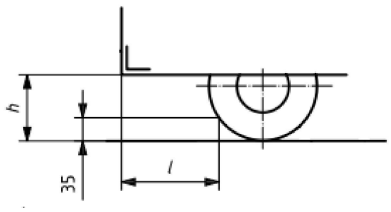


Figura 3.6: Distância de Segurança das Rodas [16]

De acordo com a nomenclatura adotada na Figura 3.6, para uma altura h compreendida entre 35 e 70 mm, a distância de segurança mínima l, é dada pela equação

3.1.

$$l_{min} = 2.57 * h - 80 \tag{3.1}$$

- **Altura Máxima do Sistema de Elevação:** Para veículos equipados com sistemas de elevação, a altura máxima H recomendada (ver Figura 3.7) para equipamentos com capacidade de carga superiores a 1000 kg e iguais ou inferiores a 10000 kg deve ser no máximo 3300 mm.

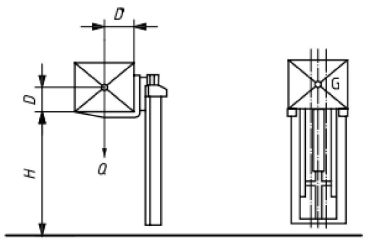


Figura 3.7: Altura de Elevação Máxima Recomendada [17]

A distância D, medida dos guiamentos ao centro de massa da carga pode ser adaptada conforme os requisitos da aplicação, devendo ser verificadas as condições de equílibrio no caso de veículos contrabalançados.

Capítulo 4

Projeto mecânico

Neste capítulo são apresentadas as várias etapas do projeto apresentando aqueles componentes que requereram um maior nível de atenção, todos os dimensionamentos efetuados aos elementos estruturais definidos como críticos e justificadas todas as decisões tomadas. A ordem pela qual se apresenta este capítulo é a mesma pela qual o projeto decorreu e que permitiu que fossem feitos sequencialmente os dimensionamentos necessários.

4.1 Lança de Suporte da *Gripper*

Este equipamento tem por objetivo a manipulação de um pneu de grandes dimensões, com recurso a uma *gripper*, dos quais se conhecem as massas e dimensões. Assim, o primeiro elemento a projetar é a lança responsável por fazer a ligação entre o conjunto *gripper*/pneu e o sistema de elevação. Na Gislotica, estas lanças são normalmente feitas a partir de um perfil tubular comercial.

Como visto no Capítulo 3, esta deve ter um comprimento de 1500 mm e suportar 3000 kg. Ao considerar um coeficiente de segurança de 1.5, resulta numa carga aplicada na lança de 44145 N (3 000*1.5*9.81). Se esta for interpretada como uma viga sujeita a flexão simples, com a carga aplicada numa extremidade e encastrada na outra (ver Figura 4.1), o que parece ser uma aproximação sensata para esta situação, tem-se:

$$M_{y,max} = F * d \Rightarrow M_{y,max} = 44145 * (1500 * 10^{-3}) = 66217.5N.m$$

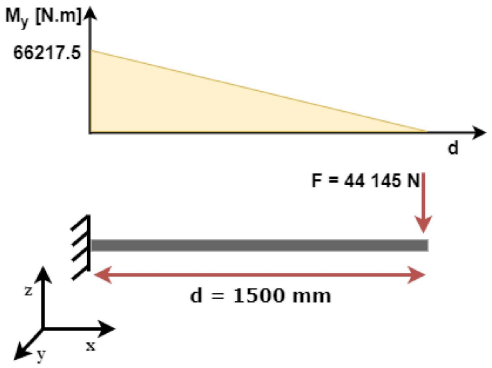


Figura 4.1: Diagramas de Corpo Livre e Momento Fletor da Lança

Os perfis estruturais, quadrados ou retangulares, normalmente utilizados são de aço S355 J2H, uma liga com baixo teor em carbono com tensão de cedência, tal como a sua designação indica, σ_{Rd} de 355 MPa. Nestas circunstâncias, e aplicando o critério de resistência da Equação 4.1:

$$\sigma_{Sd} = \frac{M_y}{W_y} \Leftrightarrow W_{y,min} = \frac{M_y}{\sigma_{Rd}} \tag{4.1}$$

$$\Rightarrow W_{y,min} = \frac{66217.5}{355 * 10^6} \Leftrightarrow W_{y,min} \approx 1.865 * 10^{-4} m^3$$

Por consulta do catálogo de perfis, para que a tensão resistente do material não seja ultrapassada, o perfil quadrado 180*5 seria o selecionado para a lança. Outros perfis mais pequenos como por exemplo o perfil 140*10 ou 150*8 também seriam escolhas válidas, mas estes apresentam maior massa por metro de comprimento, daí a escolha não recair sobre estes.

Um critério de rigidez deve também ser aplicado. Para este é imposta a flecha máxima que a lança pode sofrer com o carregamento máximo. Nesta fase, o seu valor é imposto por especificações da empresa sendo o deslocamento máximo vertical permitido de 1 mm. Recorrendo às equações da mecânica estrutural, uma aproximação ao valor da flecha para este caso é:

$$\delta_{max} = \frac{1}{3}\frac{F * d^3}{E * I} \Leftrightarrow I_{min} = \frac{1}{3}\frac{F * d^3}{E * \delta_{max}} \tag{4.2}$$

onde E é o modulo de elasticidade do aço e I o momento de segunda ordem da secção resistente.

Assim:

$$\Rightarrow I_{min} = \frac{1}{3} * \frac{44145 * (1500 * 10^{-3})^3}{210 * 10^9 * 1 * 10^{-3}} \Leftrightarrow I_{min} \approx 2.365 * 10^{-4} m^4$$

Desta forma, o perfil escolhido, e que respeita tanto o critério de rigidez como o critério de resistência é o perfil quadrado 350*10 cujas propriedades se apresentam na Tabela 4.1

Tabela 4.1: Propriedades do Perfil Quadrado 350*10

Massa [kg/m]	106
Àrea de Secção [cm^2]	134.9
Momento de Segunda Ordem [cm^4]	25880
Módulo de Resistência à Flexão [cm^3]	1479

A lança de suporte surge então por construção soldada do perfil quadrado selecionado e um conjunto de chapas de aço, que permitem, por um lado formar uma superfície para fixar a *gripper*, e por outro lado, a fixação do conjunto ao sistema de elevação. O conjunto final pesa 270 kg e pode ser visualizado na Figura 4.2.

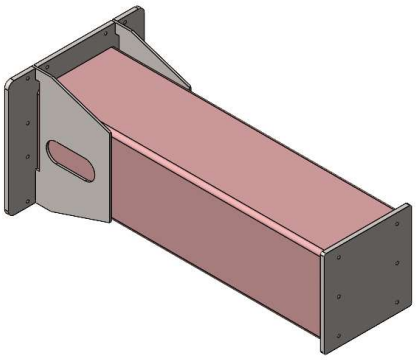


Figura 4.2: Modelo Tridimensional da Lança de Suporte

4.2 Sistema de Elevação

De uma forma bastante simplista, os sistemas de elevação que normalmente se encontram em equipamentos similares, como por exemplo empilhadores convencionais, são constituídos por 2 guias paralelas, um mecanismo responsável por realizar o movimento de elevação, tipicamente um cilindro hidráulico, e uma base móvel à qual se fixa a estrutura

a elevar, neste caso a lança de suporte, agregados entre si por um conjuntos de chapas com ligações aparafusadas e/ou soldadas. Apesar de esta ser uma solução personalizada, o seu princípio construtivo será o mesmo, e o dimensionamento dos vários componentes apresenta-se em seguida.

4.2.1 Base móvel

A base móvel é a estrutura do sistema de elevação que se movimenta verticalmente e à qual se podem fixar os conjuntos que se pretendem elevar, sejam eles garfos, lanças ou outro tipo de acessórios. Esta será obtida por construção soldada de um conjunto de chapas de aço provenientes do corte a laser, e que contêm um conjunto de furos que permitem a fixação dos acessórios de montagem.

Este conjunto tem uma massa de aproximadamente 222 kg e o seu aspeto final pode ser encontrado na Figura 4.3.

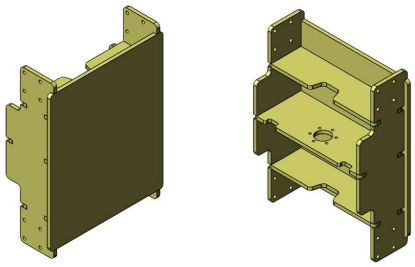


Figura 4.3: Modelo Tridimensional da Base Móvel

4.2.2 Guiamentos

Definidas completamente as estruturas e elevar, o próximo passo é o dimensionamento e seleção dos guiamentos. Após uma pesquisa no mercado por soluções de guiamentos para aplicações deste tipo, selecionou-se o fabricante *Winkel* [18], uma empresa alemã especialista neste tipo de soluções com quem a Gislotica já tem contacto estabelecido de projetos anteriores. Para além dos guiamentos, esta entidade fornece os elementos rolantes e as flanges que fazem a ligação entre estes e a estrutura a elevar.

A seleção dos guiamentos e respetivos corpos rolantes é feita de forma a respeitar a pressão de contacto máxima permitida pelo perfil que é imposta pelo material de que este é feito. O estudo destas pressões, designadas por pressões de Hertz, é muito importante para evitar sobrecargas sobre os perfis e marcas do contacto entre o anel exterior do rolamento e a guia.

Após esta seleção preliminar, as condições de rigidez e resistência e a capacidade de carga devem ser verificadas. Para referências futuras, estes perfis são obtidos a partir de aço S450 J2, cujas propriedades são fornecidas pelo fabricante e podem ser encontradas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Propriedades Mecânicas - S450 J2

Limite Elástico 1 (e[1] <20mm) [MPa]	430
Limite Elástico 2 (e[1] >20mm) [MPa]	420
Resistência à Tração [MPa]	550-700
Pressão de Hertz Máxima [MPa]	900

Para o dimensionamento é necessário conhecer as cargas a elevar e a distância horizontal do centro de massa desta ao centro do elemento rolante.

Tabela 4.3: Massa dos Componentes a Elevar

Componente	**Massa [kg]**
Pneu	2000
Gripper	1000
Lança de Suporte	270
Base móvel	222
Total	3492

Esta é a massa total real dos componentes que, para o dimensionamento, deve ser majorada pelo coeficiente de segurança definido. Para efeitos de cálculo considera-se então que a carga aplicada é de 51385 N (3492*9.81*1.5). Uma vez que o peso da lança e da base móvel é bastante inferior ao peso do pneu e da *gripper*, admite-se que esta carga

[1]Espessura do perfil

está aplicada toda na extremidade da lança, um resultado simplificado mas do lado da segurança. No conjunto final, a distância desta ao centro dos rolamentos é de 1635 mm.

Pode agora proceder-se à determinação da carga que os rolamentos terão de suportar. Na Figura 4.4, pode ver-se um esquema e o diagrama de corpo livre da estrutura que ajudam a perceber melhor o raciocínio que se segue.

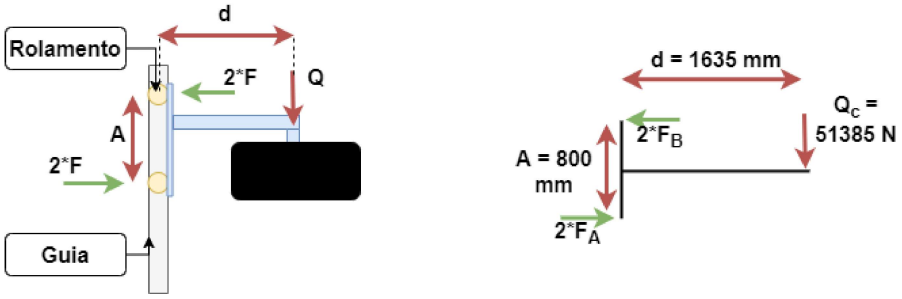


Figura 4.4: Diagrama de Corpo Livre do Sistema de Elevação

A carga vertical que deriva do conjunto a elevar, produz, relativamente a um eixo que passe pelo centro dos rolamentos, um momento que é compensado por duas reações que surgem do contacto do rolamento com as paredes da guia. Estas não são mais que a carga radial que está aplicada nos rolamentos. O fator 2 que surge junto destas reações é para contemplar a existência de ambas as guias, esquerda e direita, e respetivos rolamentos.

Da análise do equilíbrio estático da estrutura resulta:

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow 2 * F_A - 2 * F_B = 0 \Leftrightarrow F_A = F_B \tag{4.3}$$

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow Q * d - 2 * F_B * A = 0 \Leftrightarrow F_B = \frac{Q * d}{2 * A} \tag{4.4}$$

De acordo as as expressões 4.3 e 4.4, resulta que:

$$F_A = F_B = \frac{51385 * (1635 * 10^{-3})}{2 * (800 * 10^{-3})} \Leftrightarrow F_A = F_B = 52509N$$

A dimensão indicada na Figura 4.4 com a letra A representa a distância entre os rolamentos, sendo 500-1000 mm a gama de valores recomendada pelo fabricante. Em primeiro lugar, fizeram-se os cálculos para estes valores extremos, sendo que com a opção de 500 mm seria necessário utilizar um perfil maior face ao caso de 1000 mm.

Para escolher qual valor utilizar, fizeram-se os cálculos pela ordem inversa, procurando qual a distância mínima entre rolamentos que permite utilizar o perfil mais pequeno, daí

resultaram 800 mm, um valor que permite utilizar um perfil mais pequeno e como tal mais leve e mais barato, e que não compromete as alturas de elevação que se pretendem alcançar. Assim, o perfil selecionado para os guiamentos é o perfil U-PR6 NbV, cujas propriedades mecânicas podem ser encontradas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Propriedades do Perfil U PR6 NbV

Massa [kg/m]	52.3
Àrea de Secção [cm^2]	66.6
Momento de Segunda Ordem X [cm^4]	3430.2
Módulo de Resistência à Flexão X [cm^3]	340.5
Momento de Segunda Ordem Y [cm^4]	270
Módulo de Resistência à Flexão Y [cm^3]	57.2

A pré-seleção deste perfil resulta de dados presentes no catálogo do fornecedor e são derivados do limite de pressão de contacto, sendo que para este perfil, a carga máxima admissível é de 59200 N, estando assim salvaguardada a inexistência de desgaste superficial e avarias por fadiga provocadas pelo estado de tensão ao longo da área de contacto. Também é sabido que, para pressões de Hertz mais elevadas, se verificam a determinada profundidade abaixo da área de contacto, tensões de corte alternadas que provocam fadiga.

A primeira abordagem consistiu em utilizar o perfil dos guiamentos diretamente como elemento estrutural. No que diz respeito a estes, falta verificar os critérios de resistência e rigidez.

Os diagramas de corpo livre e de momento fletor destes são apresentados na Figura 4.5, considerando a distância ao apoio, a menor distância à ligação aparafusada entre os guiamentos e a estrutura do AGV.

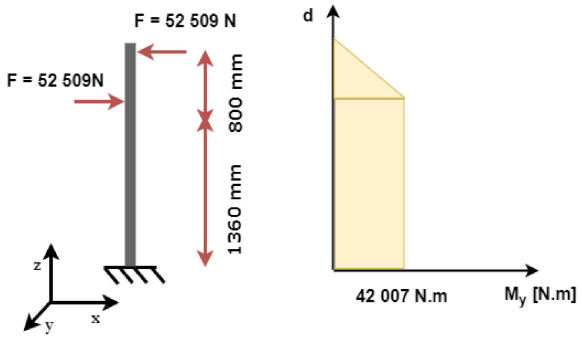


Figura 4.5: Diagramas de Corpo Livre e Momento Fletor dos Guiamentos

Assim, e de acordo com a Equação 4.1:

$$\sigma_{Sd} = \frac{42007}{340.5 * 10^{-6}} \Leftrightarrow \sigma_{Sd} = 123.36 * 10^{6} Pa$$

Como o valor obtido é inferior à tensão de limite elástico, a resistência do material está agora verificada.

Por fim, a rigidez deve ser verificada através da determinação da flecha máxima que se verifica para esta solicitação. Nesta situação específica, para o cálculo analítico através da expressão aproximada 4.2, é necessário separar as solicitações, e por fim combiná-las pelo princípio de sobreposição de efeitos (Ver Figura 4.6).

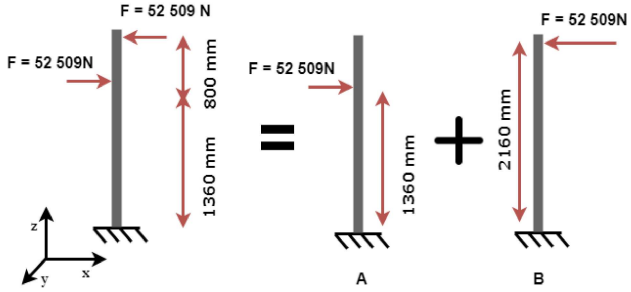


Figura 4.6: Sobreposição de Efeitos dos Guiamentos

$$\Rightarrow \delta_{max,A} = \frac{1}{3} * \frac{52509 * (1360 * 10^{-3})^3}{210 * 10^9 * 3430.2 * 10^{-8}} \Leftrightarrow \delta_{max,A} \approx 0.006m$$

$$\Rightarrow \delta_{max,B} = \frac{1}{3} * \frac{52509 * (2160 * 10^{-3})^3}{210 * 10^9 * 3430.2 * 10^{-8}} \Leftrightarrow \delta_{max,B} \approx 0.024m$$

Como tal, a flecha máxima sofrida nesta situação, seria:

$$\Rightarrow \delta_{max} = 0.024 - 0.006 \Leftrightarrow \delta_{max} \approx 0.018m \approx 18mm$$

Esta deformação é na ordem dos 0.5 % do comprimento total da estrutura de elevação, o que em termos teóricos é admissível. Contudo, dada a aplicação em causa, esta considera-se um bocadinho excessiva e como tal, os guiamentos não podem por si só ser utilizados como elemento estrutural do sistema de elevação.

Como se pode concluir pela observação da equação 4.2, a forma de diminuir a flecha máxima, para as mesmas condições de fronteira, é aumentando o módulo de elasticidade, que depende do material das guias e é definido pelo seu fabricante, ou aumentando o momento de segunda ordem da secção.

Assim, a solução adotada foi a de aumentar o momento de segunda ordem da secção. Para esse efeito, uma chapa de 20 mm de espessura e 300 mm de largura será fixa à guia ao longo de todo o seu comprimento, formando a secção que agora se pode visualizar na Figura 4.7.

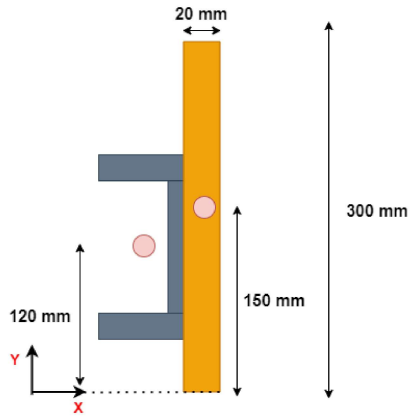


Figura 4.7: Solução para Aumentar o Momento de Segunda Ordem

O momento de segunda ordem da chapa corresponde ao de uma secção retangular, que é dado pela equação 4.5.

$$I_0 = \frac{b * h^3}{12} \tag{4.5}$$

onde b representa a dimensão paralela ao eixo sobre o qual se pretende determinar o

momento de segunda ordem e h a dimensão perpendicular.Neste caso específico, têm-se:

$$I_0 = \frac{20 * 300^3}{12} = 4500 * 10^4 mm^4 \Leftrightarrow I = 4500 cm^4$$

Agora, é necessário determinar o centro de massa do novo conjunto, local onde se vai situar o novo eixo deflexão. Neste caso, o centro de massa irá coincidir com o centro geométrico da secção, e pode ser determinado através da expressão 4.6.

$$Y_{CM} = Y_{CG} = \frac{\Sigma(Y_{CG,i} * A_i)}{\Sigma A_i} \tag{4.6}$$

onde Y representa a coordenada do centro geométrico do elemento i, e A as respetivas áreas.

Então, a coordenada Y do novo eixo de flexão será:

$$Y_{CM} = \frac{12 * 66.6 + (15 * (2 * 30))}{66.6 + (2 * 30)} \approx 13.4 cm$$

Assim, o centro de massa da guia encontra-se a uma distância de aproximadamente 1.4 cm do centro de massa do conjunto, e o centro de massa da chapa a 1.6 cm do mesmo ponto.

Como o centro de massa do conjunto é diferente dos centros de massa de cada um dos elementos, é necessário calcular os momentos de segunda ordem destes relativos a um novo eixo que passa pelo ponto calculado. Isso faz-se recorrendo ao teorema dos eixos paralelos, apresentado na expressão 4.7.

$$I = I_0 + A * d^2 \tag{4.7}$$

onde I_0 representa o momento de segunda ordem relativamente ao eixo que passa pelo seu centro de massa, A a área da secção e d a distância do eixo que passa pelo centro de massa ao eixo relativamente ao qual se pretende calcular o novo momento de segunda ordem. Assim, para o caso da chapa têm-se:

$$I = 4500 + (2 * 30) * 1.6^2 \Leftrightarrow I = 4653.6 cm^4$$

Por sua vez, no caso da guia, têm-se:

$$I = 3430.2 + 66.6 * 1.4^2 \Leftrightarrow I = 3560.7 cm^4$$

O momento de segunda ordem do conjunto é dado pela soma dos momentos da chapa e da guia, e como tal:

$$I_{Total} = 4653.6 + 3560.7 \Leftrightarrow I_{Total} = 8214.3cm^4$$

Desta forma, obteve-se uma secção como um momento de segunda ordem bastante superior ao inicial e a flecha máxima sofrida pelos guiamentos será:

$$\Rightarrow \delta_{max,A} = \frac{1}{3} * \frac{52509 * (1360 * 10^{-3})^3}{210 * 10^9 * 8214.3 * 10^{-8}} \Leftrightarrow \delta_{max,A} \approx 0.0026m$$

$$\Rightarrow \delta_{max,B} = \frac{1}{3} * \frac{52509 * (2160 * 10^{-3})^3}{210 * 10^9 * 8214.3 * 10^{-8}} \Leftrightarrow \delta_{max,B} \approx 0.01m$$

Como tal, a flecha máxima sofrida nesta situação, será:

$$\Rightarrow \delta_{max} = 0.01 - 0.0026 \Leftrightarrow \delta_{max} \approx 0.0074m \approx 7.4mm$$

O resultado obtido é menos de 50% do anterior e já se revela aceitável para a aplicação pretendida.

O fornecedor dos guiamentos indica também quais os rolamentos que são possíveis utilizar em cada guia e estes podem vir montados com uma flange para a fixação da base móvel. Para esta aplicação, selecionou-se o rolamento PR 4.063 AP6-Q (Ver Figura 4.2.2) e as suas propriedades encontram-se na Tabela 4.5.



Figura 4.8: Rolamento PR 4.063 [18]

Tabela 4.5: Propriedades do Rolamento PR 4.063

Diâmetro [mm]	149
F_{Radial} [kN]	59.20
F_{Axial} [kN]	18.50
Carga Estática Radial - C_0 [kN]	192.1
Carga Estática Axial - C_{0A} [kN]	71
Carga Dinâmica Radial - C [kN]	151
Carga Dinâmica Axial - C_A [kN]	68

Neste tipo de aplicações, a pressão de contacto é, normalmente, o fator condicionante mas não invalida que uma análise à capacidade de carga dos rolamentos seja efetuada. Uma vez que esta depende da velocidade de rotação, ainda desconhecida, esta seleção será apenas validada na secção seguinte.

4.2.3 Mecanismo de Elevação

No que diz respeito ao sistema de elevação, apenas resta proceder à seleção e dimensionamento do mecanismo responsável pelo movimento elevatório. Com bastante frequência, um cilindro hidráulico combinado com um conjunto de correntes é empregado em aplicações semelhantes, devido às grandes forças que estes conseguem exercer. Neste caso específico, o ideal seria obter uma solução totalmente elétrica, evitando as manutenções mais frequentes que os sistemas hidráulicos exigem.

O recurso a correntes ou correias seria também válido no caso elétrico, mas a possibilidade de estes elementos se romperem é maior e como tal a segurança ficaria comprometida. De forma a diminuir o risco de acidente, uma possível solução é utilizar um mecanismo que não seja reversível, isto é, que só permita o acionamento num sentido, assim, a única forma de o movimentar é através da ordem do acionamento, seja ele elétrico ou de outra natureza.

Uma recolha de possíveis soluções conduziu à seleção de um macaco de parafuso do fornecedor *ZIMM* [19], uma empresa especializada em equipamentos para movimentos de precisão. Esta dispõe de dois modelos de parafuso, o típico fuso de esferas e o fuso de rosca trapezoidal. Este último é dotado da propriedade que se procura, a irreversibilidade. Note-se que o rendimento de um fuso de rosca trapezoidal é bastante baixo, cerca de 40%, quando comparado com o rendimento de um fuso de esferas, e portanto, 60% da energia fornecida pelo acionamento, será perdida, sendo este o preço a pagar por esta solução.

A transmissão do acionamento para o fuso é feita através de uma caixa redutora, fornecida em conjunto com o fuso, do tipo parafuso sem fim/roda de coroa, novamente, um conhecido mecanismo irreversível.

Ao longo do fuso translada uma porca trapezoidal na qual segue a carga a elevar. Para prevenir acidentes provocados pelo desgaste desta, uma porca adicional própria é

fornecida, que se movimenta em conjunto com a anterior mas que não suporta carga em condições normais de funcionamento. Quando esta começar a suportar carga, é sinal que a primeira se desgastou e como tal deve proceder-se à sua substituição com a maior brevidade possível.

Para a seleção do tamanho do macaco adequado a primeira etapa é determinar a massa total a elevar. Ao valor calculado na Tabela 4.3 é necessário acrescentar a massa dos conjuntos de elementos rolantes. Cada um destes, composto pelo rolamento e flange, pesa 10.2 kg e o sistema utiliza 4 destes. Assim:

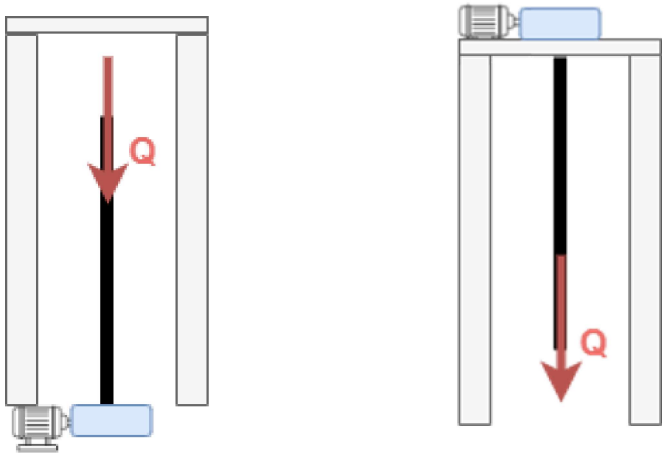
$$m_{Total} = [3492 + (4 * 10.2)] \Leftrightarrow m_{Total} = 3532.8kg$$

E portanto, considerando um coeficiente de segurança de 1.5, a carga a elevar é:

$$Q = 3532.8 * 9.81 * 1.5 \Leftrightarrow Q \approx 51985.15N$$

No que respeita à cedência do fuso, o modelo que suporta esta carga é o *ZE-100*, com capacidade de carga para 100kN, uma vez que o modelo inferior só suporta 50kN. Para referência, este fuso tem um diâmetro de 43.6 mm.

Uma vez que se pretende montar este conjunto na base do sistema de elevação, o fuso ficará a trabalhar em compressão, e portanto é necessário fazer a sua verificação à encurvadura. Note-se que se este fosse montado na posição tal que a redutora e o acionamento ficassem na zona superior do sistema de elevação, o fuso estaria à tração (ver Figura 4.9), montagem possível mas que se evitou meramente por questões de estética.



(a) Compressão (b) Tração

Figura 4.9: Possíveis Esquemas de Montagem do Fuso

No catálogo do fornecedor, está presente a indicação para a necessidade dessa verificação, e sugere que esta seja feita pelo método de *Euler*.

Repare-se que o método de encurvadura de Euler só permite obter resultados satisfatórios para situações de esbelteza elevada, sendo necessário confirmar se essa condição se verifica. Os fusos deste fornecedor podem ser obtidos a partir de dois materiais distintos, C35 ou CK45, cujas tensões de cedência mínimas são 320 MPa e 370 MPa, respetivamente. Recorrendo aos conceitos da Mecânica das Estruturas, temos:

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yd}}} \tag{4.8}$$

$$\lambda = \frac{l_e}{i} \tag{4.9}$$

onde λ_1, E, σ_{yd}, λ, l_e e i, representam o coeficiente de esbelteza de Euler (valor mínimo a partir do qual o cálculo de Euler é válido), o módulo de elasticidade do material, a tensão de cedência, o coeficiente de esbelteza, o comprimento efetivo e o raio de giração, por esta mesma ordem. Assim:

$$\begin{cases} \lambda_1(C35) = \pi * \sqrt{\frac{210*10^9}{320*10^6}} \\ \lambda_1(CK45) = \pi * \sqrt{\frac{210*10^9}{370*10^6}} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \lambda_1(C35) \approx 80.48 \\ \lambda_1(CK45) \approx 74.84 \end{cases}$$

Para a situação de projeto:

- O comprimento efetivo, pode ser determinado pelo produto do comprimento do fuso em carga por um coeficiente de encurvadura que depende das condições de fronteira. O esquema de montagem pode ser analisado como uma viga articulada numa extremidade e encastrada na outra. Para essas condições, o coeficiente de encurvadura toma o valor de 0.7 (ver Figura 4.10). Nesta aplicação, o comprimento do fuso que suporta a carga é de 2830 mm. Então:

$$l_e = 2830 * 0.7 \Leftrightarrow l_e = 1981$$

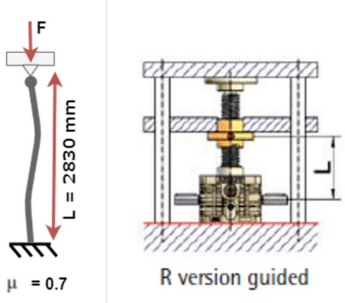


Figura 4.10: Modelo de Encurvadura [19]

- O raio de giração de uma secção é dado pela raiz quadrada do quociente do momento de segunda ordem da secção pela sua área, sendo para uma secção circular, como é o caso do fuso trapezoidal, dado por:

$$i = \sqrt{\frac{\frac{\pi.d^4}{64}}{\frac{\pi.d^2}{4}}} \tag{4.10}$$

Então,

$$i = \sqrt{\frac{\frac{\pi.43.6^4}{64}}{\frac{\pi.43.6^2}{4}}} \Leftrightarrow i = 10.9mm$$

O coeficiente de esbelteza pode agora ser determinado de acordo com a expressão 4.9:

$$\lambda = \frac{1981}{10.9} \Leftrightarrow \lambda \approx 176.5$$

Este resultado mostra-nos que a aplicação do método de Euler é válida nesta situação uma vez que coeficiente de esbelteza do fuso é superior ao coeficiente de esbelteza mínimo, a partir do qual este método é válido. Além disso, este resultado é inferior a 180, um valor limite empiricamente definido, e a partir do qual poderia ocorrer instabilidade ou colapso

do fuso, ainda que os cálculos não o evidenciassem. Assim, caso este valor fosse superior a 180 a escolha deveria recair no fuso de tamanho superior.

Estando verificada a aplicabilidade do método de Euler para esta situação, é necessário proceder à determinação do diâmetro mínimo do fuso que garante a ausência de encurvadura. O método de Euler, apresentado na equação 4.11, permite determinar a carga a partir da qual surgem problemas de encurvadura.

$$Q_{crit} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_e^2} \tag{4.11}$$

onde E representa o módulo de elasticidade, I o momento de segunda ordem da secção e L_e o comprimento efetivo, já calculado.

Procedendo-se ao cálculo de forma inversa, através de manipulação matemática da expressão 4.11, pode-se determinar o momento de segunda ordem mínimo que a secção do fuso deve apresentar:

$$I = \frac{Q * L_e^2}{\pi^2 * E} \Leftrightarrow I = \frac{51985.15[N] * (2830[mm] * 0.7)^2}{\pi^2 * 210000[N/mm^2]} \Leftrightarrow I \approx 98430.39mm^4$$

A seção do fuso trata-se de uma seção circular, cujo momento de segunda ordem é dado pela expressão 4.12.

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \tag{4.12}$$

onde d representa o diâmetro da secção.

Então, o diâmetro mínimo que o fuso deve ter para a carga considerada é dado por:

$$d = \sqrt[4]{\frac{I * 64}{\pi}} \Leftrightarrow d \geq \sqrt[4]{\frac{38430.39 * 64}{\pi}} \approx 37.6mm$$

Como o modelo ZE-100 apresenta um diâmetro mínimo de 43.6, a sua seleção encontra-se validada com a garantia da ausência de problemas associados a encurvadura.

A velocidade crítica de rotação do fuso é também um parâmetro a ter em consideração. Esta é a velocidade que pode dar origem a ressonância vibratória no fuso e o fornecedor indica o cálculo da velocidade máxima a adotar de forma a evitar este fenómeno conforme a expressão 4.13.

$$n_{max} = 0.8 * n_{kr} * f_{kr} \tag{4.13}$$

onde n_{max}, n_{kr} e f_{kr} representam a velocidade de rotação máxima, a velocidade de rotação crítica e um fator de correção que depende do tipo de apoio do fuso, respetivamente.

- A velocidade de rotação crítica pode ser obtida através da leitura direta de diagramas fornecidos pelo fabricante e depende do comprimento total não suportado do fuso e do tamanho e passo da porca trapezoidal utilizada. Para esta situação, o comprimento total não suportado é de 3400 mm e o diagrama consultado pode ser encontrado na Figura 4.11, no qual se leu uma velocidade crítica de 380 rpm.

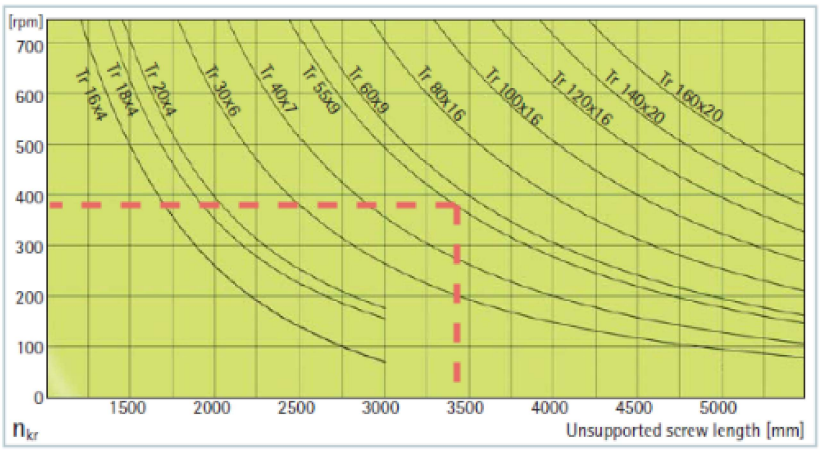


Figura 4.11: Velocidade Crítica de Rotação [19]

- O fator de correção depende do tipo de apoio que se dispõe na extremidade do fuso e é também indicado pelo fabricante, sendo o seu valor de 1 para aplicações em que o fuso se encontra apoiado sobre um rolamento (Ver Figura 4.12).

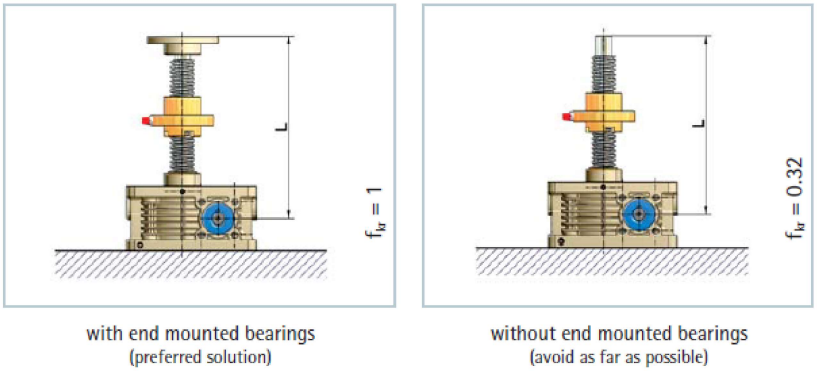


Figura 4.12: Fator de Correção [19]

Assim, a velocidade máxima de rotação do fuso será:

$$n_{max} = 0.8 * 380 * 1 \Leftrightarrow n_{max} = 304rpm$$

A velocidade de elevação máxima, pode agora ser obtida a partir da anterior. O passo do fuso é 9, o que significa que por cada rotação deste, a porca desloca-se 9 mm na vertical. Desta forma, a velocidade de elevação será:

$$v_{max} = \frac{9 * 304}{60} \Leftrightarrow v_{max} = 45.6mm/s$$

Pode também calcular-se a velocidade de rotação do acionamento. A caixa redutora do modelo selecionado apresenta uma razão de transmissão 1:9, o que significa que a velocidade de rotação à entrada deverá ser 9 vezes superior à velocidade de rotação do fuso:

$$n_{motor} = 9 * 304 \Leftrightarrow n_{motor} = 2736rpm$$

Finalmente, o binário de acionamento pode ser determinado a partir da expressão 4.14.

$$M_G[N.m] = \frac{F[kN] * P[mm]}{2 * \pi * \eta_{gearbox} * \eta_{screw} * i} + M_L \tag{4.14}$$

onde F representa a carga a elevar, P o passo do fuso, $n_{gearbox}$ o rendimento da caixa redutora, n_{screw} o rendimento do fuso trapezoidal, i a razão de transmissão da caixa redutora e M_L o binário de atuação sem carga.

No que diz respeito à carga a elevar, não faz sentido que esta seja majorada pelo mesmo coeficiente de segurança, uma vez que este cálculo apenas servirá para a seleção do motor a utilizar no sistema de elevação, cujos parâmetros serão selecionados ligeiramente superiores aos calculados, e também porque já existe um coeficiente de segurança incorporado nas especificações do motor por parte do seu fabricante. Se o fizéssemos a seleção seria capaz de dar resposta ao problema, mas estaria sobredimensionada. Portanto, como já visto, a massa a elevar é de 3532.8 kg, ou seja 34656.8 N.

Este modelo tem um passo de 9 mm, um razão de transmissão de 9, a redutora e o fuso apresentam um rendimento de 87% e 34% respetivamente, e o binário de atuação em vazio é de 1.68 N.m. Assim, o binário de acionamento é:

$$M_G = \frac{34.7 * 9}{2 * \pi * 0.87 * 0.34 * 9} + 1.68 \Leftrightarrow M_G \approx 20.35N.m$$

O binário calculado representa o binário necessário para a elevação da carga em contínuo. Para o arranque, o catálogo indica um binário 1,5 vezes do binário de elevação em contínuo ($\approx 30.53N.m$).

Conforme indicado na secção anterior, deve validar-se a escolha do rolamento para os guiamentos levando em consideração a velocidade de rotação destes.

O diâmetro do rolamento é de 149 mm, isto implica que o sistema se desloque aproximadamente 468 mm/rotação ($\pi * 149$), valor correspondente ao seu perímetro. A velocidade de elevação máxima que é permitida pelo fuso é, como visto, de 45.6 mm/s, equivalente a 2736 mm/minuto. Assim, a velocidade de rotação máxima que o rolamento pode atingir é:

$$n_{Rolamento,max} = \frac{2736[mm/minuto]}{468[mm/rotacao]} / \Leftrightarrow n_{Rolamento,max} \approx 5.8rpm$$

Nos catálogos dos fabricantes de rolamentos, encontramos informação sobre as capacidades de carga, como os dados apresentados na Tabela 4.5. A verificação da capacidade destes inicia-se pela verificação da carga estática. A carga estática de base, C_0, é a força que gera maior tensão, aproximadamente no centro da área de contacto entre o elemento rolante e o anel interior, sendo essa a tensão nominal admissível, que toma valores típicos de 4600 MPa para um rolamento de esferas. A deformação residual que resulta destes níveis de tensão, é aproximadamente igual a 0.00001 do diâmetro do elemento de revolução. Em termos práticos, considera-se que a capacidade de carga estática deve ser verificada para situações em que o rolamento se encontra parado ou em rotação inferior a 10 rpm. [20]

Em aplicações em que o rolamento apresenta uma velocidade de rotação superior a 10 rpm deve ainda ser feita a análise de carga dinâmica associada à vida útil dos rolamentos, diretamente relacionada com o processo de dano por fadiga dos elementos rolantes. [20]

Uma vez que a velocidade de rotação dos rolamentos que constituem o sistema de elevação é menor a 10 rpm, é apenas necessário validar a sua capacidade de carga estática. A capacidade de carga estática é determinada com as expressões 4.15 e 4.16.

$$C_0 = f_s * P_0 \tag{4.15}$$

$$P_0 = X_0 * F_r + Y_0 * F_a \tag{4.16}$$

onde C_0 representa a capacidade de carga estática, f_s um coeficiente de segurança, P_0 a carga estática equivalente, X_0 e Y_0 são os fatores adimensionais radial e axial, respetivamente, e F_r e F_a as cargas aplicadas sobre as respetivas direções.

Nesta aplicação, a carga estática equivalente é apenas função da carga radial, igual a 52509 N , uma vez que a carga axial é nula. O fator X_0 é determinado por cada fabricante, tipo de rolamento, dimensão e rácio entre a carga radial e axial. Para um rolamento de esferas de carreira simples, pode considerar-se que este é igual a 0.6. Assim:

$$P_0 = 0.6 * 52509 \Leftrightarrow P_0 \approx 31505N$$

Como o valor da carga radial considerado já se encontra majorado pelo coeficiente de segurança de 1.5, considera-se agora o fator $f_s = 1$. Deste modo:

$$C_0 = 1 * 31505 \Leftrightarrow C_0 = 31505N = 30.505kN$$

A capacidade de carga estática do rolamento selecionado é de 192.1 kN, estando agora validada a seleção do rolamento PR 4.063.

4.3 Sistema de Baterias

No que diz respeito às baterias de alimentação, pretende-se um sistema que permita efetuar a troca rápida destas e até mesmo possibilitar a automatização desta etapa no futuro.

4.3.1 Ligação das Baterias

É necessário que a ligação entre as baterias e o AGV seja fácil e rápida de se fazer. A Vahle [21], uma empresa especializada em componentes elétricos, dispõe de vários modelos que permitem essa funcionalidade. Estes são compostos por uma base e um coletor e um exemplo pode ser encontrado na Figura 4.13.

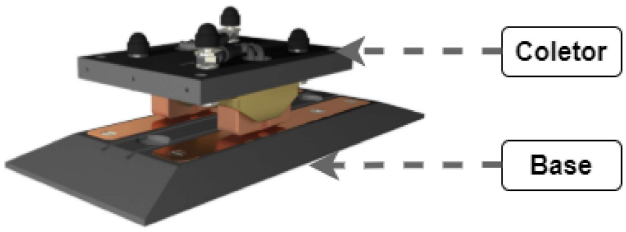


Figura 4.13: Contactos Rápidos [21]

O modelo à adotar depende do número de pólos necessários e da intensidade de corrente que irá atravessar o circuito. Por analogia ao modelo de AGV anterior da Gislotica, assumiu-se que a intensidade de corrente máxima seria de 200 A. Existem modelos desde os 20 aos 600 A, e a diferença entre eles é o aumento do número de platinados em contacto. Embora se estimem 200 A, por questões geométricas, optou-se por utilizar 2 contactos de 100 A cada em vez do modelo de 200 A, reservando cada um deles para cada pólo das baterias.

Para uma ligação eficaz, o fabricante indica que deve ser verificada uma força de contacto entre os ligadores de 20 N. Estes possuem molas no seu interior que permitem garantir essa força de contacto. Para além destas, decidiu-se projetar um sistema flexível, que permite absorver colisões e desvios geométricos, para procurar aumentar o tempo de vida útil dos contactos. O conjunto final pode ser agora encontrado na Figura 4.14.

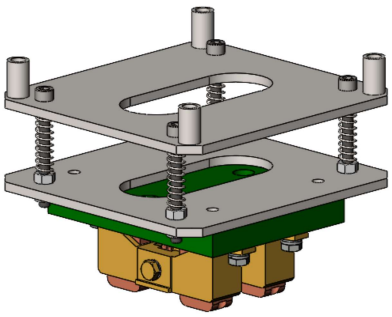


Figura 4.14: Conjunto para Ligação das Baterias

Os conceitos da Física revelam que a força desenvolvida por uma mola é proporcional à sua elongação (Eq. 4.17), sendo a constante de proporcionalidade uma característica própria da mola designada por constante de elasticidade e que traduz a sua resistência à

deformação.

$$F = K * d \tag{4.17}$$

Frequentemente, encontram-se montagens com mais do que uma mola, podendo estas ser associadas em série, estando sujeitas todas à mesma força, ou em paralelo, quando sujeitas ao mesmo deslocamento. Este tipo de associações dão origem a uma sistema com uma rigidez equivalente, que não é mais que a rigidez que uma só mola devia ter para ser equivalente ao sistema composto. As equações 4.18 e 4.19, mostram como se obtém a rigidez equivalente para os diferentes tipos de associações.

- Associação de Molas em Série

$$\frac{1}{K_{Equivalente}} = \sum \frac{1}{K_i} \tag{4.18}$$

- Associação de molas em Paralelo

$$K_{Equivalente} = \sum K_i \tag{4.19}$$

Por consulta do catálogo do fabricante, as molas deste contacto sofrem uma elongação de 11 mm de forma a exercerem os 20 N de força necessários ao contacto. Assim, de acordo com a expressão 4.17, o conjunto de molas que o compõem pode ser modelado por uma mola equivalente com rigidez $k_1 = 20/11 \approx 1.82N/mm$.

O conjunto projetado é composto por 4 molas numa montagem em paralelo. Para estas, selecionou-se o modelo S-1131 com rigidez de 0.8 N/mm, da Fanamol [22], uma fábrica de molas portuguesa. Desta forma, pela expressão 4.19, a rigidez equivalente destas molas é $K_2 = 0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.8 = 3.2N/mm$.

Finalmente, a rigidez equivalente do sistema, pode ser dada pela rigidez equivalente de 2 molas em série, a primeira respeitante à mola original dos contactos, e a segunda ao conjunto de 4 molas projetado. Então $\frac{1}{k_{equi}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \Rightarrow k_{equi} \approx 1.16N/mm$

Assim, para se conseguir exercer a força de contacto pretendida, a montagem deve impor um deslocamento mínimo ao conjunto $d = 20/1.16 \approx 17.3mm$.

4.3.2 Conjunto de Baterias

Para facilitar a troca de baterias e minimizar o tempo que esta demora, a solução encontrada foi agrupar as 4 baterias de modo a formarem um conjunto que deve ser substituído (ver Figura 4.15) . Assim, em vez de trocar 4 baterias, apenas tem que se substituir 1 conjunto. Neste devem estar montadas as bases dos contactos elétricos apresentados antes enquanto que os coletores devem ser montados na estrutura do AGV. Este conjunto pesa aproximadamente 105 kg.

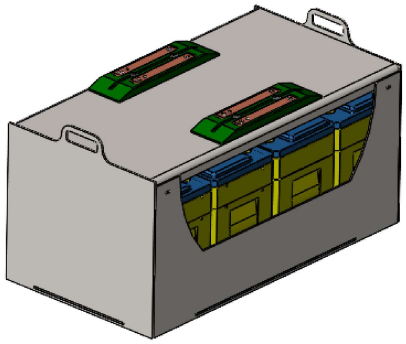


Figura 4.15: Conjunto de Baterias

4.3.3 Rolos Transportadores

O conjunto de baterias apresentado, irá assentar sobre rolos de carga livres. Estes rolos permitem que um operador, ou qualquer sistema automático, facilmente consiga extrair o conjunto do AGV. Na Gislotica, este tipo de acessórios são habitualmente adquiridos à Interroll [23], líder mundial em soluções para a manipulação de unidades. Optou-se pela gama de produtos 1700 que é a gama de uso universal, não geram eletricidade estática, uma característica importante na indústria dos pneus, e apresentam baixo ruído de funcionamento.

A seleção do diâmetro e espessura dos rolos faz-se com base na carga a que vai estar sujeito, no comprimento de instalação e no design do veio. Uma vez que no momento da troca do conjunto de baterias, pode dar-se a situação do primeiro rolo estar a suportar praticamente toda a carga, o dimensionamento é feito de forma a que um rolo seja capaz de aguentar a totalidade da carga.

O conjunto de baterias perfaz uma carga de 1030 N (105*9.81) e o comprimento de instalação destes rolos será de 392 mm. Assim, por consulta do catálogo do fabricante, para rolos transportadores de alumínio, é necessário que estes tenham 50 mm de diâmetro e 1.5 mm de espessura, apresentando estes uma capacidade de carga de 2000 N para um comprimento de instalação até 400 mm.

Relativamente ao número de rolos a utilizar, o fabricante recomenda que a carga a suportar esteja apoiada no mínimo sobre 3 roletes para um movimento confiável. Sendo o comprimento do conjunto igual a 616 mm, a distância máxima entre rolos é de aproximadamente 205 mm (ver Figura 4.16), sendo qualquer valor abaixo deste admissível.

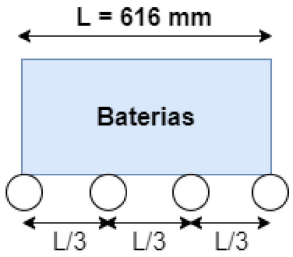


Figura 4.16: Distância Máxima Entre Rolos

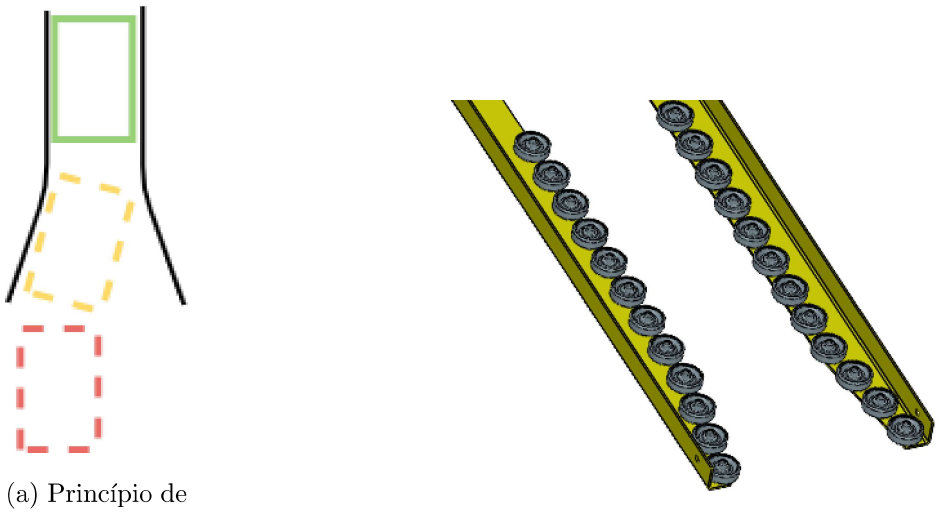
Somente por questões estéticas definiu-se uma distância entre rolos igual a 89 mm de forma a obter-se uma estrutura mais fechada.

4.3.4 Posicionador de Baterias

É imprescindível o correto alinhamento das baterias com a estrutura do AGV pois só assim se consegue garantir que a ligação entre estes é corretamente estabelecida. Vibrações durante o funcionamento ou desalinhamentos, por parte do operador ou do sistema de troca, poderiam conduzir a fracas conexões ou até mesmo desconexões indesejadas. Uma solução deixando unicamente uma abertura suficiente para passar o conjunto de baterias seria demasiado limitadora e certamente iria causar problemas no futuro, principalmente em sistemas com troca automática, pois o sistema de navegação pode originar pequenos desvios de posicionamento.

Assim, a solução encontrada foi a de deixar uma abertura de acesso ligeiramente mais larga, e projetar um sistema de guiamento tipo ”funil”que faz com que o conjunto vá gradualmente tomando a posição pretendida (ver Figura 4.17a). Para esse efeito, projetou-

se um conjunto de chapas com várias rodas guia do modelo 2200 também da Interroll, dispostas na posição observada na Figura 4.17b.



(a) Princípio de Funcionamento

(b) Conjunto Projetado

Figura 4.17: Método de Posicionamento das Baterias

4.3.5 Sistema de Fixação das Baterias

A facilidade com que é possível extrair o conjunto de baterias do AGV, devido ao facto de este estar assente em rolos transportadores livres, faz com que seja necessário algum mecanismo capaz de o travar. Facilmente se percebe que movimentos de arranque, travagem ou sobre terrenos inclinados e mudanças de direção seriam cenários propícios à evacuação indesejada das baterias.

A pensar nas otimizações futuras, nomeadamente na automatização da troca de baterias, optou-se pela utilização de um eletroíman que será responsável por segurar o conjunto das baterias. A empresa Selter [24] é especializada na produção de aplicações magnéticas para a indústria e dispõe de modelos de eletroíman circulares de baixa potência, capazes de exercer 1200 N de força de fixação sobre uma placa de aço St 37, força que se considera suficiente para segurar o conjunto das baterias na posição pretendida. O conjunto de fixação desenhado pode agora ser encontrado na Figura 4.18.

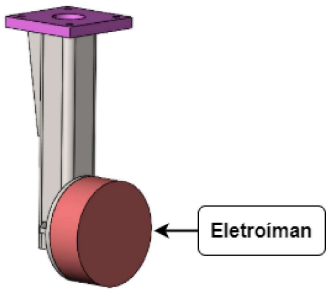


Figura 4.18: Conjunto de Fixação das Baterias

4.4 Estrutura do AGV

A esqueleto principal do AGV é constituído por uma estrutura tubular e uma base formando um conjunto que tem o aspeto da Figura 4.19. A estrutura tubular tem como função dar forma e dimensão ao AGV, para além de fixar o sistema de elevação, serve também para fixar as blindagens que escondem e protegem os componentes que se encontram no seu interior, como motores, componentes elétricos e outros. Por sua vez, a base serve de suporte a todos os componentes, fazendo a ligação do veículo ao chão através do conjunto de rodas.

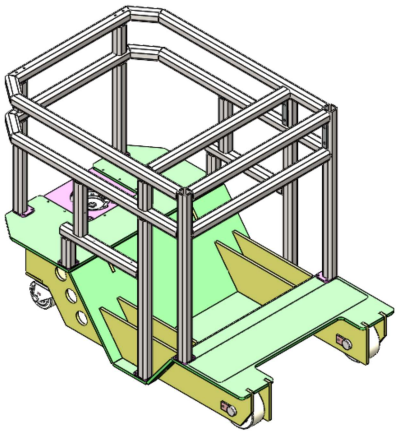


Figura 4.19: Estrutura Principal do AGV

A estrutura tubular é obtida através de um conjunto de perfis comerciais e o seu processo de soldadura é explicado em detalhe no Capítulo 5.

Não havendo preocupação com a redução de massa deste conjunto, uma vez que se trata de um AGV contrabalançado, a escolha foi o perfil comercial quadrado 80*80*10.

Nesta fase, o único fator considerado foi garantir espessura suficiente para efetuar furos roscados para a fixação das blindagens com parafusos M6.

A carga vertical que advém da massa dos componentes do sistema de elevação e do pneu é absorvida pelo fuso e é diretamente descarregada na base. Assim, a estrutura tubular, apenas ajuda a suportar as reações horizontais que surgem nos guiamentos. A forma como esta é soldada, formando um conjunto fechado, confere-lhe uma enorme rigidez pelo que esta não constituirá um problema para o projeto.

Ainda assim, uma análise através do método dos elementos finitos poderia ser feita de modo a garantir a estabilidade da mesma.

No que diz respeito à base do AGV, esta é igualmente obtida por construção soldada, desta vez de um conjunto de chapas de 20 mm de espessura.

Esta foi projetada de forma a que as cargas fossem o mais diretamente possível descarregadas sobre as rodas, evitando que esta esteja a trabalhar à flexão. O sistema de elevação, colocado imediatamente acima das rodas frontais, descarrega toda a sua carga sobre estas. Por sua vez, as chapas de contrapeso estão dispostas sobre a roda traseira com o mesmo objetivo.

4.5 Estabilidade do AGV

Em mecanismos deste tipo, existe a possibilidade destes capotarem quando a carga que se tenta manipular excede determinado valor. A estabilidade do veículo é assegurada quando a massa total do veículo é pelo menos igual à carga a manipular e o centro de massa deste se encontra à mesma distância do eixo de possível instabilidade, neste caso, o eixo que contem as rodas frontais, que o centro de massa da carga. No caso da massa do conjunto ser inferior à massa da carga, o centro de massa deste deve estar mais afastado do referido eixo. Na situação inversa, este pode localizar-se mais próximo do eixo, mas sempre garantindo o equilíbrio de momentos.

A Figura 4.20 ajuda a perceber o parágrafo anterior. Nesta, entenda-se M_1 e M_2 como as massas do veículo e da carga a manipular, respetivamente, e d_1 e d_2 as distâncias dos respetivos centros de massa ao eixo de instabilidade.

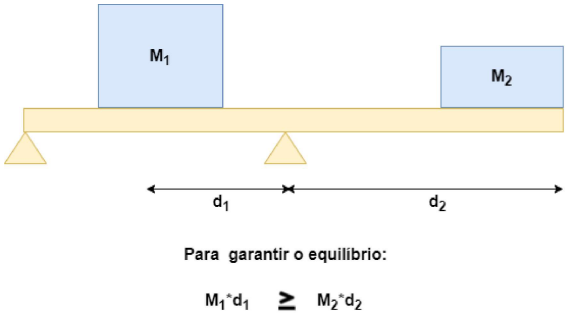


Figura 4.20: Estabilidade de uma Estrutura Contrabalançada

A massa total dos componentes do AGV não é suficiente para garantir a sua estabilidade. Assim, foi necessário projetar contrapesos, um conjunto de massas "mortas"que tem unicamente a função de garantir o equilíbrio do veículo. Os contrapesos são tipicamente feitos a partir de blocos de cimento, ferro fundido ou recipientes de areia. Neste caso concreto, o contrapeso resultará do empilhamento de chapas de aço de 25 mm de espessura (máxima espessura possível de obter através de corte a laser), cortadas com uma geometria que permite o máximo aproveitamento do espaço disponível no AGV.

Para a determinação da quantidade de chapas necessárias, recorreu-se à ajuda do *SolidWorks*, que permite a visualização do centro de massa dos conjuntos. Para o efeito, considerou-se que a carga total a elevar é de 4500 kg, que resulta da majoração da carga máxima especifica para o veículo por um coeficiente de segurança de 1.5, que permite absorver possíveis deslocamentos do centro de massa derivados de cargas excessivas ou travagens bruscas, ainda que a velocidade de funcionamento do AGV seja bastante reduzida. Assim, conclui-se que são necessárias 56 chapas para se obter um contrapeso capaz de garantir a estabilidade do veículo. A disposição dos contrapesos na estrutura do AGV pode agora ser observada na Figura 4.21.

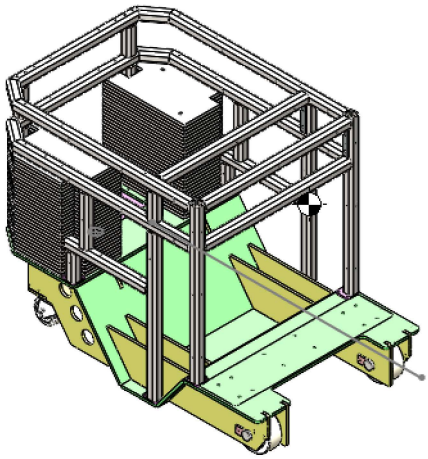
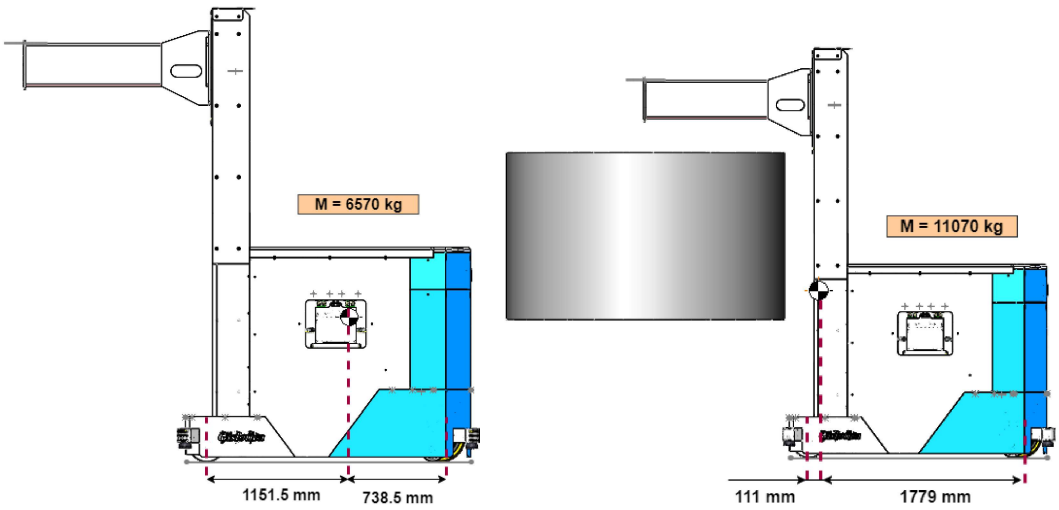


Figura 4.21: Estrutura do AGV com Contrapesos

4.6 Rodas e Motorizações do AGV

Conforme apresentado no Capítulo 3, optou-se por um AGV com as rodas na configuração triangular. Um dos fatores que condiciona o modelo de rodas a escolher é, logicamente, a carga que estas terão de suportar. A carga máxima ocorre nas diferentes rodas em situações distintas, isto é, as rodas frontais serão mais carregadas quando o AGV está a manusear o pneu, contrariamente à roda traseira que é mais solicitada durante o movimento em vazio. Assim, é necessário analisar as duas situações possíveis, ilustradas pela figura 4.22, para avaliar a carga a que cada roda estará sujeita.



(a) Carga em Vazio (b) Carga em Operação

Figura 4.22: Análise de Carga Sobre as Rodas

Se considerar-mos as rodas do AGV como apoios, a determinação das carga a que cada roda está submetida pode ser efetuada pela análise do equilíbrio estático da estrutura:

- **Carga em Vazio:**

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow (-6570 * 9.81 * 1151.5) + (R_{B,y} * (1151.5 + 738.5)) = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{B,y} \approx 39267.8N \approx \textbf{4003 kg}$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow (2 * R_{A,y}) + (-6570 * 9.81) + (39267.8) = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{A,y} = 12591.95N \approx 1283kg$$

- **Carga em Operação:**

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow (-11070 * 9.81 * 111) + (R_{B,y} * (111 + 1779)) = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{B,y} \approx 6377.9N \approx 650kg$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow (2 * R_{A,y}) + (-11070 * 9.81) + (6377.9) = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{A,y} = 51109.4N \approx \textbf{5209.9 kg}$$

em que os índices A e B dizem respeito às rodas frontais e traseira, respetivamente e o fator 2 que surge na equação de equilíbrio de forças verticais é devido à existência de 2 rodas na parte frontal.

Assim, do lado da carga dispõe-se de duas rodas de nylon fundido, um material indicado para grandes cargas. Para a carga calculada, o modelo de 200 mm de diâmetro era suficiente mas, por questões de proporcionalidade, selecionou-se o modelo de 300 mm de diâmetro e 110 mm de largura que apresentam capacidade de carga de 10000 kg cada uma.

Do lado oposto, uma só roda é responsável pela tração e direção do AGV. Existem no mercado várias ofertas de soluções deste tipo e após uma procura minuciosa e alguns contactos com os fornecedores, concluiu-se que a melhor opção seriam os modelos da empresa Tekno MP [25], uma empresa dedicada ao projeto de acionamentos para veículos elétricos. Selecionou-se o modelo TV 400, apresentado na Figura 4.23, que permite uma carga até 4300 kg, fornecido com uma roda de 406 mm de diâmetro e 178 mm de largura. A folha de especificações deste modelo pode ser encontrada no Anexo B.

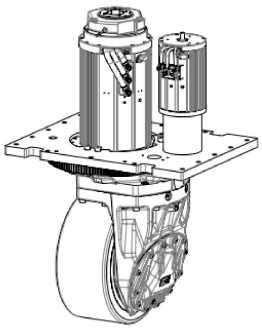


Figura 4.23: Modelo TV 400 [25]

Após contacto com o fabricante, conclui-se que este modelo pode ser fornecido unicamente formado pela roda e a redutora motriz. Tendo sido esta a decisão tomada que oferece a liberdade de utilizar qualquer tipo de motor, por exemplo uma opção hidráulica, e ainda porque nas máquinas que a Gislotica produz, o fabricante dos motores é frequentemente definido pelos clientes, por motivos como por exemplo esse fabricante estar representado no país de destino da máquina. Além disso, deste modo conseguimos ter o mesmo fabricante para a motorização e para o sistema de elevação e trabalhar com os fornecedores habituais.

Por fim, os motores que o fabricante utiliza para este modelo aplicado para a sua carga máxima são de tipicamente 80V e a tensão de alimentação que se espera ter é de 48V.

4.6.1 Binário de Tração

O binário de tração é o binário necessário para colocar e manter o veículo em movimento. Para a sua determinação, desprezaram-se as forças aerodinâmicas pois a velocidade de circulação é consideravelmente baixa, e considerou-se a inclinação do piso máxima de 1^{o} que permite contemplar mínimos desníveis que possam existir no piso industrial. Este desnível considerado é apenas por segurança, pois o chão deste tipo de fábricas sofre, normalmente, um processo de maquinagem que permite eliminar desníveis que possam ter surgido durante a sua construção.

Numa fase inicial, para além de superar o atrito, é necessário vencer as inércias do conjunto de modo a tirá-lo do repouso. Após se atingir a velocidade de circulação, o atrito e o desnível são as únicas oposições ao movimento que devem ser vencidas. Nestes casos, o atrito existente é denominado de atrito rolante, um caso específico de atrito dinâmico que ocorre quando a superfície de um corpo rola sobre a superfície do outro sem escorregar.

O coeficiente de atrito rolante depende do material das rodas e do tipo de piso sobre o qual estas se vão movimentar. Por consulta dos catálogos e informações obtidas junto dos fornecedores, conclui-se que este coeficiente varia ligeiramente da fase de arranque para a fase de movimento, e é aproximadamente igual para todas as rodas, tomando valores de 1-1.4% para a situação de arranque, caindo para 0.8-0.9% após ser estabelecido o movimento. Para efeitos de cálculo será considerado o valor mais desfavorável em cada situação.

Para efeitos de cálculo, considerou-se a massa total do conjunto igual a 11070 kg, um valor que resulta da majoração da carga a elevar por um coeficiente de 1.5. Note-se que este valor servirá para a seleção dos motores, normalmente não seria necessário considerar qualquer majoração, a razão pela qual esta se considerou foi para contemplar a massa dos componentes que ainda não estão presentes no modelo, como parafusos, *servodrives*, fios elétricos e respeticas calhas, entre outros.

Assim, o binário motriz deve ser determinado para ambas as situações:

- **Movimento Uniforme**

  Após atingida a velocidade máxima, é apenas necessário vencer a força de atrito e a componente do peso que se opõe ao movimento devido ao desnível do piso considerado.

  Embora a roda motriz não suporte toda a carga e esta seja distribuída pelas 3 rodas, para a situação de cálculo deve considerar-se o valor da massa total do conjunto, uma vez que é apenas a roda motriz a responsável pela tração do veículo.

  Como se pode observar na Figura 4.24, o valor absoluto da reação normal, que é igual à componente do peso perpendicular ao piso, é dada por:

$$11070 * 9.81 * cos(1^\circ) \approx 108580.2N$$

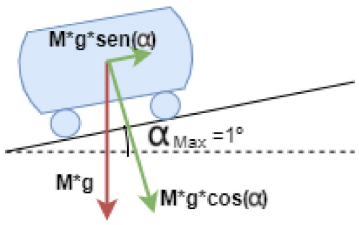


Figura 4.24: Decomposição da Peso

  Assim, a força de atrito rolante será:

$$F_a = 108580.2 * 0.009 = 977.2N$$

  Por sua vez, a componente do peso que se opõe ao movimento devido ao desnível do piso é (ver Figura 4.24):

$$11070 * 9.81 * sen(1^\circ) \approx 1895.3N$$

  Desta forma, na situação de movimento uniforme, a força total que é necessária vencer é dada pela soma das anteriores:

$$F_{Total,uniforme} = 977.2 + 1895.3 = 2872.5N$$

  Considerando o raio da roda de tração de 203 mm, o binário necessário para manter o veículo em movimento uniforme é dado por:

$$M_{uniforme} = 2872.5 * (203 * 10^{-3}) \approx 583.1N.m$$

- **Movimento Acelerado**

  Para colocar o veículo em movimento é necessário exercer uma força adicional sobre este capaz de vencer a sua inércia que pode ser determinada pela segunda lei de Newton, também conhecida como a lei fundamental da dinâmica, que se encontra enunciada na equação 4.20.

$$\overrightarrow{F}_{Res} = m * \overrightarrow{a} \tag{4.20}$$

  A aceleração depende do velocidade máxima e do intervalo tempo em que se pretende que esta seja atingida. Como se viu no Capítulo 3, a legislação aplicável permite que estes veículos circulem no máximo a 1.2 m/s. Uma vez que se trata de um AGV de grande massa, optou-se por impor uma velocidade de circulação ligeiramente inferior de 1 m/s, e definiu-se um tempo de aceleração de 4 segundos. A Figura 4.25 permite visualizar o perfil de velocidade que se pretende.

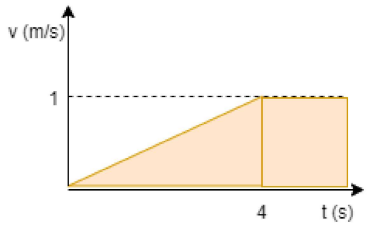


Figura 4.25: Perfil de Velocidade

Então, para cumprir os requisitos impostos, a aceleração do conjunto terá de ser:

$$\overrightarrow{a} = \frac{\overrightarrow{v}}{\delta t} = \frac{1}{4} = 0.25 m/s^2$$

Desta forma, e de acordo com a equação 4.20, a força necessária para acelerar o conjunto é:

$$\overrightarrow{F}_{acel} = 11070 * 0.25 = 2767.5N$$

Como já foi referido, a resistência ao rolamento é maior na fase de arranque e como tal, é necessário recalcular a força de atrito para esta situação:

$$F_a = 108580.2 * 0.014 \approx 1520.1N$$

A componente do peso que se opõe ao movimento mantêm-se e já foi calculada para a situação de movimento uniforme. Como tal, a força total a vencer nesta situação será:

$$F_{Total,acel} = 1520.1 + 1895.3 + 2767.5 = 6182.9N$$

Assim, o binário necessário para acelerar o conjunto é dado por:

$$M_{Total,acel} = 6182.9 * (203 * 10^{-3}) \approx 1255.1 N.m$$

O binário de tração máximo ocorre durante a fase de arranque quando o AGV se encontra carregado. É importante verificar a condição de não escorregamento, isto é, que a roda não vai escorregar quando se acelera o veículo.

Na situação de carregado, o peso sobre a roda motriz é de 650 kg e o coeficiente de atrito estático das rodas sobre piso industrial é indicado pelo fornecedor como 1. Assim, a força de atrito estático será:

$$F_a = 650 * 9.81 * cos(1^\circ) * 1 \approx 6375.5 N$$

Como tal, o binário necessário para vencer esta força é:

$$M = 6375.5 * 0.203 \approx 1294 N.m$$

Como este binário é superior ao necesssário para acelerar o veículo, está verificada a condição de não escorregamento. Apesar do seu valor ser bastante próximo, relembre-se que o binário de aceleração se encontra majorado, e como tal, não devem surgir problemas de escorregamento nesta situação.

4.6.2 Binário de Direção

O conjunto selecionado para efetuar a motorização é fornecido com uma engrenagem que é responsável pela direção da roda. Essa engrenagem é composta por uma roda dentada de 138 dentes e um pinhão de 22 dentes, que corresponde a uma multiplicação de binário de 6.27 (138/22). À entrada do pinhão, o fabricante indica que o binário necessário para a carga de 4300 kg sobre a roda é de 123.3 N.m.

4.7 Seleção de Materiais

A seleção de materiais constitui uma fase importante do projeto mecânico e é esta que muitas das vezes determina o comportamento da estrutura durante o seu funcionamento.

O custo, as propriedades mecânicas e a massa específica do material são alguns exemplos de fatores que podem levar à seleção de um material em detretimento doutros.

O AGV é formado por um conjunto de peças *standard* que interagem entre si através de outras peças desenhadas para esse efeito. A escolha dos materiais foi feita à medida que os componentes foram projetados e dimensionados contudo, só agora se apresenta a justificação da sua escolha.

Relativamente às primeiras, a sua seleção foi feita com base numa pesquisa das soluções que o mercado tem para oferecer, procurando aquelas que se revelam as mais adequadas e que atendem aos requisitos da aplicação em causa. O material destas é obviamente definido pelo seu fabricante devendo ser efetuada uma verificação da sua capacidade de carga, rigidez e/ou resistência quando necessário.

As restantes peças foram projetadas com o objetivo de serem obtidas pelos processos de fabrico comuns. Uma vez que se trata de um AGV contrabalançado para cargas elevadas, é necessário uma estrutura rígida e resistente e não há propriamente uma preocupação na redução da massa do conjunto pois, como se viu, foi necessário acrescentar contrapesos para aumentar a massa do AGV de forma a garantir o equilíbrio da estrutura. Assim, não houve dúvida que a generalidade dos componentes seriam obtidos a partir de aço, reservando-se a utilização de alumínio para a base de apoio do macaco de elevação e para a flange de ligação entre o motor e a roda motriz, uma vez que estes são componetes apenas sujeitos a esforços de tração/compressão e a sua geometria exige que sejam obtidos pelo processo de fresagem, sendo este mais acessível em peças de alumínio.

De um modo geral, todas as peças foram dimensionadas para serem obtidas em aço S235 JRC segundo a norma europeia, vulgarmente designado na indústria por St 37, que advêm da sua designação segundo a norma DIN. Este é um aço de construção de baixo carbono para aplicações estruturais, e o fator que levou à sua seleção foi o seu baixo custo.

Contudo, foi necessário selecionar outros materias para determinadas peças devido à sua aplicação ou ao processo de fabrico a que vão ser submetidas. É o caso da estrutura soldada da base do AGV e da base móvel do sistema de elevação, que são estruturas de elevada espessura obtidas pelo processo de soldadura. Para estes, selecionou-se o aço S355 J0/J2, vulgarmente designado por St 52, um aço de construção não ligado que tem um

largo campo de aplicações principalmente na construção soldada.

Além destes, optou-se pelo aço 34 CrNiMo 6, reconhecido como FR 3, para o veio das rodas frontais do AGV. Trata-se de um aço ao crómio-níquel-molibdénio tratado para aplicações de esforço superior aos aços de construção ao carbono, indicado para elementos de máquinas como veios e cavilhas.

Como já foi referido, os peças obtidas por fresagem e apenas submetidas a esforços de tração/compressão são obtidas em alumínio, sendo o alumínio escolhido o AW 5083, com boas propriedades de maquinagem e custo moderado.

4.8 Resultado Final

Nas secções anteriores, foram apresentados os componentes que exigiram uma atenção redobrada e dimensionamento durante o seu projeto. Para além destes, uma série de outros componentes foram também modelados, como flanges, espaçadores, blindagens, e outros elementos considerados não estruturais, mas indispensáveis ao resultado que agora se revela na Figura 4.26.

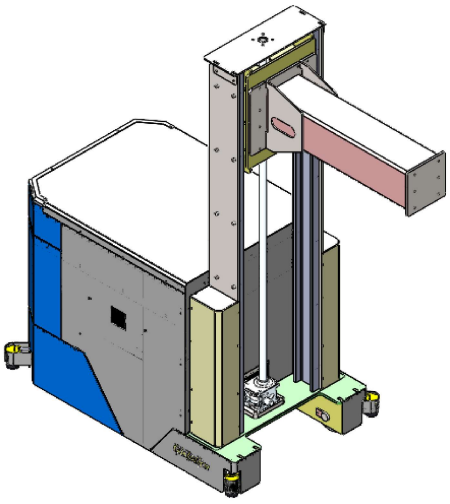


Figura 4.26: Modelo de AGV Desenvolvido

Todos os componentes fazem parte do projeto final e os seus desenhos técnicos de fabrico e montagem podem ser encontrados no Anexo A.

Na Figura 4.27, podem ser visualizadas as cotas de atravancamento do AGV desenvol-

vido, e as suas características mais relevantes podem ser consultadas na Tabela 4.6.

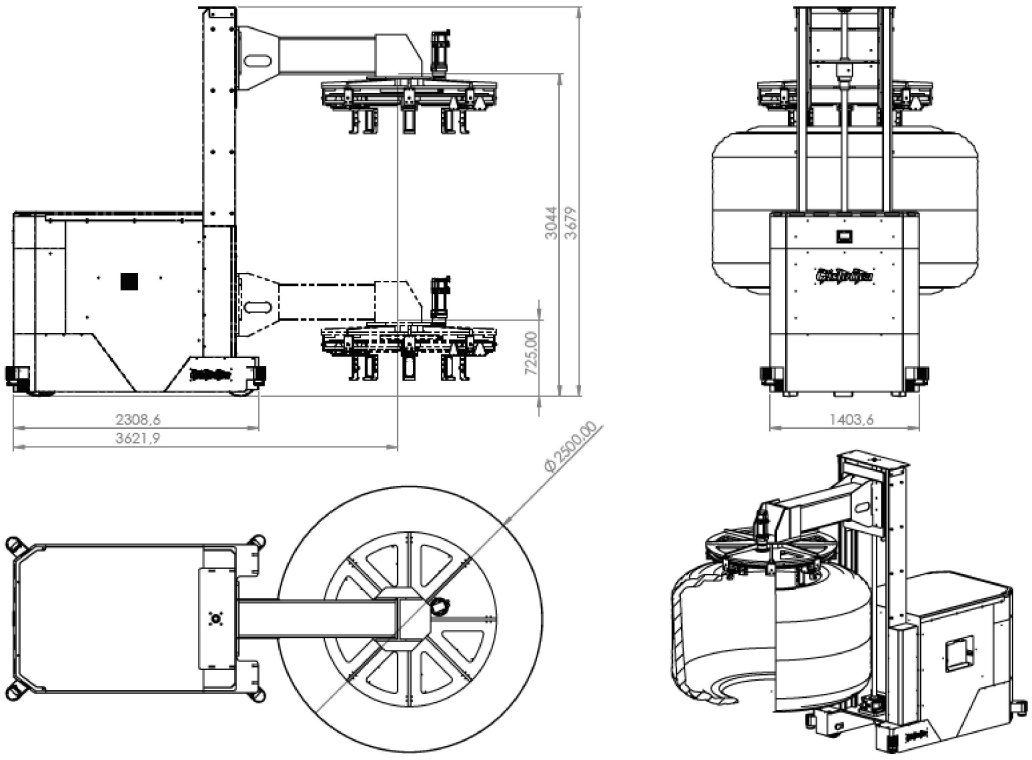


Figura 4.27: Atravancamento do AGV

Tabela 4.6: Propriedades do AGV

Descrição Geral	
AGV 100% elétrico para o transporte por *gripper* de pneus em verde de grandes massas e dimensões.	
Especificações Técnicas	
Capacidade de Carga	3 000 kg
Peso em Vazio	6570 kg
Peso em Carga Máxima	9570 kg
Velocidade de Circulação Máxima	1 m/s
Velocidade de Elevação Máxima	30 mm/s
Baterias	4 x 12V 200Ah
Autonomia em Contínuo	Mín. 3 h

Capítulo 5

Técnicas de Corte e Soldadura

Neste capítulo apresentam-se alguns aspetos a ter em conta durante a modelação e ainda as técnicas de corte e soldadura de perfis, nomeadamente do perfil quadrado utilizado na estrutura do AGV. É ainda apresentado um *gabarit* [1] de soldadura desenvolvido para garantir a geometria pretendida da estrutura tubular.

5.1 Notas Sobre Modelação

A modelação de elementos tridimensionais através de meios computacionais, permite obter modelos representativos dos componentes com as dimensões precisas. Na prática, é necessário levar em consideração pequenos desvios dimensionais que ocorrem nas peças por exemplo devido à precisão do processo de fabrico pela qual foram obtidas. Em casos em que é necessário garantir um determinado tipo de ajuste, como é o caso de veios onde serão montados rolamentos ou aplicações de alta precisão, recorre-se a tolerâncias geométricas, que devem ser cumpridas durante o processo de fabrico e que garantem que as dimensões das peças não variam mais que determinados valores tolerados, permitindo assim a correta interação dos diferentes componentes.

Quando falamos de estruturas soldadas, não há a preocupação de ter tolerâncias pequenas mas antes uma mínima folga entre os componentes. Primeiro porque peças com pequenos desvios dimensionais são mais caras, e segundo, essa folga permite a montagem dos componentes na posição pretendida mais facilmente e não afeta o desempenho da

[1] Estrutura de posicionamento de componentes a soldar

estrutura uma vez que essa é depois preenchida pelo cordão de soldadura.

Na sua generalidade, os diferentes conjuntos que compõem o AGV resultam da construção soldada de chapas ou perfis obtidos por corte a laser. Para garantir o posicionamento pretendido dos conjuntos a soldar, recorre-se frequentemente a uma técnica que consiste em criar encaixes do tipo macho e fêmea que tornam a montagem do conjunto tão simples como a montagem de um puzzle, reduzindo bastante o tempo despendido na montagem e os erros de posicionamento.

Hoje em dia, a tecnologia de corte a laser permite obter precisões de corte de 0.1 mm e por isso, para garantir que é possível encaixar os componentes através da técnica acima descrita, é necessário que os encaixes do tipo fêmea apresentem uma ligeira folga. Na Gislotica, para peças obtidas por corte a laser deixa-se uma folga de 0.2 mm ao longo de todo o perímetro de encaixe.

Este método de corte apresentam ainda a limitação de não conseguir efetuar cortes interiores com cantos retos ficando estes com um acabamento ligeiramente arredondado. De forma a contornar este problema, faz-se um pequeno furo nestes cantos durante a modelação, de forma a alterar ligeiramente a trajetória do laser durante a fase de corte, evitando assim a existência de material indesejado nessas zonas. O vazio que resulta desse furo é depois preenchido com soldadura.

A Figura 5.1 ajuda a percerber melhor os aspetos descritos nos parágrafos anteriores. Como exemplo, considerou-se o caso em que se pretendia a soldadura de duas chapas de 5 mm de espessura.

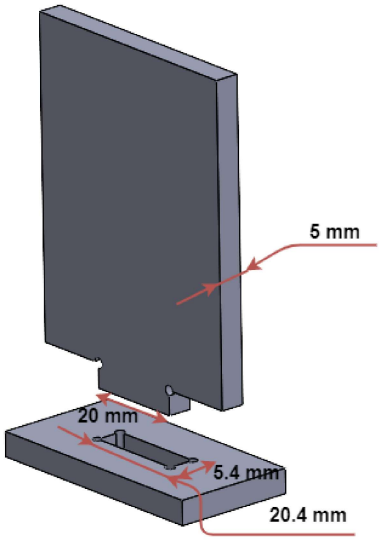


Figura 5.1: Técnica de Corte a Laser

5.2 Técnica de Corte e Soldadura de Perfis

A facilidade com que os perfis tubulares se encontram no mercado, combinada com as suas propriedades mecânicas e o preço reduzido, quando comparado com outras alternativas, fazem destes um componente frequentemente utilizado como elemento estrutural.

5.2.1 Corte do Perfil

Nos dias de hoje, a tecnologia de corte mais utilizada nesta área é o corte por laser, um processo de separação de materiais capaz de cortar chapas de aço até aos 25 mm de espessura com boa precisão e que permite uma enorme liberdade de contornos e formas que se pretendem cortar.

O princípio de funcionamento assenta na fusão do material provocada por um raio laser, que foca toda a potência num ponto geralmente com menos de meio milímetro de diâmetro. Portanto, facilmente se compreende que um dos fatores que influencia o custo do processo de corte é a espessura do material pois a potência consumida será tanto maior quanto maior for a espessura a cortar.

No caso de perfis fechados, como por exemplos tubos quadrados ou retangulares, o problema surge quando é necessário cortes em ângulo, vulgarmente designados por cortes

em esquadria. Vejamos o exemplo do perfil quadrado utilizado na estrutura do AGV, com 80 mm de lado e 10 mm de espessura.

Quando se pretende montar um conjunto como o da Figura 5.2 por exemplo, este é formado por dois tubos cortados em esquadria posteriormente soldados. O corte em ângulo em cada um deles deve ser metade do ângulo que se pretende obter na montagem, isto é, no caso apresentado os tubos formam um conjunto a 90º, portanto, cada um deles deve ser cortado a 45º.

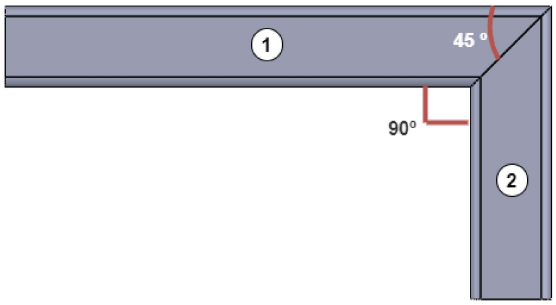


Figura 5.2: Conjunto em Esquadria

Os sofisticados sistemas de corte da atualidade, fazem com que este tipo de cortes não represente um problema. Contudo, embora neste caso o tubo tenha 10 mm de espessura, existirão zonas em que o laser terá de cortar uma espessura superior, devido a questões meramente geométricas (ver Figura 5.3). O aumento da espessura nessas zonas traduz-se num aumento da potência consumida e, portanto, no aumento do custo final.

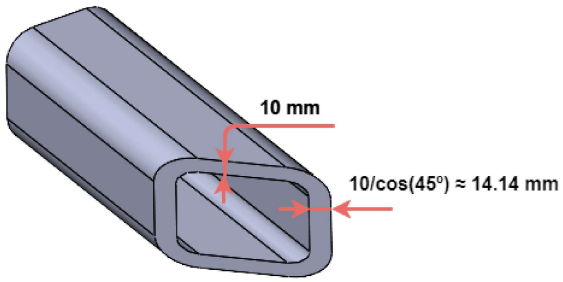
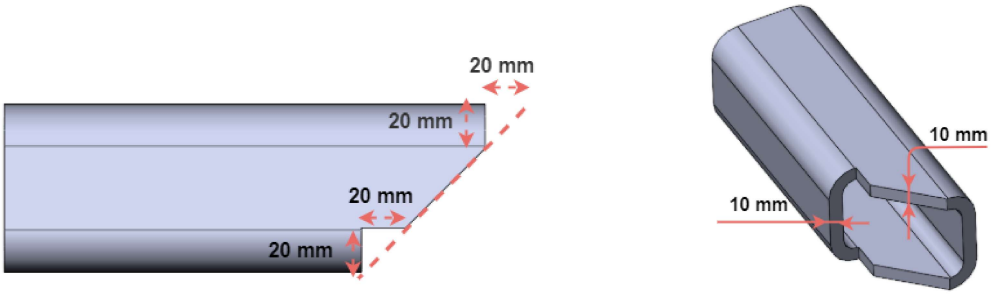


Figura 5.3: Espessura de Corte

Na indústria, a solução encontrada para evitar este fenómeno é não cortar materiais em ângulo ao longo da sua espessura e a forma como isso se consegue mantendo o resultado final é antecipando o corte das paredes apresentariam maior espessura de corte, uma

distância que depende do raio de curvatura exterior do perfil (ver Figura 5.4a).



(a) Técnica de Corte (b) Espessura de Corte

Figura 5.4: Corte de Perfis

Se esta técnica de corte for adotada, o resultado que se obtém é o que agora se pode visualizar na Figura 5.5. Os vazios que dela resultam devem ser preenchidos durante a fase de soldadura.



Figura 5.5: Novo Conjunto em Esquadria

Apesar de esta ser a técnica usualmente utilizada, esta é difícil de aplicar em perfis com espessura superior a 5 mm ou para ângulos superiores a 30^{o} uma vez que os vazios a preencher se tornam demasiado grandes e como tal o seu preenchimento é quase impraticável. Assim, este método teve que ser abandonado e o projeto da estrutura teve de ser adaptado para evitar construções com esta geometria. O método alternativo será apresentado mais adiante neste capítulo.

Ainda sobre técnicas de corte de perfis, a técnica dos entalhes, apresentada na secção anterior, é também muito utilizada, contudo o problema desta é o mesmo que o anterior, devido à espessura do perfil, os cortes dos encaixes do tipo fêmea retiram muito material ao perfil e em alguns casos não se consegue efetuar cordões de soldadura nessas zonas o que se traduz numa perda significativa de resistência mecânica.

5.3 *Gabarit* de Soldadura

Para contornar as limitações das técnicas apresentadas acima, para além de evitar montagens em esquadria, desenvolveu-se um *gabarit* para auxiliar o processo de soldadura da estrutura tubular, que permite o correto posicionamento dos elementos a soldar sem a necessidade de encaixes.

Este gabarit consiste numa chapa obtida por corte a laser com pequenas extensões soldadas (ver Figura 5.6), desenhada de tal forma que permite o encaixe dos vários perfis a soldar na posição pretendida em diferentes etapas da construção da estrutura tubular, recorrendo apenas a um único *gabarit*.

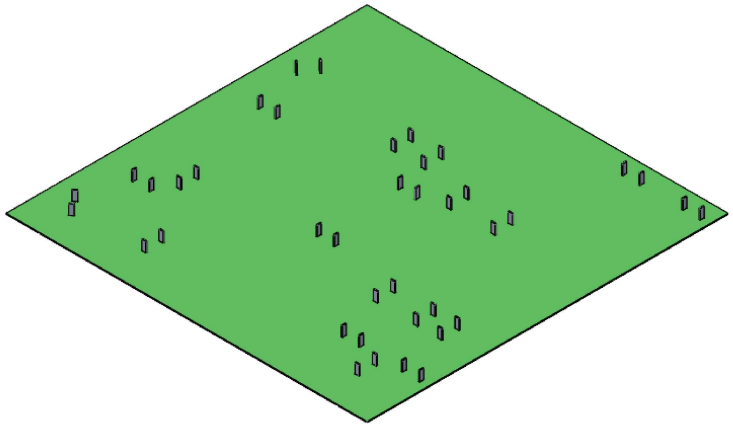


Figura 5.6: *Gabarit* de Soldadura

5.3.1 Etapas de Soldadura da Estrutura Tubular

A estrutura tubular final é obtida por soldadura de pequenos subconjuntos que devem ser também eles soldados previamente com a ajuda do *gabarit* preparado para o efeito. A sequência de soldadura que permite a obtenção do conjunto final é a que a seguir se apresenta:

1. **Laterais do AGV**: Os conjuntos que constituem as laterais do AGV devem ser os primeiros a serem montados. Esta sequência deve ser repetida duas vezes para montar as laterais direita e esquerda e, apesar de ser soldada com ajuda do *gabarit*,

é uma etapa que exige bastante cuidado, de modo a que os furos e entalhes que existem nos perfis fiquem direcionados para o lado que se pretende. A disposição dos perfis pode ser visualizada na Figura 5.7.

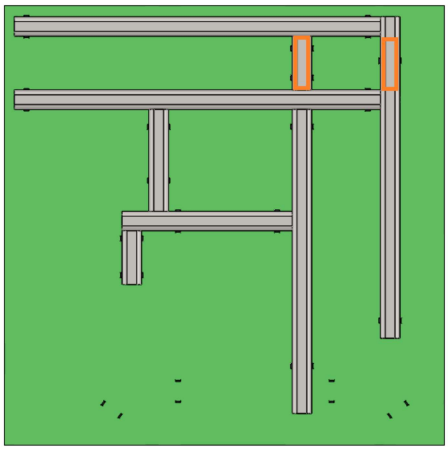


Figura 5.7: Primeira Etapa de Soldadura

Ainda nesta etapa, devem ser soldadas as chapas nas zonas de aperto do sistema de elevação, indicadas na Figura 5.7 com a marca cor de laranja, que foram projetadas unicamente com a finalidade de aumentar a espessura da parede para que a rosca tenha profundidade suficiente para apertar o sistema de elevação com parafusos M16. Nestas situações, a profundidade deve ser no mínimo igual ao diâmetro nominal do parafuso.

2. **Cantos Traseiros**: A segunda etapa consiste na soldadura dos cantos traseiros do AGV. Esta etapa é também repetida 2 vezes com a ajuda do *gabarit*, conforme evidenciado pela Figura 5.8.

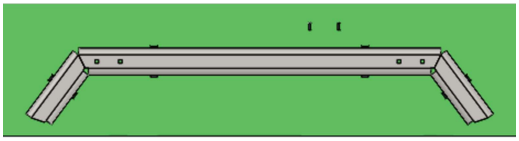


Figura 5.8: Segunda Etapa de Soldadura

3. **Retaguarda**: Com os cantos soldados, pode agora fazer-se a montagem do conjunto que constituirá a retaguarda do AGV. A soldadura deste é auxiliada por pequenos entalhes conforme a técnica acima apresentada, e o seu aspeto final pode ser observado na Figura 5.9.

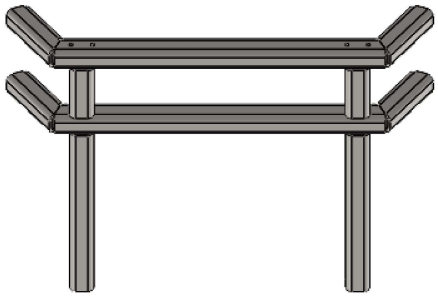


Figura 5.9: Terceira Etapa de Soldadura

4. **Soldadura dos Subconjuntos e das Flanges de Fixação**: As etapas anteriores permitiram obter os subconjuntos agora necessários para a montagem final da estrutura tubular do AGV, devendo estes ser soldados de forma a obter-se um conjunto com o aspeto da Figura 5.10.

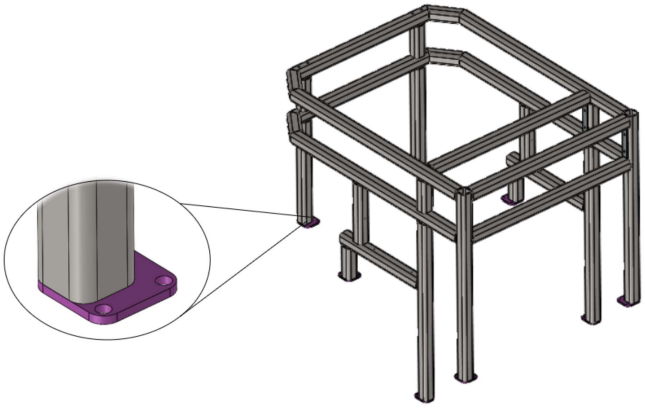


Figura 5.10: Quarta Etapa de Soldadura

Por fim, já com toda a estrutura formada, devem apenas soldar-se as flanges que vão permitir a fixação deste conjunto à base do AGV através de ligações aparafusadas.

Capítulo 6

Seleção de Motores e Componentes Elétricos

Neste capítulo é apresentada a seleção dos motores e a verificação das baterias pré-selecionadas tendo em conta os parâmetros de atuação do AGV e do sistema de elevação determinados no Capítulo 4.

Note-se que o objetivo da presente dissertação é o desenvolvimento do projeto mecânico e estrutural do AGV, ainda assim, e uma vez que era importante considerar os motores e as baterias, fez-se uma análise, ainda que simplista, sobre os mesmos.

6.1 Conversor de tensão

Os cálculos preliminares de requisitos de potência, que se apresentam na secção seguinte, revelaram a necessidade de potências elevadas. Após uma pesquisa pelo mercado, verificou-se que não existem motores de 48V nos fornecedores habituais com as potências que esta aplicação exige. Para contornar este problema, a equipa de engenharia da Gislotica sugeriu avaliar a possibilidade de se fazer uma aplicação servomotora convencional. Entenda-se por aplicação servomotora convencional, o recurso a servomotores que são alimentados através de uma tomada elétrica por corrente alternada, tipicamente trifásica.

Para isso, entenda-se primeiro o principio de funcionamento de um equipamento deste género. Quando se pretende controlar um servomotor, utiliza-se um *servodrive*, que não é mais que a unidade de controlo e processamento do motor. Esse equipamento, normalmente alimentado por corrente alternada, converte a tensão AC recebida em tensão DC,

vulgarmente designada por *DC-LINK* ou *DC-Bus* em valores que rondam os 600V. Depois, em função do processamento efetuado e da ordem que se pretende executar, esse *servo-drive* irá pegar nessa tensão disponível no *DC-LINK* convertendo-a em AC, com tensões e frequências variáveis, para alimentar o servomotor.

A ideia que se pretende estudar, é a possibilidade de alimentar o *servodrive* diretamente com o *DC-LINK*, eliminando a sua primeira função de conversor. Após apresentar a ideia junto dos fornecedores habituais, conclui-se que esta é possível de executar, sendo uma alternativa bastante utilizada em AGV's elétricos de grandes cargas. A SEW [26], uma empresa alemã dedicada ao fabrico de tecnologias de acionamento, foi o fornecedor com parecer mais favorável, informando que os seus *servodrives* deveriam ser alimentados a 600V neste tipo de aplicações.

Nesta fase, foi necessário procurar no mercado conversores de tensão que permitam transformar os 48V DC das baterias em 600V DC, uma solução nunca utilizada na Gislotica até aos dias de hoje. Após uma pesquisa pelo mercado e contacto com alguns fornecedores deste tipo de equipamentos, considerou-se que a Epic Power [27] apresentava a melhor proposta para esta aplicação, aliada à sua experiência uma vez que já tem implementados sistemas semelhantes.

O modelo **EPC 5k5 648i**, que pode ser visto na Figura 6.1, é o que dá resposta aos requisitos de potência deste projeto, e permite uma transformação dos 48V das baterias para tensões no intervalo de 500 - 849V. A folha de especificações deste modelo pode ser encontrada no Anexo C.



Figura 6.1: Conversor EPC 5k5 648i [27]

Existe ainda a possibilidade de associar vários conversores em paralelo de modo a aumentar a gama de potências permitidas.

6.2 Selecção de motores

Para uma determinada aplicação, quase sempre existe um conjunto variado de motores que satisfazem os seus requisitos. Diferentes tipos, tamanhos, ou fabricantes podem dar resposta à mesma aplicação.

Para esta aplicação, pretende-se que todos os acionamentos sejam efetuados por servomotores, através do processo descrito na secção anterior. Nesta fase é importante conhecer os diferentes tipos de servomotores existentes. Para além de monofásicos e trifásicos, distinguem-se duas grandes categorias, os servomotores síncronos e assíncronos. A principal diferença entre estes é que os primeiros giram com velocidade constante, independentemente da variação da carga, sendo essa velocidade conhecida como velocidade síncrona, e isso ocorre porque a velocidade do campo magnético girante depende da frequência da alimentação. Por sua vez, os motor assíncronos giram com velocidade ligeiramente menor que a velocidade de rotação do campo girante do estator. Sendo assim, o rotor não está sincronizado com esse campo girante e daí advém a sua designação de assíncrono.

Os servomotores síncronos oferecem, na sua generalidade, maior desempenho principalmente quando existem requisitos de posicionamento e controlo com elevada exatidão de velocidade ou binário. Além disso, o rotor deste tipo de equipamentos apresenta menor inércia que se traduz num menor tempo de resposta. Uma das desvantagens da utilização deste tipo de motores é o seu custo superior face aos motores assíncronos.

Assim, para a direção do AGV, devido à grande dinâmica do movimento, será selecionado um servomotor síncrono. Para a tração do AGV, embora a dinâmica não seja elevada, pode ser necessário ter grande controlo de velocidade, por isso serão apresentadas duas seleções, uma respeitante a um motor síncrono e outra a um motor assíncrono. Para o sistema de elevação, apenas se considerou um motor assíncrono.

A seleção dos motores inicia-se pela análise dos requisitos da aplicação, nomeadamente os binários em contínuo e máximo e a velocidade de rotação, devendo as especificações do motor ser ligeiramente superiores aos requisitos garantindo assim alguma margem de segurança.

Posteriormente, essa pré-seleção deve ser validada com o cálculo do binário efetivo e

da velocidade de rotação efetiva de acordo com as expressões 6.1 e 6.2.

$$T_{efetivo} = \sqrt{\frac{1}{t_{ciclo}} * (T_1^2 * t_1 + T_2^2 * t_2 + ... + T_i^2 * t_i} \tag{6.1}$$

$$n_{efetiva} = \sqrt[1.5]{\frac{1}{t_{ciclo}} * (n_1^{1.5} * t_1 + n_2^{1.5} * t_2 + ... + n_i^{1.5} * t_i} \tag{6.2}$$

onde T representa o binário, n a velocidade de rotação e t o intervalo de tempo .

Estes podem ser entendidos como parâmetros médios que dependem do ciclo de trabalho do equipamento, isto é, quais os binários e velocidades de rotação requeridas durante determinados períodos do tempo de ciclo total. Estes valores permitem marcar um ponto no gráfico das curvas de utilização do motor, normalmente curvas que expressam o binário disponível em função da velocidade de rotação, devendo este encontrar-se abaixo das referidas curvas. Uma vez que este é um equipamento novo, ainda sem ciclo de trabalho definido, esta validação não será possível, devendo ser validada no futuro.

Outro fator a ter em conta, é a razão de inércias, um parâmetro determinado pelo cociente da inércia da carga pela inércia do motor. Na prática, este fator indica a maior ou menor dinâmica da atuação, isto é, a maior ou menor rapidez de movimentos de aceleração e desaceleração. Normalmente, o seu valor depende do tipo de motor, da marca e da aplicação, sendo recomendado pelo seu fabricante. Do lado do projeto, pode manipular-se a inércia da carga notada pelo motor através da utilização de caixas redutoras.

Após contacto com o fornecedor, não se obteve resposta, até à data de entrega da presente dissertação, da razão de inércias recomendada para esta aplicação. Realça-se aqui, que a insegurança relativa a este ponto é na seleção do motor de tração pois pode afetar a capacidade de desaceleração do veículo quando este encontrar algum obstáculo uma vez que a sua massa é elevada. Assim, do lado da programação, as áreas de segurança dos sensores de navegação deve ser alargada.

Em seguida, apresenta-se a seleção de motores da marca SEW. De referir, que esta não se trata de uma escolha efetiva devendo ser validada no futuro.

6.2.1 Motor de Tração

No capítulo 4 foi determinado o binário de tração nominal e de arranque necessário para movimentar o AGV, tendo-se obtido 583.1 N.m e 1255.1 N.m, respetivamente.

A velocidade de circulação será, como definido no Capítulo 3, de 1 m/s e pode ser relacionada com a velocidade de rotação da roda, de acordo com a expressão 6.3.

$$V = \omega * R \tag{6.3}$$

onde V representa a velocidade linear, ω a velocidade angular e R o raio da roda.

Então, a velocidade de rotação da roda motriz será:

$$\omega = \frac{1}{203 * 10^{-3}} \approx 4.93 rad/s \approx 47 rmp$$

O sistema de acionamento escolhido, é composto pela roda e por uma caixa redutora com razão de transmissão de tração de 1:24.4, que se traduz na diminuição do binário solicitado ao motor e no aumento da velocidade de rotação, na mesma razão. Assim:

$$M_{motor,nom} = \frac{583.1}{24.4} \approx 23.9 N.m$$

$$M_{motor,acel} = \frac{1255.1}{24.4} \approx 51.4 N.m$$

$$\omega_{motor} = 4.93 * 24.4 \approx 120.3 rad/s \approx 1149 rmp$$

Finalmente, a potência não é mais que o produto dos binários pela velocidade de rotação:

$$P_{nom} = 23.9 * 120.3 \approx 2.9 kW$$

$$P_{acel} = 51.4 * 120.3 \approx 6.2 kW$$

Estas potências estão dentro dos valores especificados pelo conversor. É necessário verificar ainda as correntes envolvidas. A potência elétrica pode ser determinada pela lei de Ohm que se encontra expressa na equação 6.4.

$$P = V * I \tag{6.4}$$

onde P representa a potência, V a tensão e I a intensidade de corrente. Sabendo que a tensão de alimentação dos drives é de 600 V, têm-se:

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{V} = \frac{2900}{600} \approx 4.83A$$

$$I_{acel} = \frac{P_{acel}}{V} = \frac{6200}{600} \approx 10.33A$$

Os resultados obtidos encontram-se também dentro da gama de valores permitidos.

Com base nos valores calculados, pode-se agora proceder à seleção do servomotor, tendo por base os binários de trabalho contínuo e em aceleração e a velocidade de rotação, selecionou-se o servomotor assíncrono **DRL100L4-FL-TF-ES7S**. Caso seja necessário utilizar um servomotor síncrono para um maior controlo de velocidade, o modelo **CM3C100M-20A-N** seria o selecionado. As especificações destes modelos podem ser encontradas no Anexo D.

6.2.2 Motor de Direção

O binário de direção bem como a velocidade com que se efetua a direção são parâmetros recomendados pelo seu fabricante. O binário foi já discutido no Capítulo 4, sendo o seu valor, à entrada do pinhão de 123.3 N.m.

Relativamente à velocidade de direção, este valor pode ser arbitrado mas recomendam que esta se efetue a aproximadamente 60 $^\circ/s$, o equivalente a 10 rpm, que se traduz a uma velocidade de rotação à entrada do pinhão de 62.7 rpm, equivalente a 6.57 rad/s, devido à relação de transmissão da engrenagem.

É sabido que assim que se consegue começar virar a roda, a força de atrito diminui, deixamos de estar perante uma situação estática, governada pelo atrito estático, e passamos para uma situação dinâmica, regida pelo atrito dinâmico, significativamente mais baixo. Contudo, uma vez que a direção pode ser um processo demorado e muito lento, os valores calculados devem ser interpretados como valores nominais, e não de pico, na escolha do servomotor.

Então, a potência nominal do motor será:

$$P_{nom} = 123.3 * 62.7 \approx 0.81kW$$

Como a gama de potências é mais baixa que as anteriores, não há a necessidade de se verificare a intensidade de corrente em circulação pois será inferior às calculadas anteriormente.

Como o binário de direção é elevado, considerou-se a utilização de uma caixa redutora. Na Gislotica, as caixas redutoras frequentemente utilizadas são do fabricante Wittenstein [28]. A sua escolha foi baseada na razão de transmissão, nos binários máximos que esta admite e no tamanho construtivo. Assim, optando-se por uma redução 1:50, a redutora selecionada é a **NPS035S-MF2-50-1C1-1S** (ver Anexo D).

Desta forma, os requisitos para o motor são:

$$M_{motor,nom} = \frac{123.3}{50} \approx 2.5N.m$$

$$\omega_{motor} = 62.7 * 50 \approx 3135rpm$$

Resultando na seleção do servomotor síncrono **CMP63S-PK-RH1M-SM1** (ver Anexo D).

6.2.3 Motor de Elevação

Dado o baixo rendimento dos fusos de rosca trapezoidal, grandes potências são necessárias para a sua atuação. No Capítulo 4, determinaram-se os parâmetros de atuação do sistema de elevação, sendo os binários requeridos ao motor de 20.35 N.m e 30.53 N.m em contínuo e na fase de arranque, respetivamente. Devido à possibilidade de ocorrer ressonância vibratória, a velocidade máxima do veio determinada foi de 304 rpm que corresponde a uma velocidade de rotação do motor de 2736 rpm, o equivalente a aproximadamente 286.5 rad/s, devido à caixa redutora do macaco de elevação. Assim, as potências necessárias serão:

$$P_{nom} = 20.35 * 286.5 \approx 5.8kW$$

$$P_{acel} = 30.53 * 286.5 \approx 8.7kW$$

Este resultados ultrapassam a especificação do conversor e já eram esperados pois foram verificados valores semelhantes no projeto de uma máquina de inspeção visual desenvolvida

pela Gislotica que utiliza o mesmo tipo de mecanismo. Existem duas soluções possíveis, reduzir a velocidade de rotação do fuso ou utilizar dois conversores em paralelo, que permite o dobro da potência.

A solução adotada, à semelhança do referido projeto da máquina de inspeção visual, foi reduzir a velocidade de elevação para 30 mm/s. As novas velocidades de rotação do fuso e do motor serão:

$$n_{fuso} = \frac{V_{max} * 60}{9} = \frac{30 * 60}{9} = 200rpm$$

$$n_{motor} = n_{fuso} * 9 = 200 * 9 \approx 1800rpm \approx 188.5rad/s$$

Com efeito, as novas potências:

$$P_{nom} = 20.35 * 188.5 \approx 3.8kW$$

$$P_{acel} = 30.53 * 188.5 \approx 5.7kW$$

Finalmente, é apenas necessário verificar a intensidade de corrente nominal, pois na situação de aceleração a potência obtida é inferior à calculada para a situação de tração.

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{V} = \frac{3800}{600} \approx 6.4A$$

Estes resultados já se enquadram na utilização de apenas um conversor, e resultam na seleção do servomotor assíncrono **DRL100L4-FL-TF-ES7S** (ver Anexo D)

6.3 Dimensionamento das baterias

A elevação da tensão com recurso a conversores resulta na diminuição da intensidade da corrente. Do mesmo modo, se se olhar para o processo de maneira inversa, a diminuição da tensão, traduz-se num aumento da intensidade da corrente. A grandeza que se mantém é a potência elétrica.

Como tal, é necessário proceder à determinação da intensidade de corrente em circulação do lado das baterias para os diferentes acionamentos:

- **Motor de tração**

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{V} = \frac{2900}{48} \approx 60.4A$$

$$I_{acel} = \frac{P_{acel}}{V} = \frac{6200}{48} \approx 129.2A$$

- **Motor de direção**

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{V} = \frac{810}{48} \approx 16.9A$$

- **Motor de elevação**

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{V} = \frac{3800}{48} \approx 79.2A$$

$$I_{acel} = \frac{P_{acel}}{V} = \frac{5700}{48} \approx 118.8A$$

Os valores apresentados, permitem verificar que as correntes máximas admitidas no conversor não são ultrapassadas, garantindo que não está sob correntes que não seria capaz de suportar.

Além disso, estes permitem fazer uma pré seleção, dentro da gama de baterias escolhida, do modelo de baterias a utilizar. Assim, para que não seja ultrapassada a corrente de descarga recomendada pelo seu fabricante, a bateria selecionada é a **LiFePO4 12,8V 200Ah** (ver Anexo C). Estas são baterias com 200 Ah de capacidade.

A autonomia do veículo vai depender do ciclo de trabalho atribuído, que vai definir qual a taxa de utilização de cada motor. A título de exemplo, considere-se que em 75% do tempo o AGV está em movimento, efetuando mudanças de direção em 15% desse tempo e os restantes 25% são reservados a operações de manipulação da carga. Para esta situação, encontram-se na Tabela 6.1, as correntes consumidas em cada uma das operações descritas e a autonomia individual de cada uma destas.

Considerando o ciclo de trabalho acima descrito, pode-se agora determinar a autonomia esperada, para um ciclo deste tipo, através da média ponderada das autonomias individuais:

Tabela 6.1: Correntes Consumidas e Autonomias - Bateria 200 Ah

Operação	Corrente [A]	Autonomia [h]
Tração	60.4	200/60.4=3.3
Tração + Direção	60.4+16.9=77.3	200/77.3=2.58
Elevação	79.2	200/79.2=2.5

$$Autonomia = \frac{0.6 * 3.3 + 0.15 * 2.58 + 0.25 * 2.5}{0.6 + 0.15 + 0.25} \approx 3horas$$

Refira-se que este valor é meramente indicativo e foi calculado para um ciclo de trabalho hipotético. O ciclo real da máquina irá ter influência direta sobre este, podendo aumentar ou diminuir a autonomia do veículo.

A autonomia calculada é ligeiramente inferior à pré-definida inicialmente, mas pode ser aceite atendendo a que as potências utilizadas para o seu cálculo foram majoradas, e como tal, na prática a autonomia será superior.

Além disso, diz a experiência da empresa, que esta máquina é uma máquina com bastantes períodos de inatividade entre ciclos de trabalho. Num ciclo, acredita-se que cerca de 40 a 50% do tempo o AGV encontra-se parado à espera que lhe sejam atribuídas funções como tal, o período de tempo em que esta se encontra disponível para trabalhar é facilmente superior às 4 horas definidas inicialmente.

Ainda assim, é possível aumentar a autonomia do veículo sem alterações significativas ao projeto. Existem duas possibilidades de o fazer. A primeira consiste na redução das velocidades de circulação e elevação que se traduz na diminuição da potência consumida. Uma vez que esta máquina apresenta muitas horas livres, esta redução pode ser efetuada de forma a diminuir esses períodos sem afetar o ciclo produtivo dos pneus.

Alternativamente, pode-se aumentar a capacidade das baterias. O mesmo fornecedor dispõem de modelos semelhantes com 300 e 330 Ah de capacidade, que se podem utilizar sem alterações ao projeto do AGV, é apenas necessário utilizar uma caixa de baterias maior, toda a restante estrutura pode ser mantida. Se fosse utilizado o modelo de 330 Ah, os novos valores seriam os que agora se apresentam na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Correntes Consumidas e Autonomias - Bateria 330 Ah

Operação	Corrente [A]	Autonomia [h]
Tração	60.4	330/60.4=5.5
Tração + Direção	60.4+16.9=77.3	330/77.3=4.3
Elevação	79.2	330/79.2=4.2

Com efeito, a nova autonomia seria:

$$Autonomia = \frac{0.6 * 5.5 + 0.15 * 4.3 + 0.25 * 4.2}{0.6 + 0.15 + 0.25} \approx 5horas$$

Logicamente, baterias de maior capacidade serão mais caras. Portanto, a decisão final deverá ser sempre do cliente e do custo que este pretende ter com o equipamento. Em primeiro lugar pode-se avaliar os ciclos de trabalho do AGV e os seus tempos mortos e verificar se é possível otimizar a sua autonomia com menor custo.

Uma vez mais, reforça-se que as soluções escolhidas para as motorizações e para as baterias, tratam-se de pré-seleções que devem ser refinadas e discutidas junto da equipa de engenharia eletrótecnica da Gislotica. Contudo, este é sempre um processo iterativo e como tal, acredita-se que estas seleções são um bom ponto de partida para o mesmo.

Capítulo 7

Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

No decorrer do presente capítulo são apresentadas as principais conclusões e sugeridos alguns desenvolvimentos a implementar no futuro.

7.1 Conclusões

O objetivo principal deste trabalho era a realização do projeto mecânico de um AGV para a manipulação de pneus de grandes dimensões com recurso a uma *gripper*. Este foi alcançado com sucesso, estando todo o processo de modelação 3D, desenhos de montagem e fabrico e respetivos dimensionamentos aos elementos críticos concluídos.

Antes de se iniciarem os trabalhos propriamente ditos, foi necessário compreender melhor a indústria dos pneus e o conceito de AGV e as tecnologias que lhe estão associadas, desde os diferentes tipos existentes, aplicações, métodos de navegação a tantas outras informações que permitiram clarificar alguns conceitos mais gerais sobre veículos autónomos úteis para dar início ao desenvolvimento do projeto. Após essa pesquisa inicial, a primeira conclusão que se pode retirar sobre AGV's é que embora estes partilhem as mesmas tecnologias e conceitos, há uma infinidade de modelos desenhados e adaptados ao fim a que se destinam.

Estando o estudo aos AGV's cumprido, a próxima fase foi a análise dos requisitos. Começou por se esclarecer o setor onde se pretende instalar este modelo e quais as funções a que este deverá ser capaz de dar resposta de modo a estabelecer um conjunto de requisitos

operacionais que devem ser respeitados durante a fase de projeto.

Depois de estabelecidas as principais características técnicas que não podem falhar, chegou o momento de dar início ao projeto mecânico propriamente dito. Partindo de algumas ideias de base principiou-se a modelação tridimensional do AGV, um processo iterativo que, embora possa parecer um processo simples, foi um grande consumidor de tempo e o resultado que esta dissertação apresenta é fruto de muitos avanços e recuos, até se ter alcançado aquela que se espera ser a melhor solução para aplicação em causa.

A modelação tridimensional foi sucessivamente acompanhada com dimensionamentos mecânicos para avaliar o comportamento da sua estrutura face às cargas envolvidas e também para verificar se as especificações dos componentes *standard* utilizados eram cumpridas.

Ao longo da realização do projeto, vários desafios foram surgindo aos quais se procurou dar resposta, nomeadamente no que diz respeito às tecnologias de soldadura da estrutura do AGV e da seleção de motores de elevadas potências para aplicações em que se dispõem de alimentação DC de baixa tensão, 48V neste caso específico.

A realização da presente dissertação em ambiente empresarial, constitui uma forma de sair do ”saber, saber”para o ”saber, fazer”. O contacto com o mercado de trabalho permitiu abandonar as simplificações académicas para ver aplicado todo o conhecimento transmitido ao longo do curso. Ao trabalhar numa indústria, não nos podemos preocupar apenas em desenvolver uma tarefa. Para além do sucesso, que é fundamental, a nossa atenção deve estar também na redução de custos, na redução de tempos de ciclo, na segurança, nos inimagináveis, mas possíveis, problemas e acidentes que poderão surgir por um erro de engenharia. Assim, conclui-se que nem tudo é tão fácil e linear como nos ensinaram ao longo do curso. Muitas vezes, para a resolução de problemas é o fator “experiência” que atua em primeiro lugar, e essa foi uma das competências adquiridas ao observar de perto as atividades de engenharia envolvidas. Para além disso, uma vez que se trata de um projeto de construções mecânicas, permitiu o desenvolvimento de aptidões de seleção de materiais e dimensionamento de componentes que são duas tarefas fundamentais para que no final de um projeto, este tenha o desempenho esperado.

Em suma, o projeto do AGV encontra-se desenvolvido e devidamente dimensionado

e respeitador das normas aplicáveis. Apesar de ter sido um processo acompanhado regularmente por toda a equipa de engenharia, não se nega a necessidade de uma verificação mais pormenorizada. Contudo, acredita-se que este será um bom ponto de partida para a produção deste modelo.

7.2 Trabalhos Futuros

A presente dissertação constitui o desenvolvimento do projeto mecânico de um novo modelo de AGV, e como tal, a margem para melhorias certamente que é grande. Como tal, ficam aqui apontadas algumas sugestões de tarefas que podem ser realizadas para enriquecer o projeto.

- Procurar alternativas que permitam maiores velocidades de elevação;
- Efetuar uma análise pelo método dos elementos finitos à estrutura do AGV;
- Proceder à determinação dos binários de direção através do método experimental;
- Efetivar a pré seleção dos motores elétricos com base no ciclo de trabalho da máquina;
- Projetar a solução hidráulica deste modelo.

Referências

[1] Mohammad Saidi-Mehrabad Hamed Fazlollahtabar. *Autonomous Guided Vehicles: Methods and Models for Optimal Path Planning*. Springer International Publishing, 1 edition, 2015. ISBN 978-3-319-14746-8.

[2] Günter Ullrich. *Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1 edition, 2015. ISBN 978-3-662-44813-7.

[3] Pathik Patel, Rudresh Parekh, Rutvik Panchal, and Vivek Solanki. Material handling system based on automated guided vehicle: Scope, limitation and application. 02 2017.

[4] Samaneh Fazlollahtabar, Hamed; Hassanli. Hybrid cost and time path planning for multiple autonomous guided vehicles. *Applied Intelligence*, Julho de 2017. doi: 10.1007/s10489-017-0997-x.

[5] Rafal Cupek, Marek Drewniak, Marcin Fojcik, Erik Kyrkjebø, Jerry Chun-Wei Lin, Dariusz Mrozek, Knut Øvsthus, and Adam Ziebinski. Autonomous guided vehicles for smart industries – the state-of-the-art and research challenges. In *Computational Science – ICCS 2020*, pages 330–343. Springer International Publishing, 2020. ISBN 978-3-030-50426-7.

[6] Laser guided vehicles. URL `https://www.dbhrobot.com/AGV-system/laser-guided-vehicles.html`. Acedido em 2021-05-19.

[7] America In Motion. URL `https://www.weareaim.com/Products_Unitload.aspx`. Acedido em 2021-05-19.

[8] JBTC. URL `https://www.jbtc.com/`. Acedido em 2021-04-14.

[9] 5 applications for collaborative, automated mobile robots, January 2018. URL https://www.ebnonline.com/5-applications-for-collaborative-automated-mobile-robots/. Acedido em 2021-04-20.

[10] KUKA OmniMove, url = https://www.kuka.com/en-us/products/mobility/mobile-platforms/kuka-omnimove, note = Acedido em 2021-04-20,.

[11] AGV 101. URL https://www.mhi.org/mag/knowledge. Acedido em 2021-05-20.

[12] Advantages and limitations of the different types of batteries. URL https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery. Acedido em 2021-05-20.

[13] R. McHaney. Modelling battery constraints in discrete event automated guided vehicle simulations. *International Journal of Production Research*, 33:3023–3040, 11 1995. doi: 10.1080/00207549508904859.

[14] Que empilhador escolher?, January 2019. URL http://guide.directindustry.com/pt/que-empilhador-escolher/. Acedido em 2021-05-24.

[15] Decreto-Lei 103/2008, 2008-06-24. URL https://dre.pt/pesquisa/-/search/456188/details/maximized. Acedido em 2021-05-09.

[16] ISO Central Secretary. Industrial trucks — Safety requirements and verification — Part 1: Self-propelled industrial trucks, other than driverless trucks, variable-reach trucks and burden-carrier trucks. Standard, International Organization for Standardization, 2011.

[17] ISO Central Secretary. Industrial trucks — Safety requirements and verification — Part 4: Driverless industrial trucks and their systems. Standard, International Organization for Standardization, 2020.

[18] Winkel gmbh. URL https://www.winkel.de/. Acedido em 2021-04-26.

[19] ZIMM Group | Movement with precision. URL https://zimm.com/en-us/. Acedido em 2021-05-26.

[20] A Completo and F.Q. De Melo. *Introdução ao Projeto Mecânico*. PUBLINDUSTRIA, 2019. ISBN 9789898927507.

[21] Vahle - Charging Contacts. URL https://vahle.com/products/vconductor/charging-contacts.html. Acedido em 2021-05-01.

[22] Fanamol. URL https://www.fanamol.pt/. Acedido em 2021-05-01.

[23] Interroll group. URL https://www.interroll.com/. Acedido em 2021-05-04.

[24] SELTER - Desenho e Fabrico de Aplicações Magnéticas. URL https://www.selter.es/ca/. Acedido em 2021-05-04.

[25] Tekno - Drive systems for electric vehicles MP. URL http://www.tekno-mp.com/. Acedido em 2021-05-15.

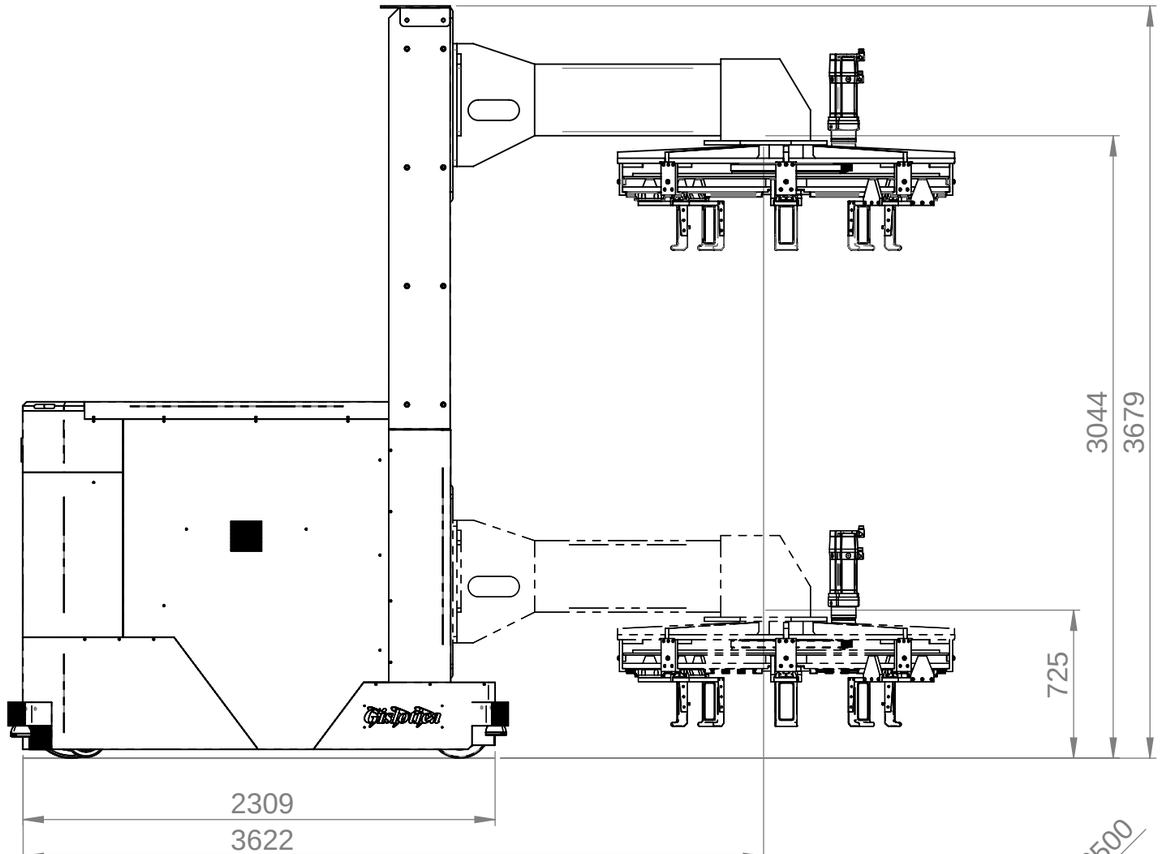
[26] Sew-eurodrive. URL https://www.sew-eurodrive.pt/inicio.html. Acedido em 2021-06-18.

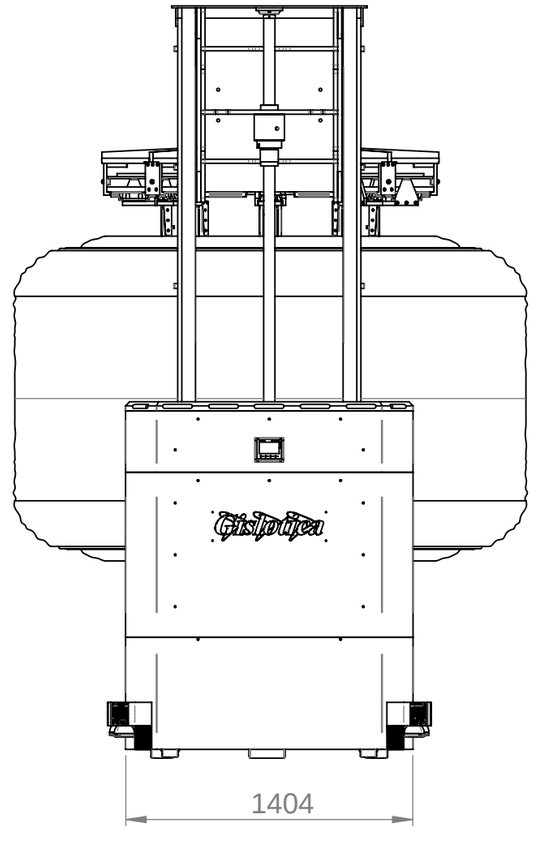
[27] Epic Power - Bidirectional DC/DC Converters. URL https://epicpower.es/. Acedido em 2021-06-07.

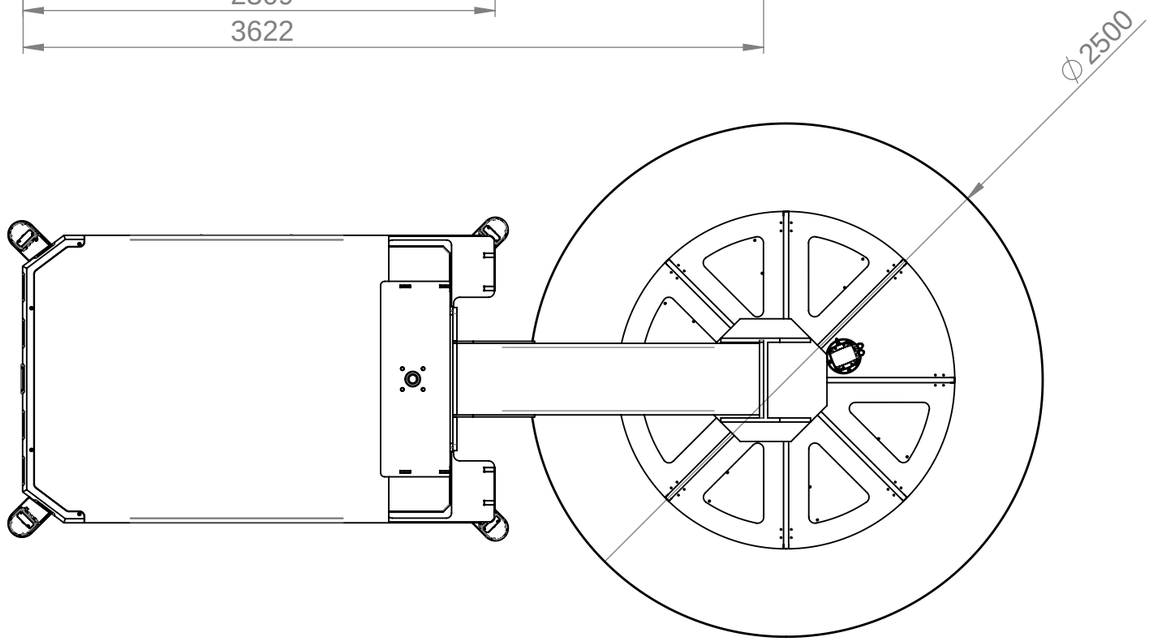
[28] Wittenstein. URL https://www.wittenstein.de/en-en/. Acedido em 2021-06-19.

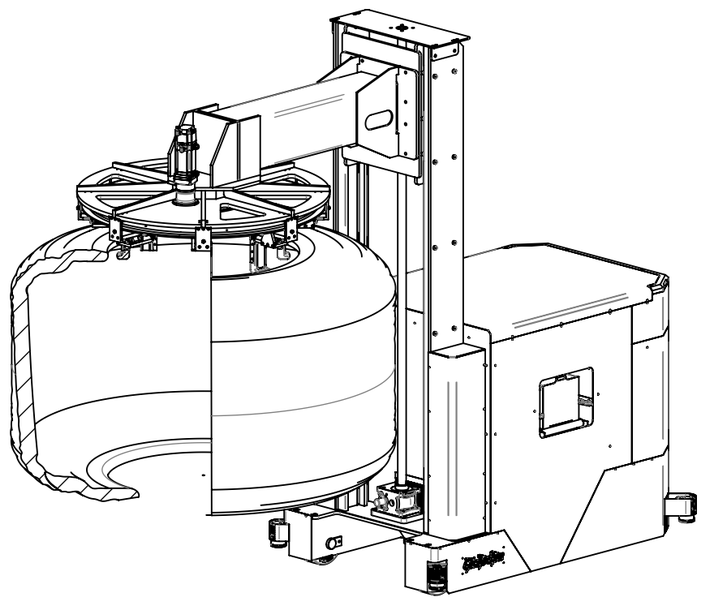
Apêndice A

Desenhos de Fabrico e Montagem



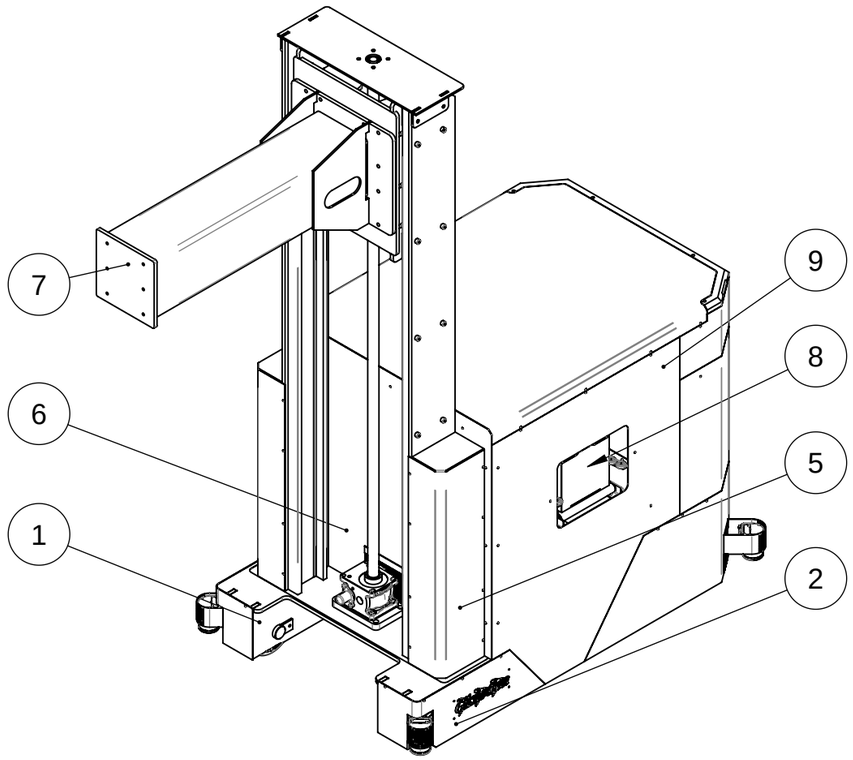


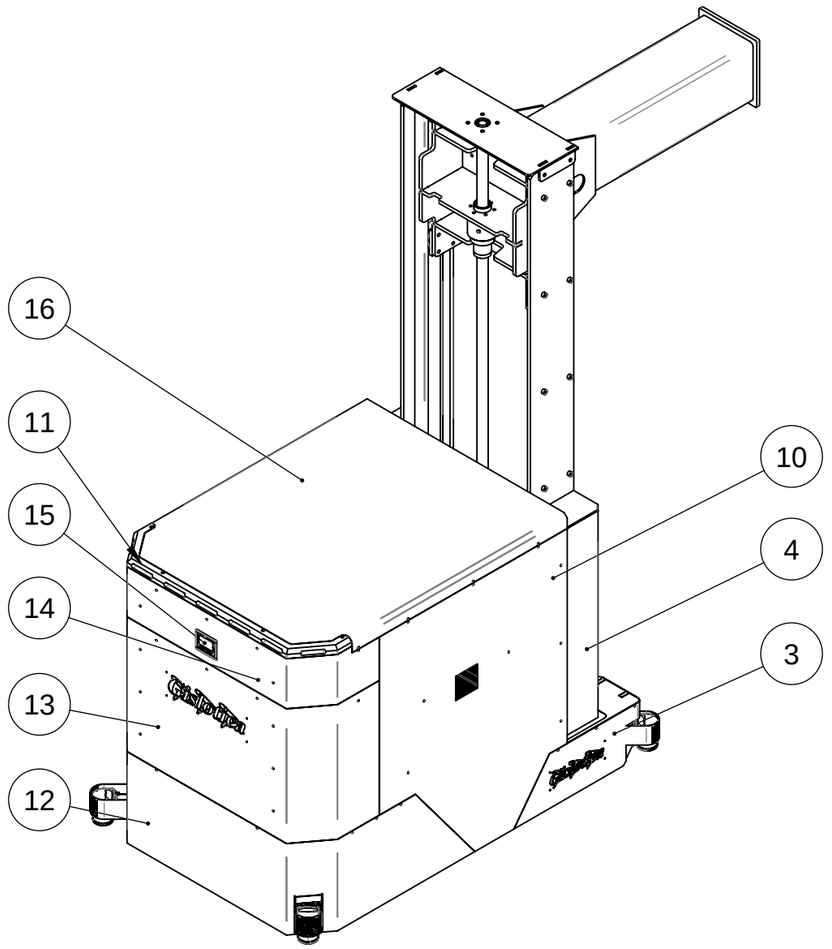




	Nome	Data								
Des.	w♦ a⊦⅋ɣ₭2	нуклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO						Quantidade	м
Vist.									Massa (g)	ммлсунст♦уо
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala-	м⁽ол		A3	Tratamento	bŜɣ₭⇵Ɣ
Nome	Iw!ψ!D±								Material	±⊦⅋2ă
									Descri-«o	h⍑⍌⊺ɣ⍫
DISSERTA ¢ ì O									Desenho	MKH Iwa♦м

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

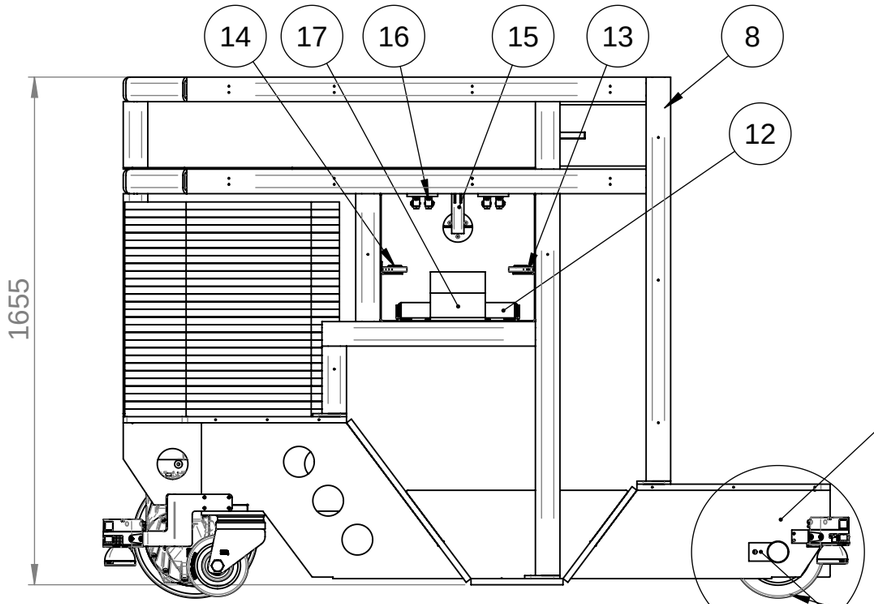


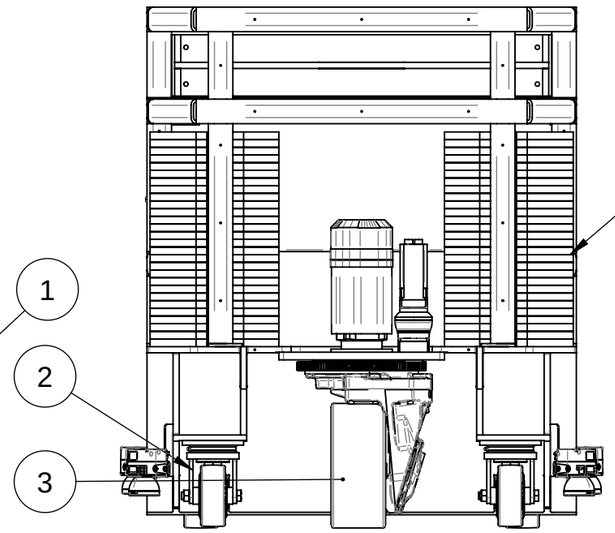


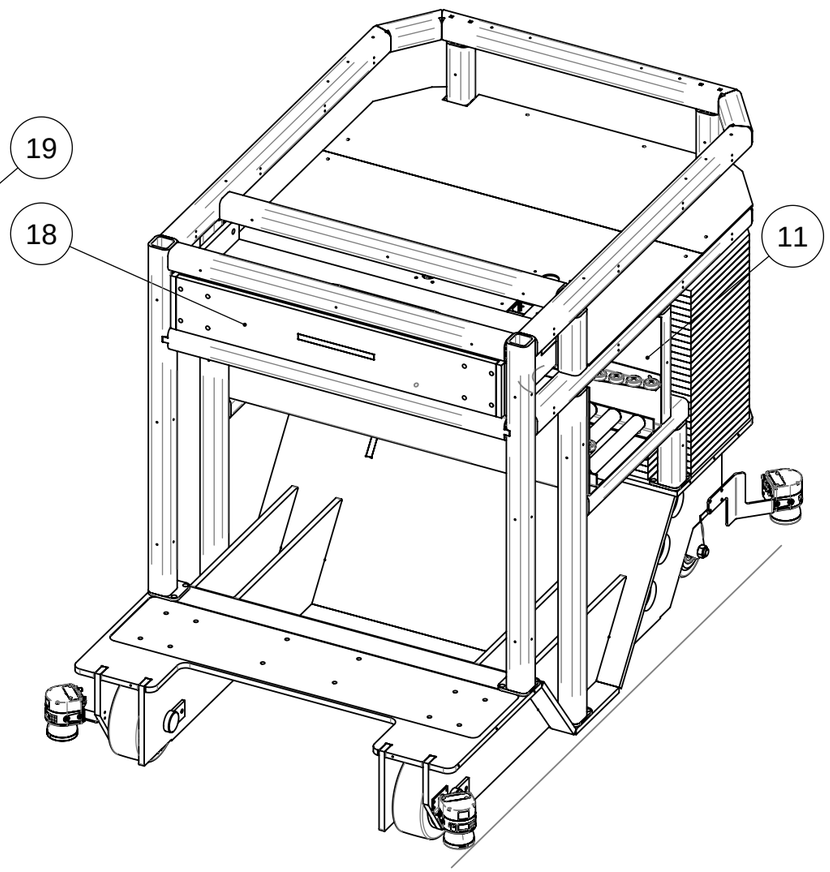
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ\lλl·f	5ŜăÓ\lλœń2	¢ʎLJ2	vûè◊	/ [
м	lw ! ψ9ăú\ldzúdz\l· ! D±	**lwa◊н**	±ł\lλ2ă	hŦλÔłyl·		м	
н	lw ! ψ . Cψ5λ\l	**lwa◊тс**	±ł\lλ2ă	hŦλÔłyl·		м	
о	lw ! ψ . Cψ9ălj	**lwa◊ун**	±ł\lλ2ă	hŦλÔłyl·		м	
п	lw ! ◊лму	**lwa◊ур**	{ű от	[ł·ăŜ\l		м	
р	lw ! ◊лмф	**lwa◊ус**	{ű от	[ł·ăŜ\l		м	
с	lw ! ψ . C	**lwa◊ут**	±ł\lλ2ă	hŦλÔłyl·		м	
т	lw ! ψ{ʎăúŜYł·9tŜØł·œń2	**lwa◊фл**	±ł\lλ2ă	hŦλÔłyl·		м	
у	lw ! ψ½	**lwa◊ммф**	±ł\lλ2ă	hŦλÔłyl·		м	
ф	lw ! ◊ллф◊м	**lwa◊мнр**	{ű от	[ł·ăŜ\l		м	
мл	lw ! ◊ллф◊н	**lwa◊мнс**	{ű от	[ł·ăŜ\l		м	
мм	lw ! ◊лнл	**lwa◊мнт**	! fdzY\lyλ2 ! ² рлуо	C\lŜăł·		м	
мн	lw ! ψ . ¢ψ . ł·ÀĒ2	**lwa◊мну**	±ł\lλ2ă	hŦλÔłyl·		м	
мо	lw ! ψ . ¢ψ a Ŝì2	**lwa◊моо**	±ł\lλ2ă	hŦλÔłyl·		м	
мп	lw ! ◊ . ¢ψ / ʎYł·	**lwa◊мос**	{ű от	[ł·ăŜ\l		м	
мр	{ʎŜYŜyă	**{ʎŜYŜyă**	{ʎYł·úńÓ l aL Y¢tплл	/ 2YLJ\lł·		м	
мс	lw ! ◊лмо	**lwa◊мот**	{ű от	[ł·ăŜ\l		м	
мт	lw ! ψtb9¦ рнʎyŎK	π	π	! LJŜył·ă Lfdzăú\lł·úʎØ2		м	
му	lw ! ψD\lλLJLJŜ\l	π	π	! LJŜył·ă ʎfdzăú\lł·úʎØ2		м	

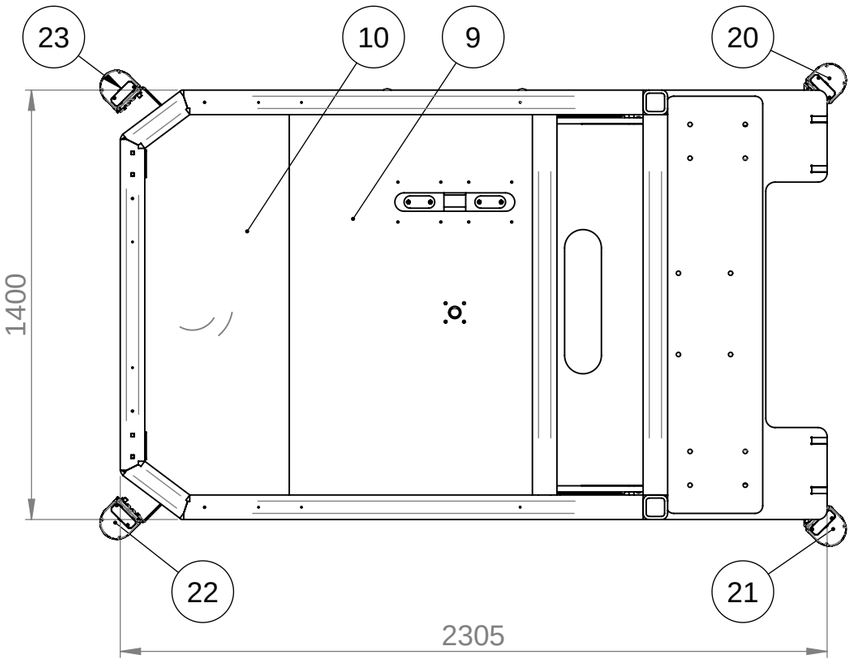
	Nome	Data							Quantidade	м
Des.	w◊ a ł·\lyK2	нуклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO						Massa (g)	ммлсунст◊уо
Vist.									Tratamento	bŜyKdzY
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м◊ол			A3	Material	±ł\lλ2ă
Nome	lw ! ψ ! D±								Descri-«o	hŦλÔłyl·
DISSERTA ¢ ì O									Desenho	lwa◊м НКН

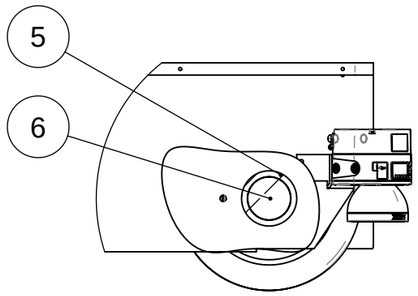
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.











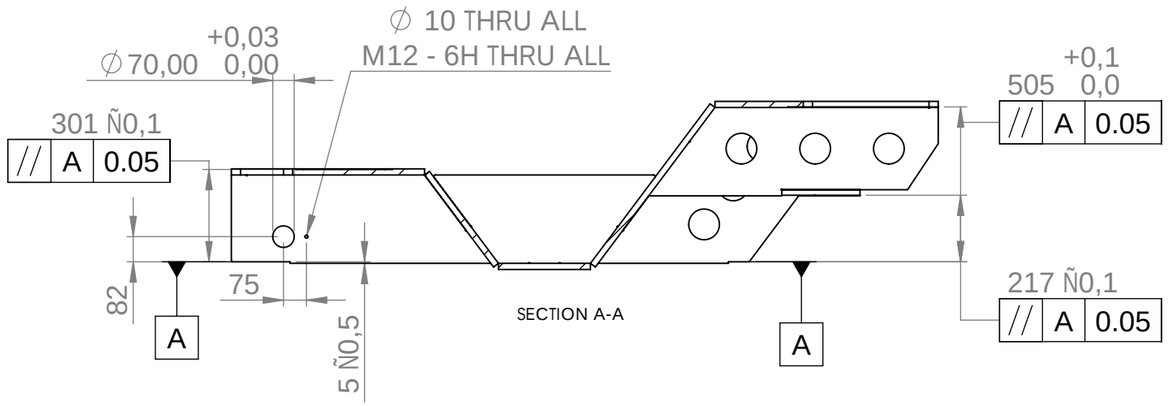
DETAIL A

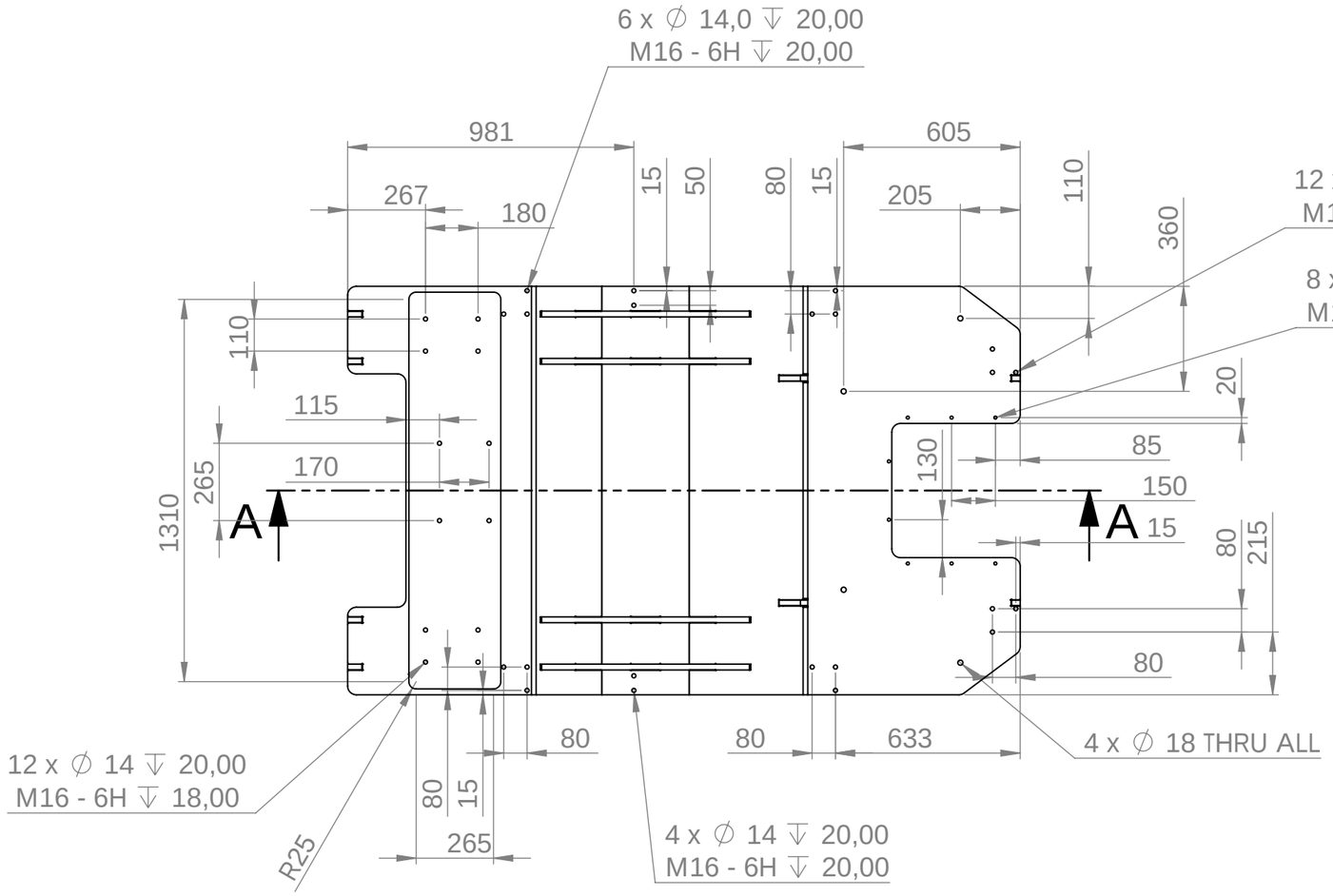
SCALE 1 : 10

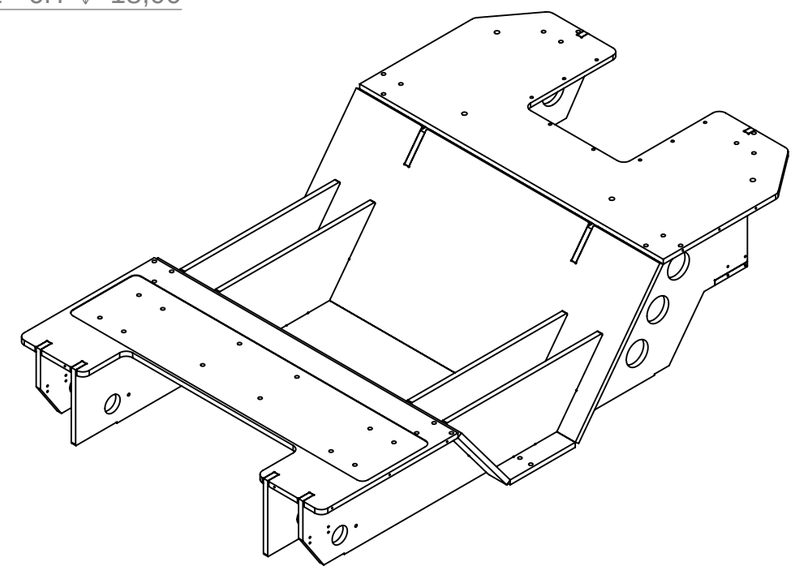
t2ă¢	b2YŜ	**5Šă¢ bô**	a l·ûŜ№ł·f	5ŜăÔ№æń2	¢ʌLJ2	vûè¢	/[
м	lw!ψ!¢a l·ljdzʎ	**lwa¢o**	±ł№2ă	C№Šăł·		м	
н	.ƒłÔ]ƒŜψлн	**.ƒłÔ]ƒŜ**	[{ψD{thψнлнY	/2YLJ№ł·		н	
o	lw!ψ、	**lwą¢мп**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		м	
п	.ƒłÔ]ƒŜψлм	**.ƒłÔ]ƒŜ**	D{thψолнψтлY	/2YLJ№ł·		н	
p	lw!¢ллм	**lwa¢му**	{ű от	[ł·ăŜ№		п	
c	lw!¢ллн	**lwa¢мф**	Cw o	C№Šăł·		н	
т	lw!¢ллo	**lwa¢нл**	{ű от	[ł·ăŜ№		п	
y	lw!ψ、	**lwa¢нм**	±ł№2ă	{2fŘł·		м	
ф	lw!¢ллп	**lwa¢пн**	{ű от	[ł·ăŜ№		м	
мл	lw!¢ллр	**lwa¢по**	{ű от	[ł·ăŜ№		м	
мм	lw!¢ллс	**lwa¢пп**	{ű от	[ł·ăŜ№		м	
мн	lw!ψC	**wa¢пр**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		м	
мо	lw!ψhψŜălj	**lwa¢пу**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		м	
мп	lw!ψhψŘ№№	**lwa¢рл**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		м	
мр	lw!ψL	**lwa¢рн**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		м	
мс	lw!ψ9	**lwa¢рф**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		н	
мт	9LJłÔ t2øŜ№ψлм	**9LJłÔ t2øŜ№**	9t/ p]p спуʎ	/2YLJ№ł·		м	
му	lw!ψl	**lwa¢со**	±ł№2ă	{2fŘł·		м	
мф	lw!ψ{¢ллм	**lwa¢ст**	{ű от	[ł·ăŜ№		pc	
нл	lw!ψ!5	**lwa¢су**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		м	
нм	lw!ψ!9	**lwa¢тл**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		м	
нн	lw!ψ.9	**lwa¢тн**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		м	
но	lw!ψ.5	**lwa¢тп**	±ł№2ă	hŦłÔłyl·		м	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w¢ a ł·№yK2	мтклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	птнфрлс¢лл
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala-	мYнл	A3	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ9ăÚ№dzúdz№ł·!D±							Descri-«o	hŦłÔłyl·
DISSERTA¢ ì O								Desenho	MKM lwa¢н

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

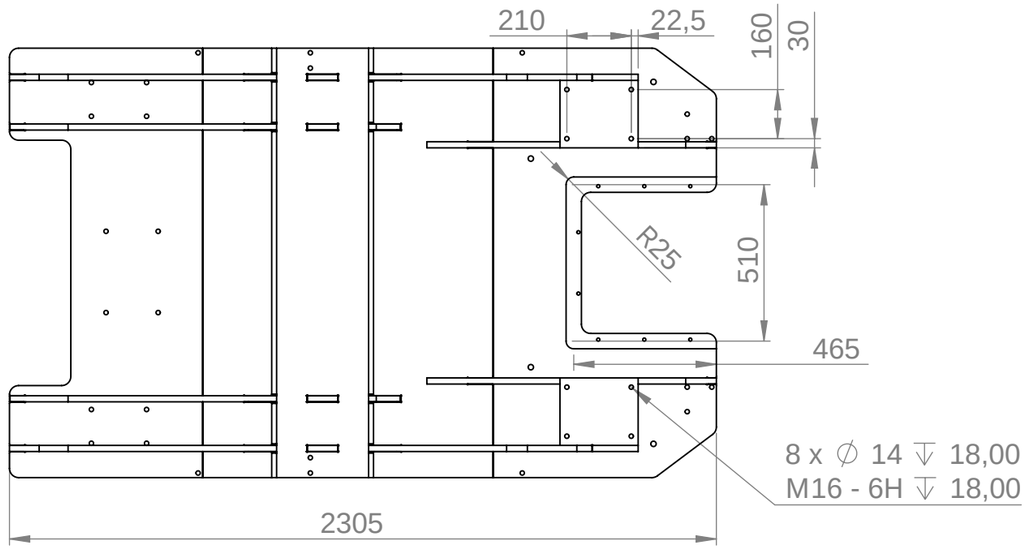


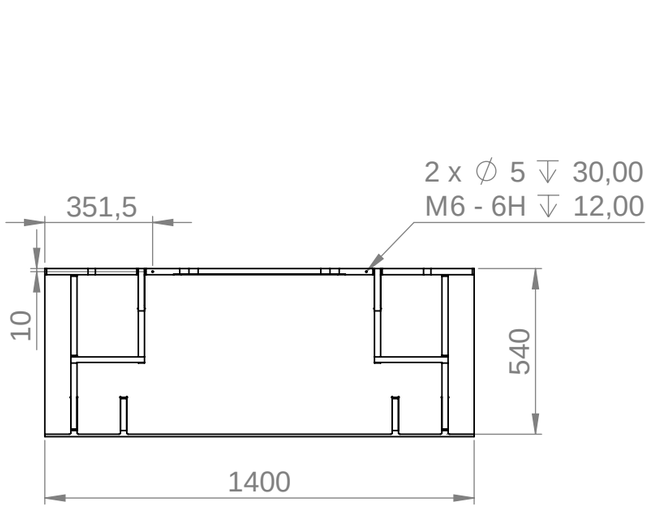


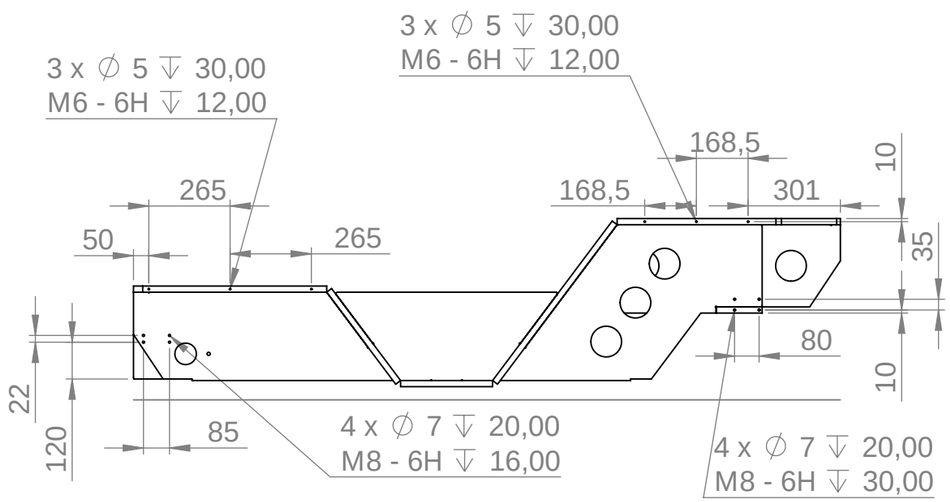


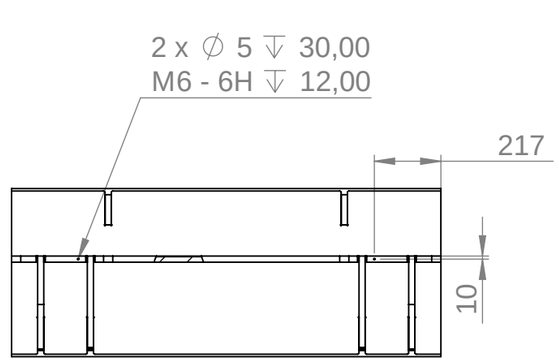
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w¢ a Ⅰ‰уК2	лрклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	уфммус¢пф
Vist.								Tratamento	tⅠуЎdzЏⅠ·
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala-	мЎнл	A3	Material	±Ⅰ‰2ă
Nome	Iw!ψ!¢aⅠljdzλ							Descri-«o	C‰ŜăⅠ·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKH Iwa¢o

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





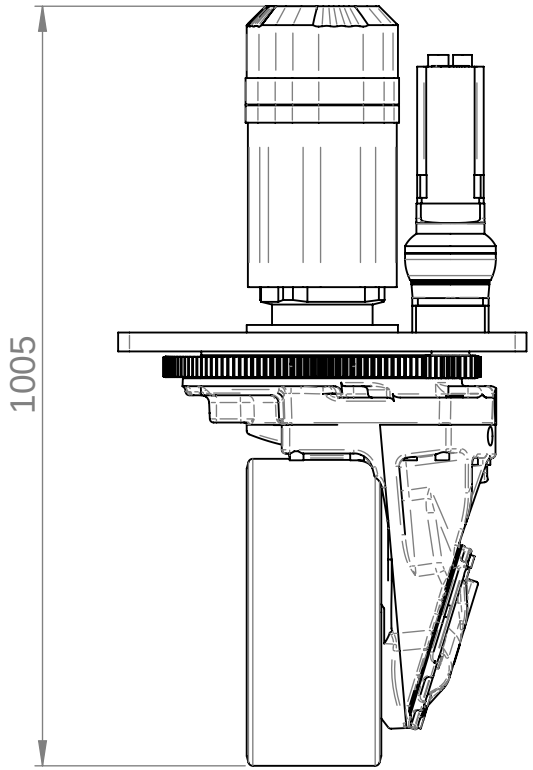


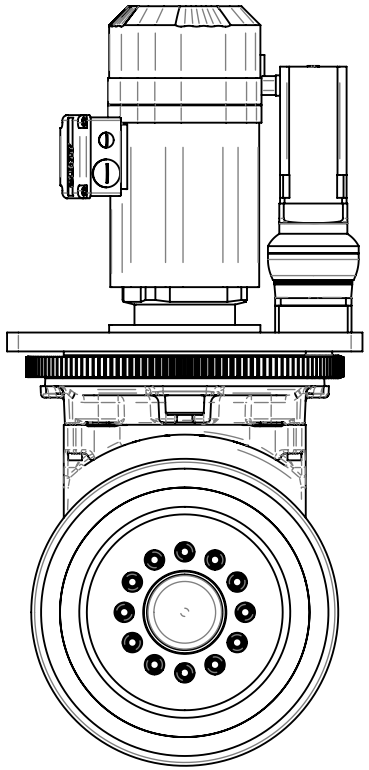


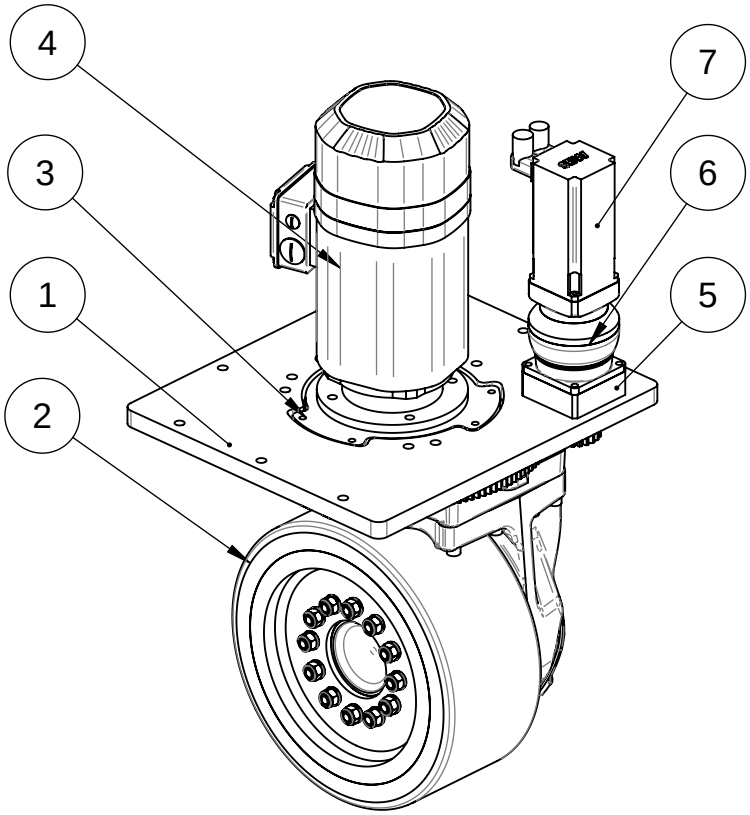
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a ł·ůŜ℅ł·f	5ŜăÓ℅ńœń2	¢ŁJ2	vúè◊	/ [
M	Iw ! ψ !	Iwa◊n	±ł℅2ă	{2fR̄·		M	

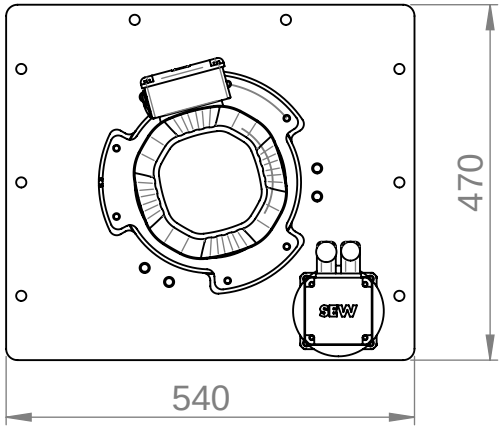
	Nome	Data							
Des.	w◊ a ł·℅yK2	лрклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	M
Vist.								Massa (g)	уфммус¢nф
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala-	мŕнл	A3	Tratamento	tłyŭdz℅ł·
Nome	Iw ! ψ ! ◊ a ł·ljdz℅							Material	±ł℅2ă
								Descri-«o	C℅Ŝăł·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	HKH Iwa◊o

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





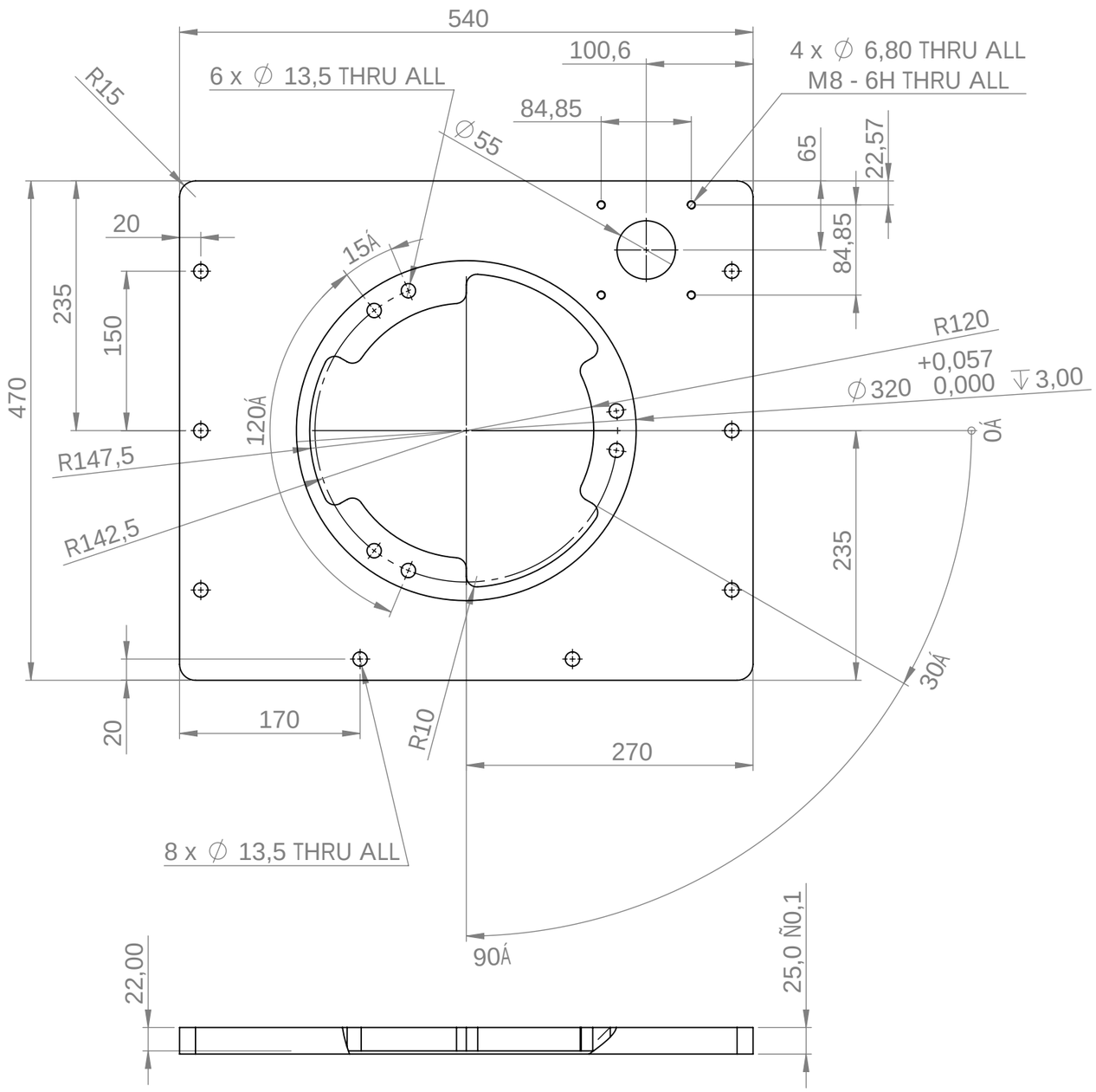


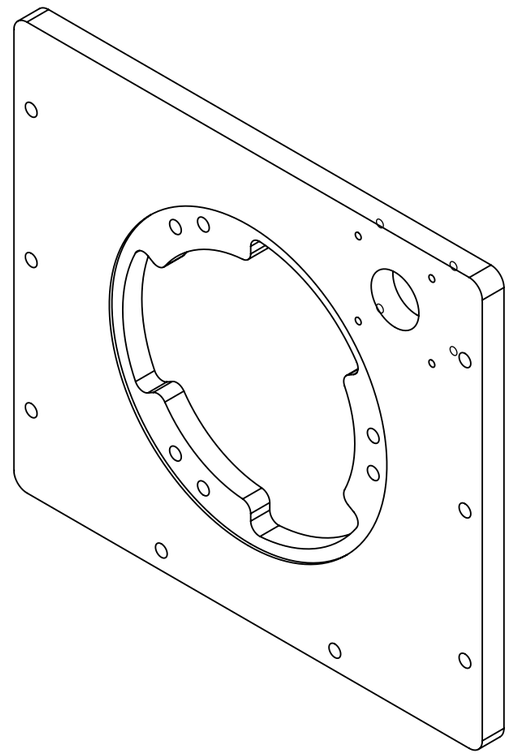


t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№l·f	5ŜăÓ№ĺœń2	¢ĹLJ2	vűë◊	/ [
м	lw!ψ.◊ллм	**lwa◊mp**	!fdzY№ỹ2 ! ² рluo	C№Ŝăl·		м	
н	¢Ŝ]ỹ2 aLJ	**¢Ŝ]ỹ2 aLJ**	¢± плл tl·№ú yõ oуот	/2YLJNJl·		м	
о	lw!ψ.◊ллн	**lwa◊mc**	!fdzY№ỹ2 ! ² рluo	C№Ŝăl·		м	
п	{9 ² ψм	**{9 ²**	5w[млл[пψC[ψ¢Cψ9{т{	/2YLJNJl·		м	
р	lw!◊лон	**lwa◊mт**	!fdzY№ỹ2 ! ² рluo	C№Ŝăl·		м	
с	!fLJKl·ψм	**!fLJKl·**	bt{ лор{πaCнπрлπм/мπм{	/2YLJNJl·		м	
т	{9 ² ψн	**{9 ²**	/ a tco{ψtYψwlмaψ{aм	/2YLJNJl·		м	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№ỹK2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	нлттфм◊ру
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY
Aprov.		нткlскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ.							Descri-«o	hŦЋÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa◊mп

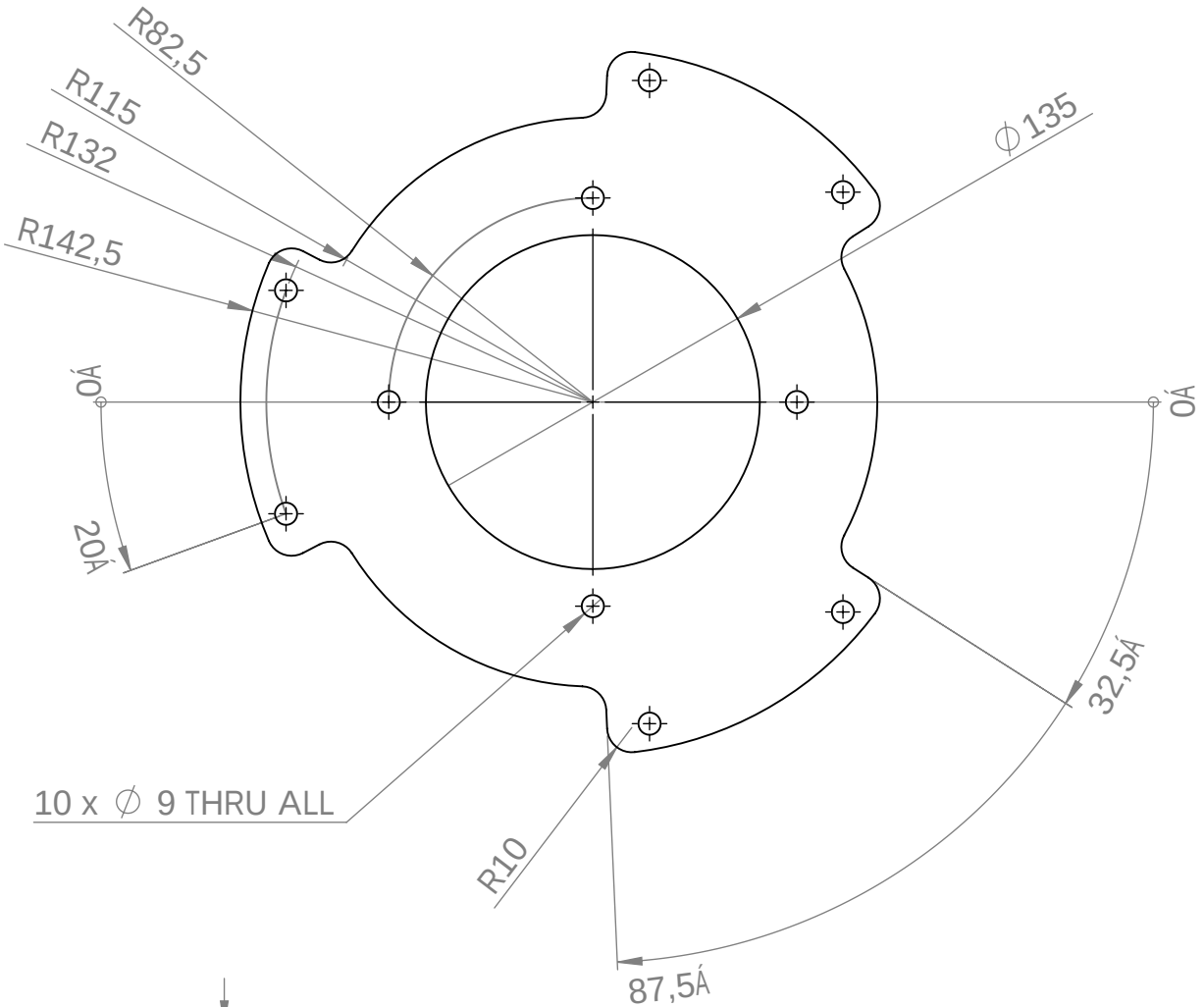
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

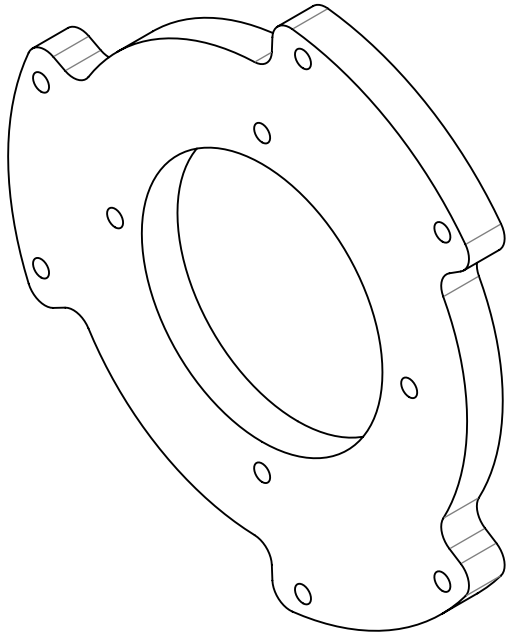


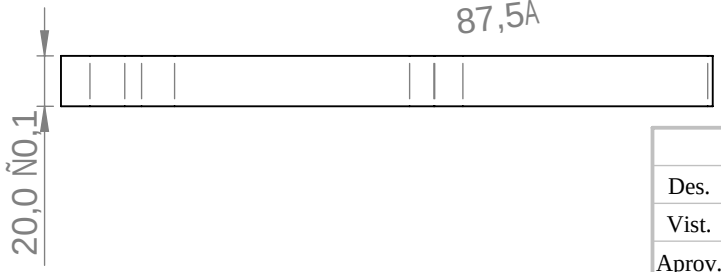


	Nome	Data								
Des.	w¢ a Ì·ÛuyK2	омклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO						Quantidade	м
Vist.									Massa (g)	мнслт‡мс
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'р			A3	Tratamento	bŜyKdzY
Nome	Iw!ψ.‡ллм								Material	!fdzY¦yY2 ! ² рлуо
DISSERTA¢ ì O									Descri-«o	C\ŜǎÌ·
									Desenho	MKM Iwa‡мр

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

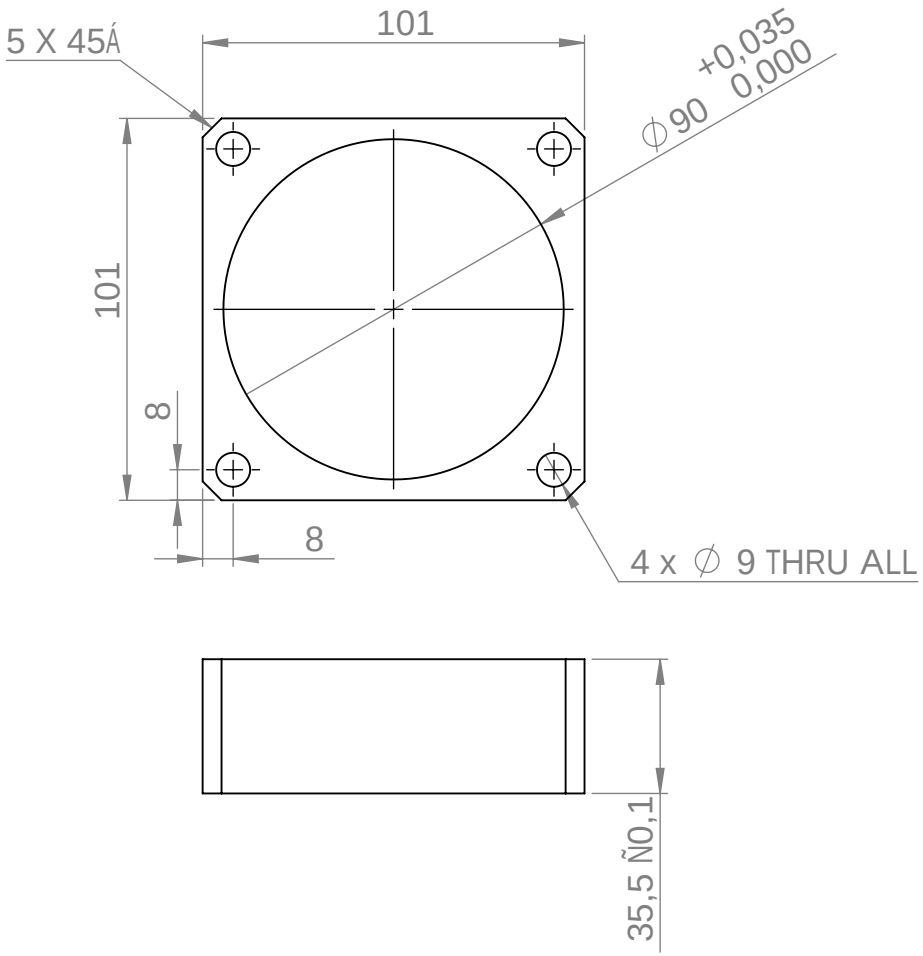


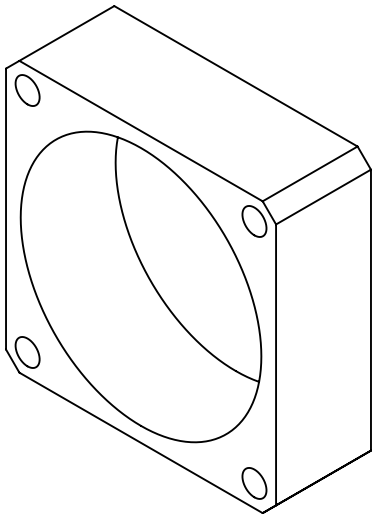




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŭyK2	ннклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	м¢рр¢ту
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¼o	A4	Tratamento	bŜyK¢zY
Nome	Iw!ψ.¢ллн						Material	!ŧ¢zY‖yŋ2!² рлуо
							Descri-«o	C‰Ŝăŀ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢мс

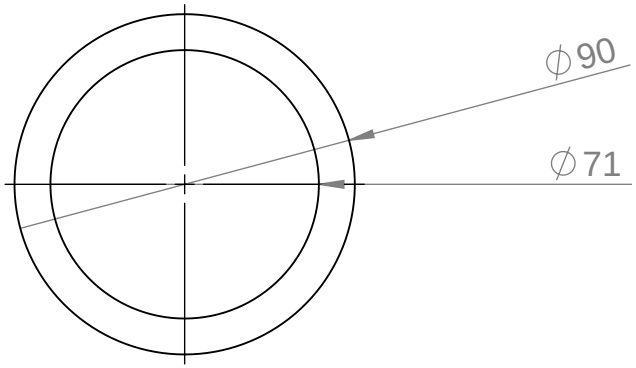
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

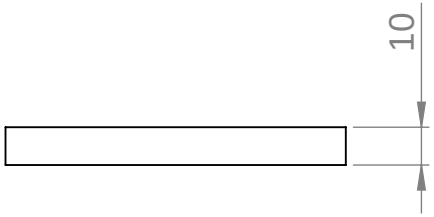


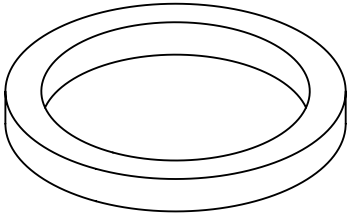


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲ¥Ƙ2	нмклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	ooo¢т¢
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¥н	A4	Tratamento	bŜ¥Ƙ¢Ƴ
Nome	Iw!¢лон						Material	!¢¢Y¦¥Ƴ2 ! ² рлуо
							Descri-«o	C‰Ŝăŀ·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iw a¢мт

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

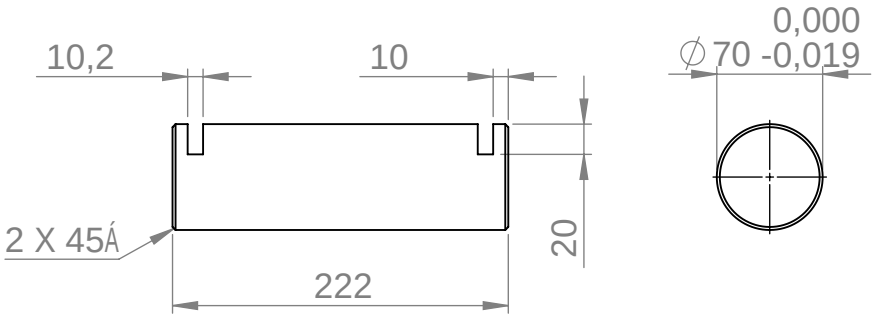


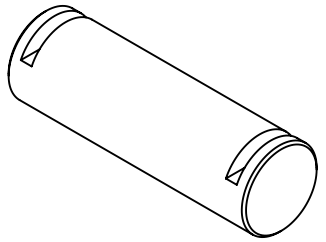




	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·ŰуҜ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	п
Vist.							Massa (g)	мут◊пл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎн	A4	Material	{ű от
Nome	lw!◊ллм						Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa◊му

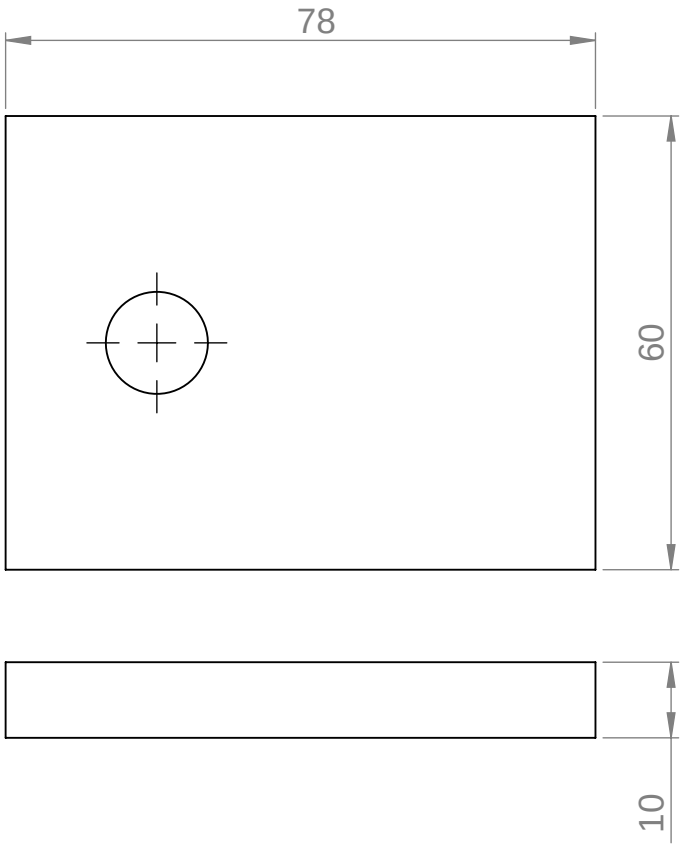
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

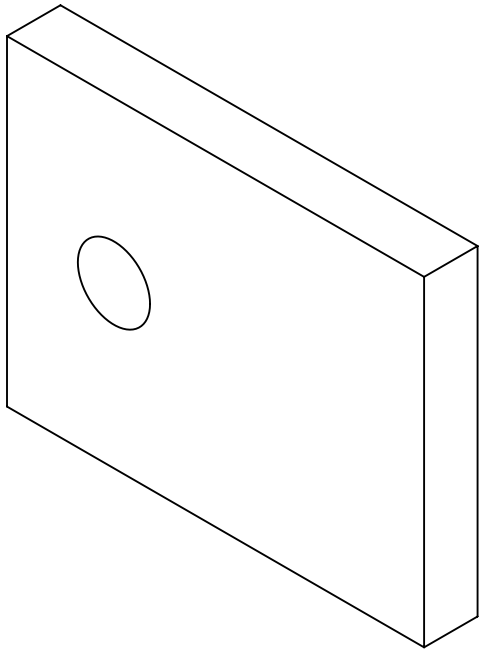




	Nome	Data						
Des.	w⌽ a l·ŰуК2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	срмн⌽ут
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м⁄р	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Iw!⌽ллн						Material	Cw o
							Descri-«o	CŰŜăl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa⌽м⌽

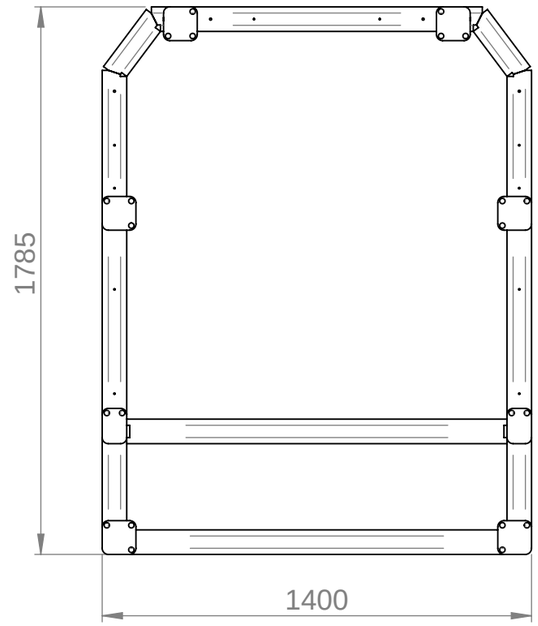
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

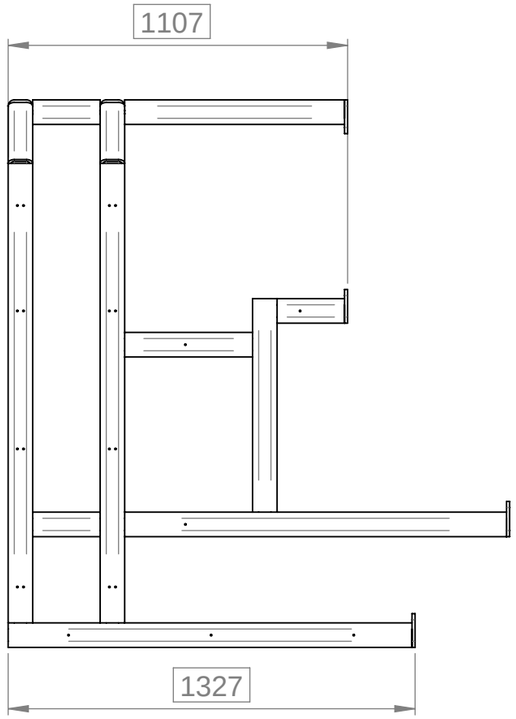


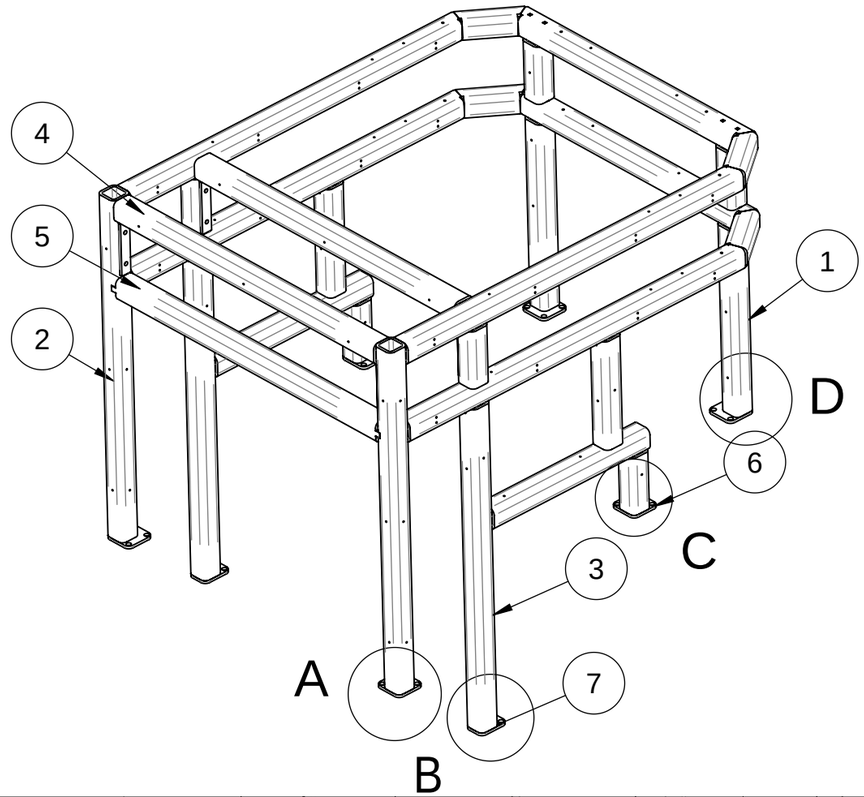


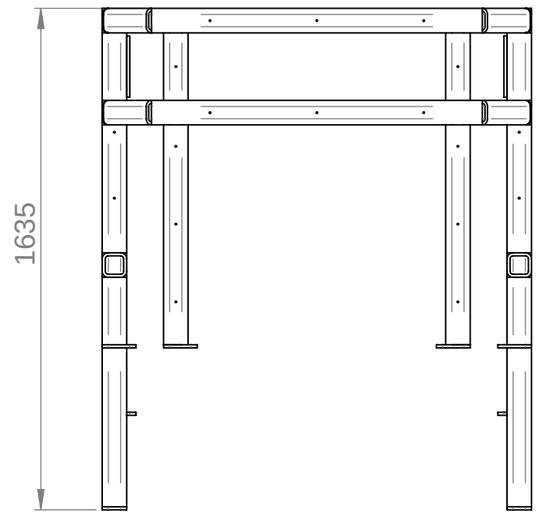
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуК2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	п
Vist.							Massa (g)	орo¢уу
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'м	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	lw!¢лло						Material	{ú от
							Descri-«o	[l·ăŜ℔
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa¢нл

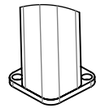
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





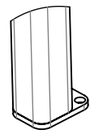






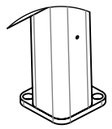
DETAIL A

SCALE 1 : 10



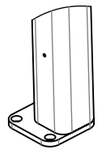
DETAIL B

SCALE 1 : 10



DETAIL C

SCALE 1 : 10



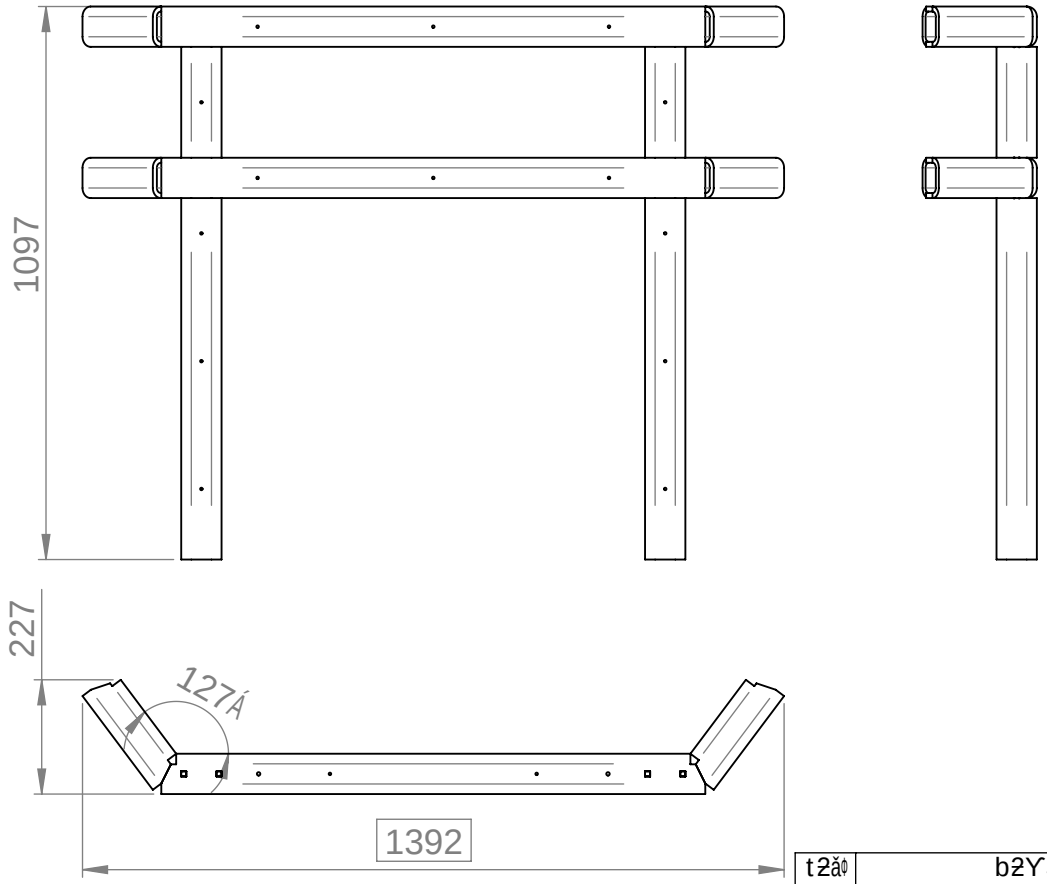
DETAIL D

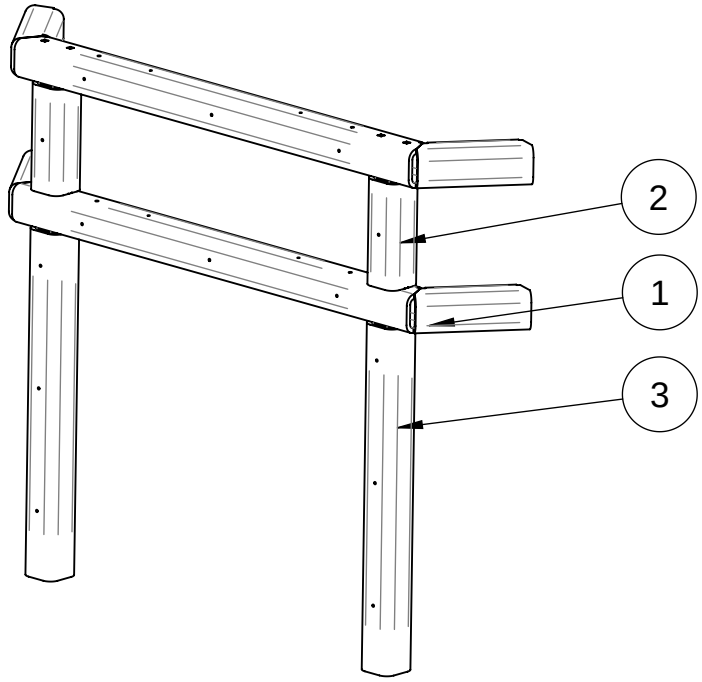
SCALE 1 : 10

t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a ł·ûŠℕłł·f	5ŜăÓℕœń2	¢ⱠLJ2	vűè◊	/ [
м	lw!ψ ²	**lwa◊нн**	±łℕ2ă	{2fŘł·		м	
н	lw!ψ±ψ[	**lwa◊ну**	±łℕ2ă	{2fŘł·		м	
о	lw!ψ±ψw	**lwa◊от**	±łℕ2ă	{2fŘł·		м	
п	lw!ψ¸◊ллм	**lwa◊оу**	{opp π улғулғмл	[ł·ăŠℕ		н	
р	lw!ψ¸◊ллн	**lwa◊оф**	{opp π улғулғмл	[ł·ăŠℕ		м	
с	lw!ψ/◊лмл	**lwa◊пл**	{ű от	[ł·ăŠℕ		с	
т	lw!ψ/◊лмм	**lwa◊пм**	{ű от	[ł·ăŠℕ		н	

	Nome	Data							Quantidade	м
Des.	w◊ a ł·ℕуК2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO						Massa (g)	прфнлр◊тр
Vist.									Tratamento	bŜуКdZY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala-	мŕнл		A3	Material	±łℕ2ă
Nome	lw!ψ¸								Descri-«o	{2fŘł·
DISSERTA ¢ ì O									Desenho	MKM lwa◊нм

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

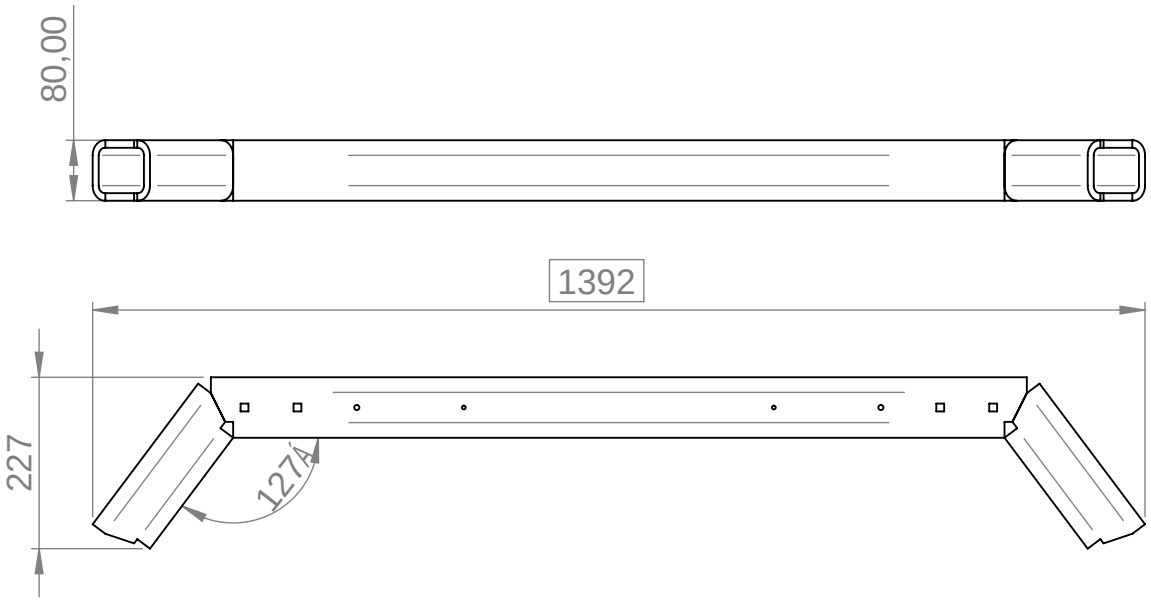


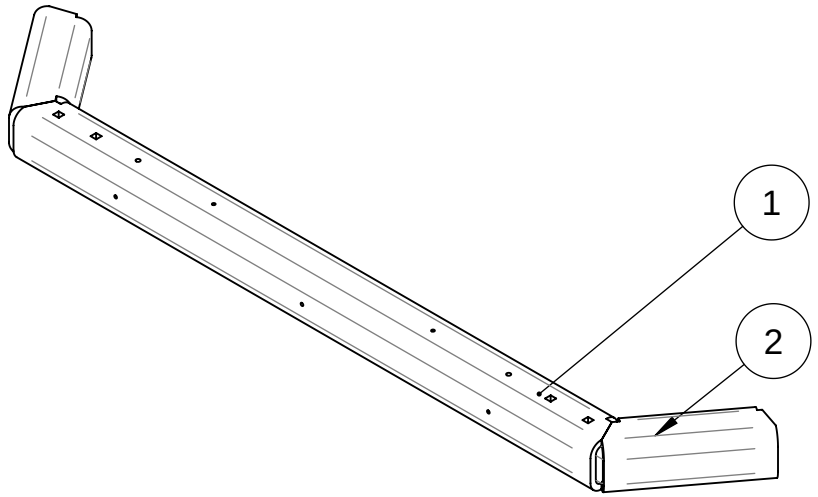


t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№l·f	5ŜăÕ№ƛœń2	¢ƛLJ2	vűè◊	/ [
M	lw!ψ·	lwa◊HO	±ł№ă2ă	{2fŘl·		H	
H	lw!ψ ² ◊ЛЛМ	lwa◊HC	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		H	
O	lw!ψ ² ◊ЛЛН	lwa◊HT	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		H	

	Nome	Data							
Des.	w◊ a l·№уҜ2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	M
Vist.								Massa (g)	◊ррплл◊пу
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмр		A4	Tratamento	bŜyҜdzY
Nome	lw!ψ ²							Material	±ł№2ă
								Descri-«o	{2fŘl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊HH

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

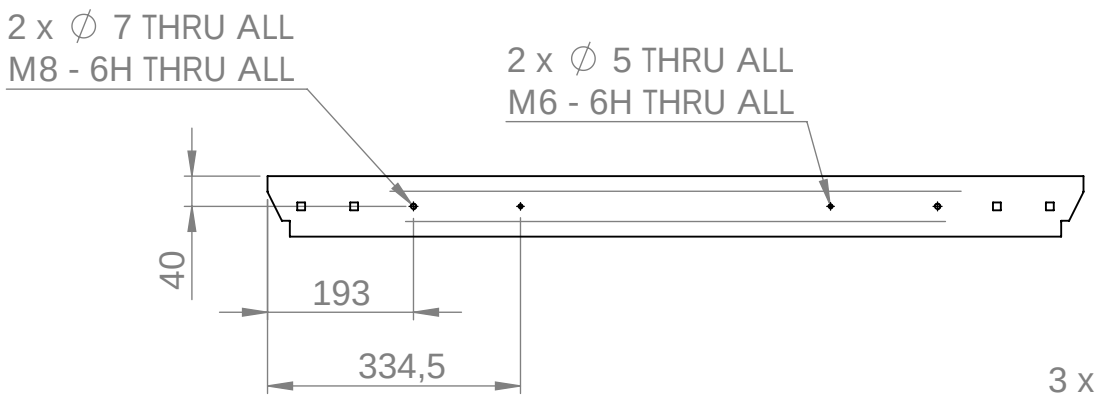


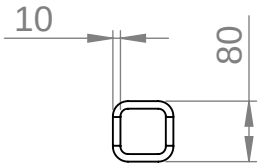


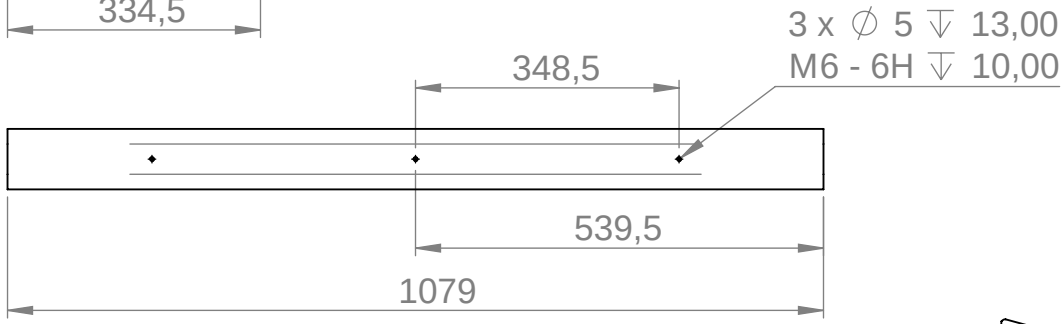
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ůŠℕλl·f	5ŜăÓℕλœń2	¢λLJ2	vůè◊	/ [
м	lw!ψ·◊ллм	lwa◊нп	{opp π улғулғмл	[l·ăŜℕ		м	
н	lw!ψ·◊ллн	lwa◊нр	{opp π улғулғмл	[l·ăŜℕ		н	

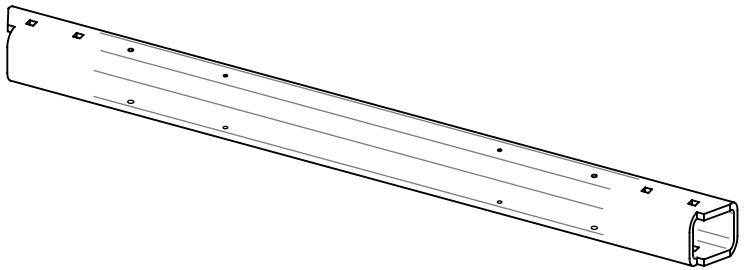
	Nome	Data						Quantidade	н
Des.	w◊ a l·ℕλyҚ2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	нфмор◊фп
Vist.								Tratamento	bŜyҚdzY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мΥмл		A4	Material	±łℕλ2ă
Nome	lw!ψ·							Descri-«o	{2fřl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊но

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



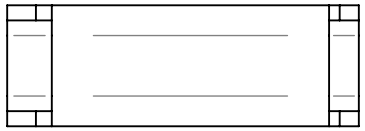


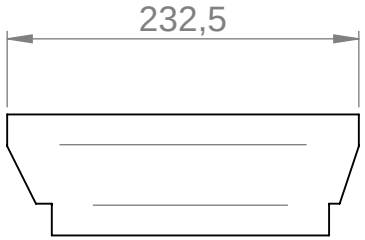


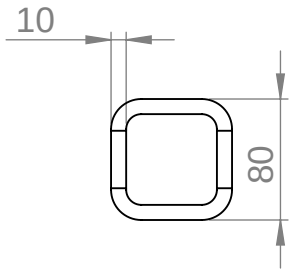


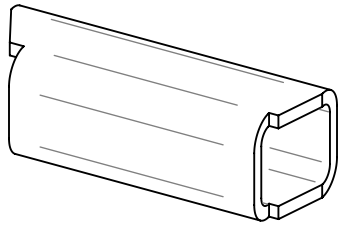
	Nome	Data							
Des.	w¢ a l·ŰŰуҚ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	н
Vist.								Massa (g)	нлтур¢су
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мΥмл		A4	Tratamento	bŜуҚdzΥ
Nome	lw!ψ·¢ллм							Material	{opp π улғулғмл
								Descri-«o	[lăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa¢нп

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



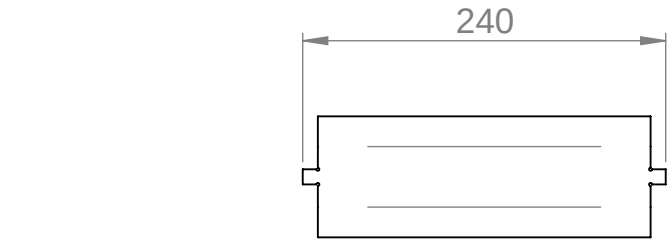


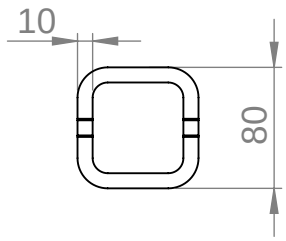


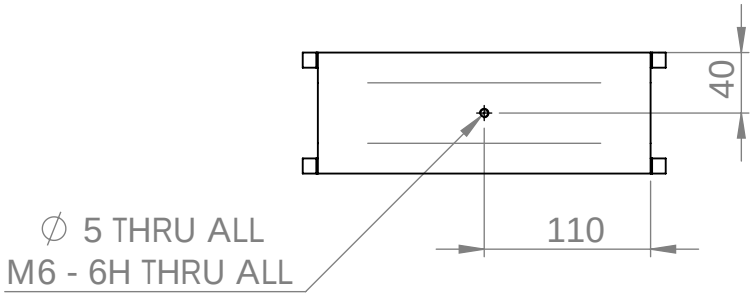


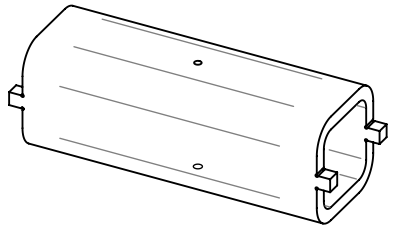
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуҜ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	п
Vist.							Massa (g)	пмтр¢мо
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м℘р	A4	Tratamento	bŜуҜ¢ℤϒ
Nome	lw!ψ·¢ллн						Material	{орр π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa¢нр

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



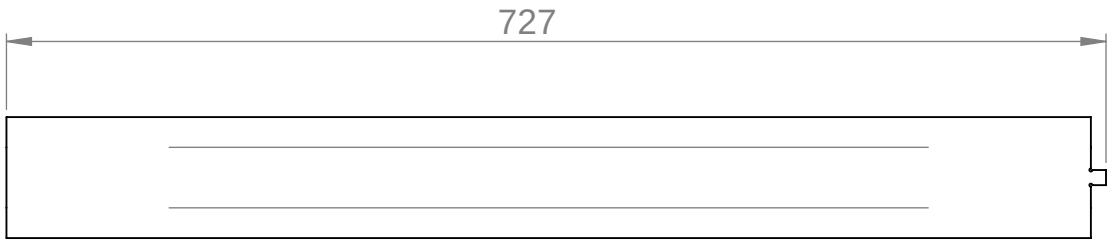


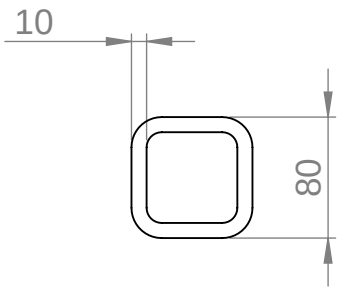


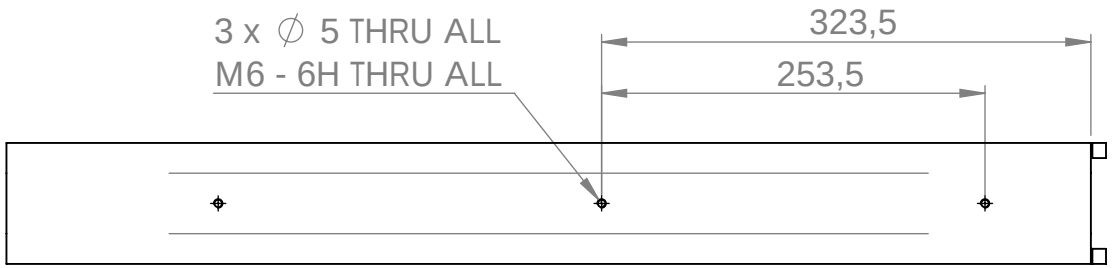


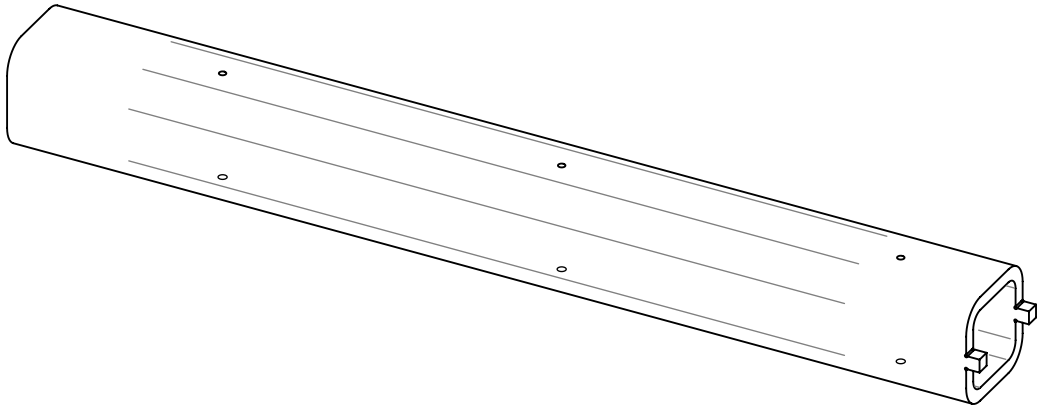
	Nome	Data							
Des.	w¢ a l·ЩуЌ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	н
Vist.								Massa (g)	поуф℗рс
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м℺р		A4	Tratamento	bŜуЌ¢Y
Nome	Iw!ψ ² ◊ллм							Material	{орр π улғулғмл
								Descri-«о	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM Iwa◊нс

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



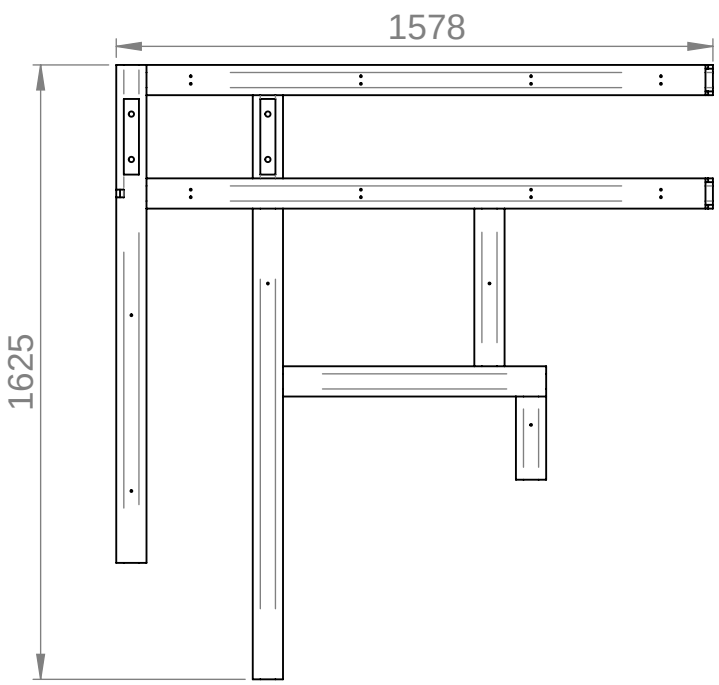


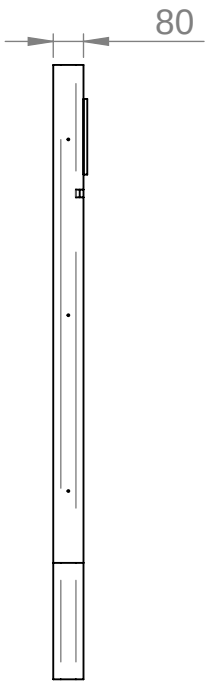


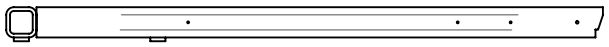


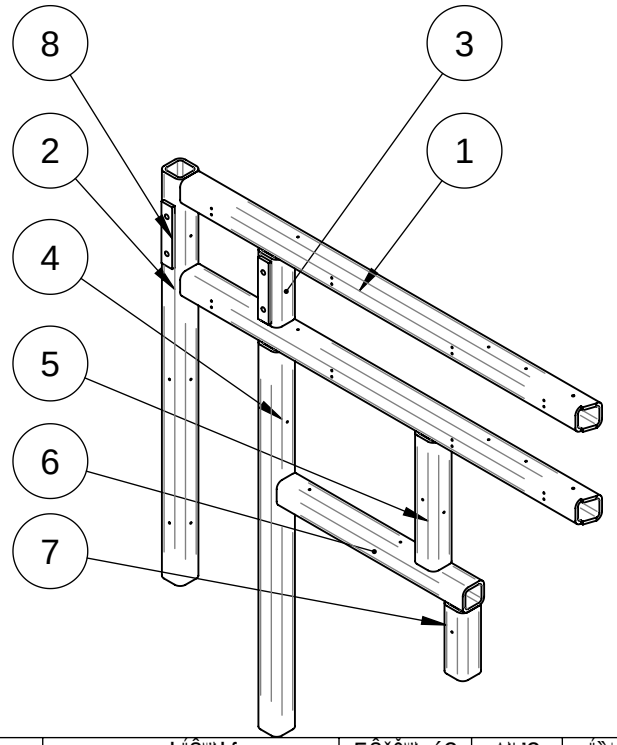
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ЩуЌ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	мпннп‡тп
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р	A4	Tratamento	bŜуЌ¢Y
Nome	Iw!ψ ² ‡ллн						Material	{opp π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa‡нт

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





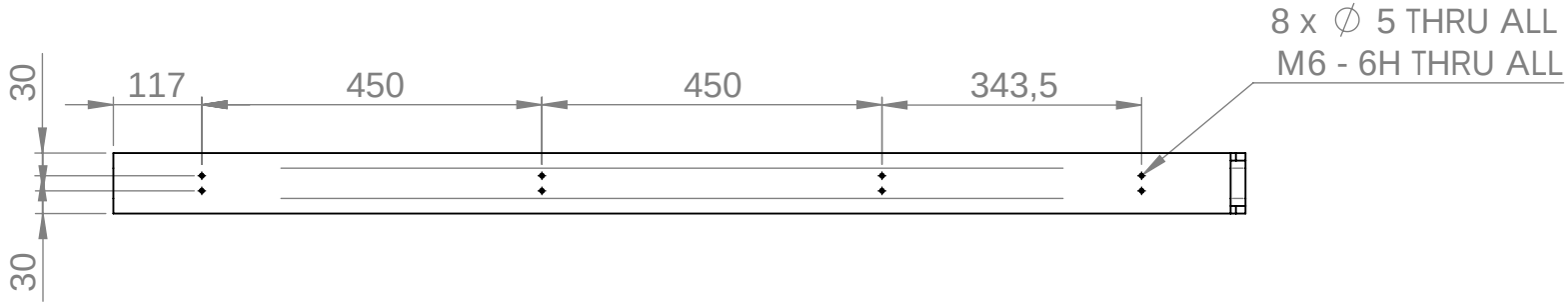


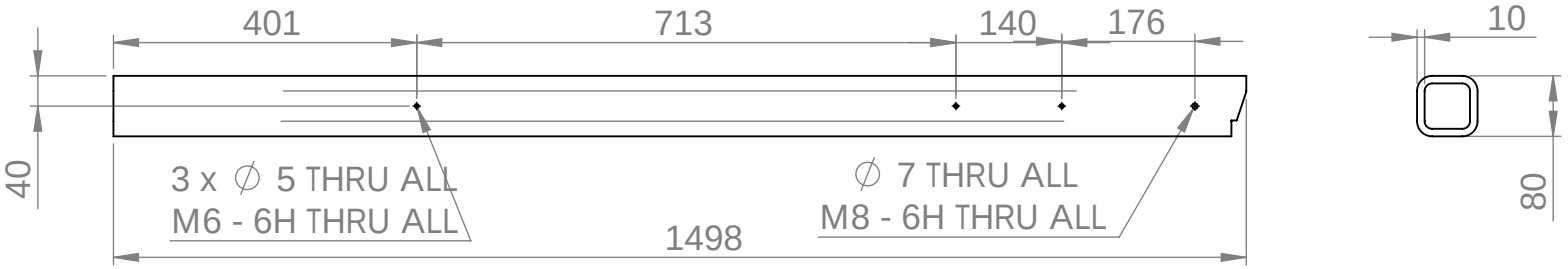


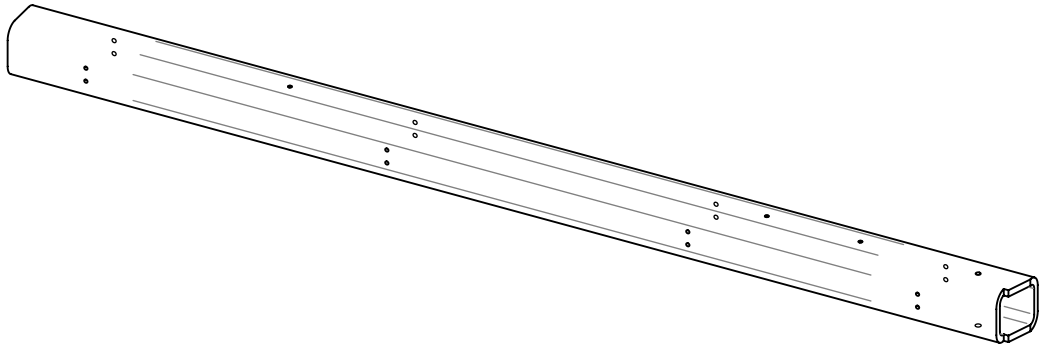
t2ă¢	b2YŜ	5Ŝă¢ bô	a l·ûŜ№ål·f	5ŜăÐ№å«ń2	¢ÅLJ2	vűè¢	/ [
м	lw!ψ±¢ллм	**lwa¢нф**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		н	
н	lw!ψ±¢ллo	**lwa¢ол**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
o	lw!ψ±¢ллн	**lwa¢ом**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
п	lw!ψ±¢ллр	**lwa¢он**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
р	lw!ψ±¢ллп	**lwa¢оо**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
с	lw!ψ±¢ллс	**lwa¢оп**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
т	lw!ψ±¢ллт	**lwa¢ор**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
у	lw!ψ±¢ллу	**lwa¢ос**	{ü от	[l·ăŜ№		н	

	Nome	Data							
Des.	w¢ a l·№уҚ2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	мпмтлф¢нн
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мүнл		A4	Tratamento	bŜyҚdzY
Nome	lw!ψ±ψ[							Material	±ł№2ă
								Descri-«o	{2fřl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa¢ну

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

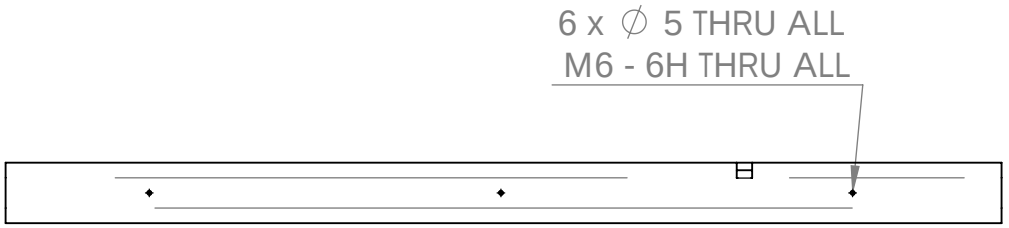


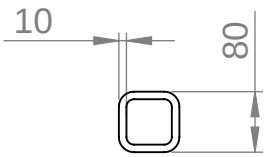


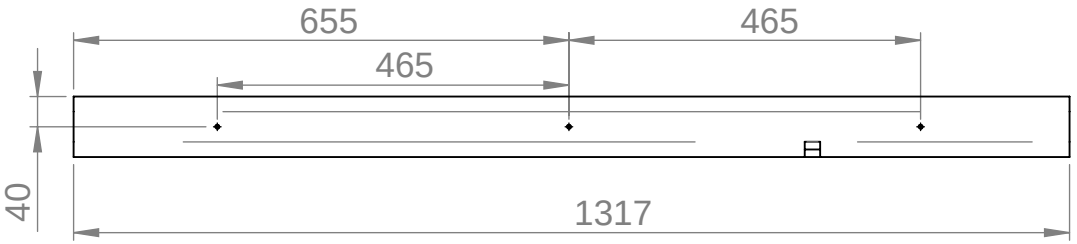


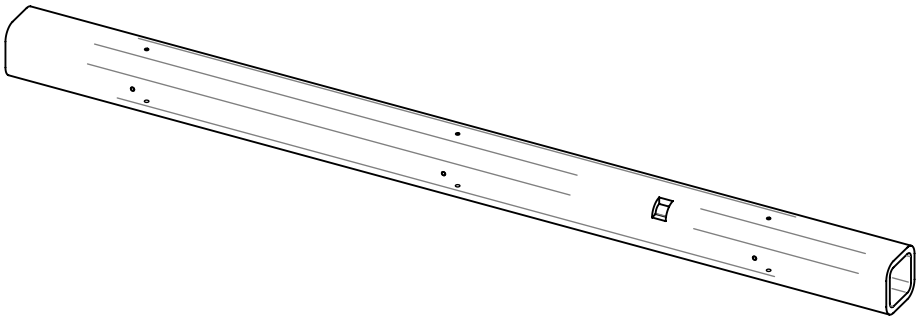
	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ⅰ₩уҜ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	п
Vist.							Massa (g)	нфпфо¢тм
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мѴмл	A4	Tratamento	bŜуҜ₫Ƴ
Nome	Ⅰw ! ψ±¢ллм						Material	{opp π улғулғмл
							Descri-«o	[Ⅰ ă Ŝ₩
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Ⅰw a ¢нф

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



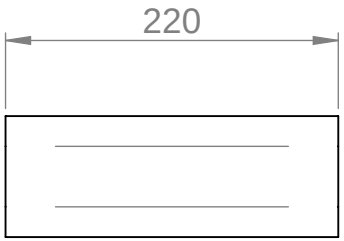


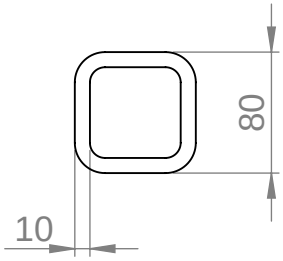


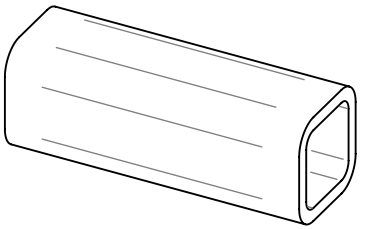


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ЩуЌ2	мнклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	нслсм¢ор
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мΎмл	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Iw!ψ±¢ллo						Material	{opp π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iw a¢ол

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

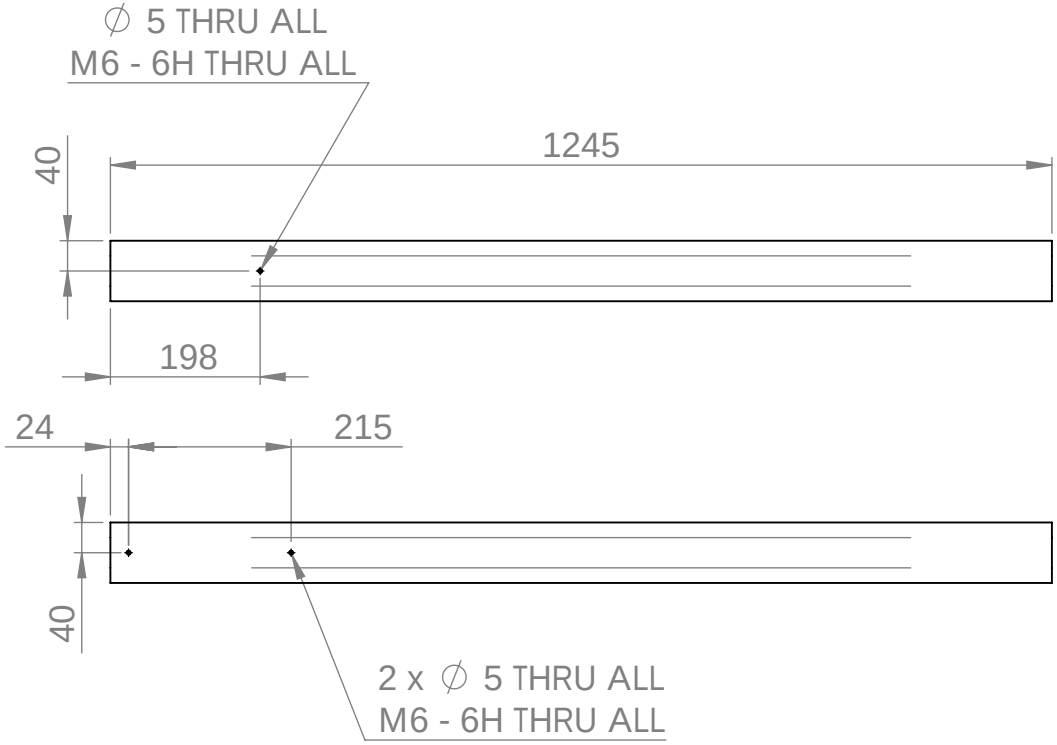


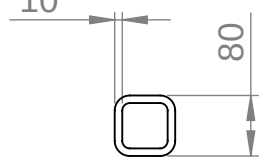


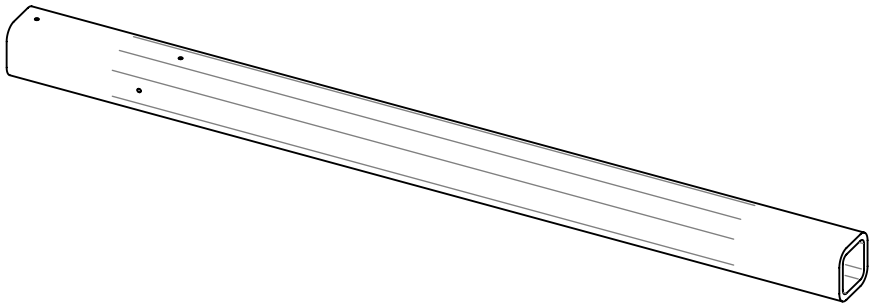


	Nome	Data						
Des.	wφ a l·ЩуЌ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	посн℗уф
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγр	A4	Tratamento	bŜyЌdzY
Nome	Iw!ψ±℗ллн						Material	{opp π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa℗ом

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

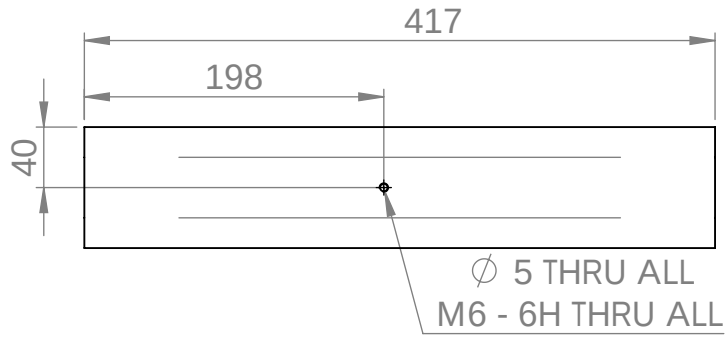


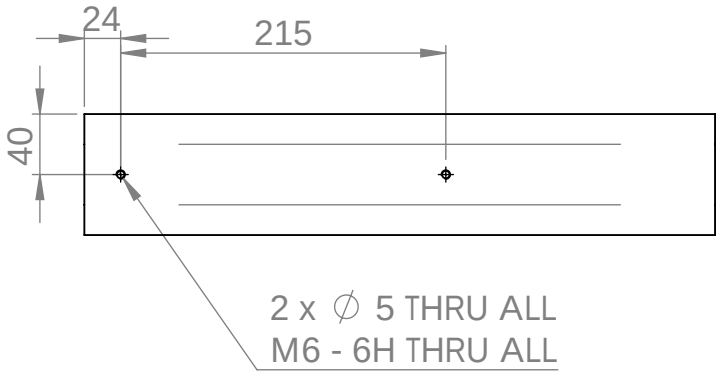


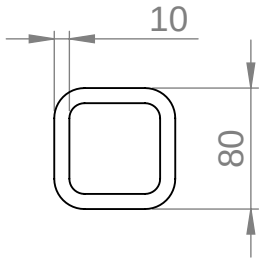


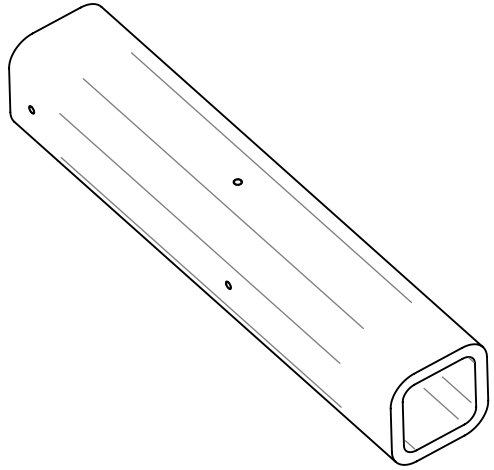
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ЩуЌ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	нпсул¢ум
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мѴмл	A4	Tratamento	bŜуЌ¢Y
Nome	Iw!ψ±¢ллр						Material	{орр π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢он

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



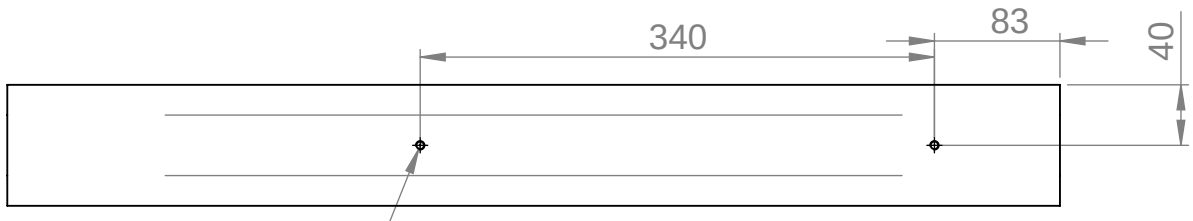




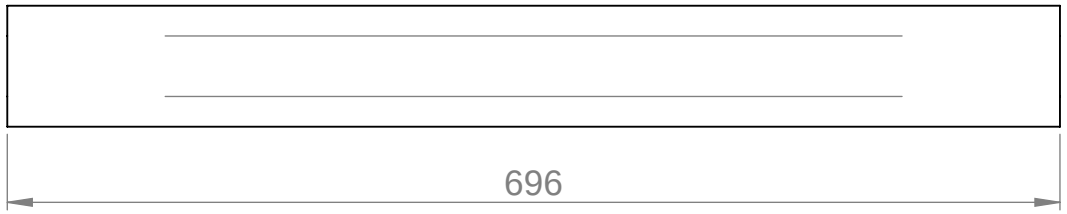


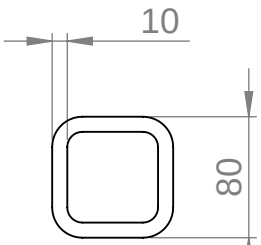
	Nome	Data						
Des.	w¢ a I·ЩуЌ2	олклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	унсл¢пт
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγр	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Iw!ψ±¢ллп						Material	{орр π улғулғмл
							Descri-«o	[I·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢oo

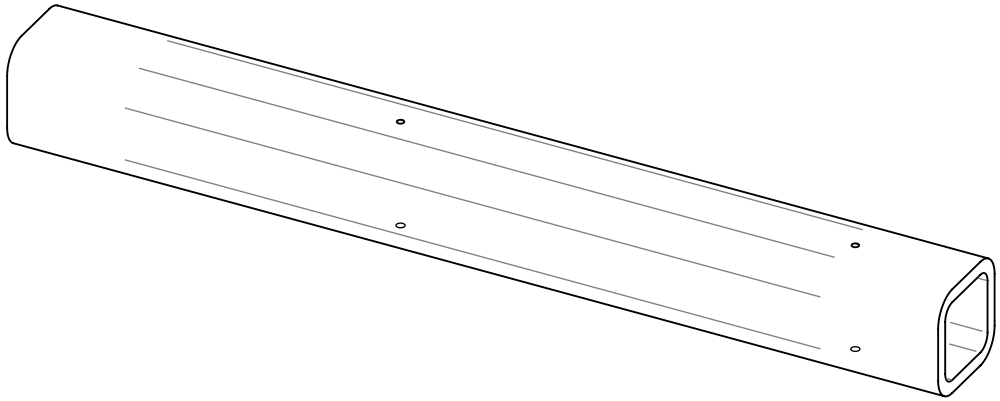
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



2 x ∅ 5 THRU ALL
M6 - 6H THRU ALL

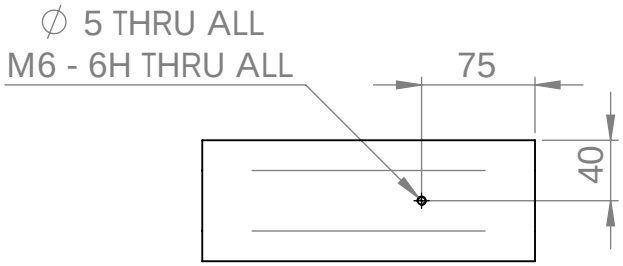


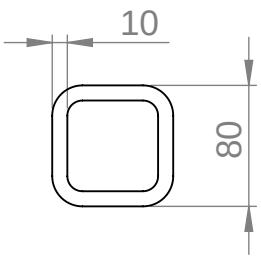


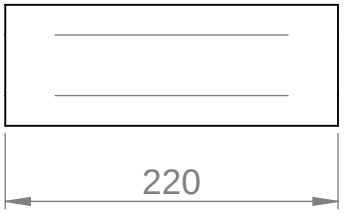


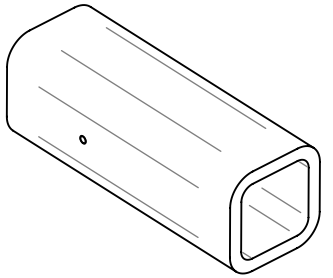
	Nome	Data						
Des.	wφ a l·ŰŲУҜ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	мотфсφпу
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγр	A4	Tratamento	bŜуҜdžϒ
Nome	Iw!ψ±φллс						Material	{орр π улғулғмл
							Descri-«o	[lăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwaφоп

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



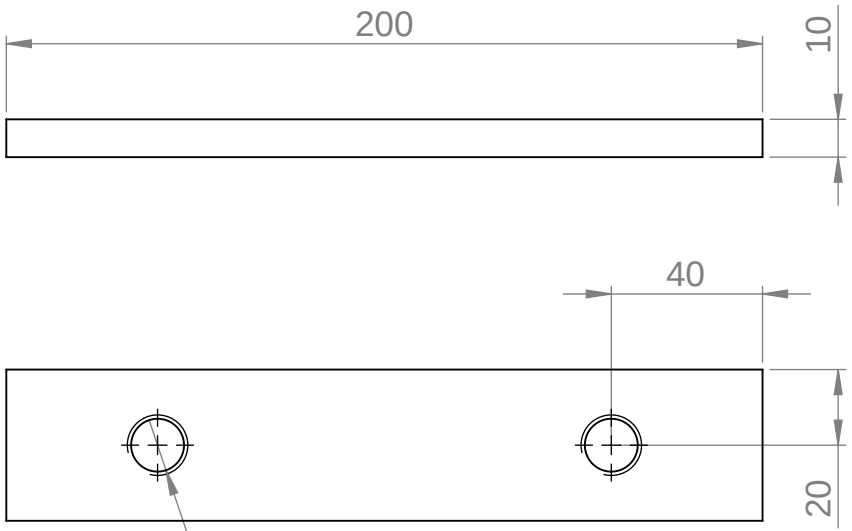


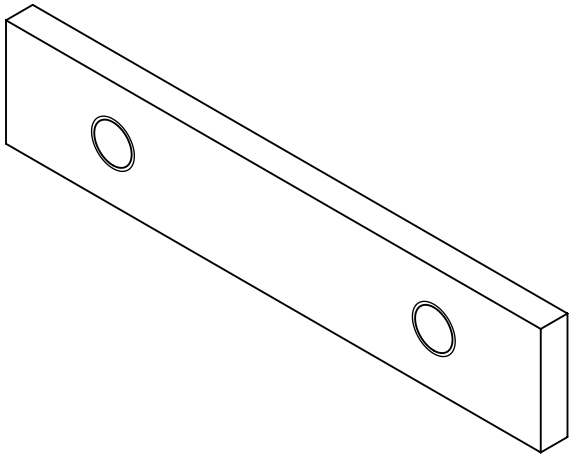




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲ¥Ƙ2	олклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	порф¢уо
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р	A4	Tratamento	bŜ¥Ƙ¢Ƴ
Nome	Iw!ψ±¢ллт						Material	{opp π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢op

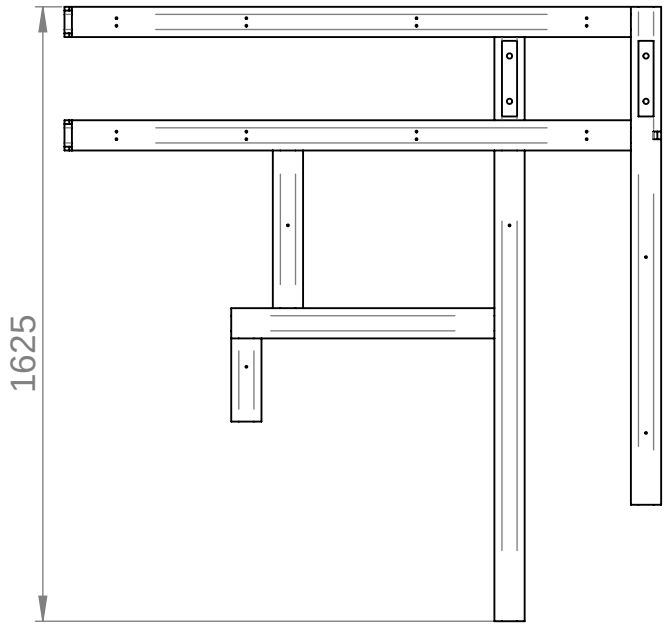
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

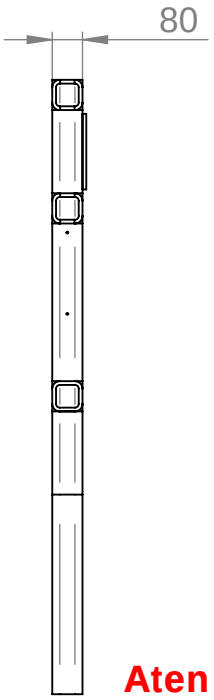


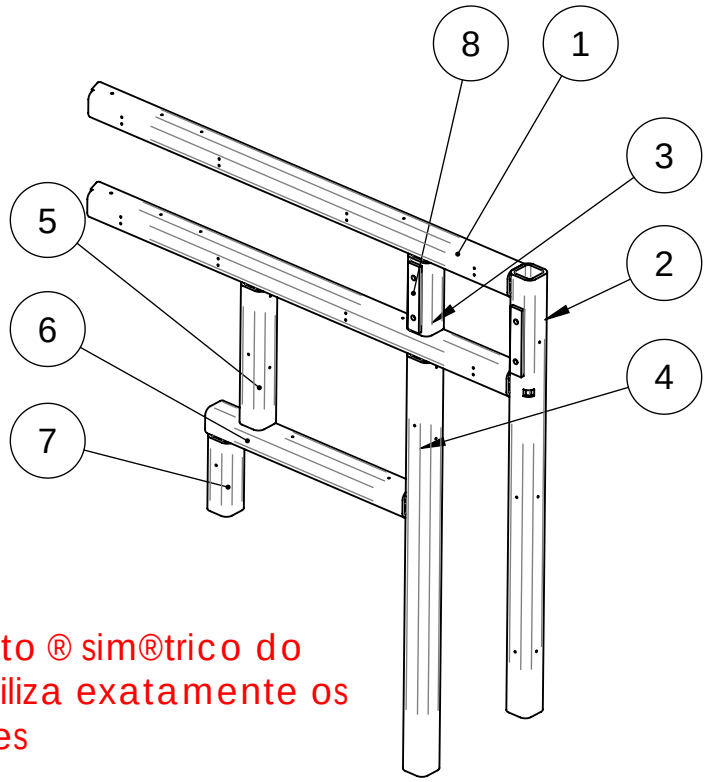


	Nome	Data						
Des.	w¢ a ł·ŰуЌ2	лткларкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	п
Vist.							Massa (g)	р¢ф¢ф¢ф
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎн	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Iw!ψ±¢ллу						Material	{ű от
							Descri-«o	[ł·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢oc

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





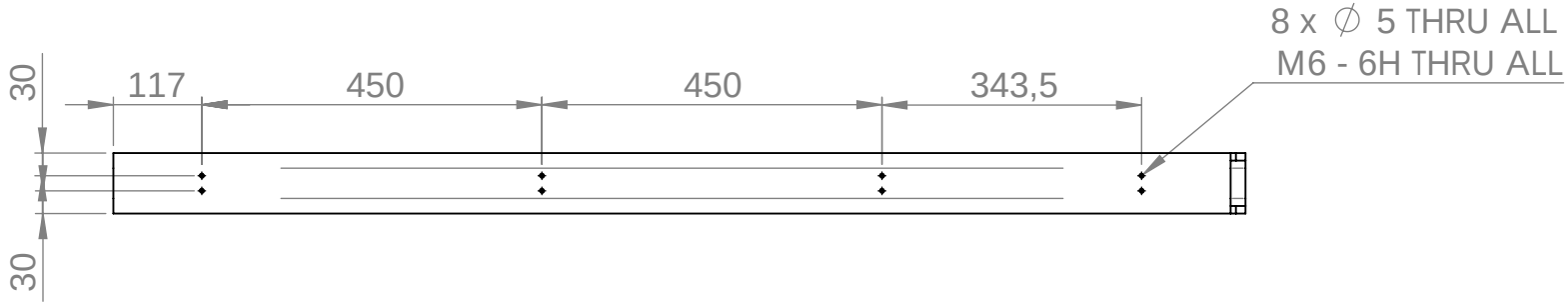


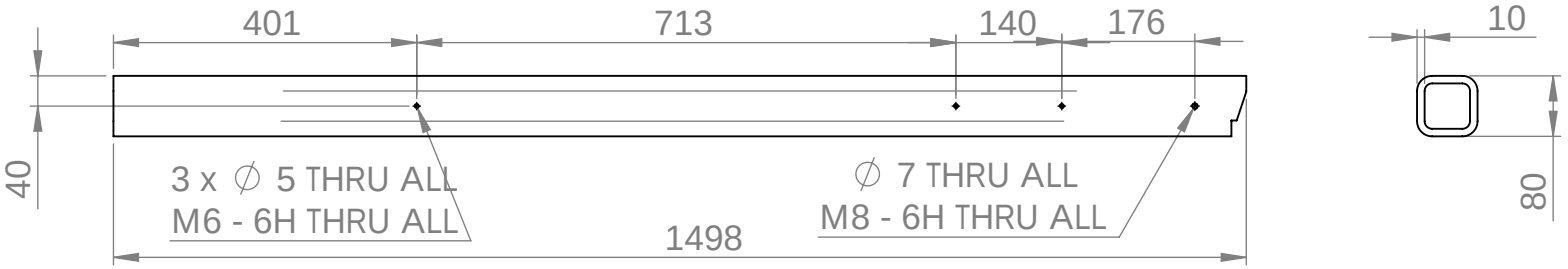
Aten-«o: Este conjunto ® sim®trico do desenho #RM.28 e utiliza exatamente os mesmos componentes

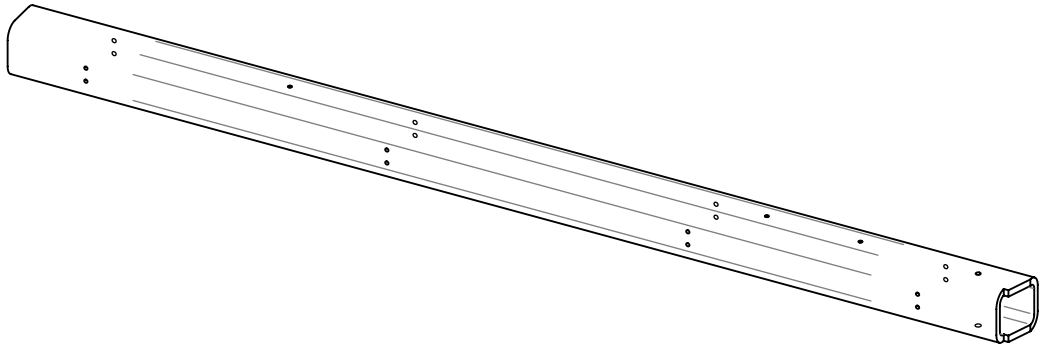
t2ă¢	b2YŜ	5Ŝă¢ bô	a l·úŜ№ì·f	5ŜăÓ№ìœń2	¢ìLJ2	vúè¢	/[
м	lw!ψ±¢ллм	**lwa¢нф**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		н	
н	lw!ψ±¢лло	**lwa¢ол**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
о	lw!ψ±¢ллн	**lwa¢ом**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
п	lw!ψ±¢ллр	**lwa¢он**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
р	lw!ψ±¢ллп	**lwa¢оо**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
с	lw!ψ±¢ллс	**lwa¢оп**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
т	lw!ψ±¢ллт	**lwa¢ор**	{opp π улғулғмл	[l·ăŜ№		м	
у	lw!ψ±¢ллу	**lwa¢ос**	{ú от	[l·ăŜ№		н	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w¢ a l·№уЌ2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	мпмтлф¢нн
Vist.								Tratamento	bŜyЌdzY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мΥнл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ±ψw							Descri-«o	{2fŘl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa¢от

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

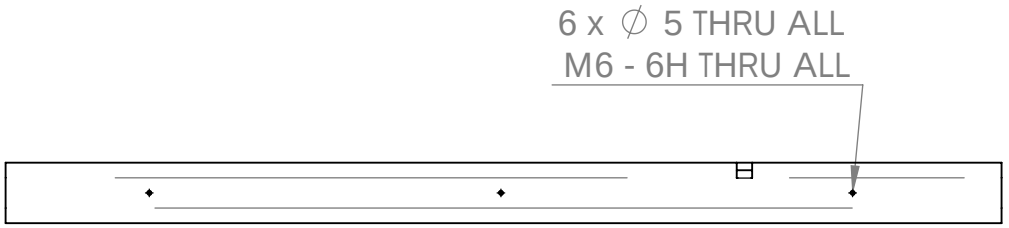


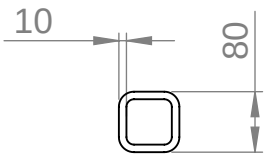


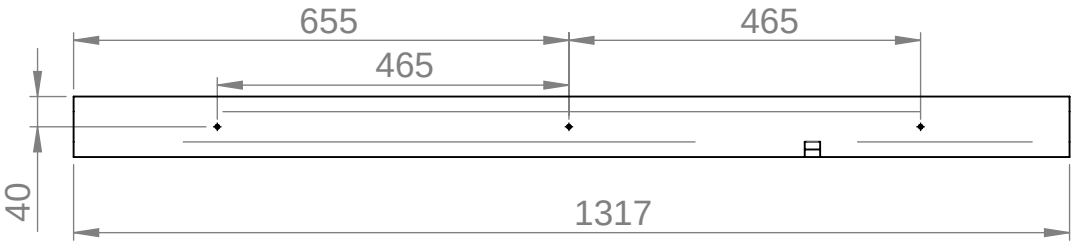


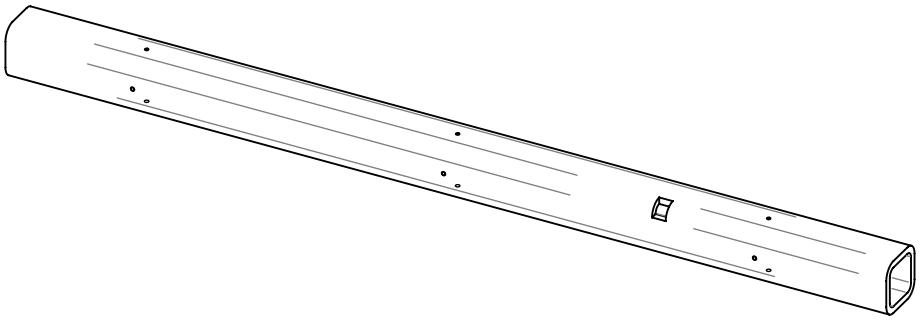
	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ⅰ₩уҜ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	п
Vist.							Massa (g)	нфпфо¢тм
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мѴмл	A4	Tratamento	bŜуҜ₫Ƴ
Nome	Ⅰw ! ψ±¢ллм						Material	{opp π улғулғмл
							Descri-«o	[Ⅰ ă Ŝ₩
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Ⅰw a ¢нф

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



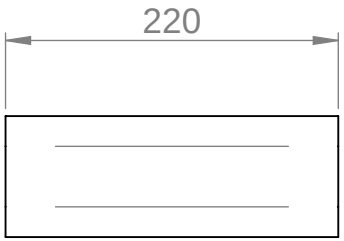


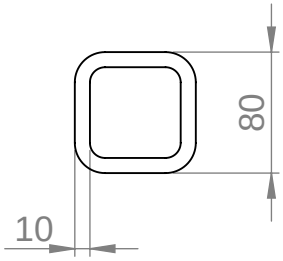


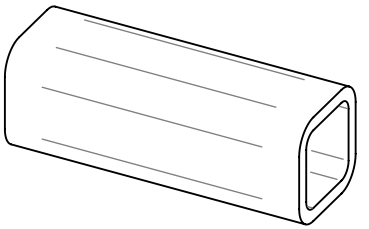


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ЩуЌ2	мнклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	нслсм¢ор
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мΎмл	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Iw!ψ±¢ллo						Material	{opp π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iw a¢ол

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

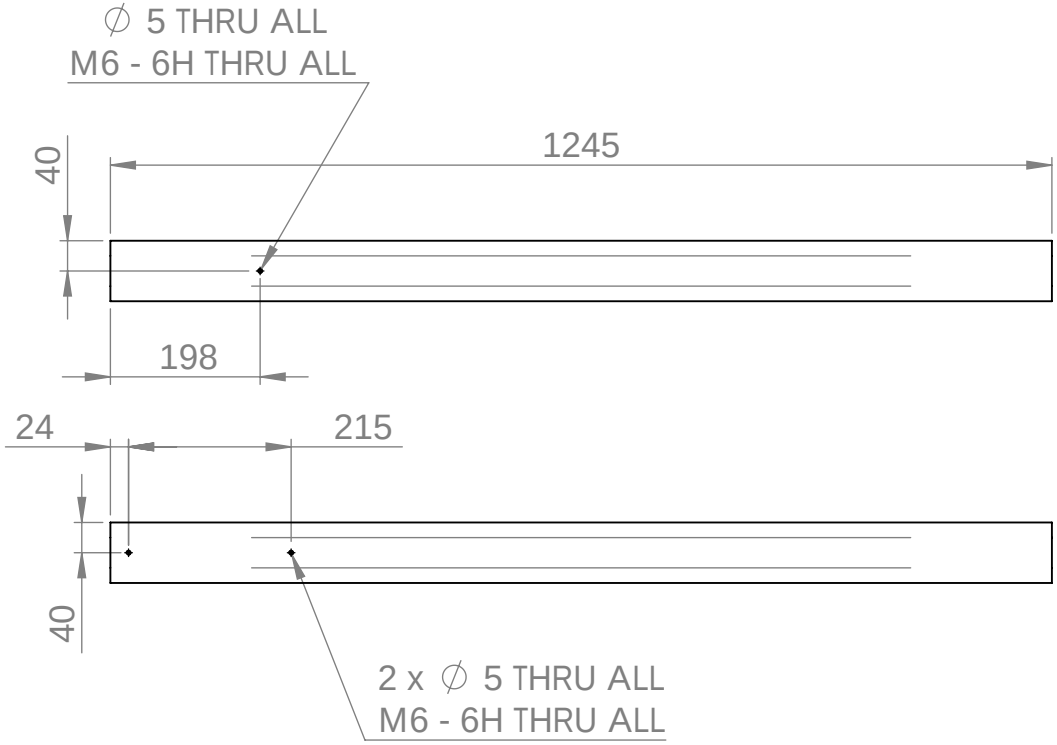


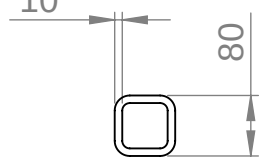


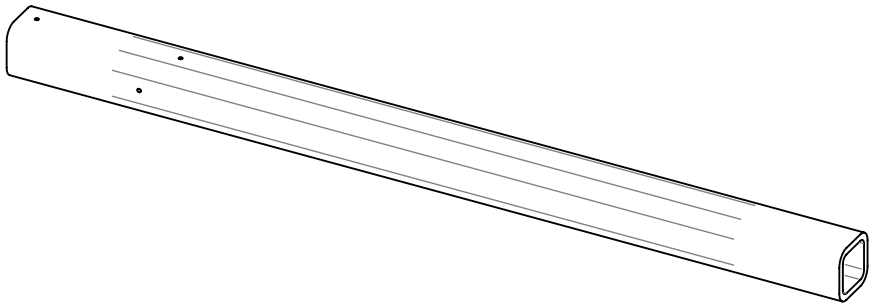


	Nome	Data						
Des.	wφ a l·ЩуЌ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	посн℗уф
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγр	A4	Tratamento	bŜyЌdzY
Nome	Iw!ψ±℗ллн						Material	{opp π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa℗ом

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

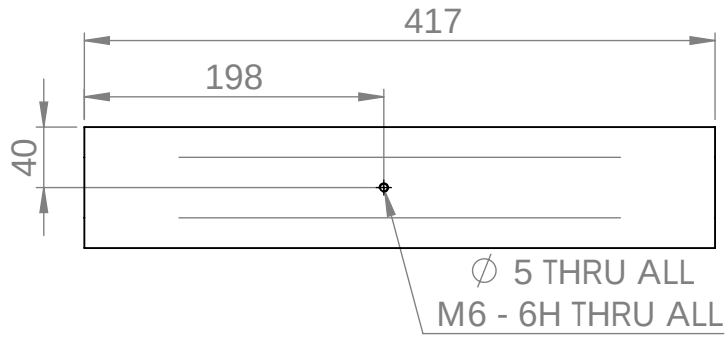


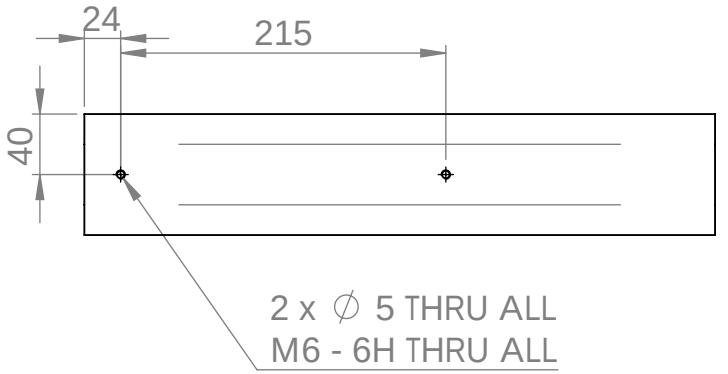


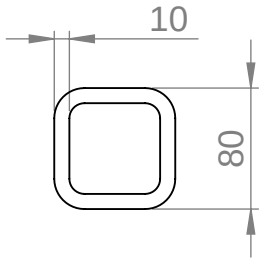


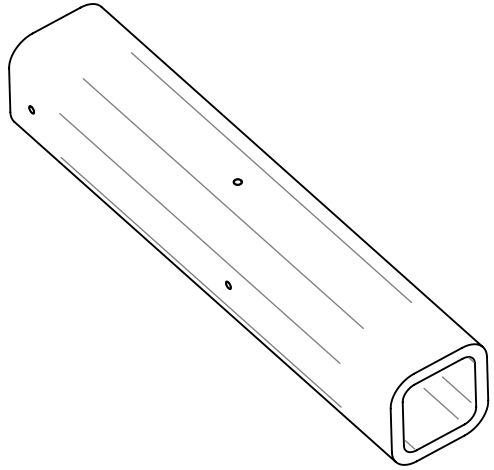
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ЩуЌ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	нпсул¢ум
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мѴмл	A4	Tratamento	bŜуЌ¢Y
Nome	Iw!ψ±¢ллр						Material	{орр π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢он

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



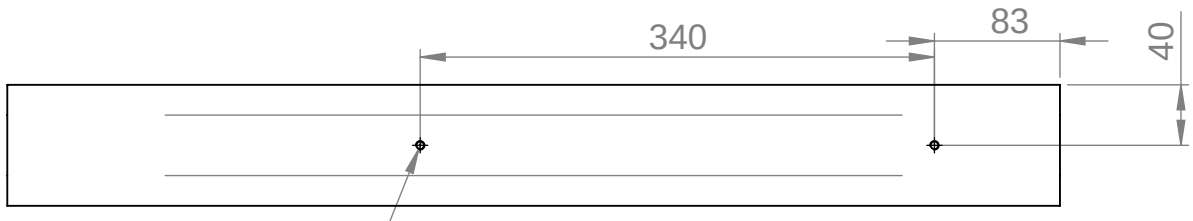




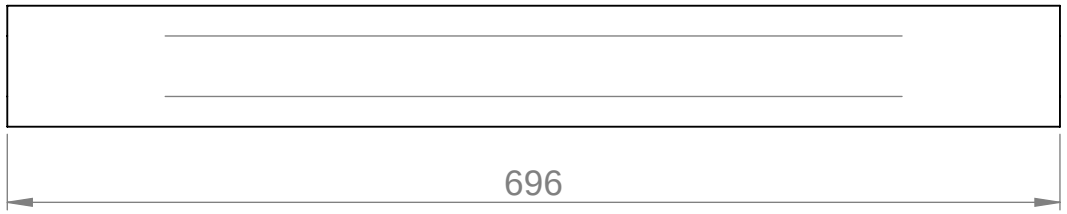


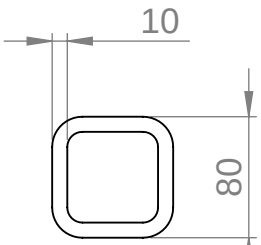
	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ⅰ·ⅩⅨуЌ2	олклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	унсл¢пт
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγр	A4	Tratamento	bŜуЌ⇵Y
Nome	Ⅰw ! ψ±¢ллп						Material	{орр π улғулғмл
							Descri- «о	[Ⅰ·ăŜⅨ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Ⅰw a¢oo

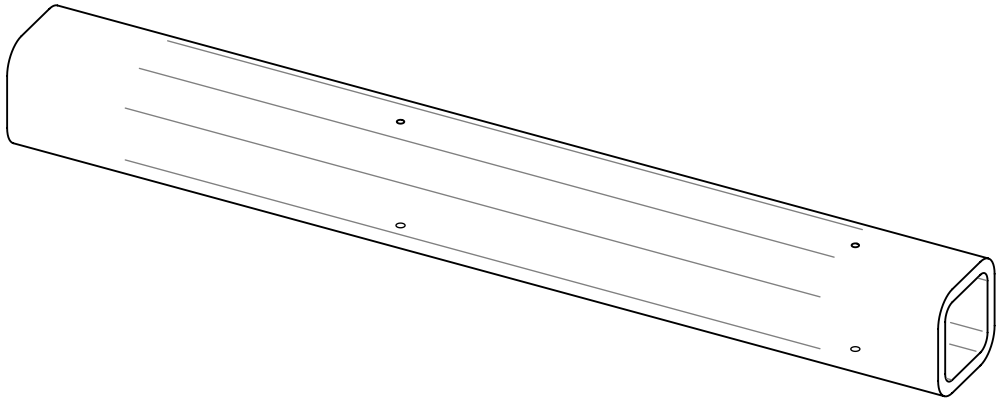
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



2 x ∅ 5 THRU ALL
M6 - 6H THRU ALL

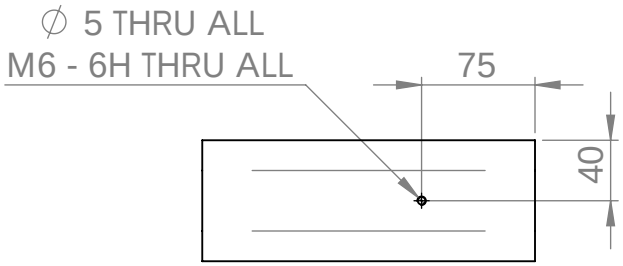


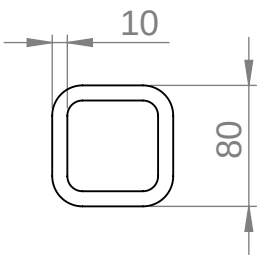


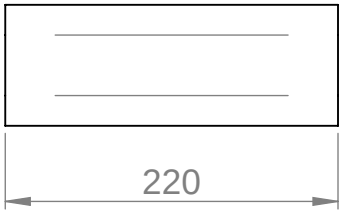


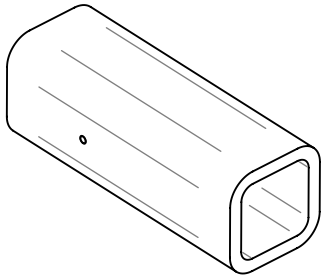
	Nome	Data						
Des.	wφ a l·ŰŲУҜ2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	мотфсφпу
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγр	A4	Tratamento	bŜуҜdžϒ
Nome	Iw!ψ±φллс						Material	{орр π улғулғмл
							Descri-«o	[lăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwaφоп

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



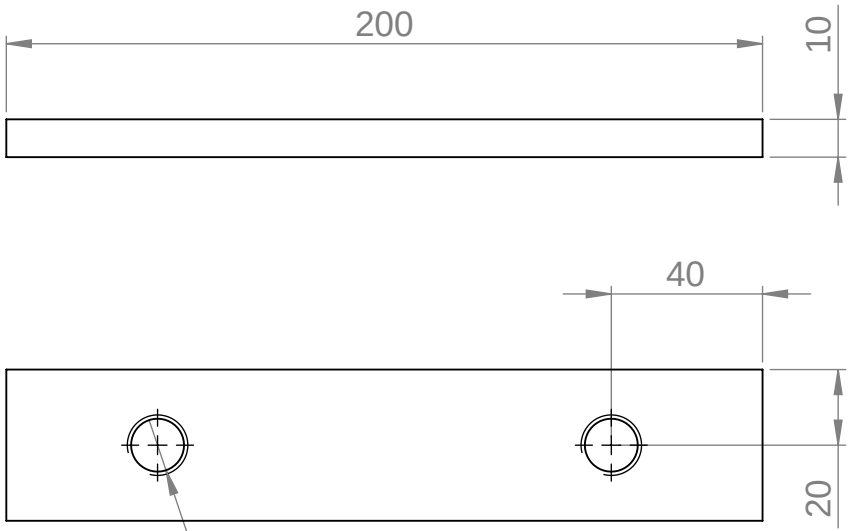


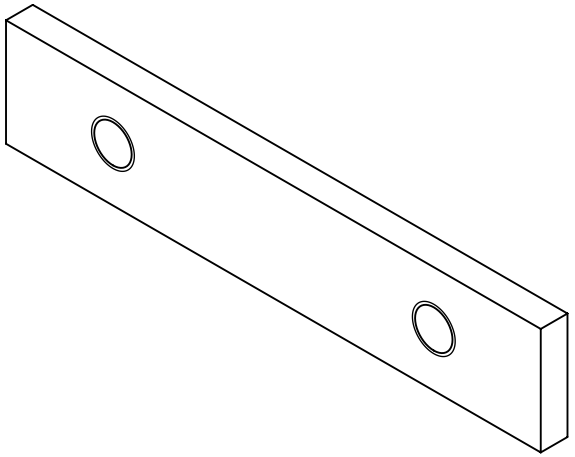




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲ¥Ƙ2	олклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	порф¢уо
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р	A4	Tratamento	bŜ¥Ƙ¢Ƴ
Nome	Iw!ψ±¢ллт						Material	{opp π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢op

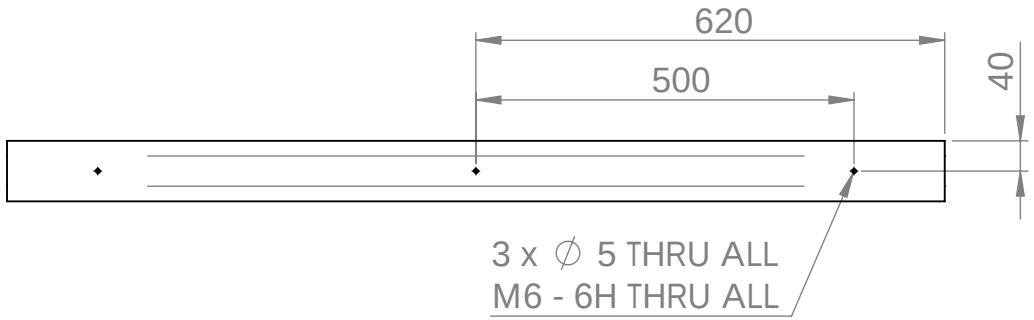
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



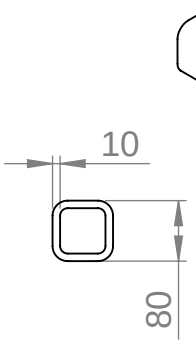


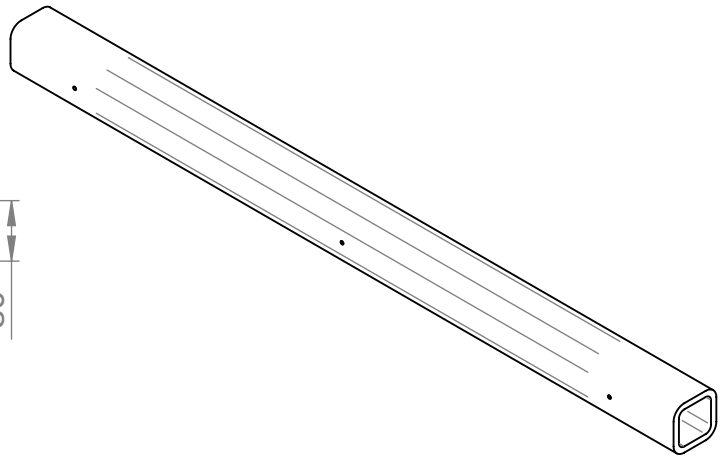
	Nome	Data						
Des.	w¢ a ł·ŰуЌ2	лткларкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	п
Vist.							Massa (g)	р¢ф¢ф¢ф
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎн	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Iw!ψ±¢ллу						Material	{ű от
							Descri-«o	[ł·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢oc

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





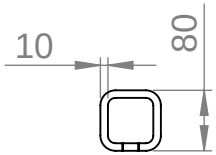


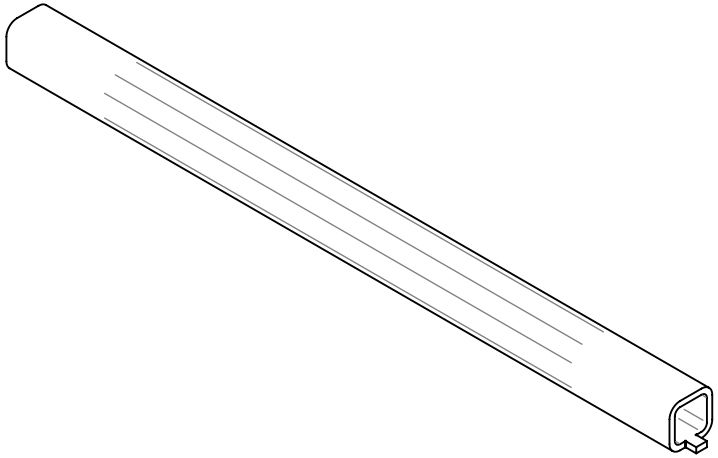


	Nome	Data						
Des.	wφ a l·ЩуЌ2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	нпрумφсс
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мΥмл	A4	Tratamento	bŜуЌdzΥ
Nome	Iw!ψ¸φллм						Material	{орр π улғулғмл
							Descri-«o	[l·ăŜ℔
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwaφoy

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

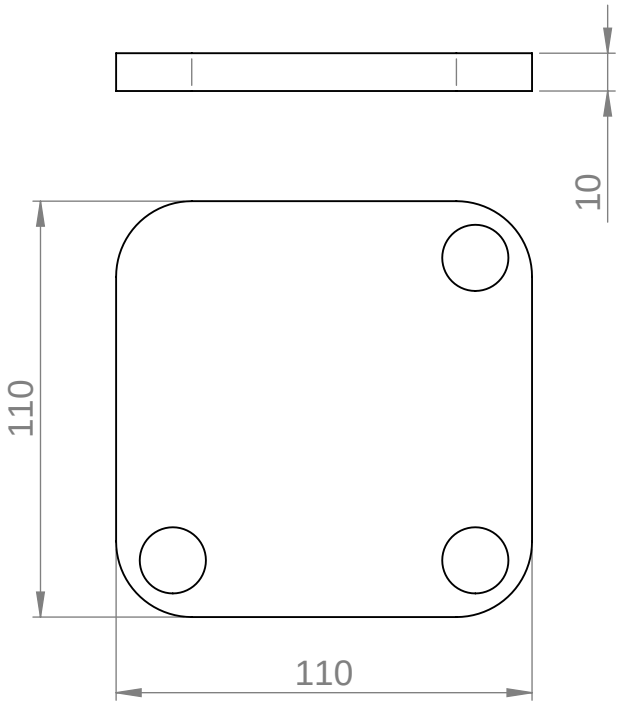


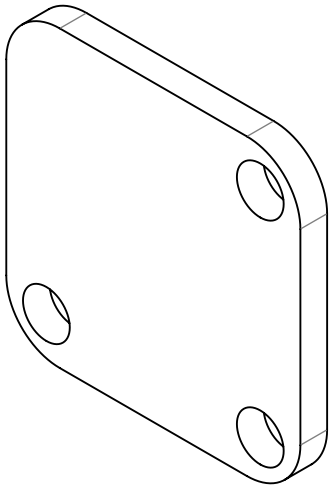




	Nome	Data						
Des.	wφ a I·ŰŲУҜ2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	нпсрнфрм
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мΥмл	A4	Tratamento	bŜуҜdzY
Nome	Iw!ψ¸φллн						Material	{орр π улғулғмл
							Descri-«o	[I·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwaφоф

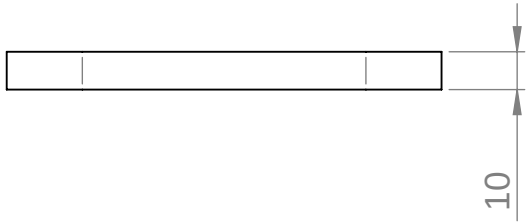
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

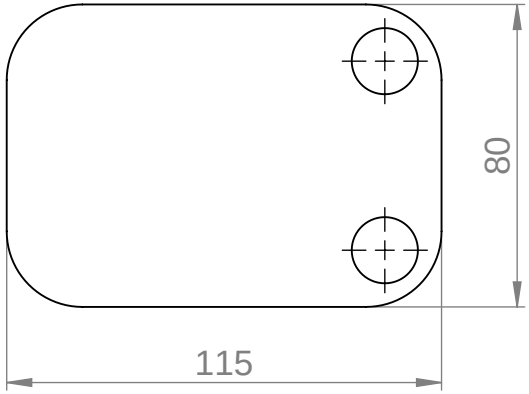


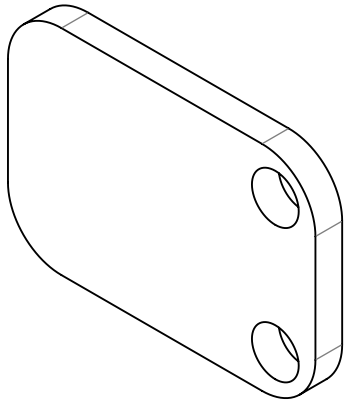


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуҚ2	лмклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	c
Vist.							Massa (g)	усл¢то
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎн	A4	Tratamento	bŜуҚdzY
Nome	Iw!ψ/¢лмл						Material	{ű от
							Descri-«o	[l·ăŜ℔
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢пл

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

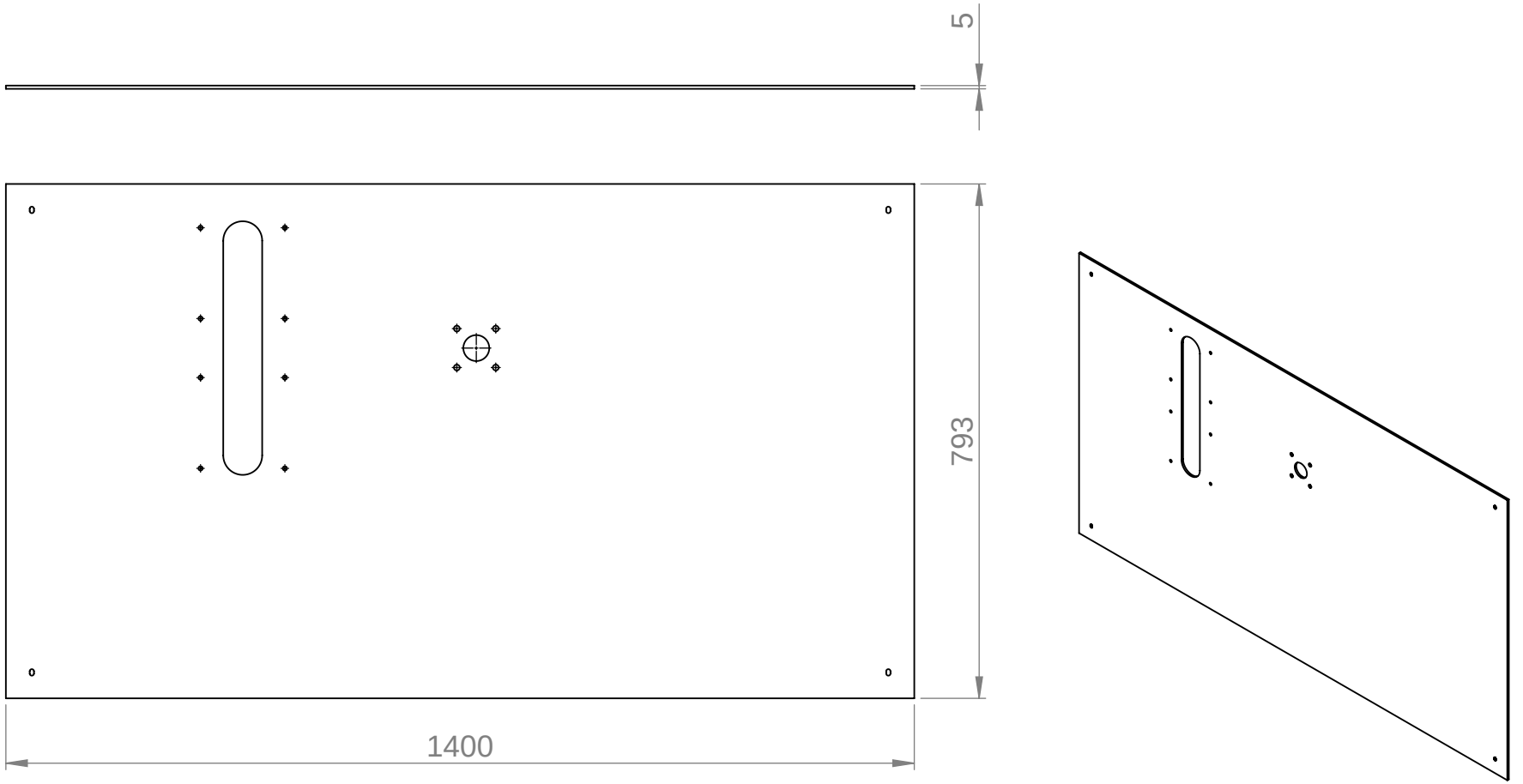






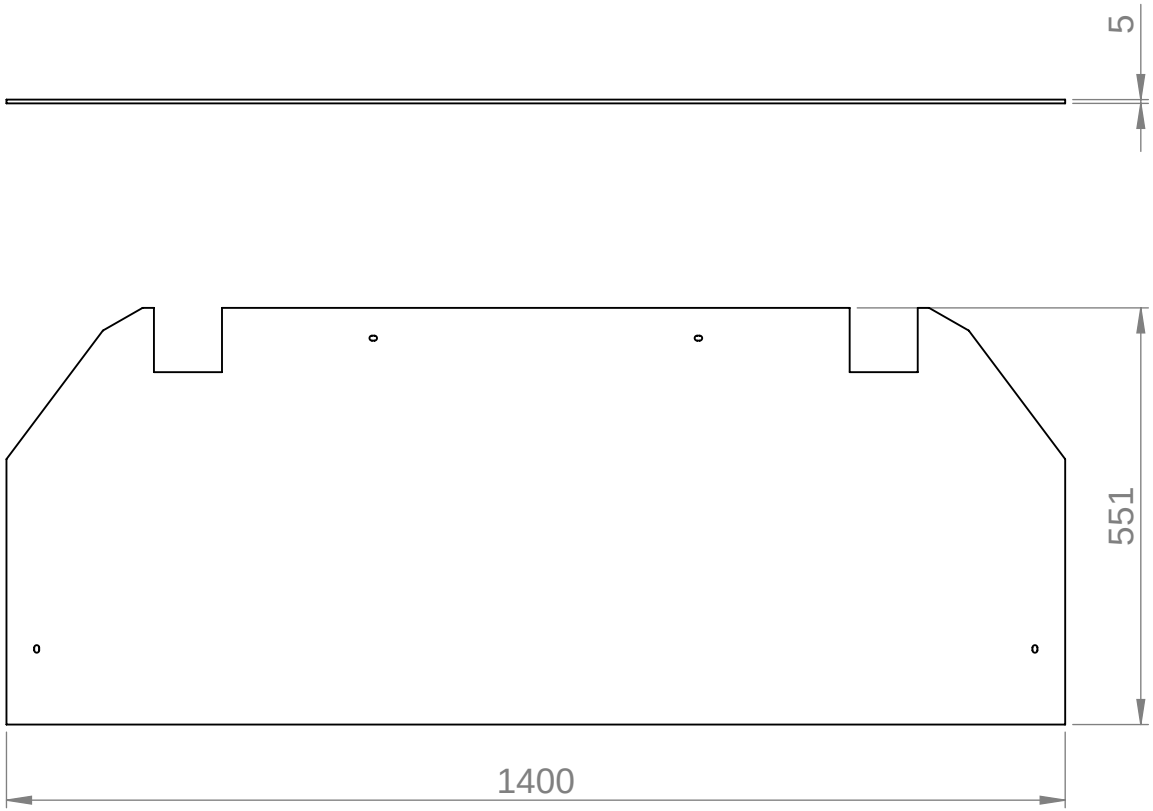
	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ⅰ·ⅩуЌ2	лмклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	сро¢ол
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎн	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Ⅰw ! ψ / ¢лмм						Material	{ΰ от
							Descri- «o	[Ⅰ·ăŜⅩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Ⅰw a ¢пм

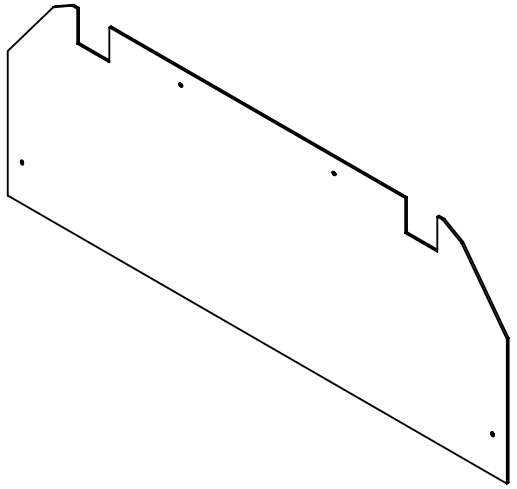
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·ⅈⅈуҜ2	ннклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	пноо◊рр
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мѴмл	A4	Material	bŜуҜdzY
Nome	Iw!◊ллп						Descri-«o	[l·ăŜⅈ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa◊пн

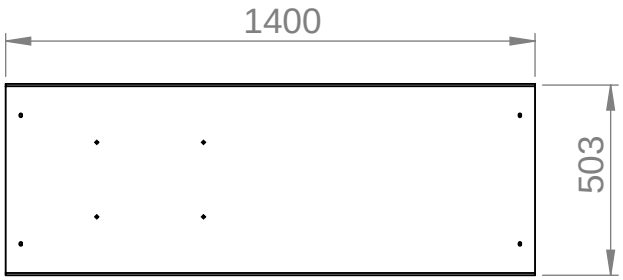
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



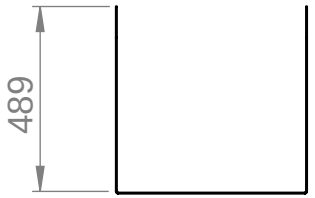


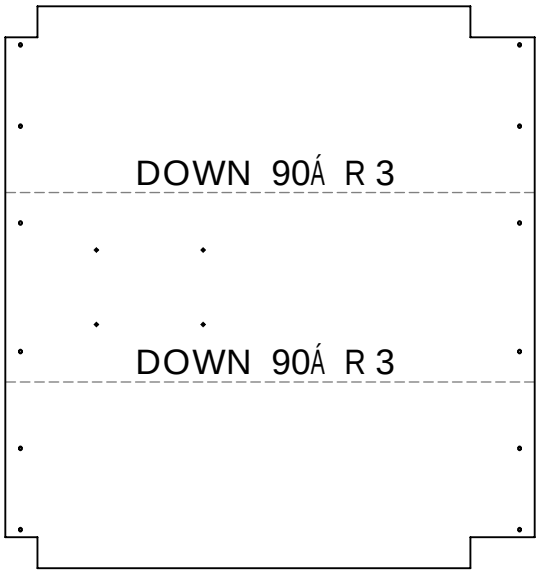
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуҜ2	ннклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	нунто¢фс
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мѴмл	A4	Tratamento	bŜуҜdzY
Nome	Iw!¢ллр						Material	{ű от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢по

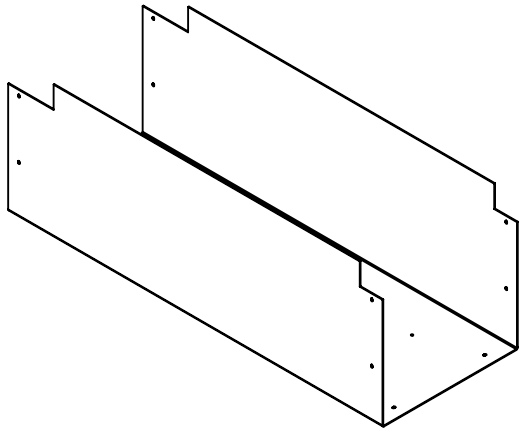
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





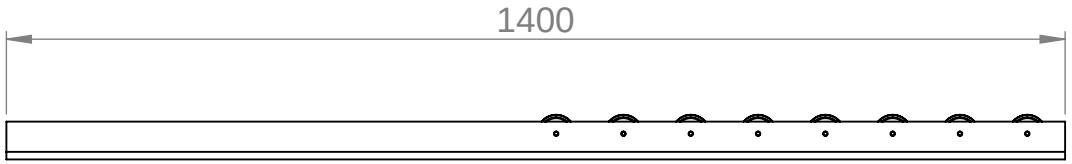


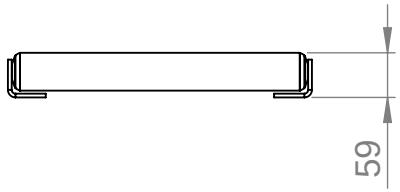


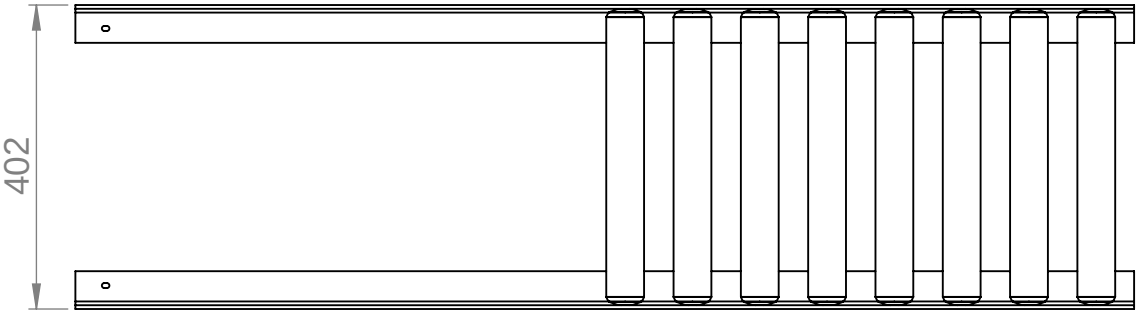


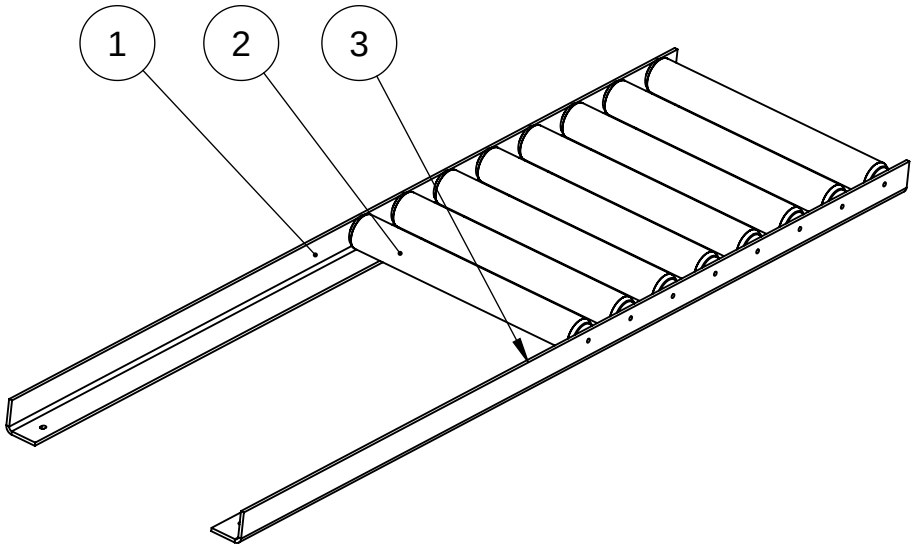
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŰуК2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	птсуу¢со
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎнл	A4	Tratamento	tlyŰdzŰl·
Nome	lw!¢ллс						Material	{ű от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa¢пп

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





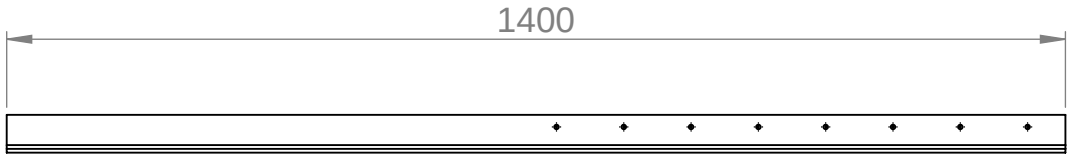


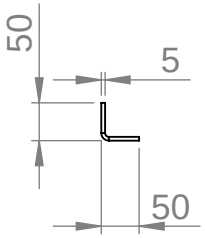


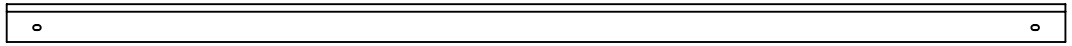
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№λl·f	5ŜăÔ№λœń2	¢ʌLJ2	vúè◊	/ [
м	lw!ψC◊ллм	lwa◊nc	{ú от	[l·ăŜ№		м	
н	LyűŜ№№2ffψлн	LyűŜ№№2ff	wоммпорψ59млψ/wмтлл	/2YLJ№l·		y	
о	lw!ψC◊ллн	lwa◊пт	{ú от	[l·ăŜ№		м	

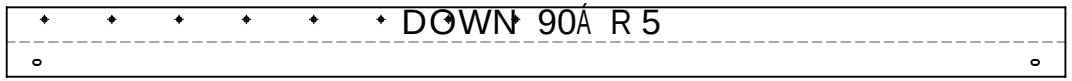
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№уK2	нлклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	мслфм◊нт
Vist.								Tratamento	bŜYKdzY·
Aprov.		нткlскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мУмл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψC							Descri-«o	hтλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa◊пр

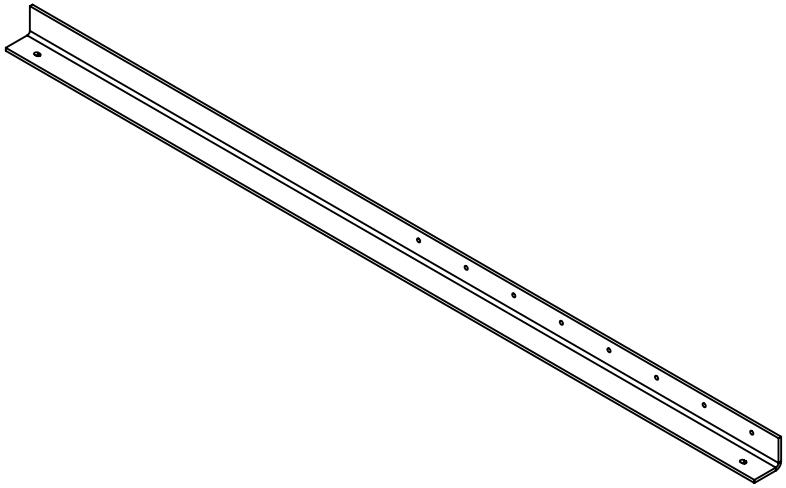
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





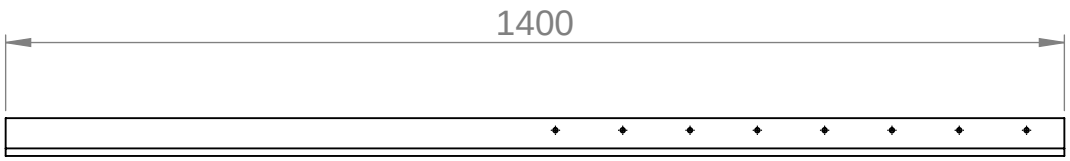


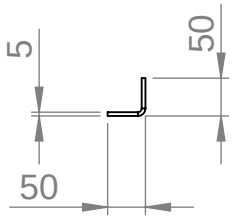


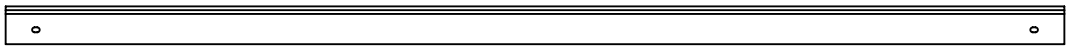


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŷK2	млклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	пффу¢лл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл	A4	Tratamento	bŜyKdzY
Nome	Iw!ψC¢ллм						Material	{ú от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢пс

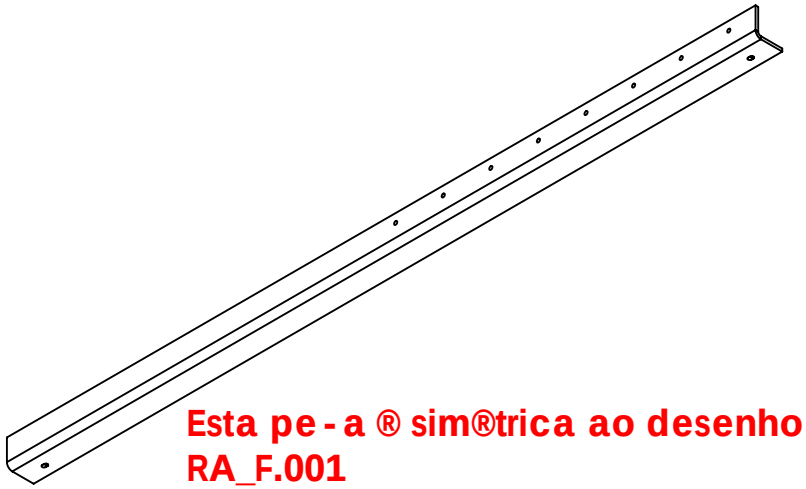
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







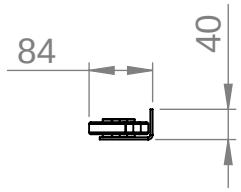




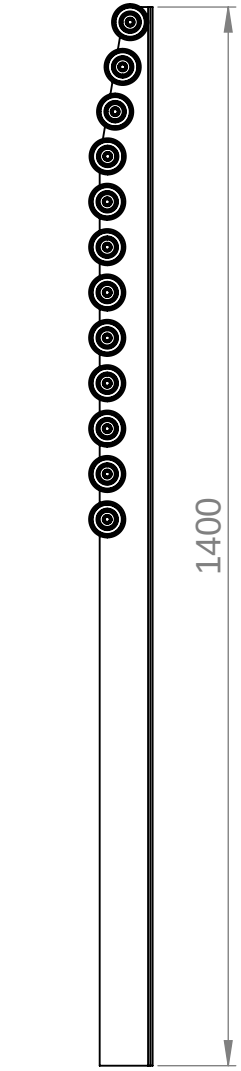
Esta pe - a ® sim®trica ao desenho
RA_F.001

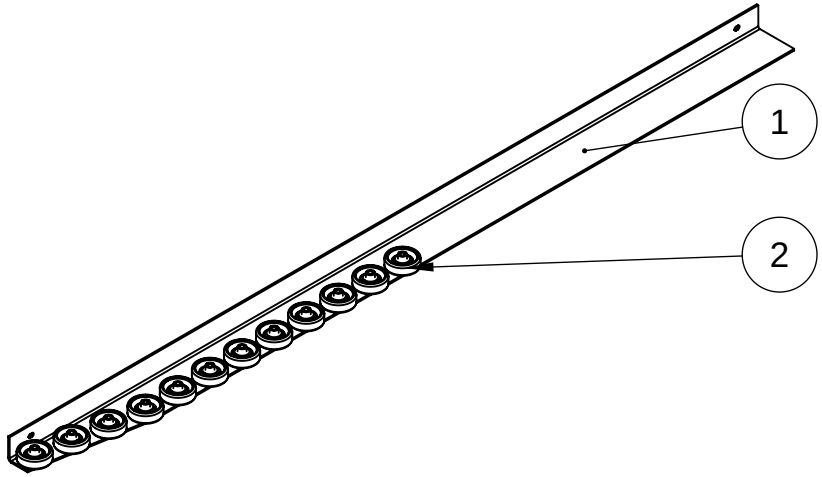
	Nome	Data							
Des.	w¢ a Ì·ŴуК2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	пффу¢лл
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл		A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Iw ! ψC¢ллн							Material	{ú от
								Descri- «o	[Ì·ăŜ℠
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм Iw a ◊пт

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





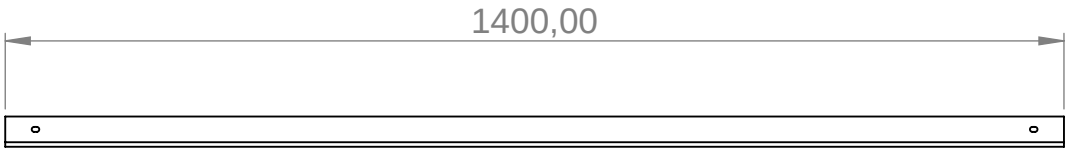




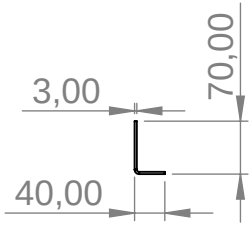
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№l·f	5ŜăÔ№λœń2	¢ΛLJ2	vûè◊	/ [
M	lw!ψh◊ллн	lwą◊n◊	{ű от	[l·ăŜ№		M	
H	LyűŜ№2ftψлм	LyűŜ№2ft	ннлл	/2YLJ№l·		MH	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№уK2	млклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	орун◊лт
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY·
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мумл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψhψŜălj							Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊ny

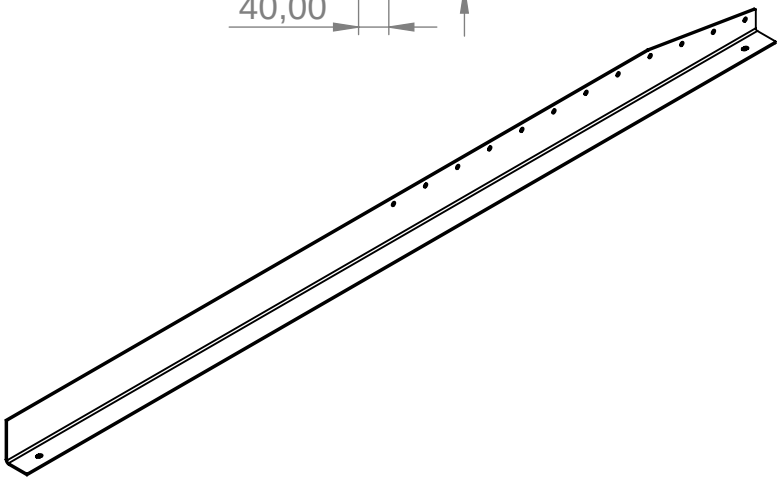
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





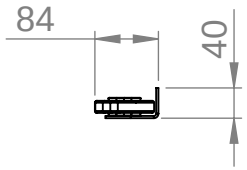


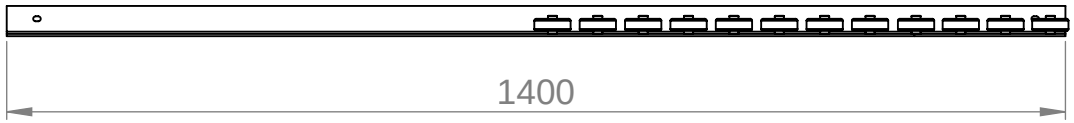


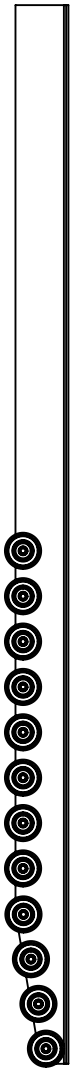


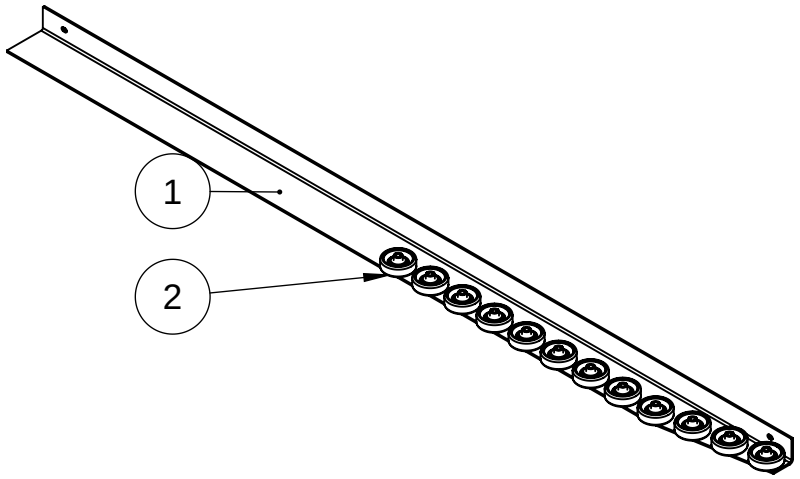
	Nome	Data							
Des.	w¢ a l·ŰŷҜ2	ннклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	оорм¢пл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл		A4	Tratamento	bŜyҜdzY
Nome	Iw!ψh¢ллн							Material	{ú от
								Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM Iwa¢n¢

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.









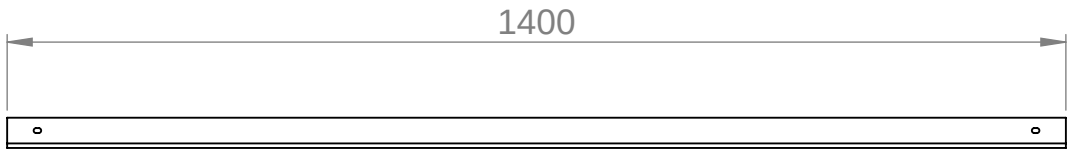
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№Ål·f	5ŜăÔ№Åœń2	¢ΛLJ2	vűè◊	/ [
M	lw!ψh◊ллм	lwa◊pм	{¢ от	[l·äŜ№		M	
H	LyűŜ№№2ftψлм	LyűŜ№№2ft	ннлл	/2YLJ№l·		MH	

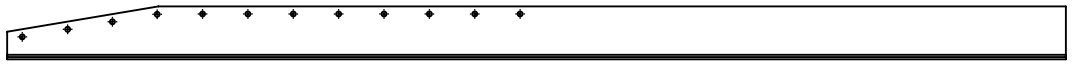
	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·№yK2	млклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					
Vist.								
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мумл		A4	
Nome	lw!ψhψŘ№							

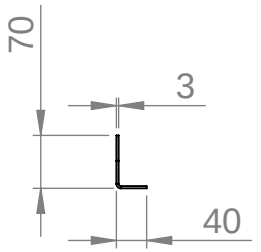
Quantidade	м
Massa (g)	оруп◊лт
Tratamento	bŜyKdzY
Material	±ł№2ă
Descri-«o	hŦλÔłyl·
Desenho	lwa◊рл MKM

DISSERTA ¢ ì O

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







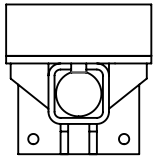


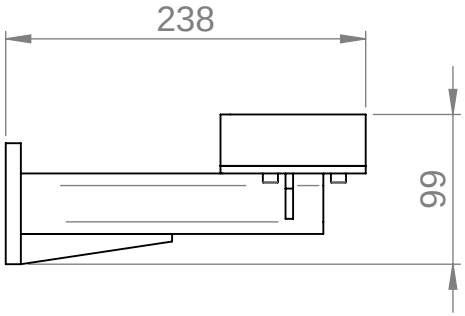


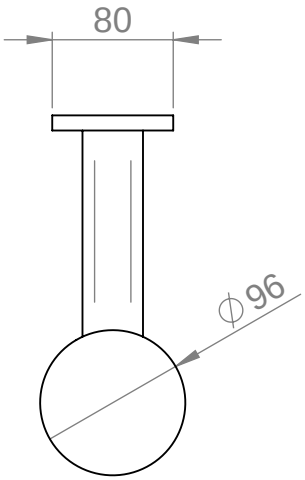
Esta pe - a ® sim®trica ao desenho
#RM.49

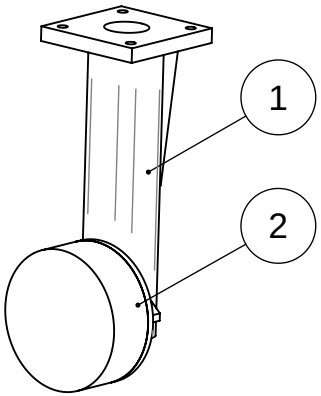
	Nome	Data							
Des.	w¢ a l·ŴŸK2	ннклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	оорм¢пл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¥мл		A4	Tratamento	bŜyKdzY
Nome	lw!ψh¢ллм							Material	{¢ от
								Descri-«o	[l·ăŜŴ
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa¢pм

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





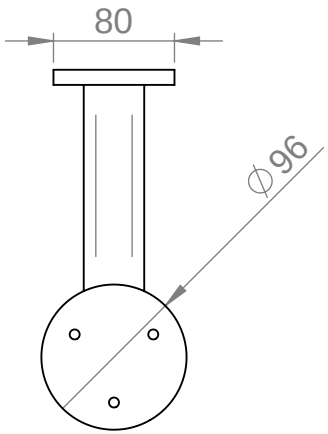


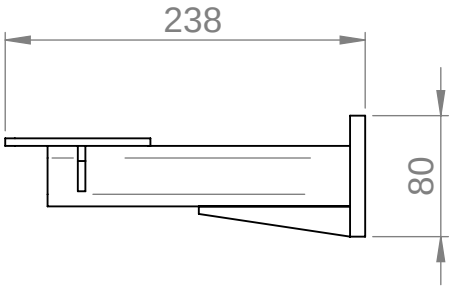


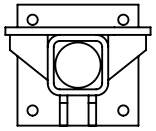
t2ă¢	b2YŜ	5Ŝă¢ bô	a l·ůŜ№l·f	5ŜăÓ№œń2	¢ĂLJ2	vůè¢	/ [
M	lw!ψD	lwa¢po	±ł№2ă	{2fŘl·		M	
H	{ŜfüŠ№ψлм	{ŜfűŜ№	co¢мм¢ллр	/2YLJ№l·		M	

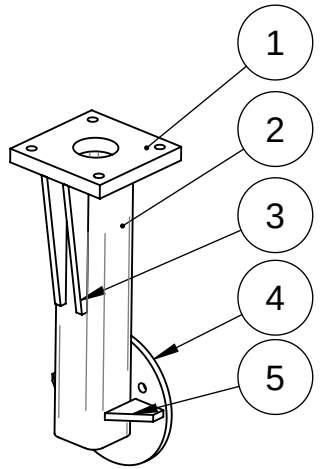
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·№yK2	ннклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	оплп¢лл
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\p	A4	Tratamento	bŜyKdzY·
Nome	lw!ψL						Material	±ł№2ă
							Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa¢pн

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





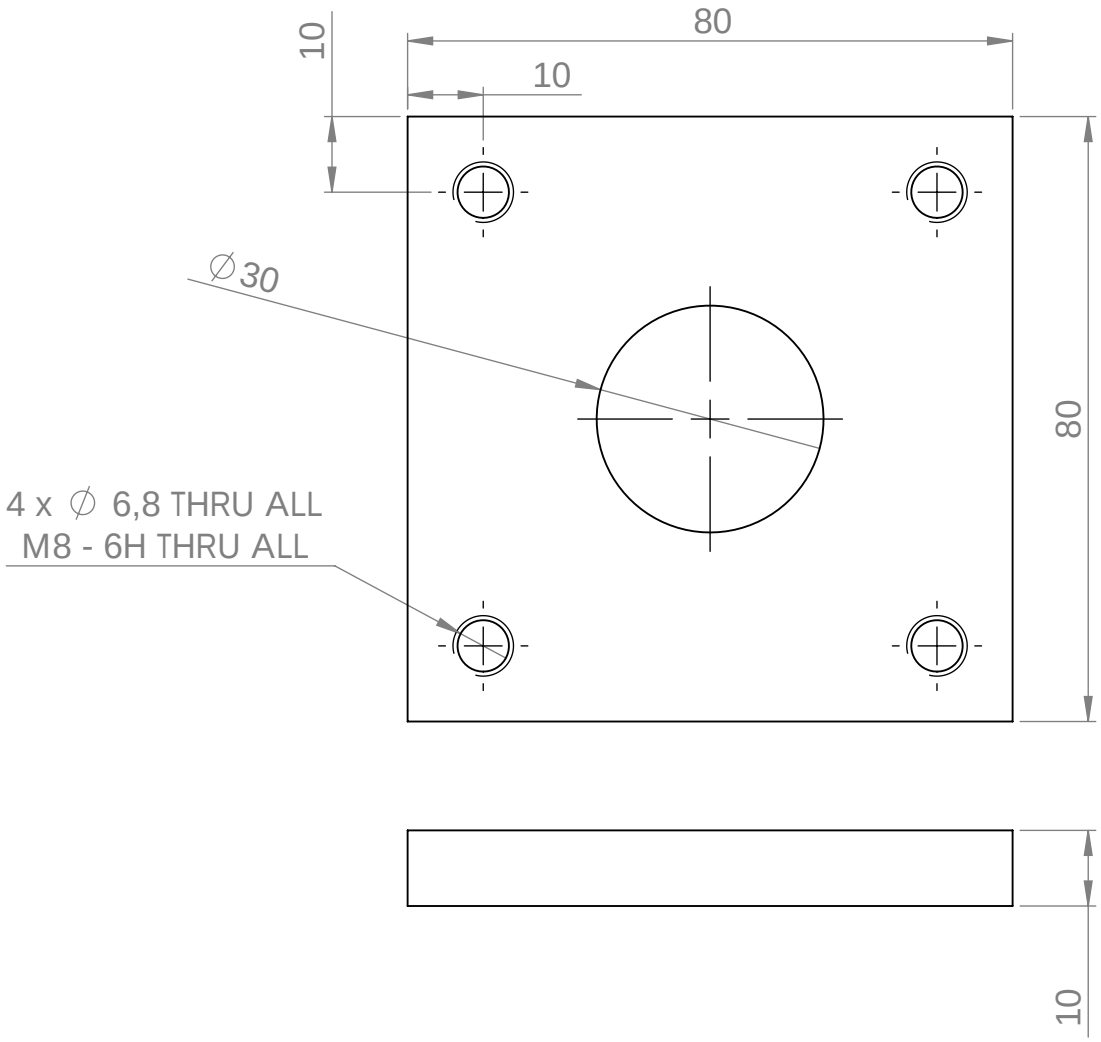


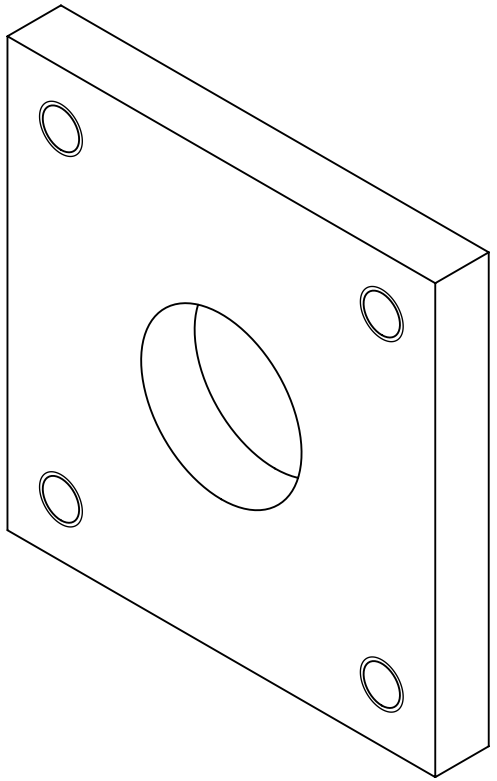


t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№λl·f	5ŜăÔ№λœń2	¢λLJ2	vűè◊	/ [
м	lw!ψD◊ллм	**lwa◊pп**	{ű от	[l·ăŜ№		м	
н	lw!ψD◊ллн	**lwa◊pp**	{opp π плғплғп	[l·ăŜ№		м	
о	lw!ψD◊ллп	**lwa◊pc**	{ű от	[l·ăŜ№		н	
п	lw!ψD◊лло	**lwa◊pт**	{ű от	[l·ăŜ№		м	
р	lw!ψD◊ллр	**lwa◊py**	{ű от	[l·ăŜ№		н	

	Nome	Data							
Des.	w◊ a l·№уК2	ннклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	мсум◊ул
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р		A4	Tratamento	t№ýűdz№l·
Nome	lw!ψD							Material	±ł№2ă
								Descri-«o	{2třl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊po

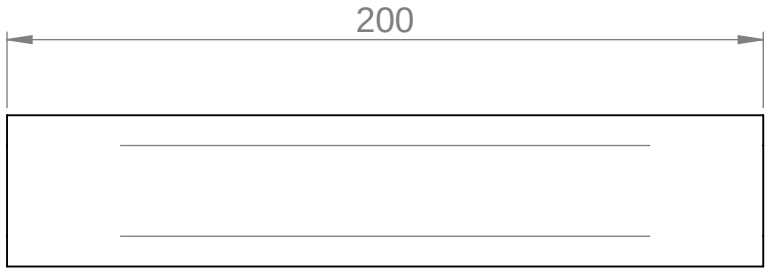
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

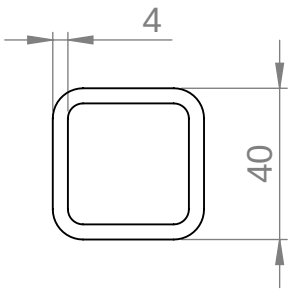


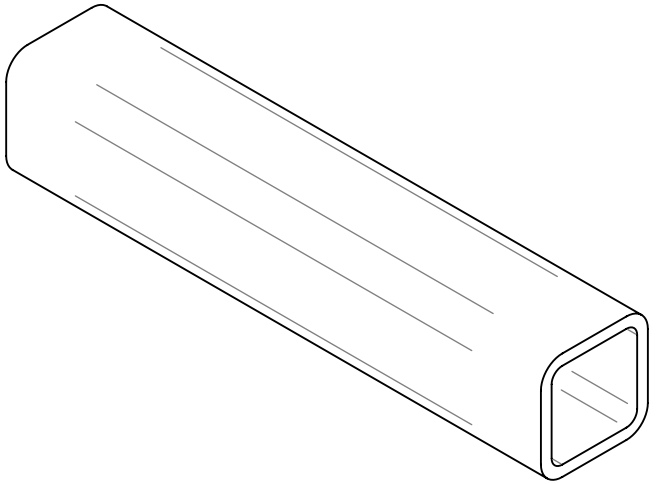


	Nome	Data						
Des.	w¢ a I·ŰyK2	лмклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	пон¢то
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'м	A4	Tratamento	bŜyKdzY
Nome	Iw!ψD¢ллм						Material	{ú от
							Descri-«o	[I·ăŜ℔
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢pп

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

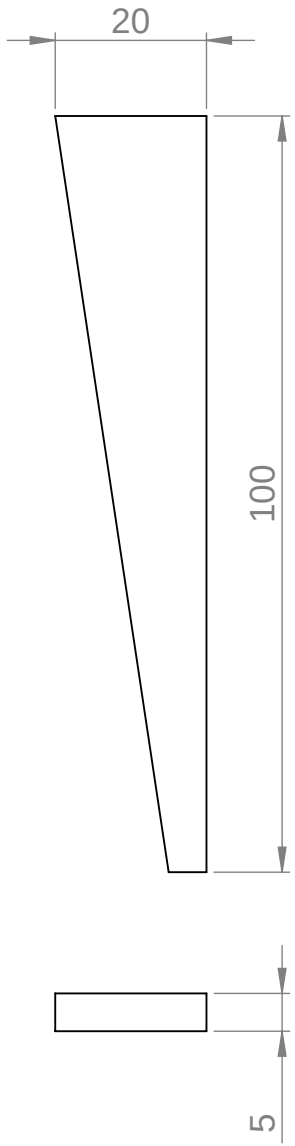


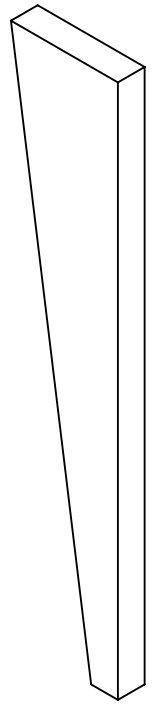




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуҜ2	ннклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	уоп¢ну
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мΨн	A4	Tratamento	bŜуҜ¢Ү
Nome	Iw!ψD¢ллн						Material	{opp π плғплғп
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢pp

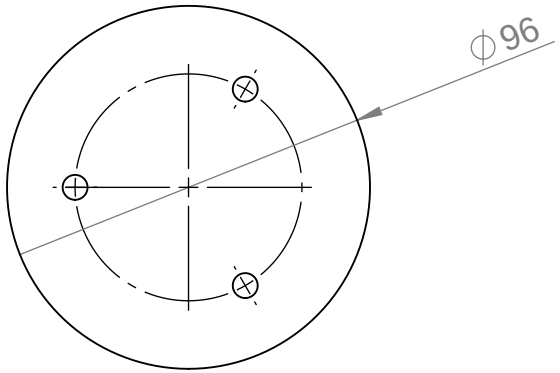
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

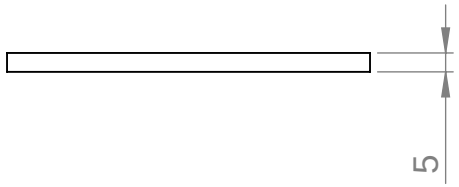


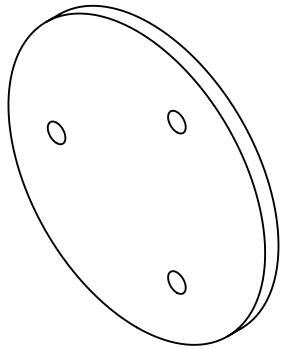


	Nome	Data						
Des.	w¢ a I·ŴуЌ2	олклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	пу¢тр
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'м	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Iw!ψD¢ллп						Material	{ů от
							Descri-«o	[I·ăŜŴ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢pc

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

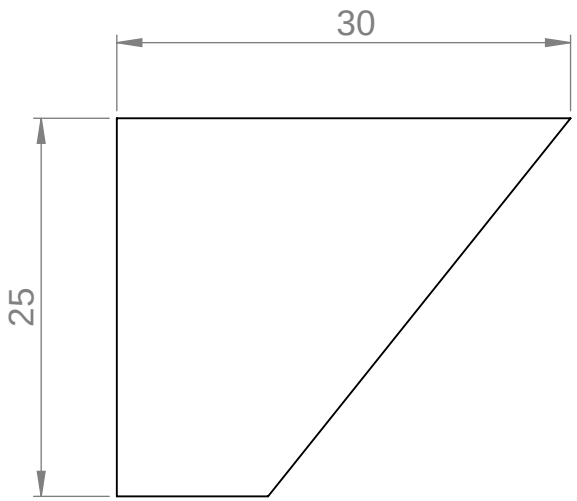


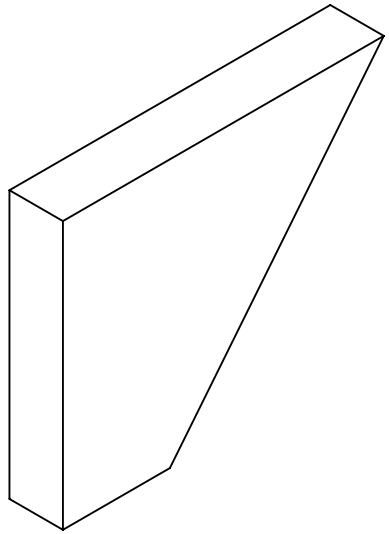




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуҜ2	ннклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	нту¢нф
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¼н	A4	Tratamento	bŜуҜdzY
Nome	Iw!ψD¢лло						Material	{ű от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢рт

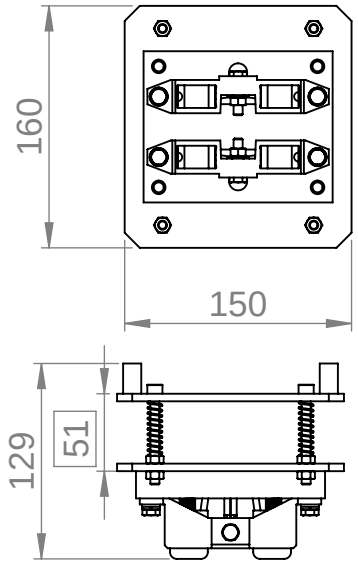
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

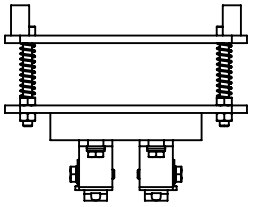


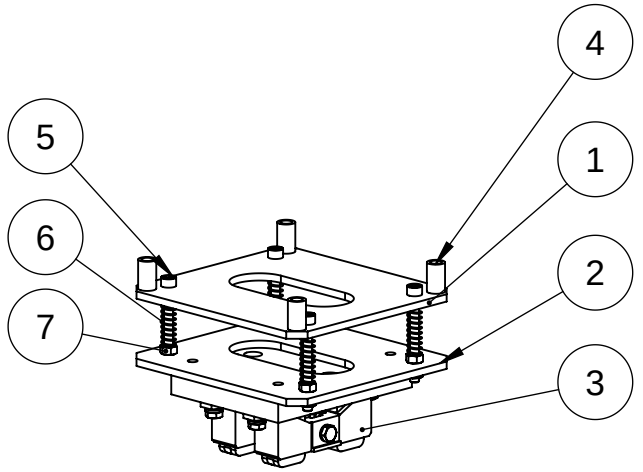


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуҜ2	олклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	мф¢рл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- н⁄м	A4	Tratamento	bŜуҜdzY
Nome	Iw!ψD¢ллр						Material	{ű от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢py

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



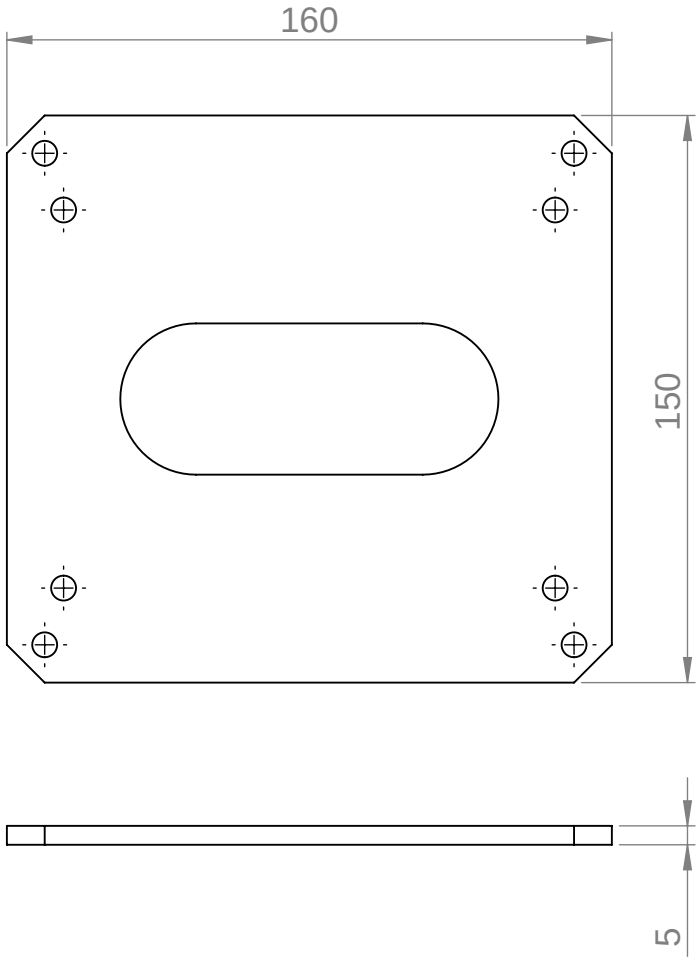


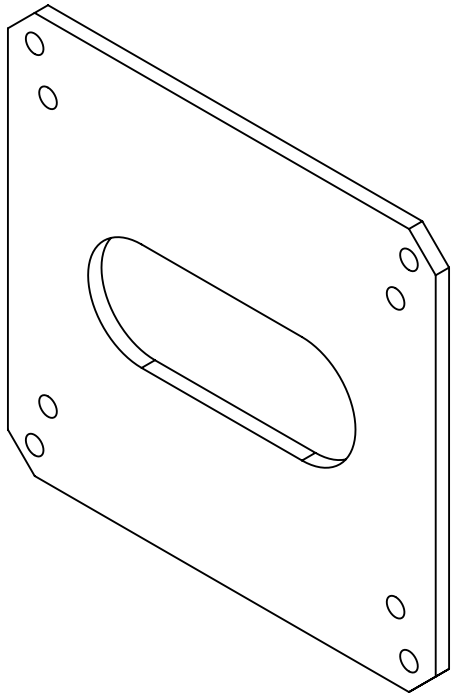


t2ă¢	b2YŜ	5Ŝă¢ bô	a l·úŜ№ìl·f	5ŜăÓ№ìœń2	¢ÀLJ2	vúè¢	/[
м	lw!ψ9¢ллм	lwa¢сл	{ű от	[l·ăŜ№		м	
н	lw!ψ9¢ллн	lwa¢çм	{ű от	[l·ăŜ№		м	
о	±l·KfŜψлм	±l·KfŜ	. [{ мллпнhплм	/2YLJ№l·		м	
п	lw!ψ9¢лло	lwa¢сн	{ű от	[l·ăŜ№		п	
р	tl·№l·Ŧdžă2 / l /	L{h птсн	a c Ë сл	/2YLJ№l·		п	
с	Cl·yl·Y2fψлм	Cl·yl·Y2f	{пммом	/2YLJ№l·		п	
т	t2№Ôl· l ŜĒl·Ǝ2yl·f	L{h плоо	a c	/2YLJ№l·		у	

	Nome	Data						Quantidade	н
Des.	w¢ a l·№yK2	нфклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	нртп¢тр
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\p		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ9							Descri-«o	hŦЋÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa¢pф

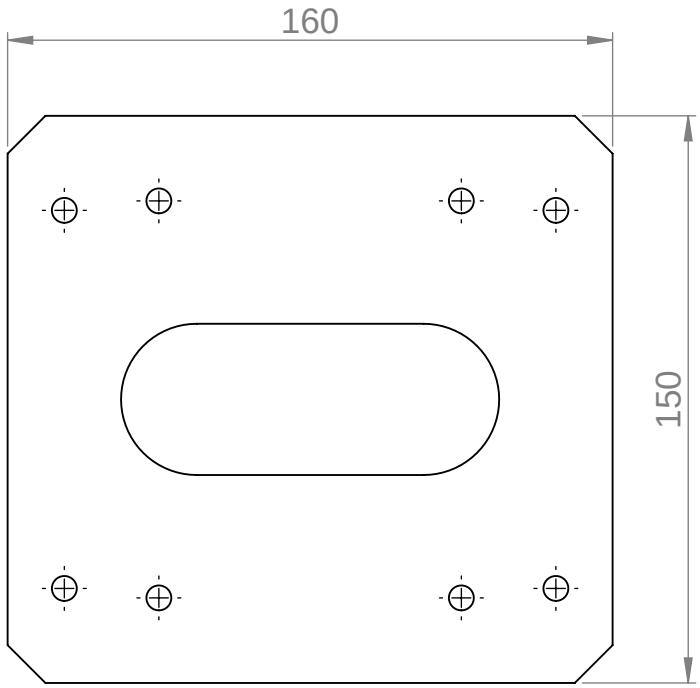
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

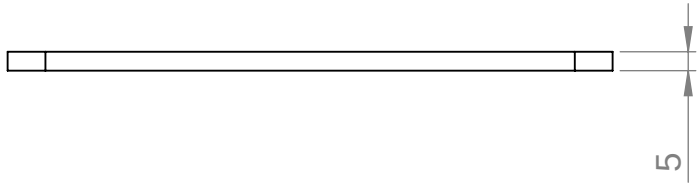


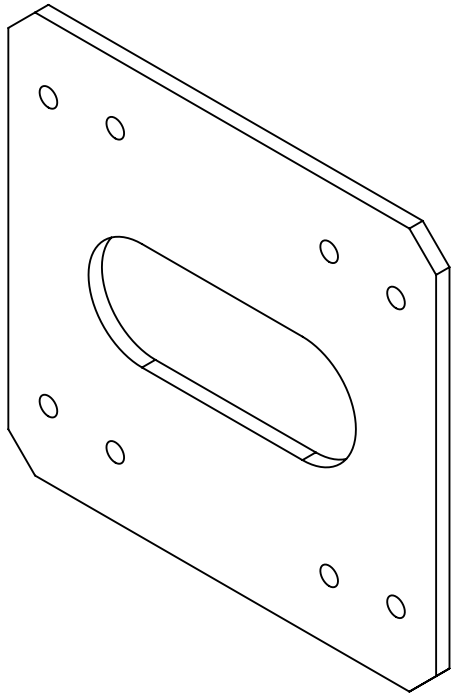


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŰуҚ2	ннклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	ттп¢фн
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸн	A4	Tratamento	tlyŰdzŰl·
Nome	lw!ψ9¢ллм						Material	{ű от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢сл

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

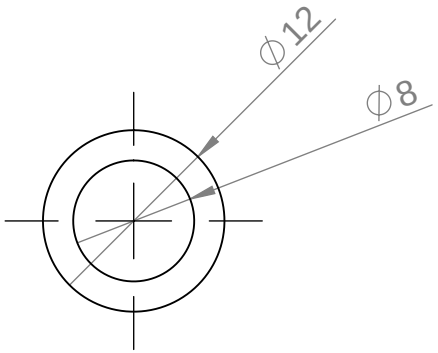


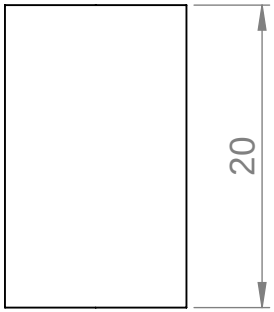


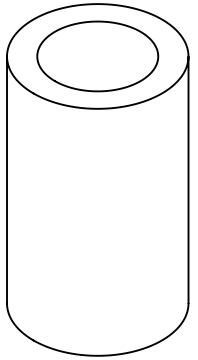


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŰуҜ2	ннклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	ттп¢фн
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸн	A4	Tratamento	tlyŰdzŰl·
Nome	lw!ψ9¢ллн						Material	{ú от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢см

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

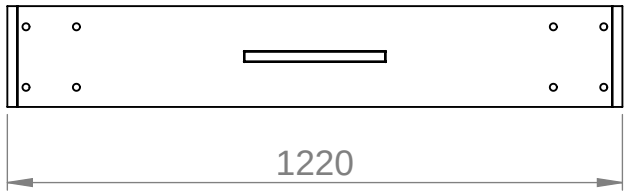


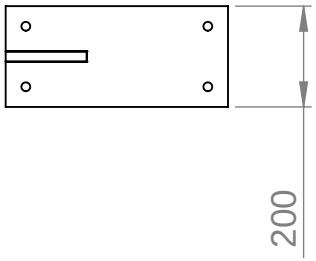


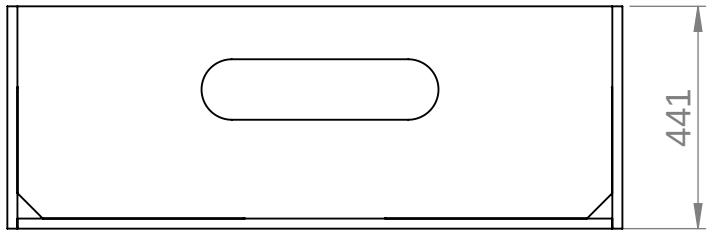


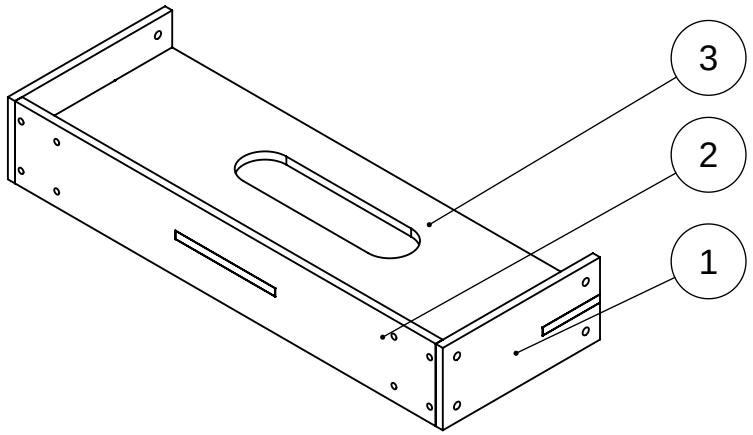
	Nome	Data						
Des.	w¢ a I·ŴуК2	лтклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	п
Vist.							Massa (g)	ф¢ул
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- н⁄м	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Iw!ψ9¢лло						Material	{ů от
							Descri-«o	[I·ăŜŴ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢сн

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





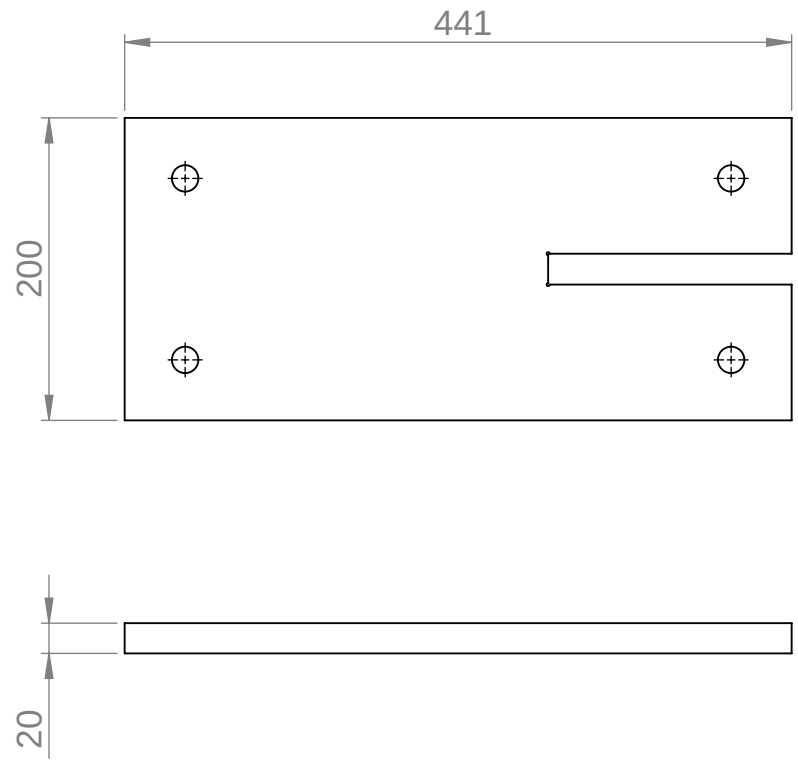


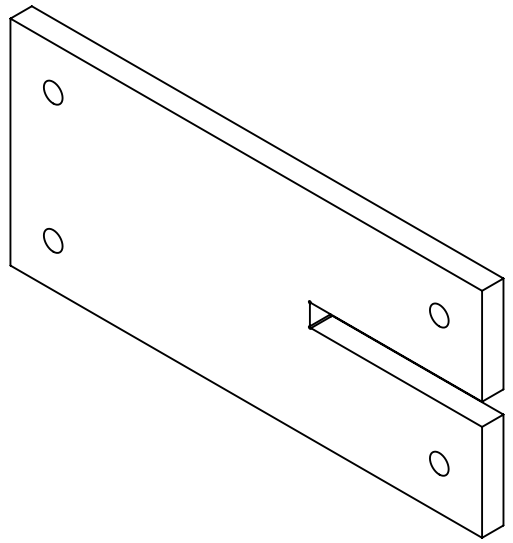


t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№l·f	5ŜăÔ№ćeń2	¢ΛLJ2	vúè◊	/ [
м	lw!ψl◊ллм	lwa◊cп	{ú рн	[l·ăŜ№		н	
н	lw!ψl◊ллн	lwa◊cp	{ú рн	[l·ăŜ№		м	
о	lw!ψl◊лло	lwa◊cc	{ú рн	[l·ăŜ№		м	

	Nome	Data							
Des.	w◊ a l·№yK2	нлклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	монрпп◊cy
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмр		A4	Tratamento	tlyŭdz№l·
Nome	lw!ψl							Material	±ł№2ă
								Descri-«o	{2třl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊co

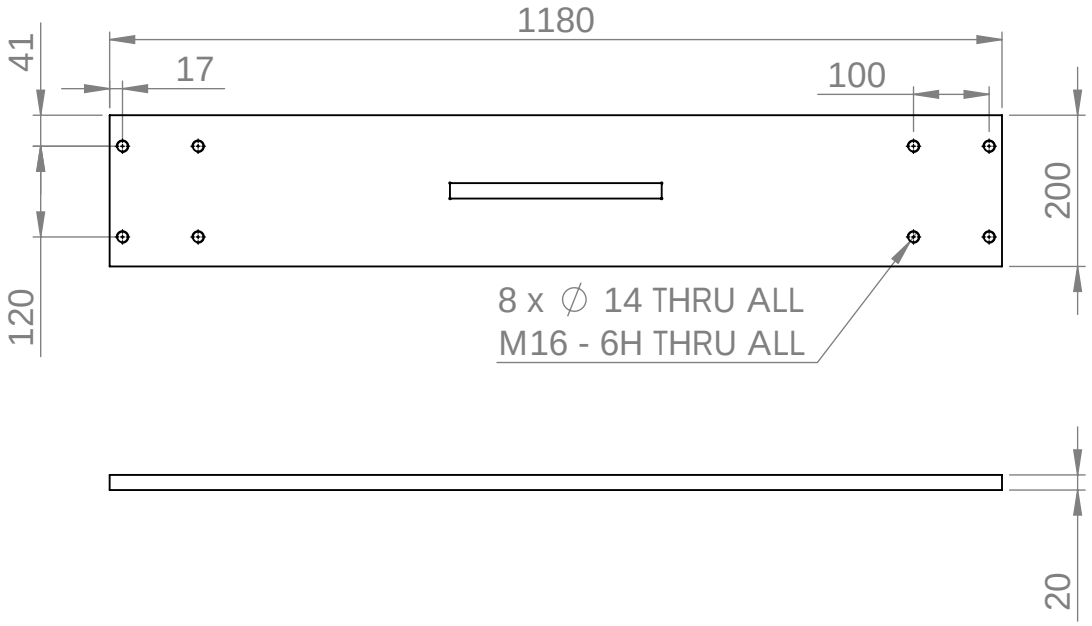
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

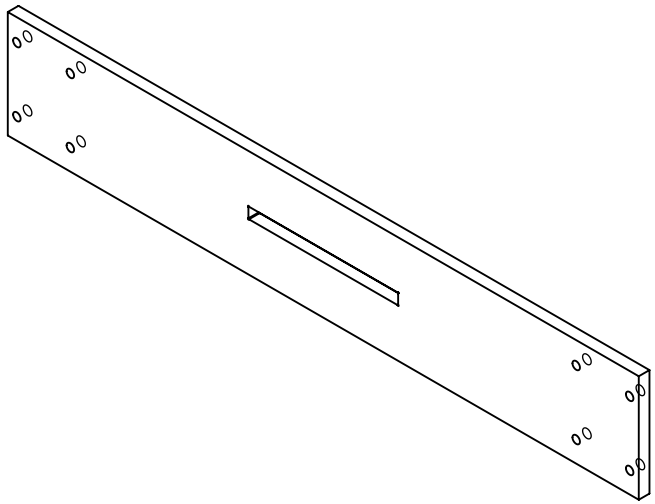




	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ì·ŴуЌ2	лрклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	молфс¢лм
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŷр	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Iw!ψIфллм						Material	{ů рн
							Descri-«o	[ÌăŜŴ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢сп

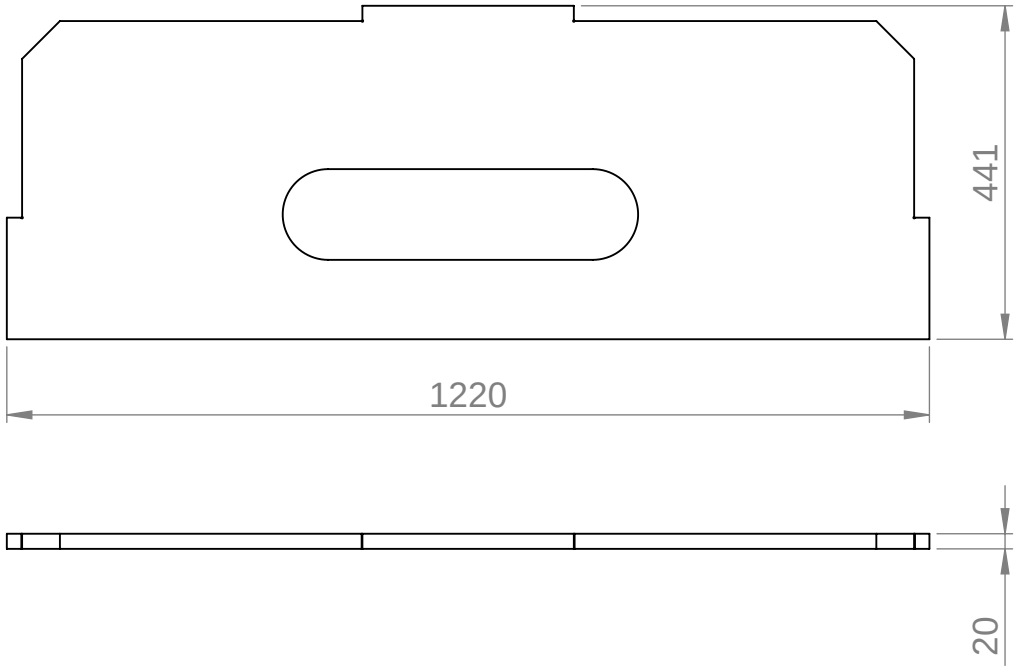
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

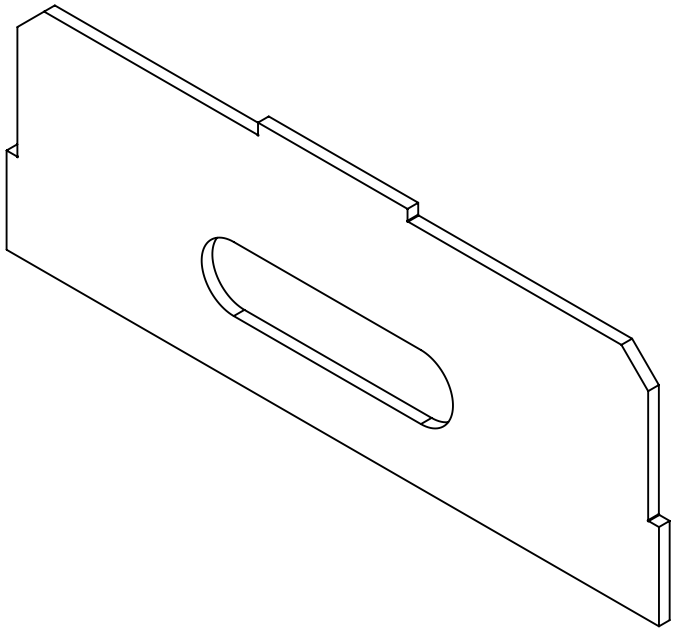




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŷҜ2	лрклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	ортом¢оп
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмл	A4	Tratamento	bŜyҜdzY
Nome	lw!ψl¢ллн						Material	{ů рн
							Descri-«o	[l·ăŜ℻
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa¢cp

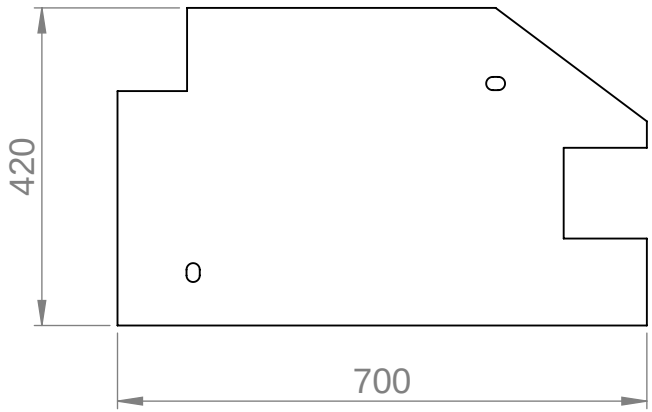
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

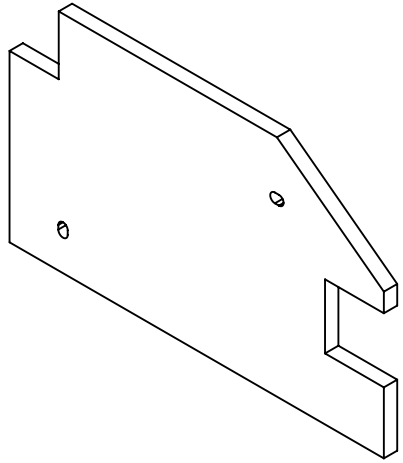




	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ⅰ·ⅩуЌ2	лрклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	тлснм¢он
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Ⅰw ! ψ Ⅰ ¢лло						Material	{ů рн
							Descri- «o	[Ⅰ·ăŜⅩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Ⅰw a ¢cc

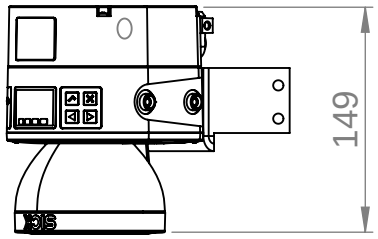
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

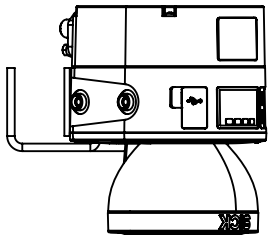


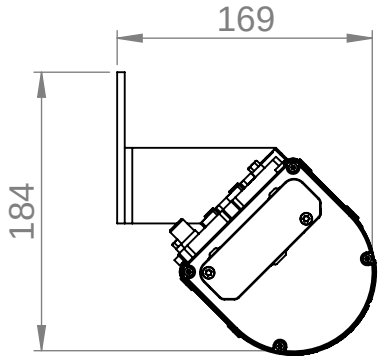


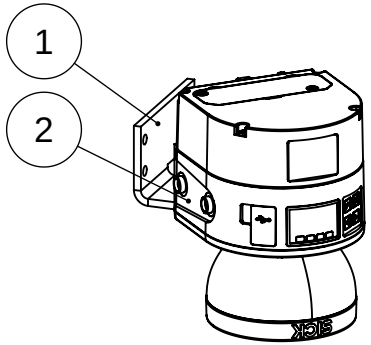
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуҜ2	лмклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	pc
Vist.							Massa (g)	пфтмн¢см
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мѴмл	A4	Material	bŜуҜdzY
Nome	Iw!ψ{¢ллм						Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢ст

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





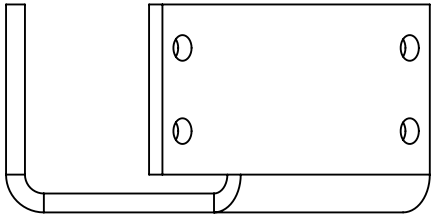


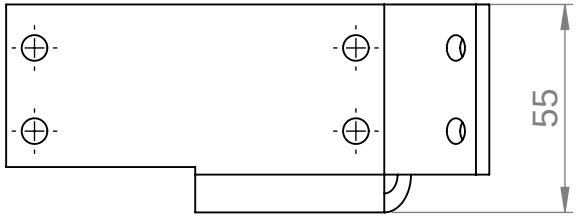


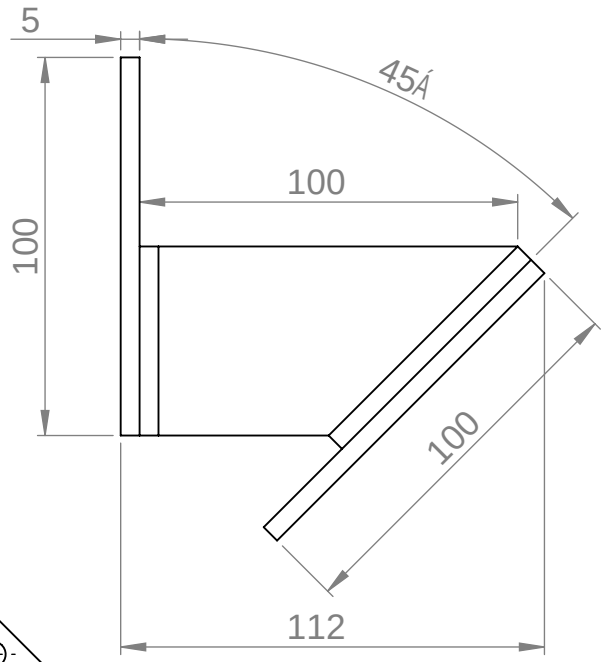
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№l·f	5ŜăÔ№λœń2	¢λLJ2	vűè◊	/ [
M	lw!◊лнм	lwą◊c◊	{ű oт	[l·ăŜ№		M	
H	{λÔ`ļψлм	{λô`ļ	aλÔ№2{Ôl·yo	/2YĻJ№l·		M	

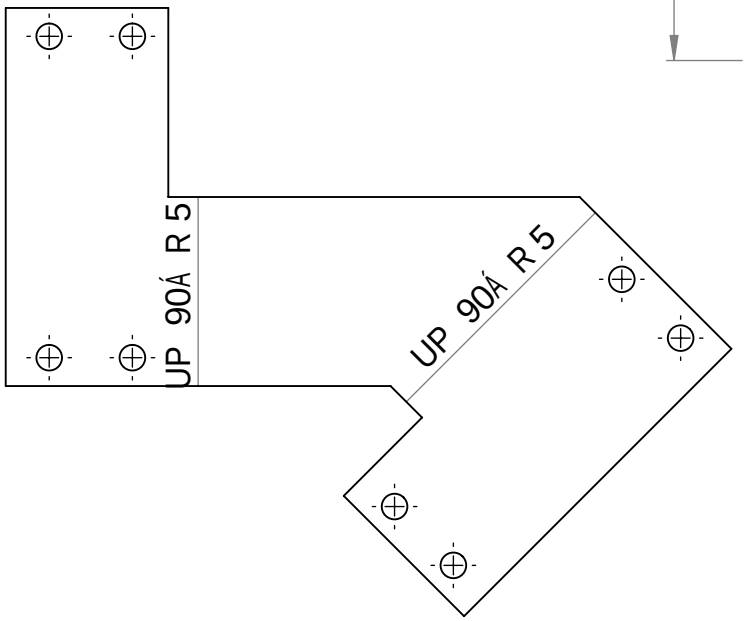
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№уK2	локлскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	м◊тт◊то
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγp		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ!5							Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊cy

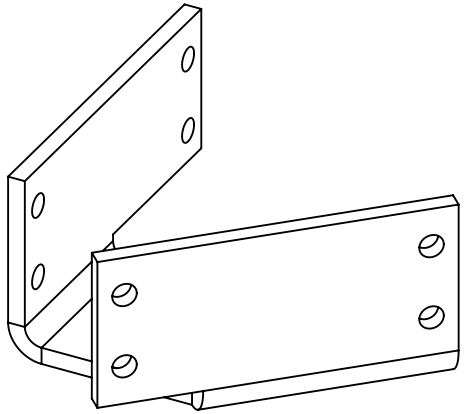
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





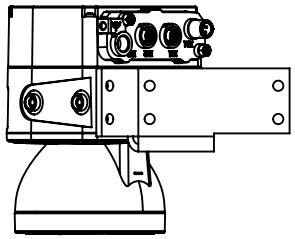


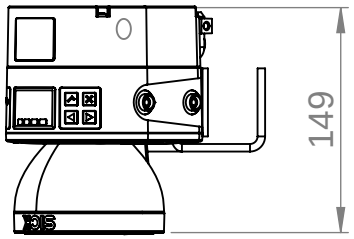


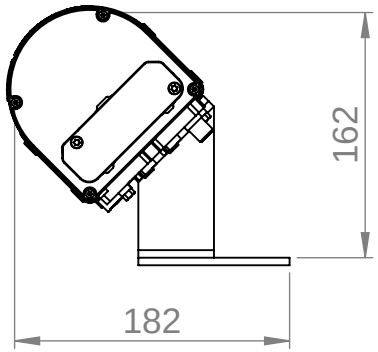


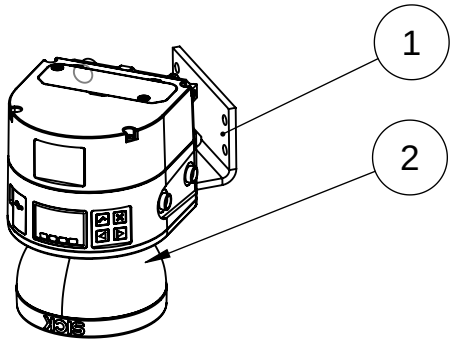
	Nome	Data						
Des.	w¢ a lˑ⅏уҜ2	лнклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	рнт¢то
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м⅋н	A4	Tratamento	bŜуҜⅆY
Nome	lw!¢лнм						Material	{ů от
							Descri-«o	[lˑăŜ⅏
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢c¢

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





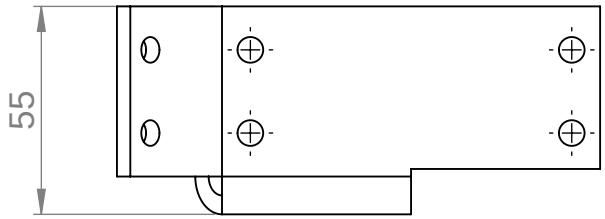


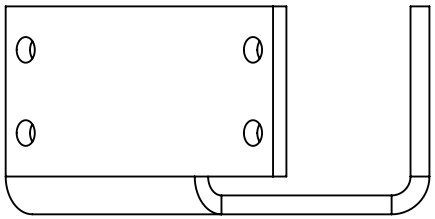


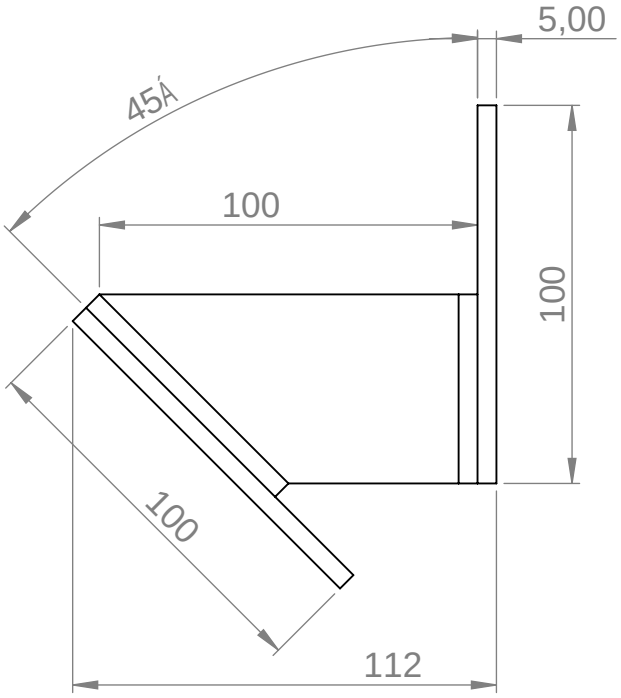
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№l·f	5ŜăÔ№ćń2	¢ΛLJ2	vúè◊	/ [
M	lw!◊лнс	lwą◊тм	{ű oт	[l·ăŜ№		M	
H	{λÔ`[ψлм	{λÔ`[	aλÔ№2{Ôl·yo	/2YLJ№l·		M	

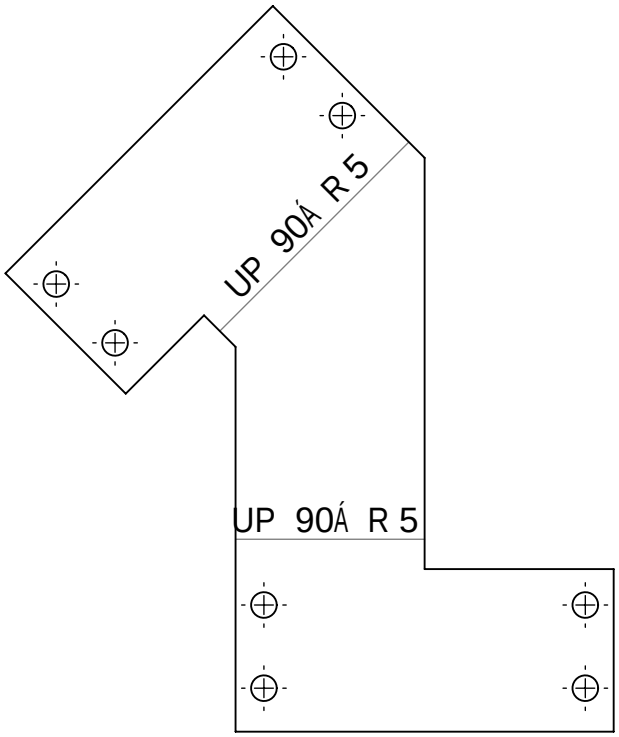
	Nome	Data						Quantidade	M
Des.	w◊ a l·№уK2	локлскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	м◊тт◊то
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\p		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ!9							Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊тл

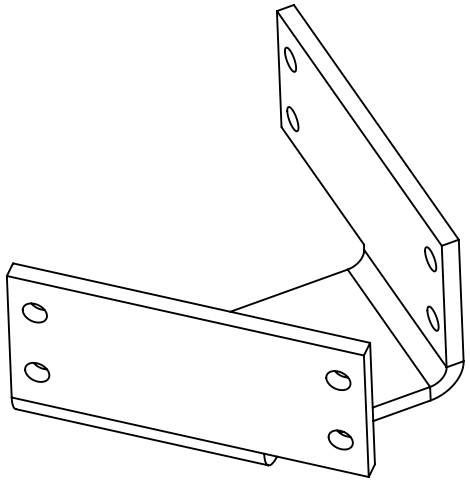
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







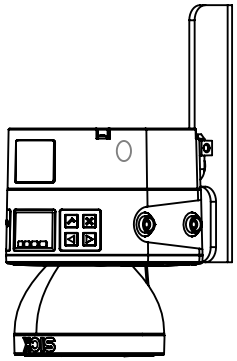


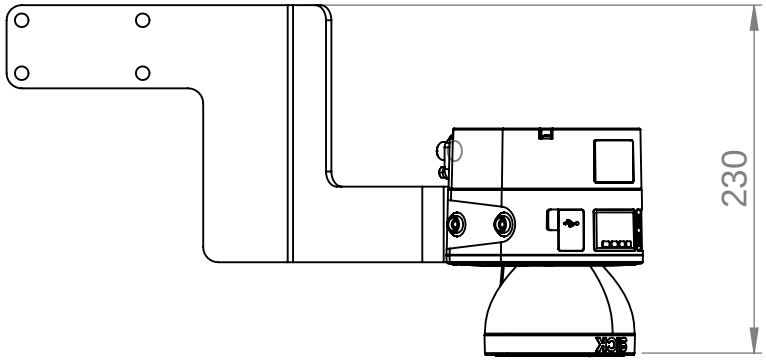


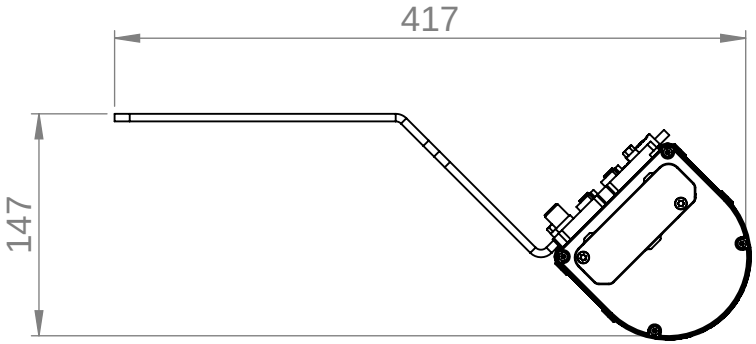
Esta pe - a ® sim®trica do desenho #RA.021

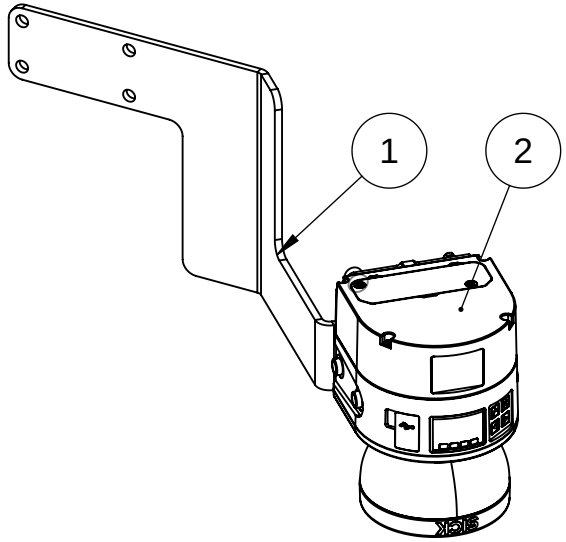
	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ì·ŴуК2	локлскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	рнт¢то
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мѵн	A4	Material	{ű от
Nome	Iw ! ¢лнс						Descri- «o	[Ì·ăŜŴ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iw a ¢тм

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





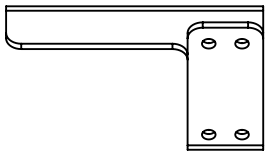


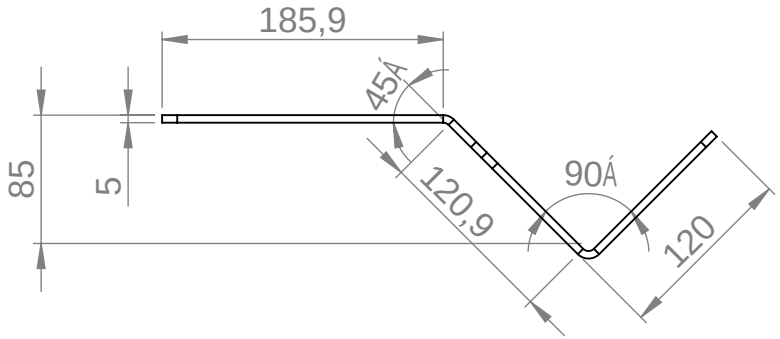


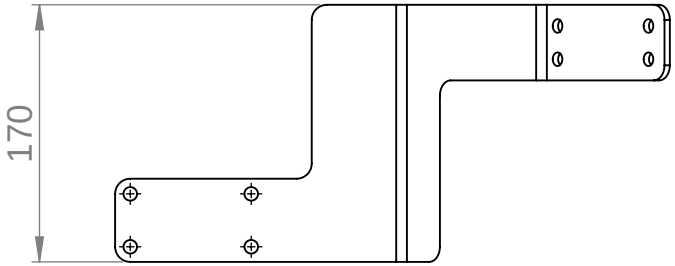
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№ìl·f	5ŜăÔ№ìœń2	¢ìLJ2	vűè◊	/ [
M	lw!◊лнт	lwą◊тр	{ű oт	[l·ăŜ№		M	
H	{ìÔ`ļψлм	{ìô`ļ	aìÔ№2{Ôl·yo	/2YLJ№l·		M	

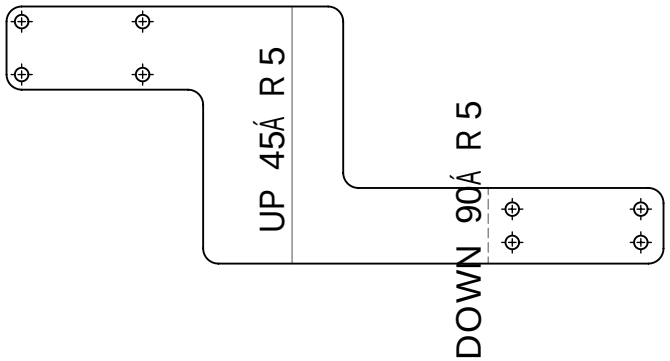
	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·№уK2	мркlскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	нтон◊см
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγp	A4	Tratamento	bŜyKdzY
Nome	lw!ψ.5						Material	±ł№2ă
							Descri-«o	hтìÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa◊тп

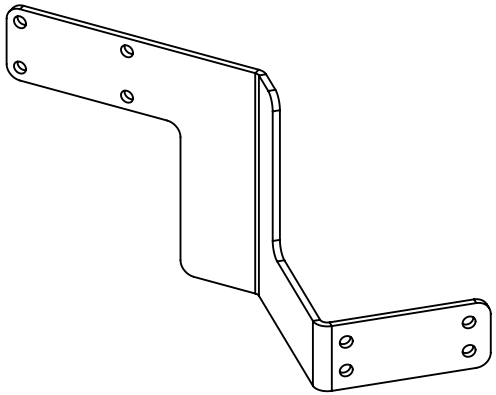
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





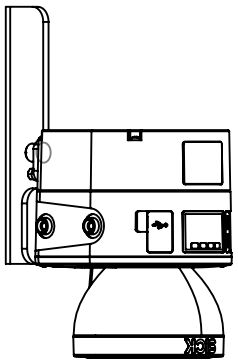


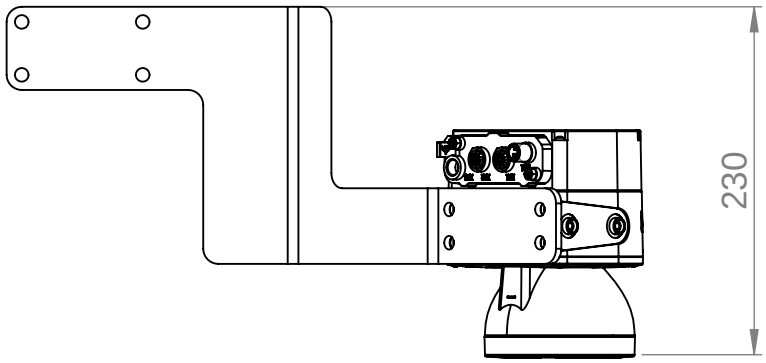


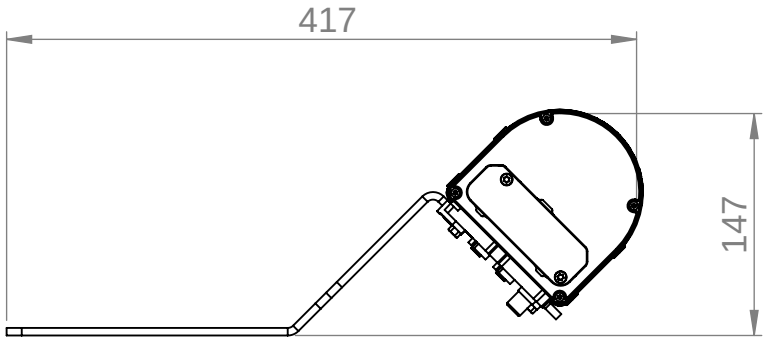


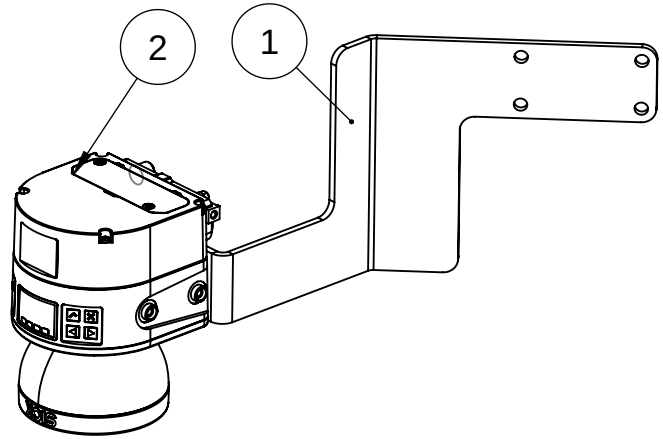
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŴуК2	мткляскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	мнун¢см
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р	A4	Material	{ú от
Nome	Iw!¢лнт						Descri-«o	[l·ăŜŴ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢тр

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





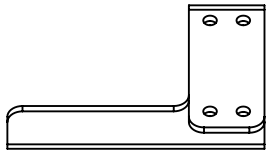


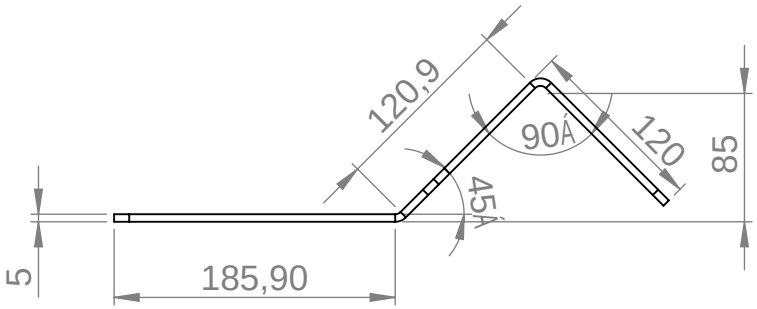


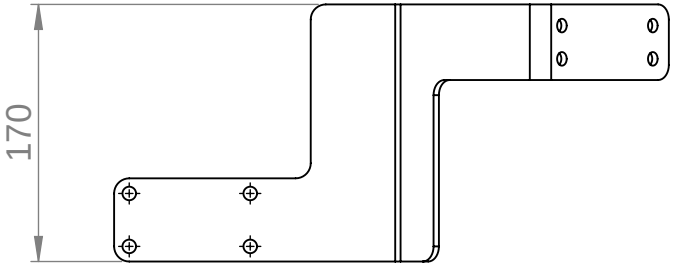
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№λl·f	5ŜăÕ№λœń2	¢λLJ2	vűè◊	/ [
м	lw!◊лнф	lwą◊то	{ű от	[l·ăŜ№		м	
н	{λÕ`ψлм	{λÕ`[	aλÕ№2{Ôl·yo	/2YLJ№l·		м	

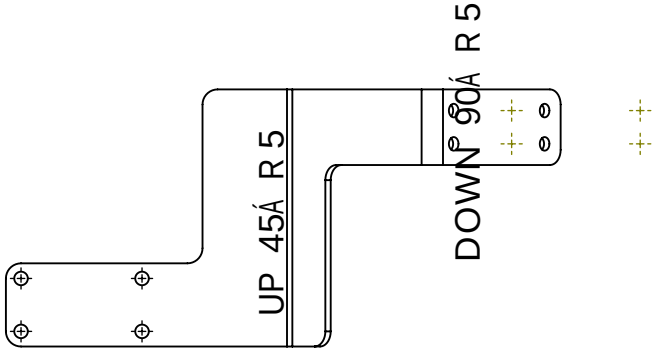
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№уК2	мрклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	нтон◊см
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγр		A4	Material	±łл№2ă
Nome	lw!ψ.9							Descri-«o	hтλÕlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊тн

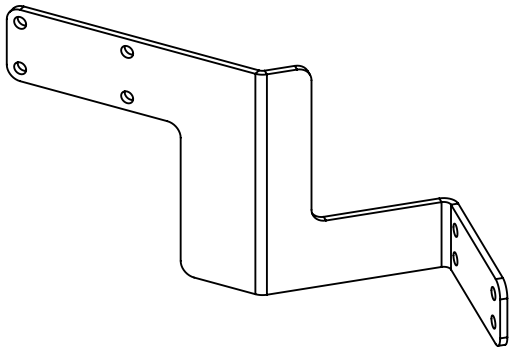
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







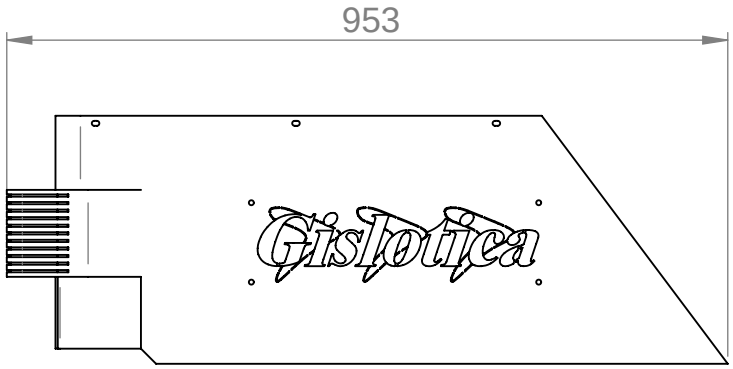


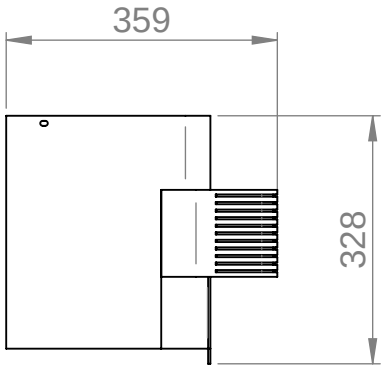


Esta pe - a ® sim®trica ao desenho
#RM.75

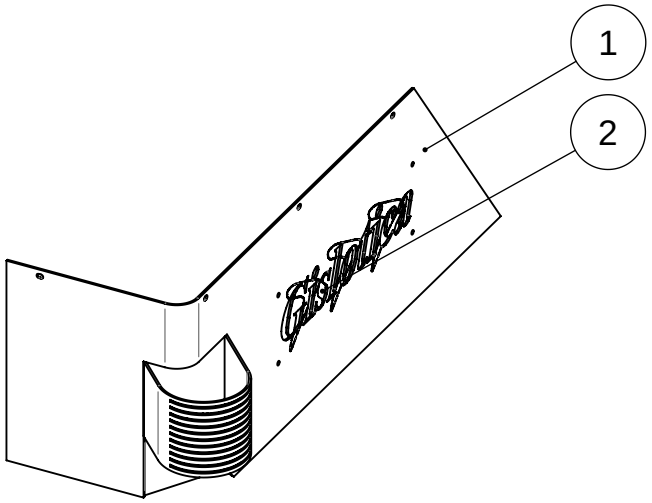
	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ì·ÙÙ¼	мткскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	мнун¢см
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¼р	A4	Material	bŜ¼Kdz¼
Nome	Iw ! ¢лнф						Descri- «o	[Ì·ăŜÙ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iw a ¢то

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





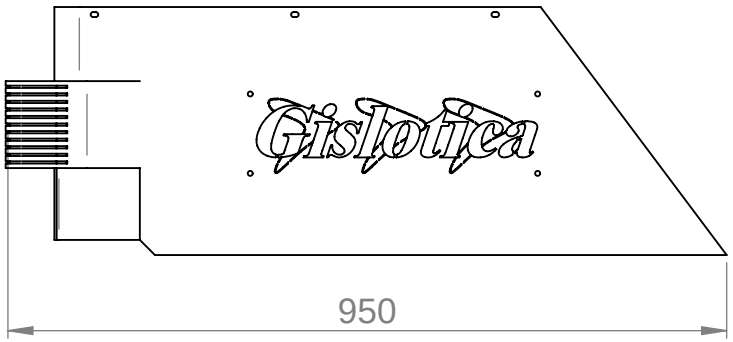


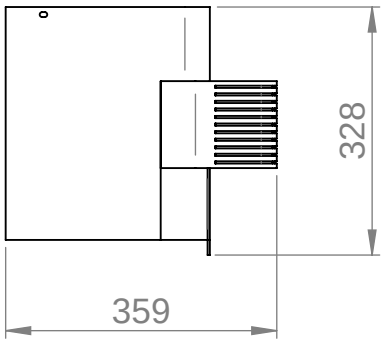


t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№λl·f	5ŜăÔ№λœń2	¢λLJ2	vûè◊	/ [
M	lw!ψ!.	lwa◊TT	±ł№2ă	{2fŘl·		M	
H	lw!◊лом	lwa◊yM	{ű oT	[l·ăŜ№		M	

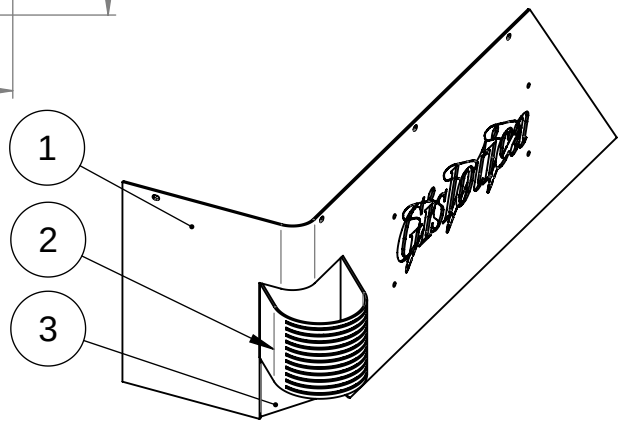
	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·№yK2	мткλскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	M
Vist.							Massa (g)	y◊тн◊пт
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мумл	A4	Tratamento	bŜyKdzY·
Nome	lw!ψ.Cψ5№						Material	±ł№2ă
							Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa◊тc

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







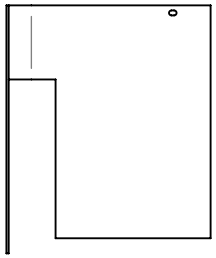


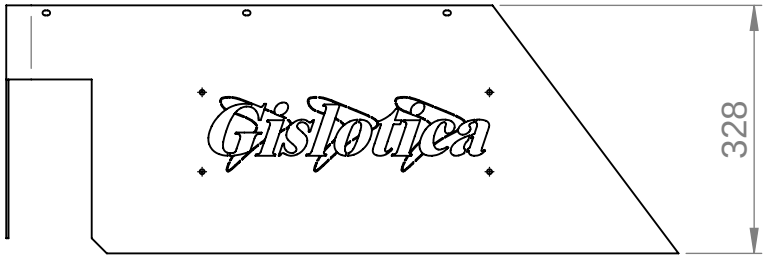
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№l·f	5ŜăÓ№ŀœń2	¢ŀLJ2	vűè◊	/ [
м	lw!◊лнн	lwa◊ту	{ű от	[l·ăŜ№		м	
н	lw!◊лнп	lwa◊тф	{ű от	[l·ăŜ№		м	
о	lw!◊лнр	lwa◊ул	{ű от	[l·ăŜ№		м	

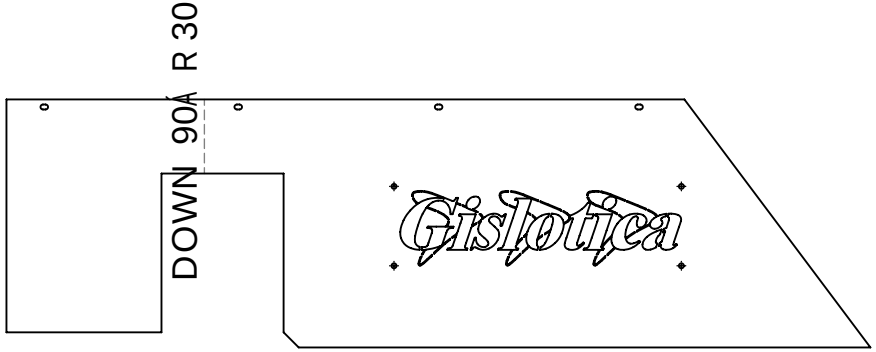
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№уЌ2	локлскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	тулр◊су
Vist.								Tratamento	tlyűdz№l·
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ!.							Descri-«o	{2tŘl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊тт

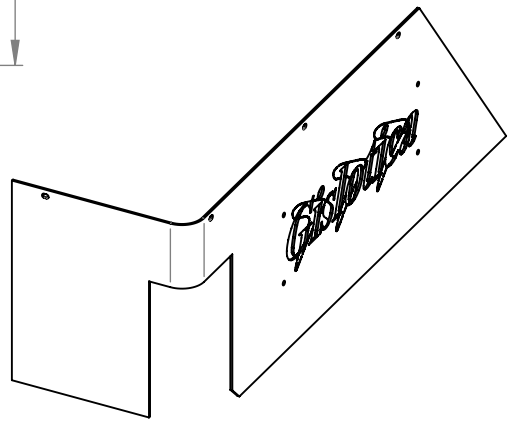
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





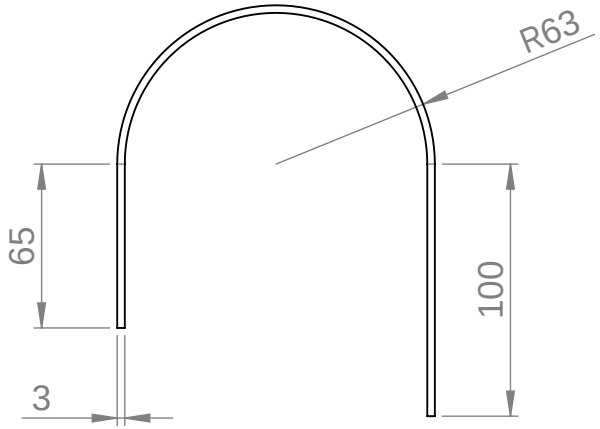


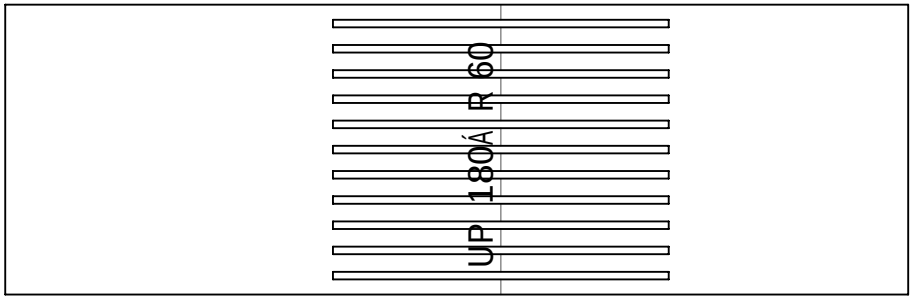


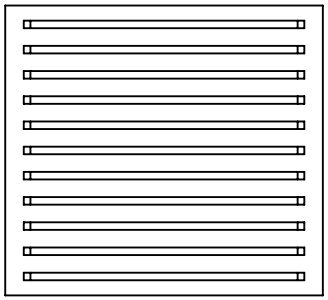


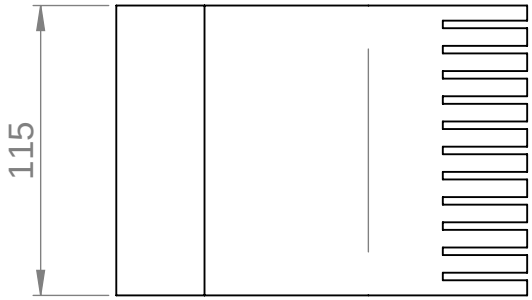
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуҜ2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	сртн¢тн
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мґмл	A4	Material	{ű от
Nome	Iw!¢лнн						Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢ту

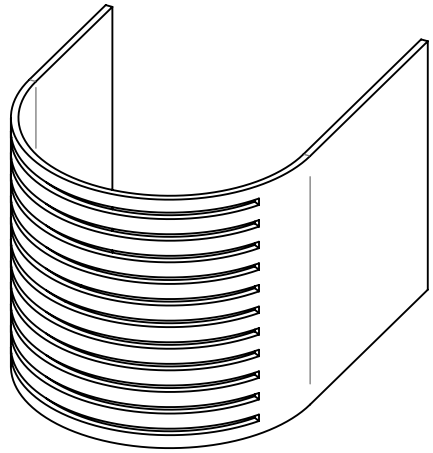
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





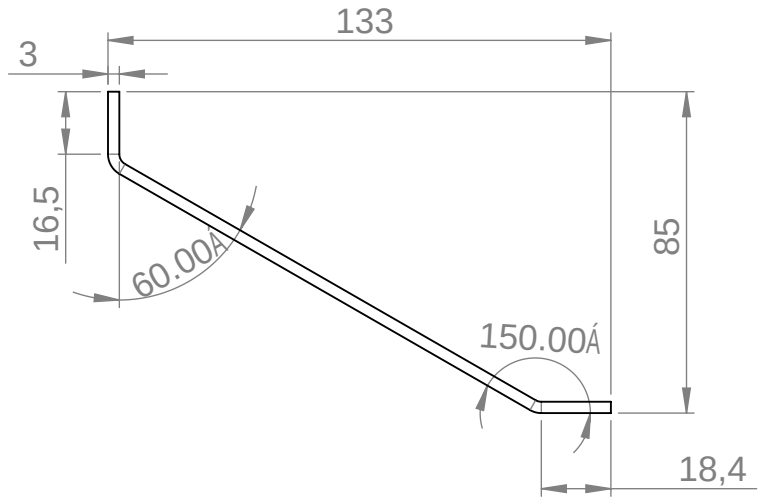


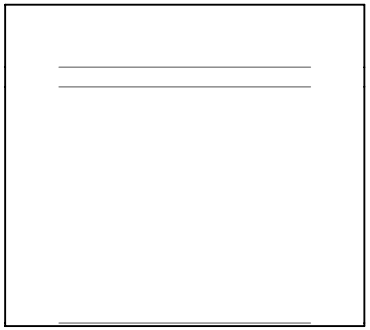


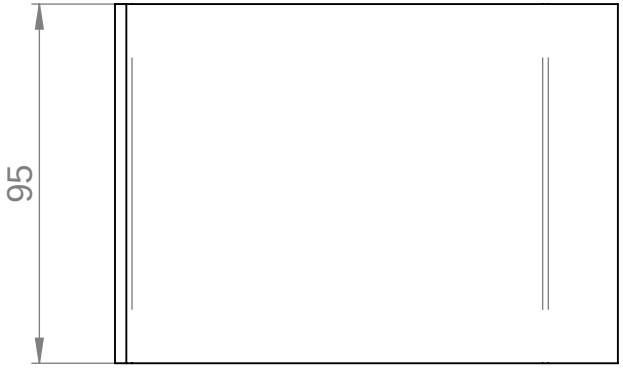


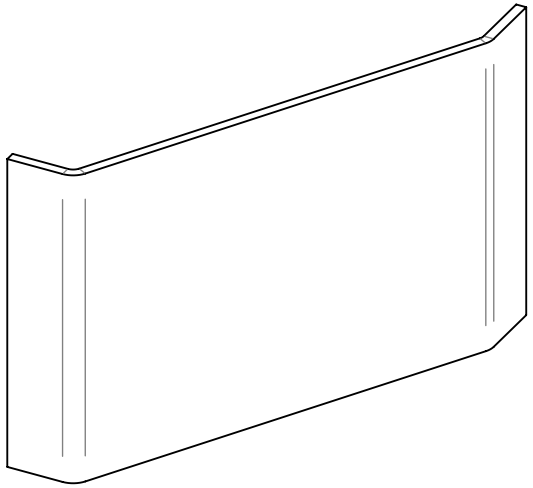
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуК2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	усм¢лу
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¼о	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Iw!¢лнп						Material	{ů от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢тф

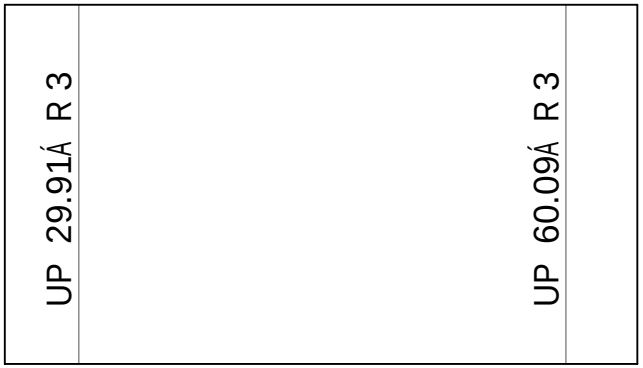
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





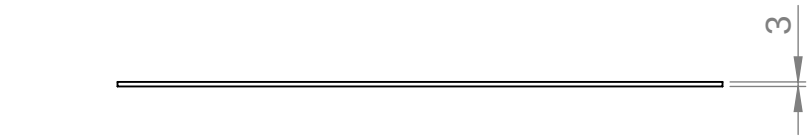


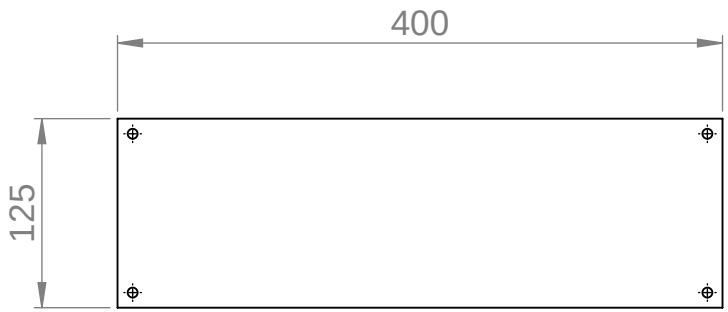


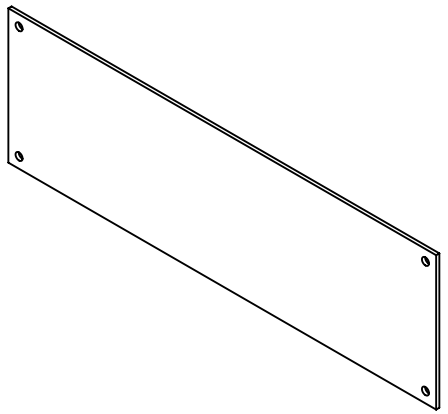


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуҚ2	мпклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	отм¢ут
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¼н	A4	Tratamento	bŜуҚdzY
Nome	lw!¢лнр						Material	{ű от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa¢ул

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



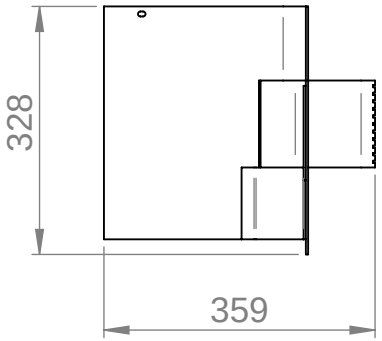


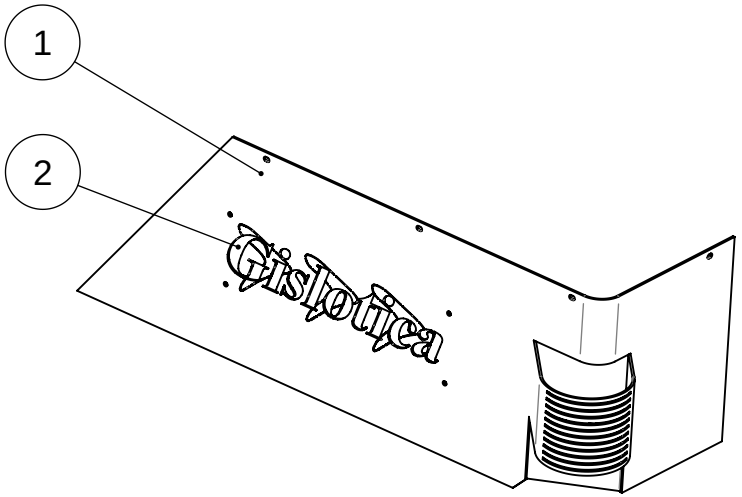


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŰуК2	мткскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	ммсс¢ул
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р	A4	Material	{ů от
Nome	lw!¢лом						Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢ум

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



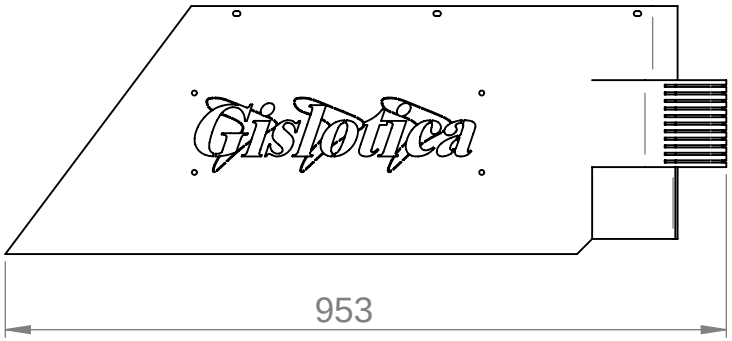


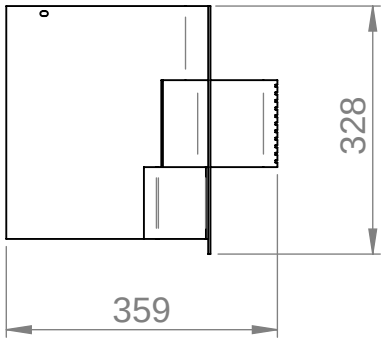


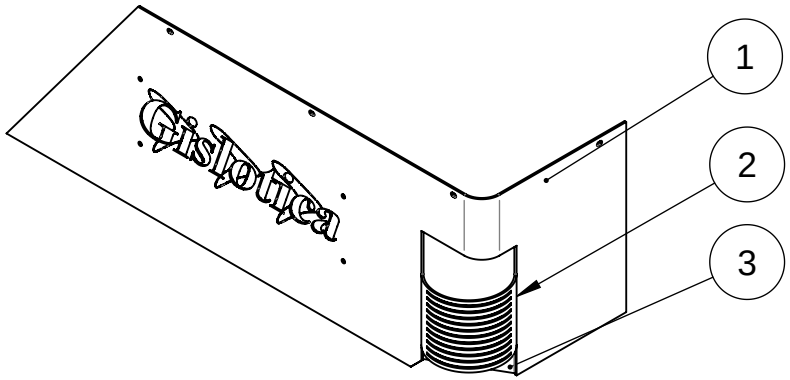
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ůŜ№λl·f	5ŜăÓ№λœń2	¢ʌLJ2	vůè◊	/ [
м	lw!ψ! /	lwa◊yo	±ł№λ2ă	{2fŘl·		м	
н	lw!◊лом	lwa◊ум	{ů от	⌈l·ăŜ№		м	

	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·№λyK2	мткλскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	у◊то◊лс
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мʏмл	A4	Tratamento	bŜyKdzY·
Nome	lw!ψ.Cψ9ălj						Material	±ł№λ2ă
							Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa◊ун

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





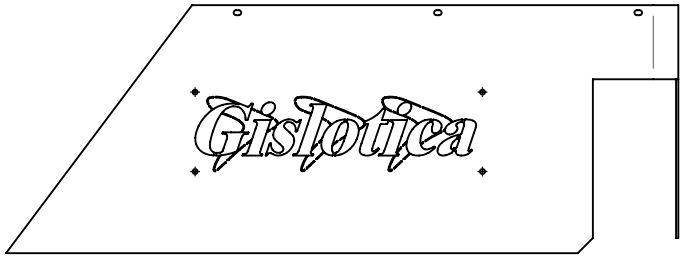


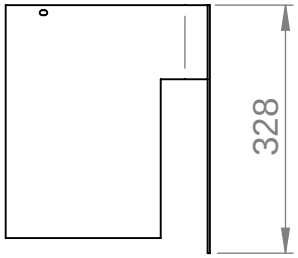
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№l·f	5ŜăÔ№ĸœń2	¢ʌLJ2	vúè◊	/ [
M	lw!◊лно	lwa◊уп	{ú от	[l·äŜ№		M	
H	lw!◊лнп	lwa◊тф	{ú от	[l·äŜ№		M	
O	lw!◊лнр	lwa◊ул	{ú от	[l·äŜ№		M	

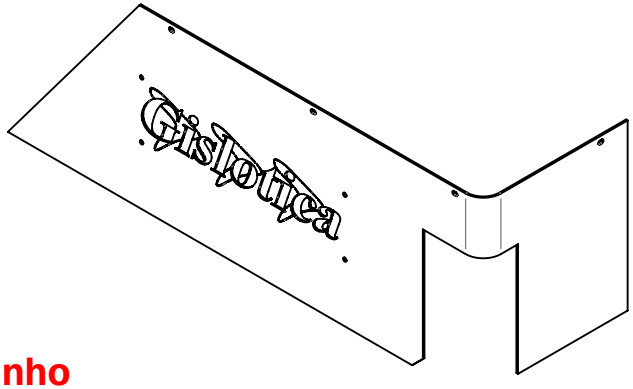
	Nome	Data							
Des.	w◊ a l·№уK2	локлскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	M
Vist.								Massa (g)	тулс◊нс
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мУмл		A4	Tratamento	tlyÚdz№l·
Nome	lw!ψ!/							Material	±ł№2ă
								Descri-«o	{2tŘl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊yo

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





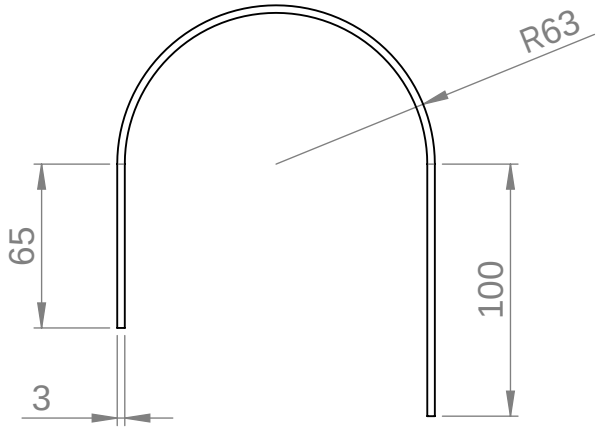


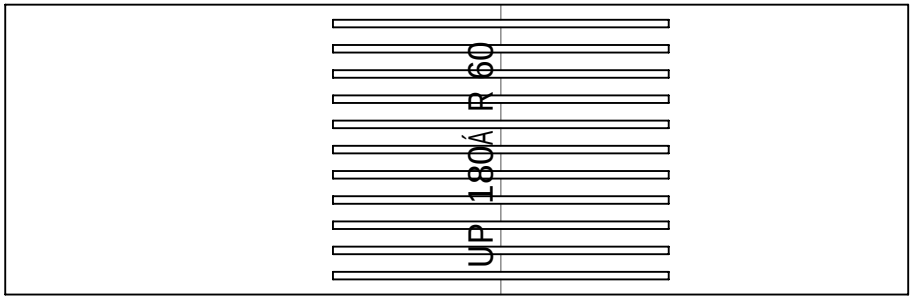


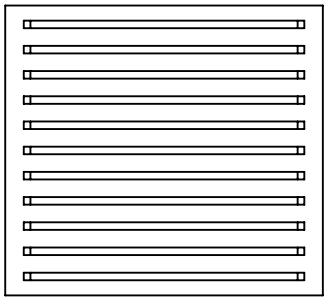
Esta pe - a ® sim®trica ao desenho
#RM.78

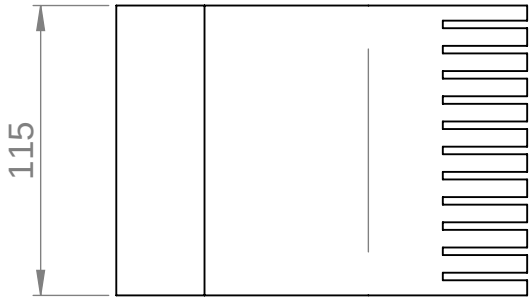
	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ⅰ·ⅈⅈⅈуЌ2	локлскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	срто¢ом
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мⅈмл	A4	Tratamento	bŜуЌⅆY
Nome	Ⅰw ! ¢лно						Material	{ů от
							Descri- «o	[ⅠăŜⅈⅈ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Ⅰw a ¢уп

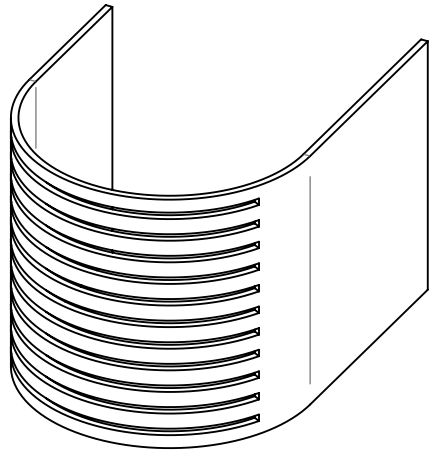
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





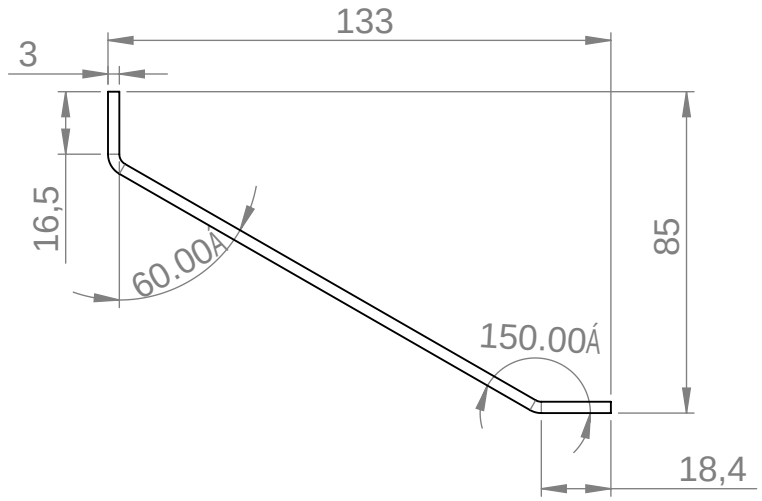


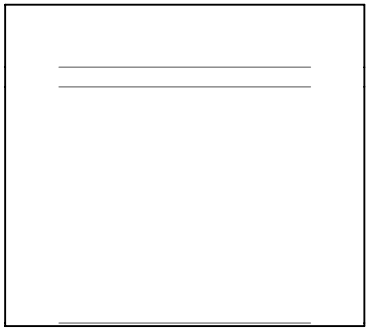


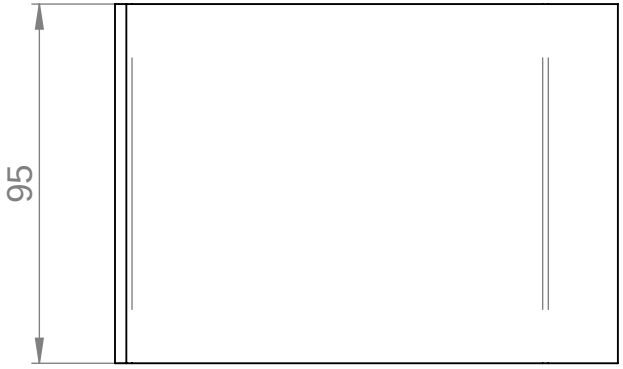


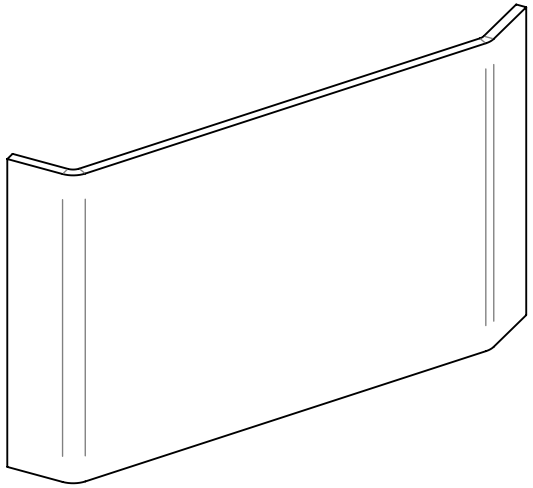
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуК2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	усм¢лу
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¼о	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Iw!¢лнп						Material	{ů от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢тф

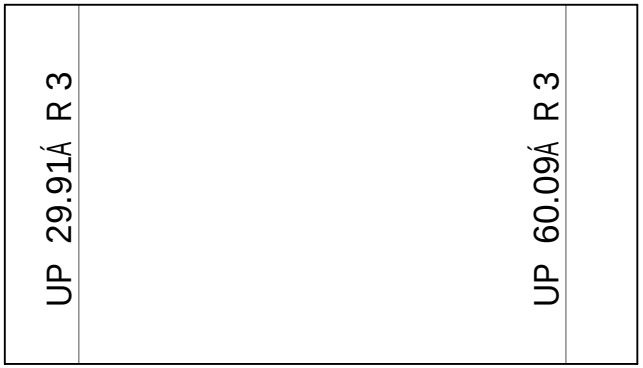
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





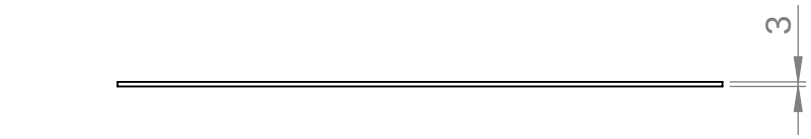


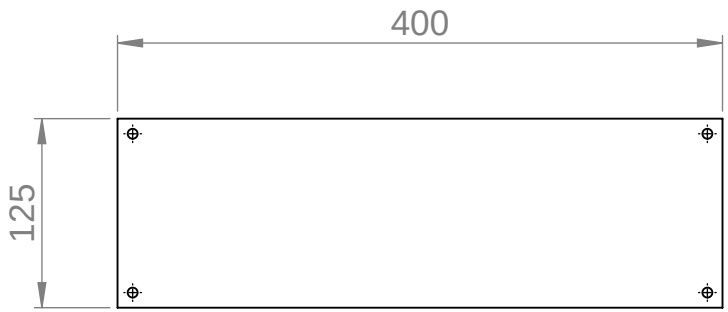


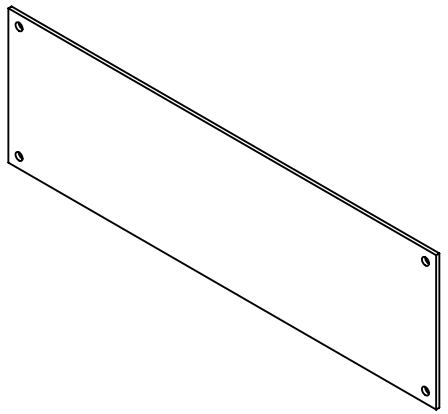


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуҚ2	мпклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	отм¢ут
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¼н	A4	Tratamento	bŜуҚdzY
Nome	lw!¢лнр						Material	{ű от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa¢ул

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

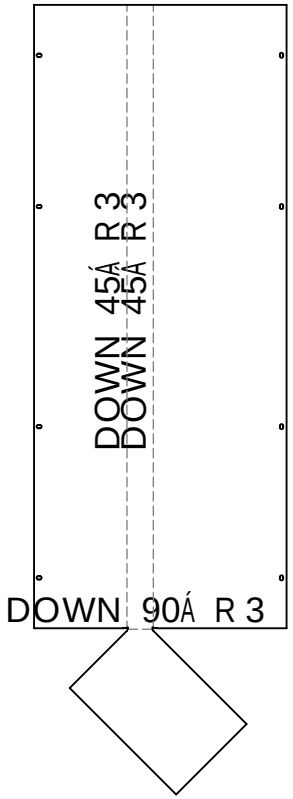


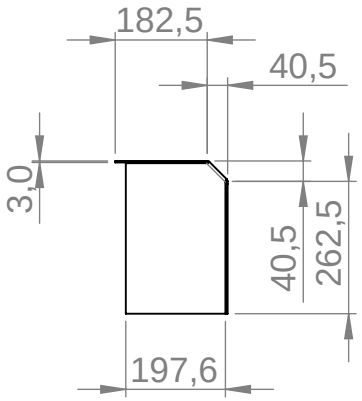


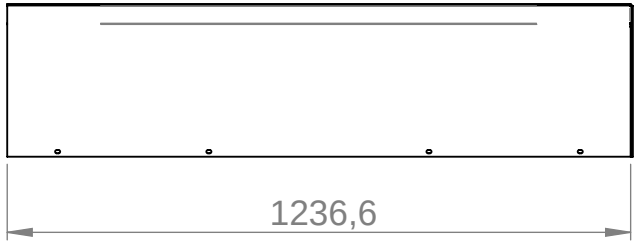


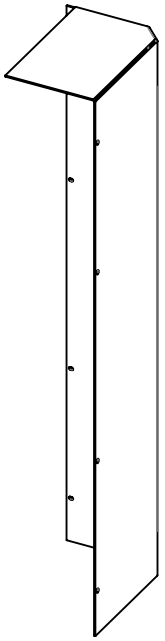
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŰуК2	мткскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	ммсс¢ул
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р	A4	Material	{ů от
Nome	lw!¢лом						Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢ум

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



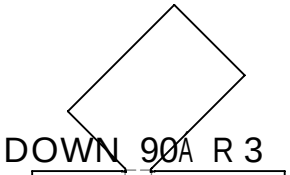


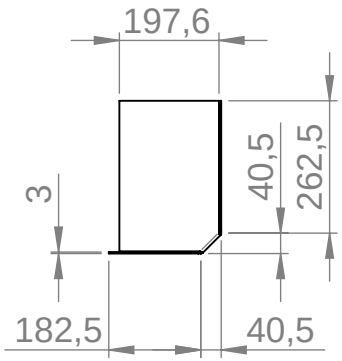


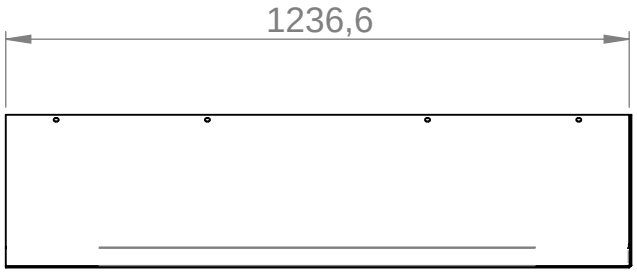


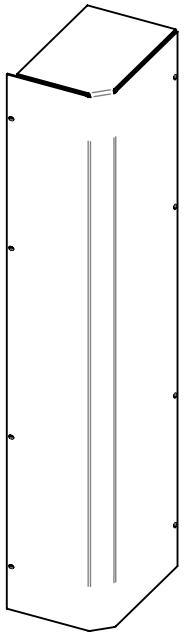
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŰуК2	мрклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	мрурн¢рт
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŕмр	A4	Tratamento	tlуŰdzŰl·
Nome	lw!¢лму						Material	{ů от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa¢ур

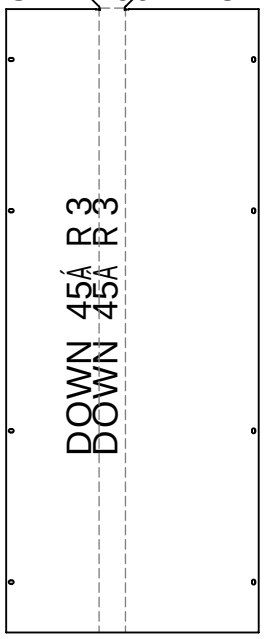
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







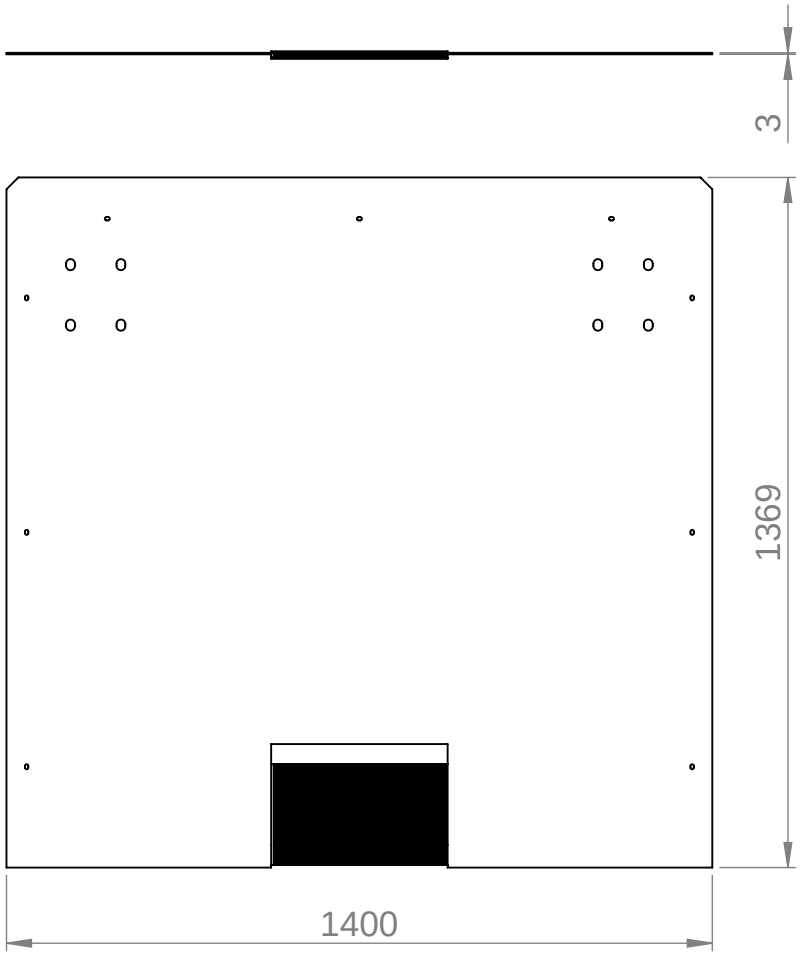


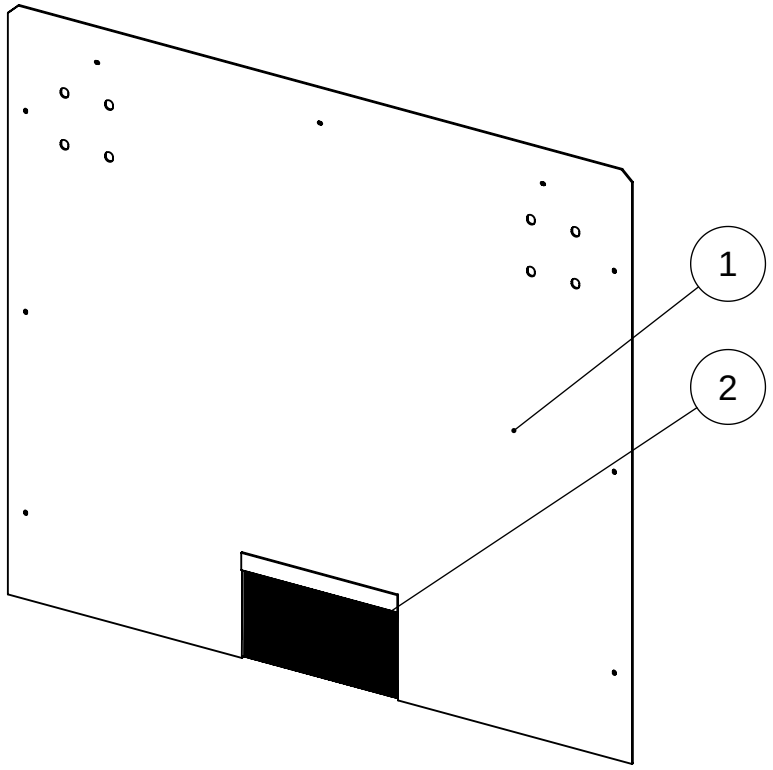


Esta pe - a ® sim®trica ao desenho
#RM.85

	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŰуК2	мнклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	мрурн¢рт
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎмр	A4	Tratamento	tlуЎdzŰl·
Nome	lw!¢лмф						Material	{ů от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa¢ус

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

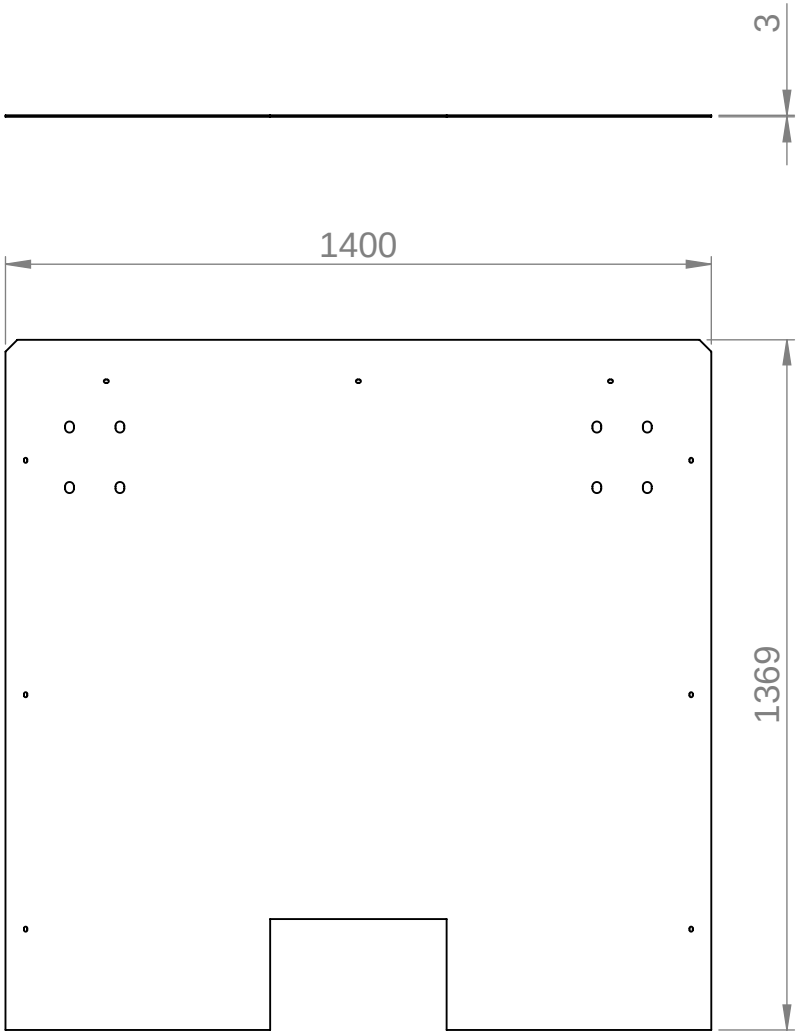


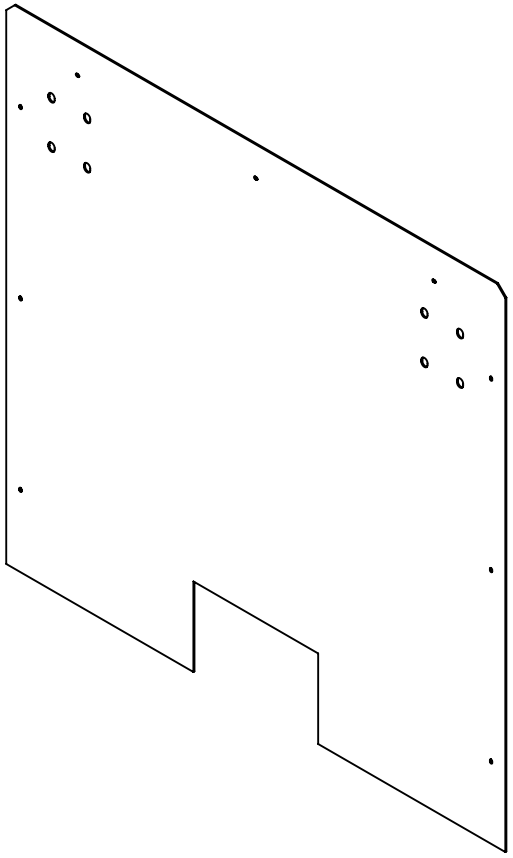


t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№λl·f	5ŜăÔ№λœń2	¢ΛLJ2	vûè◊	/ [
M	Iw!◊ллу	Iwa◊yy	{ű от	[l·äŜ№		M	
H	D№dzLJ2 a l·λl·ψлм	D№dzLJ2 a l·λl·ψм	9t± a2Ř◊ млс [орл Снлл	/2YLJ№l·		M	

	Nome	Data							
Des.	w◊ a l·№уK2	мткскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	пснсм◊рф
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мумр		A4	Tratamento	bŜyKdzY·
Nome	Iw!ψ.C							Material	±ł№2ă
								Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM Iwa◊ут

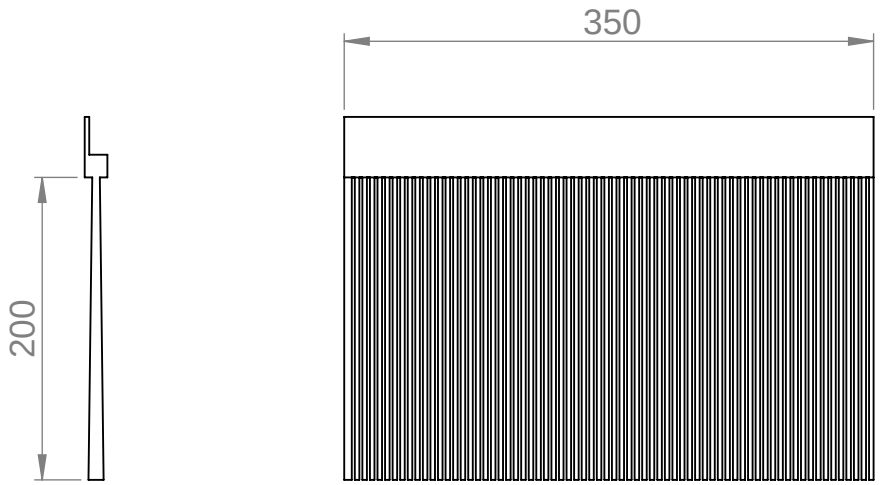
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

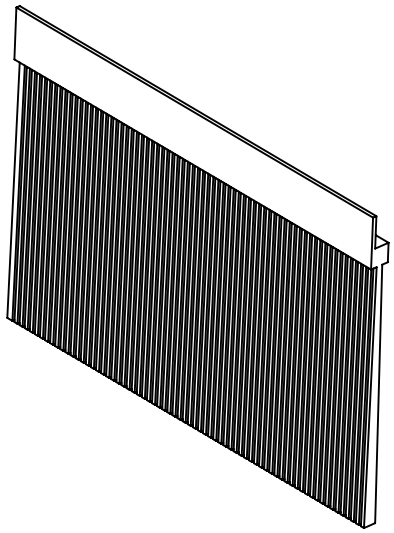




	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·ŰŭуК2	олклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	пнфсн◊лн
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмр	A4	Material	{ů от
Nome	lw!◊ллу						Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa◊yy

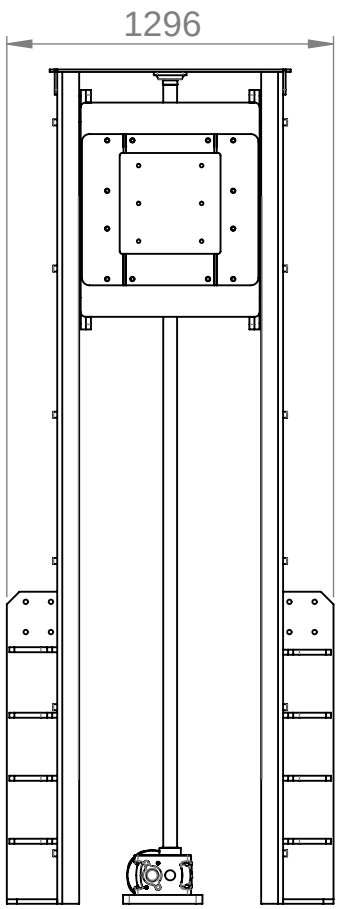
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

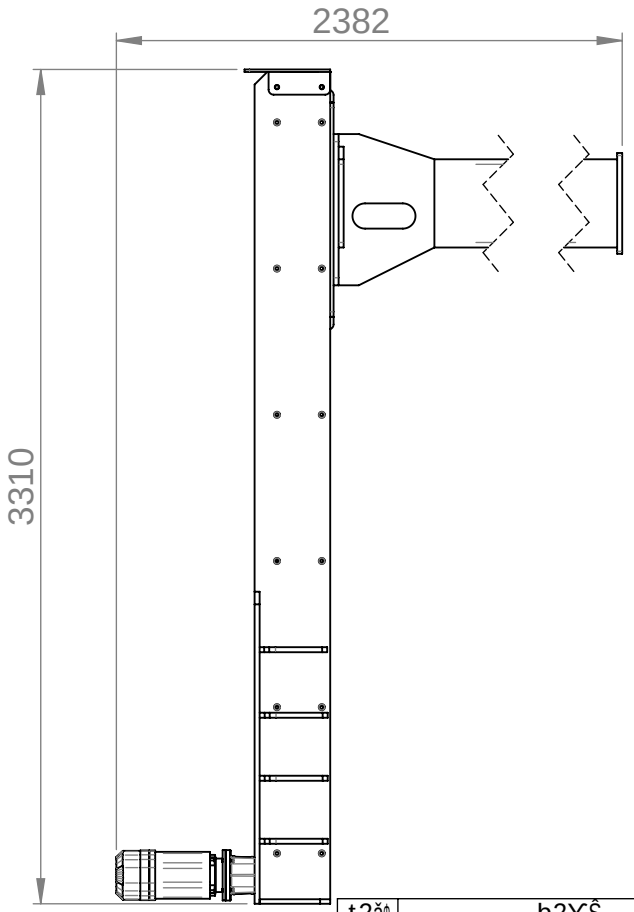


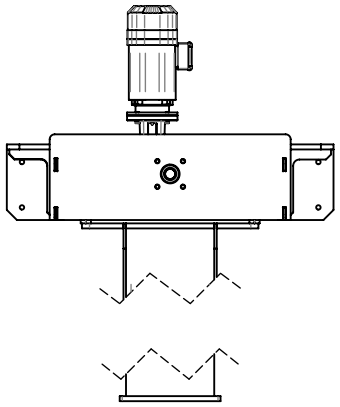


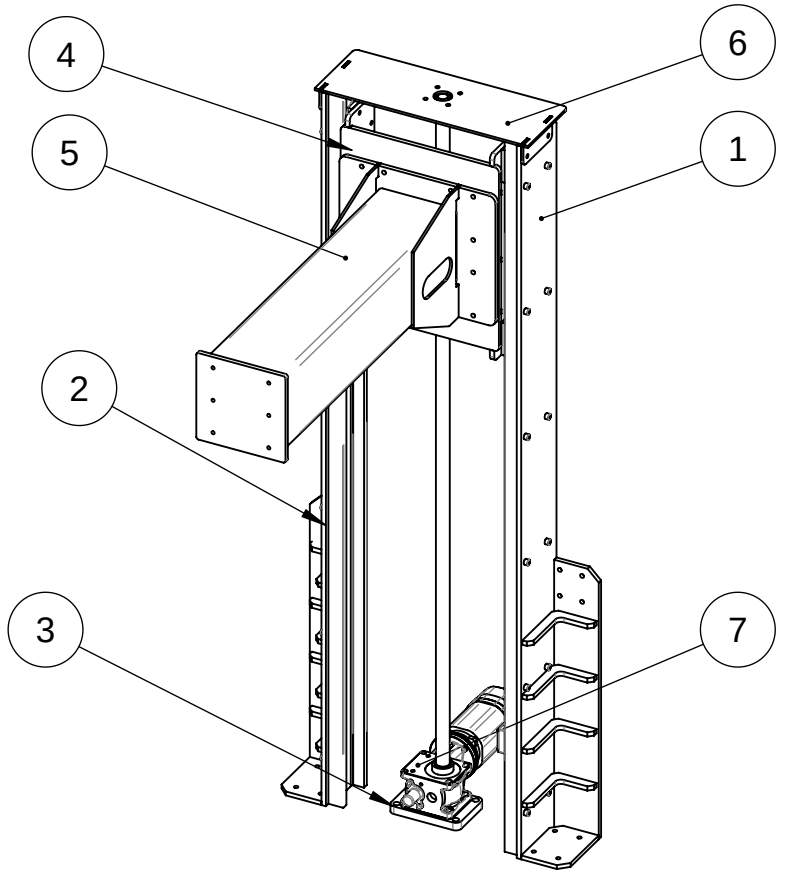
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŴɣҜ2	мпклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγр	A4	Tratamento	bŜɣҜdzY
Nome	DŴdzLJ2 a l·λl·ψлм						Material	9t± a2Ř¢ млс [орл Снлл
							Descri-«o	/2YLJŴl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм DŴdzLJ2 a l·λl·ψм

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





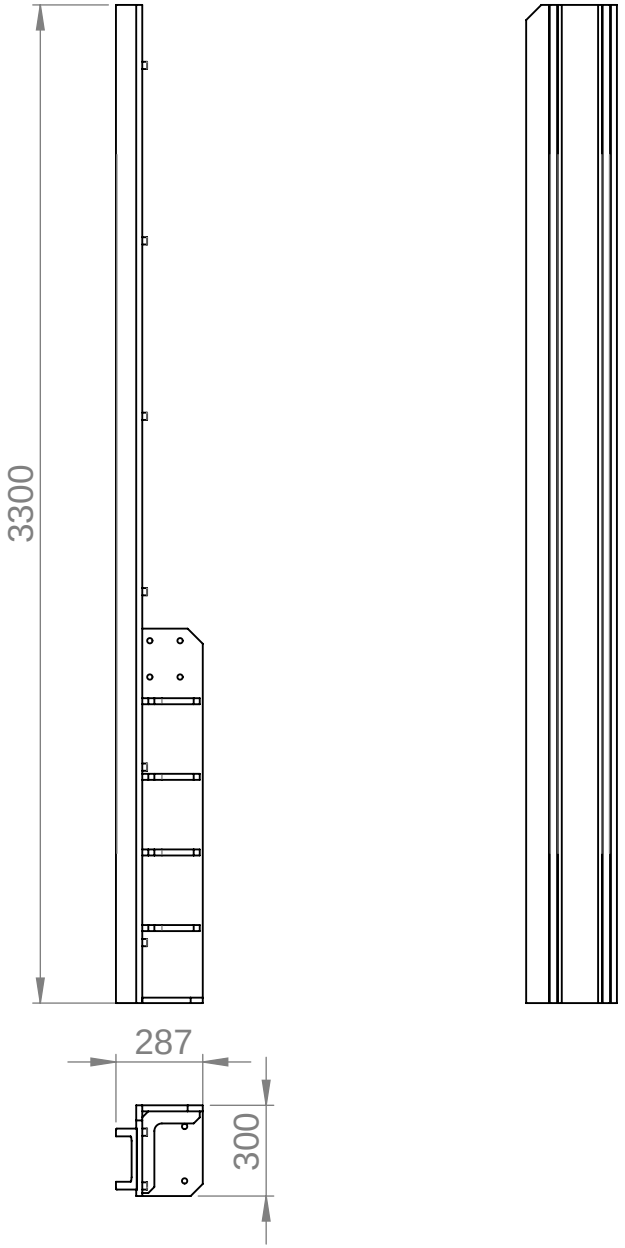


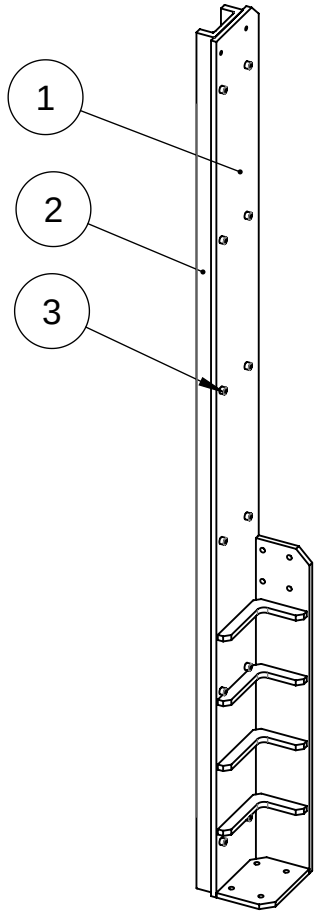


t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№λl·f	5ŜăÕ№λœń2	¢λLJ2	vúě◊	/ [
м	lw!ψ¦ψŘλ№	**lwa◊фм**	±ł№λ2ă	hŦλÔλyl·		м	
н	lw!ψ¦ψŠălj	**lwa◊фф**	±ł№λ2ă	hŦλÔλyl·		м	
о	lw!◊лмс	**lwa◊мло**	!fdzY№yλ2 ! ² рлуо	C№Šăl·		м	
п	lw!ψb	**lwa◊млп**	±ł№λ2ă	hŦλÔλyl·		м	
р	lw!ψa	**lwa◊ммл**	±ł№λ2ă	{2ťŘl·		м	
с	lw!ψ¦ !	**lwa◊ммр**	±ł№λ2ă	hŦλÔλyl·		м	
т	lw!◊н	**lwa◊фл◊м**	±ł№λ2ă	hŦλÔλyl·		м	

	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·№уК2	мткл скнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	мпмопнф◊рт
Aprov.		нткл скнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγол	A4	Tratamento	bŜyKdzY·
Nome	lw!ψ{λăúŜYl·9fŜØl·œń2						Material	±ł№λ2ă
							Descri-«o	hŦλÔλyl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa◊фл

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

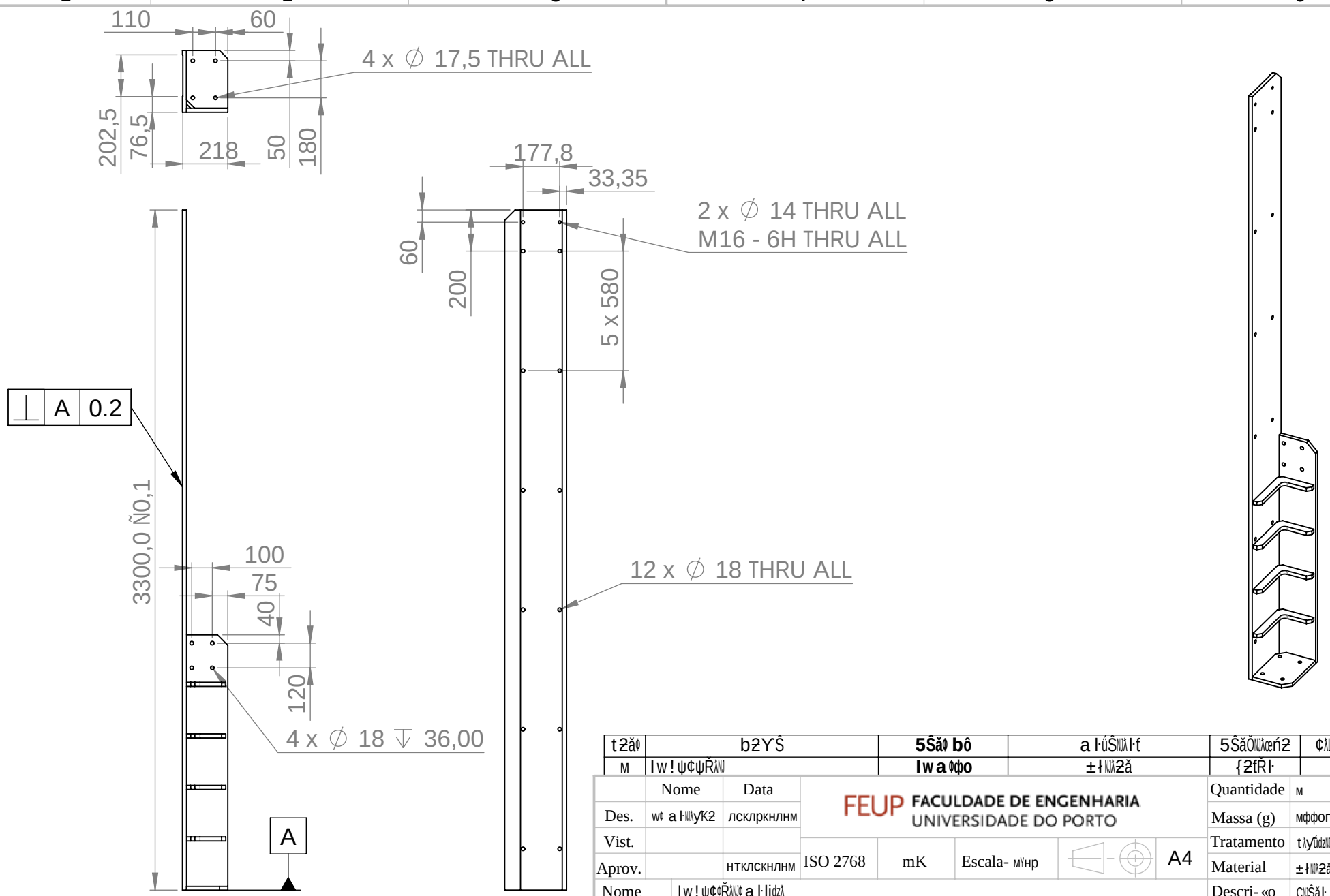




t2ă¢	b2YŜ	5Ŝă¢ bô	a l·ΰŜℕλl·f	5ŜăÓℕλœń2	¢ΛLJ2	vΰè¢	/ [
м	lw!ψ¢¢ŘλN¢a l·ljdzλ	**lwa¢фн**	±łℕλ2ă	CℕŜăl·		м	
н	² λyʃŜfψлн	**² λyʃŜfψлн**	tD c bō±	/2YLJNl·		м	
o	tl·ℕl·ŦdzǎƧ / l /	**Ł{h птсн**	aмс ғ рл	/2YLJNl·		мн	

	Nome	Data							
Des.	w¢ a l·ℕλyK2	мпклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	отнрпн¢ол
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мΥнр		A4	Tratamento	bŜyKdzY·
Nome	lw!ψ¦ψŘλN							Material	±łℕλ2ă
								Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa¢фм

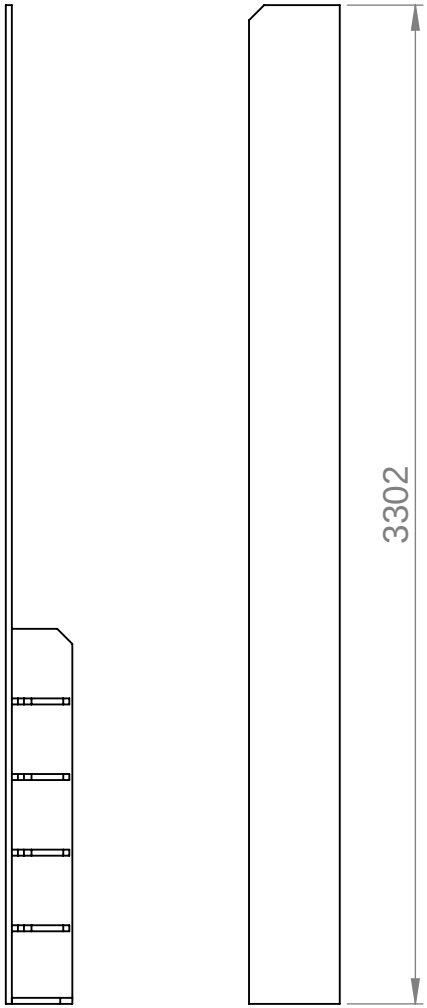
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

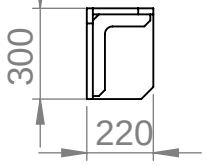


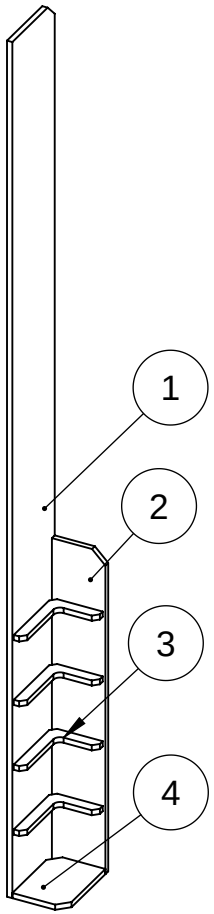
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№l·f	5ŜăÕ№œń2	¢ⱠLJ2	vűè◊	/ [
M	lw!ψ¢ψŘⱠ№	lwa¢◊o	±ł№2ă	{2fŘl·		M	

	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·№yK2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	мффопт◊рн
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸнр	A4	Tratamento	tⱠyűdz№l·
Nome	lw!ψ¢◊ŘⱠ№◊ a l·ljdzⱠ						Material	±ł№2ă
							Descri-«o	c№Ŝăl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa◊ɸн

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



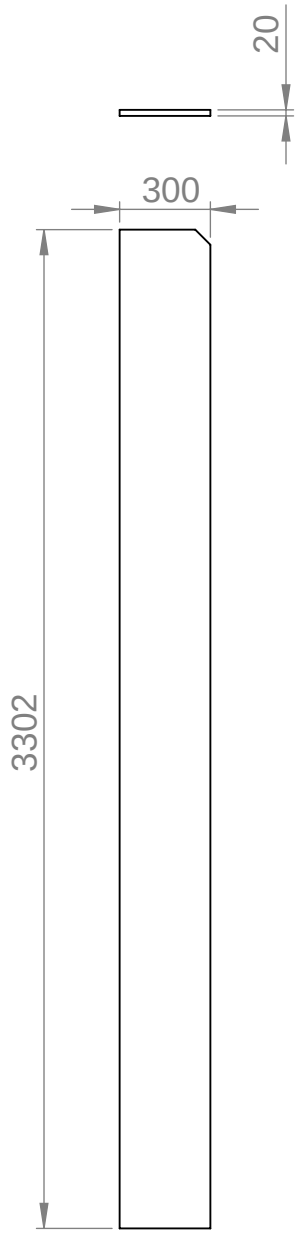


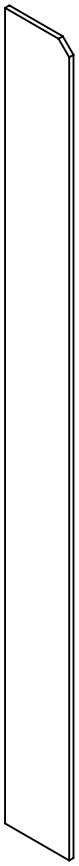


t2ăφ	b2YŜ	5Ŝăφ bô	a l·úŜ№λl·f	5ŜăÔ№λœń2	¢ʌLJ2	vúèφ	/ [
м	lw!ψ¢φллм	**lwaφфп**	{ú рн	[l·äŜ№		м	
н	lw!ψ¢φллн	**lwaφфр**	{ú рн	[l·äŜ№		м	
о	lw!ψ¢φллп	**lwaφфс**	{ú рн	[l·äŜ№		п	
п	lw!ψ¢φлло	**lwaφфт**	{ú рн	[l·äŜ№		м	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	wφ a l·№уЌ2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	ннмрмлφпф
Vist.								Tratamento	bŜyЌdzY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎнр		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ¢ψŘ№							Descri-«o	{2tŘl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwaφфo

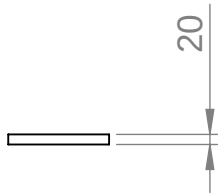
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

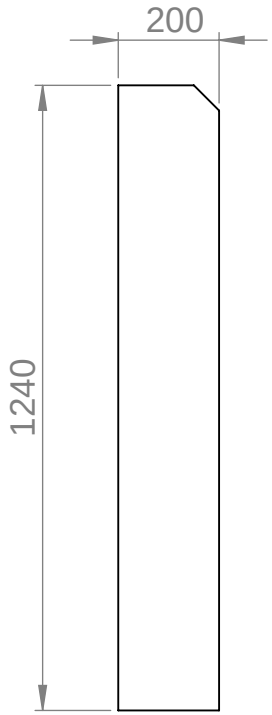


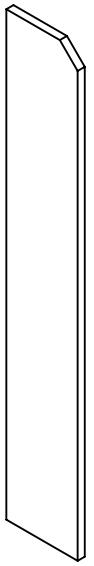


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуК2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	мрпооу¢сл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎнр	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	lw!ψ¢¢ллм						Material	{ú рн
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢фп

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

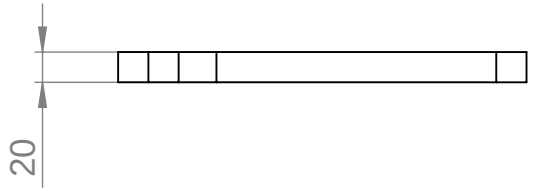


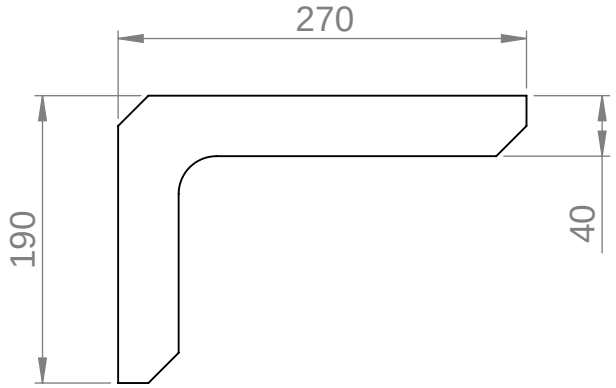


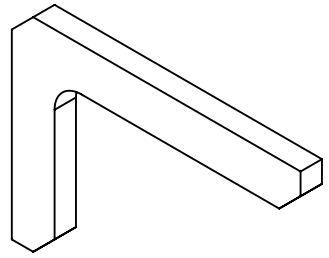


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуК2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	оупфо¢лл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмр	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Iw!ψ¢¢ллн						Material	{ú рн
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢фp

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

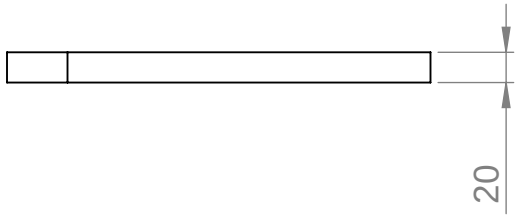


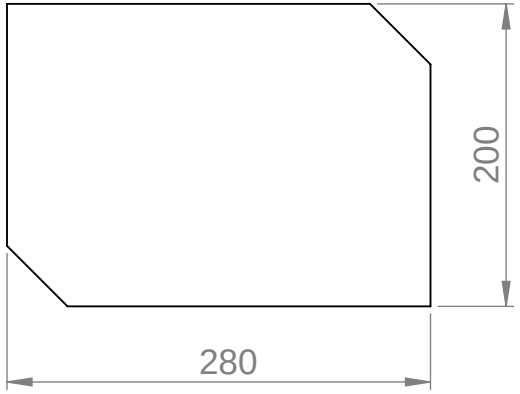


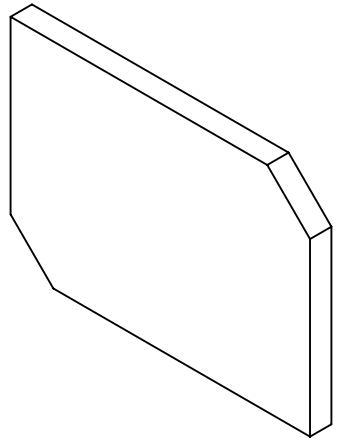


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуК2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	y
Vist.							Massa (g)	нрпу℅мн
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м℅р	A4	Material	{ů рн
Nome	lw!ψ¢℅ллп						Descri-«o	[l·ăŜℕ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa℅фc

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

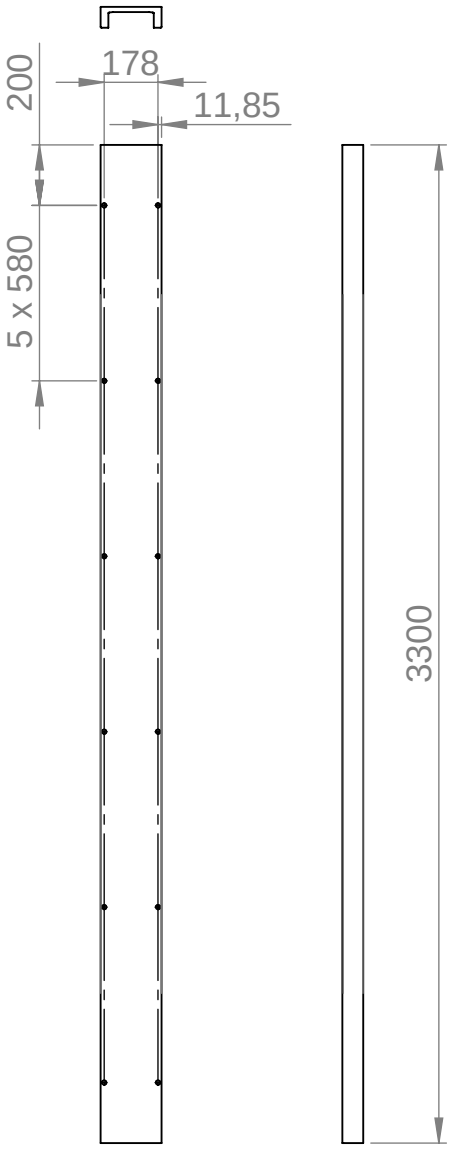


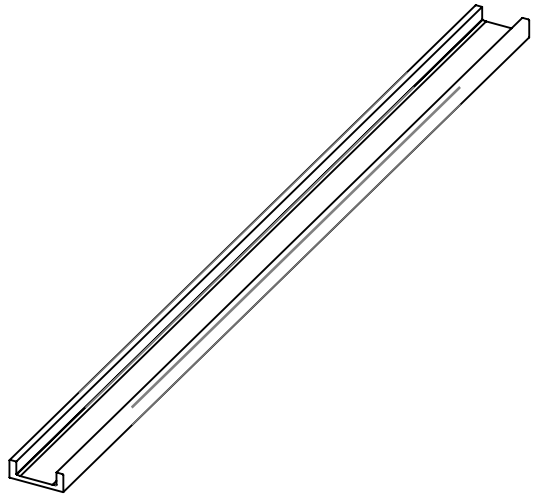




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуК2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	упус¢пл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р	A4	Material	bŜуКdzY
Nome	lw!ψ¢◊лло						Descri-«o	[l·ăŜ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa◊фт

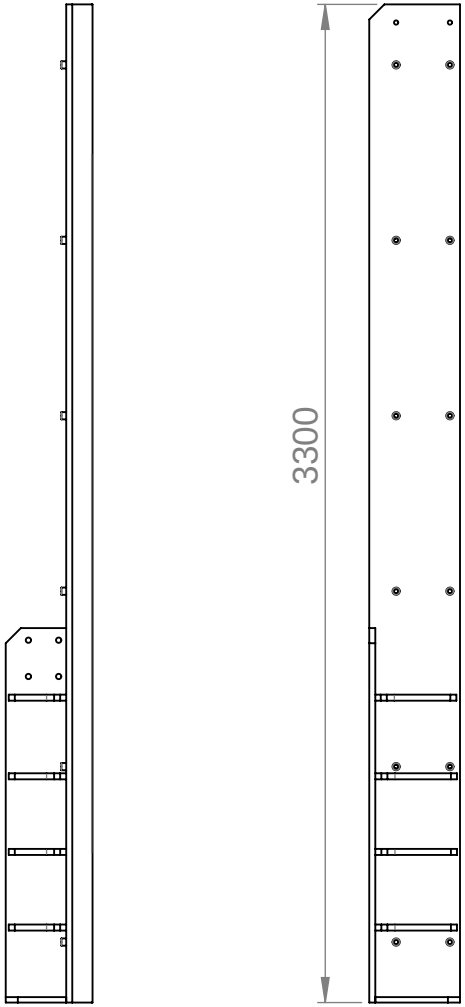
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

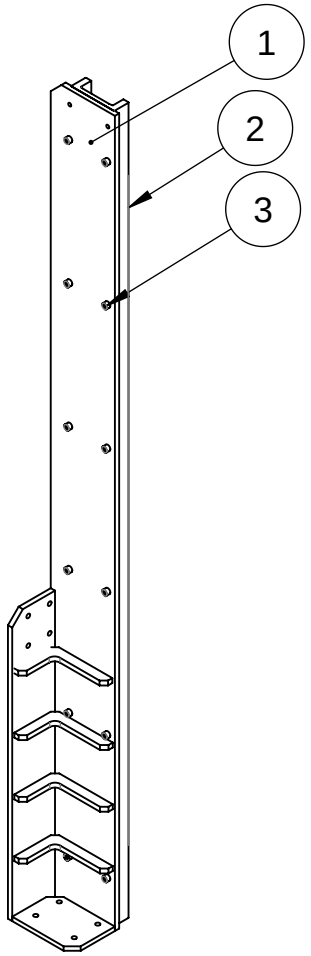


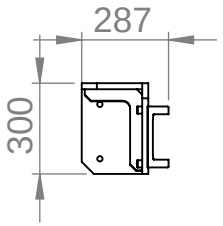


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ЩуК2	ммклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	мтоллл¢лл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'нр	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	² лУ]Ŝfψлн						Material	tD c bō±
							Descri-«o	/2Y[JЩl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм ² лУ]Ŝfψлн

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



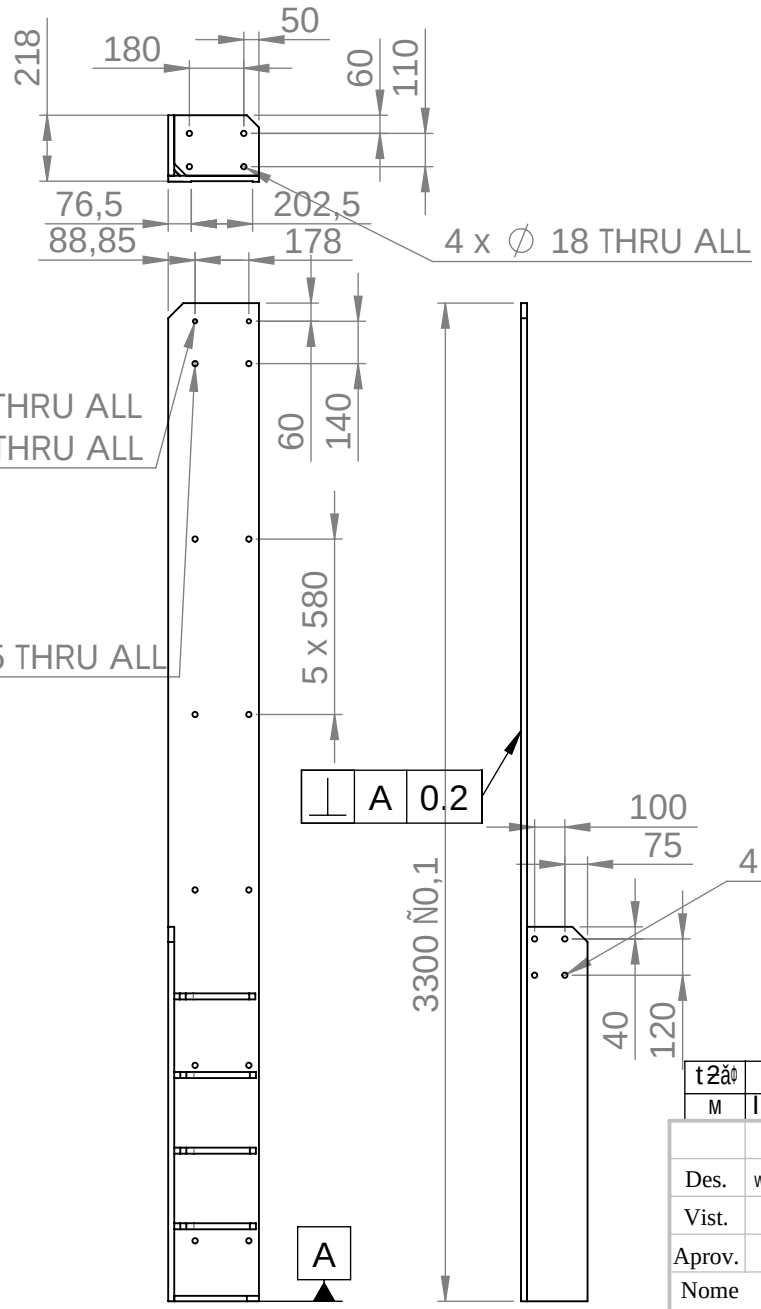


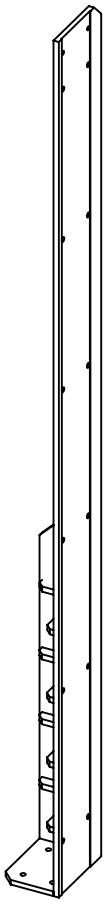


t2ă¢	b2YŜ	5Ŝă¢ bô	a l·ûŜNλl·f	5ŜăÔNλœń2	¢λLJ2	vűè¢	/ [
м	l w ! ψ¢¢Ŝăljφ a l·ljdzλ	l w a φмлл	±ł№λ2ă	CNŜăl·		м	
н	² λyʃŜfψлн	² λyʃŜfψлн	tD c bō±	/2YLJNl·		м	
o	t l·№l·Ŧdzǎƨƨ / l /	L{h птсн	a мcғрл	/2YLJNl·		мн	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w¢ a l·№уҜƨ	мпклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	оуптлр¢ну
Vist.								Tratamento	bŜyҜdzY·
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мYнр		A4	Material	±ł№2ă
Nome	l w ! ψ ¦ ψŜălj							Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм l w a ¢φφ

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





Este conjunto ® sim®trico ao desenho #RM.92

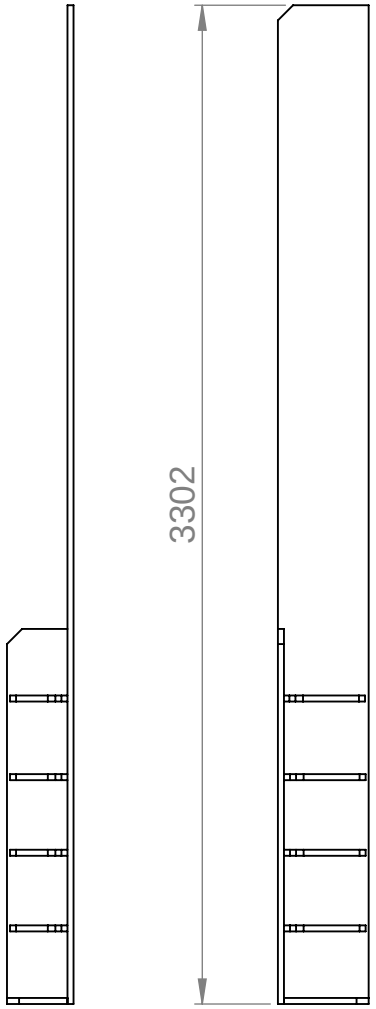
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ůŜ№λl·f	5ŜăÓ№λœń2	¢ĸLJ2	vůè◊	/ [
м	l w ! ψ¢◊Ŝălj	l w a ◊млм	±ł№λ2ă	{2fŘl·		м	

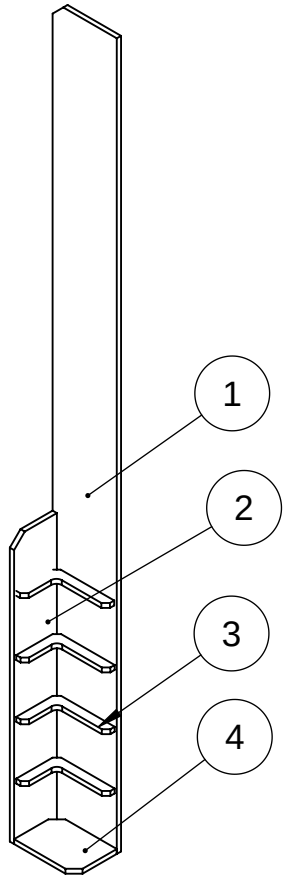
	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·№λyK2	млклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					
Vist.								
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мYнр		A4	
Nome	l w ! ψ¢◊Ŝăljo a l·ljdzλ							

Quantidade	м
Massa (g)	нммрмл◊пф
Tratamento	tlyůdz№l·
Material	±ł№λ2ă
Descri-«o	c№Ŝăl·
Desenho	MKM l w a ◊млл

DISSERTA ¢ ì O

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





Este conjunto ® sim®trico ao desenho #RM.93 e utiliza exatamente os mesmos componentes

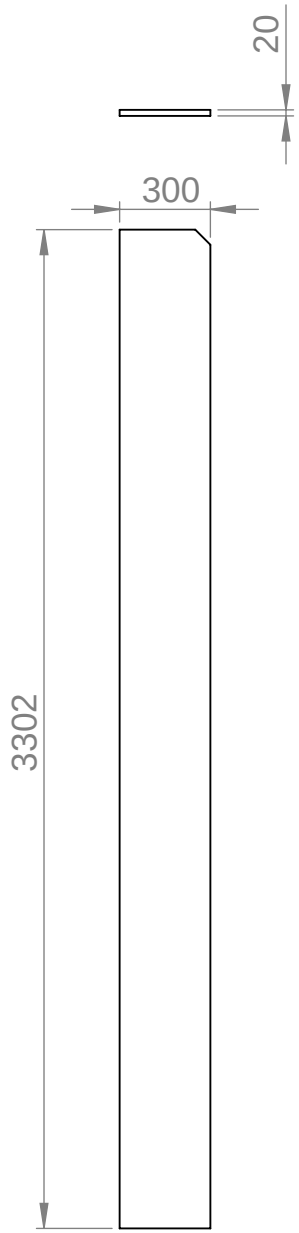
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№l·f	5ŜăÓ№ĺœń2	¢ĹĽ2	vűě◊	/ [
м	lw!ψ¢◊ллм	**lwa◊фп**	{ű рн	[l·ăŜ№		м	
н	lw!ψ¢◊ллн	**lwa◊фр**	{ű рн	[l·ăŜ№		м	
о	lw!ψ¢◊ллп	**lwa◊фс**	{ű рн	[l·ăŜ№		п	
п	lw!ψ¢◊лло	**lwa◊фт**	{ű рн	[l·ăŜ№		м	

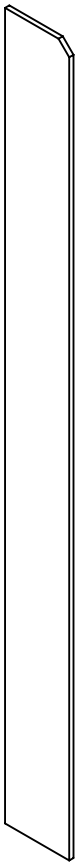
	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·№ŭYK2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					
Vist.								
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸнр		A4	
Nome	lw!ψ¢◊Ŝălj							

Quantidade	м
Massa (g)	нммрмл◊пф
Tratamento	bŜyKdzY
Material	±ł№2ă
Descri-«o	{2třl·
Desenho	мкм lwa◊млм

DISSERTA ¢ ì O

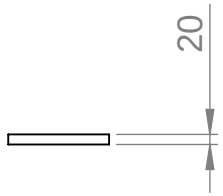
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

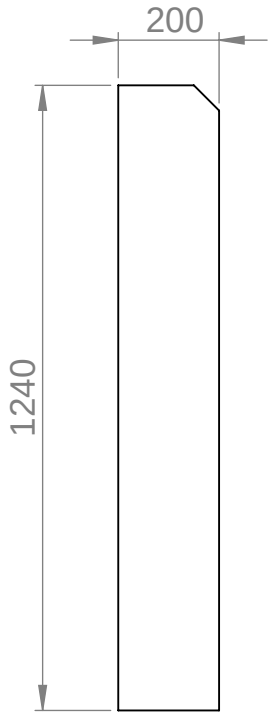


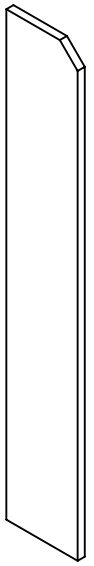


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуК2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	мрпооу¢сл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎнр	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	lw!ψ¢¢ллм						Material	{ú рн
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢фп

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

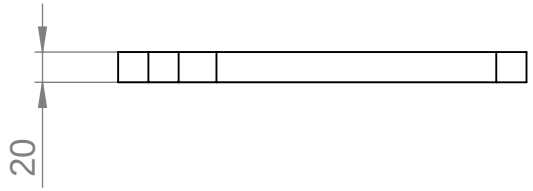


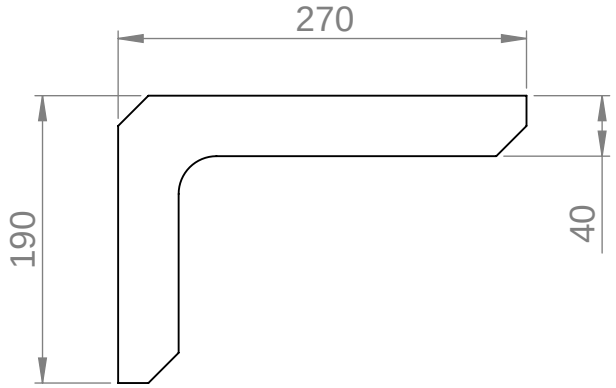


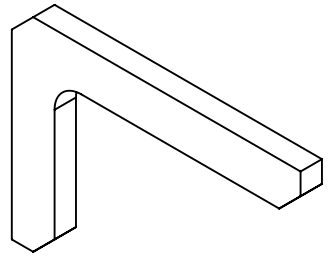


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуК2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	оупфо¢лл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмр	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Iw!ψ¢¢ллн						Material	{ú рн
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iwa¢фp

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

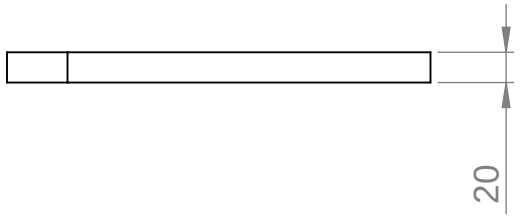


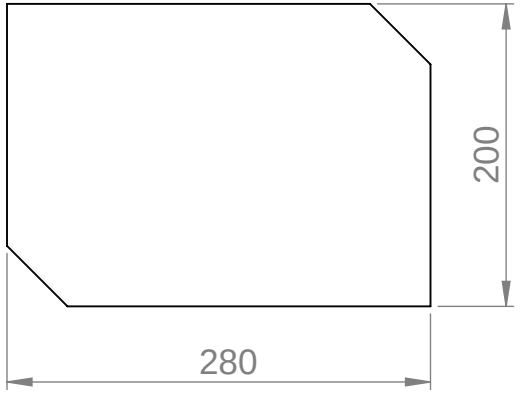


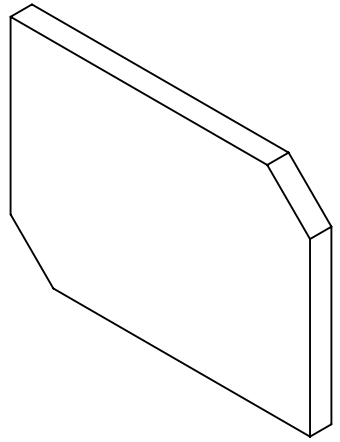


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуК2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	y
Vist.							Massa (g)	нрпу℅мн
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м℅р	A4	Material	{ů рн
Nome	lw!ψ¢℅ллп						Descri-«o	[l·ăŜℕ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa℅фc

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

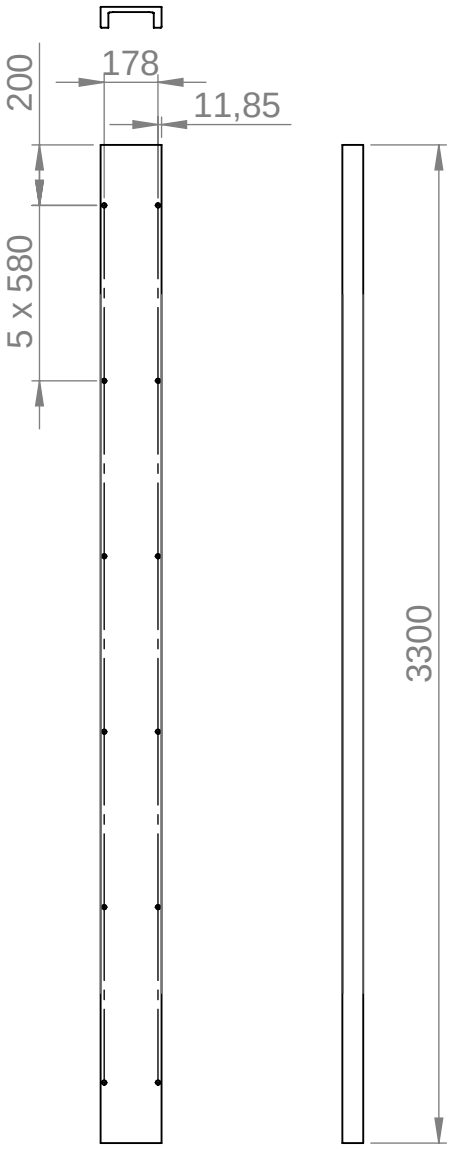


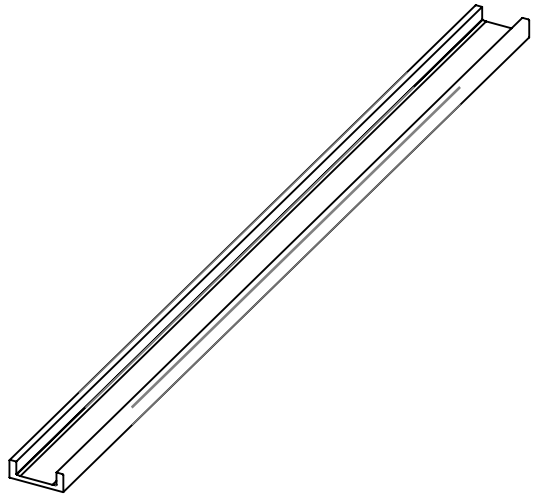




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуК2	лсклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	упус¢пл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р	A4	Material	bŜуКdzY
Nome	lw!ψ¢◊лло						Descri-«o	[l·ăŜ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM lwa◊фт

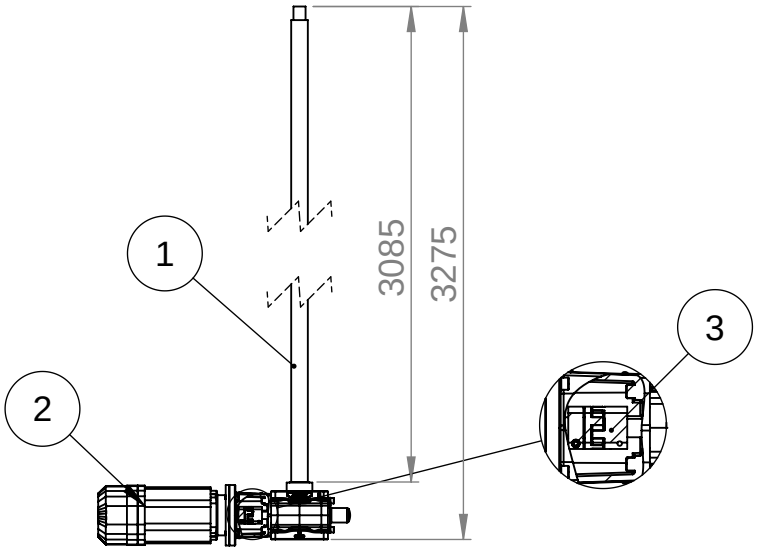
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





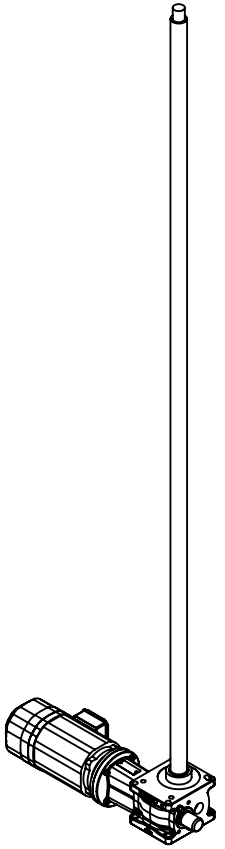
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ЩуК2	ммклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	мтоллл¢лл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'нр	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	² лУ]Ŝfψлн						Material	tD c bō±
							Descri-«o	/2Y[JЩl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм ² лУ]Ŝfψлн

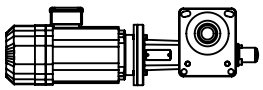
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



DETAIL A

SCALE 1 : 10

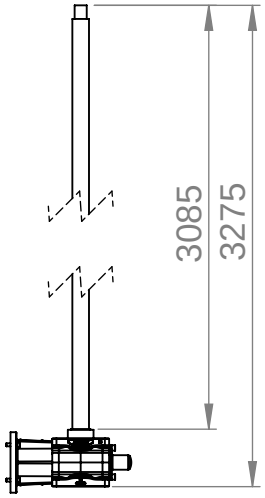


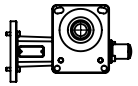


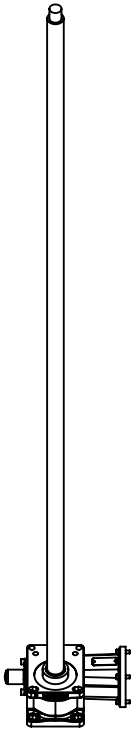
t2ăφ	b2YŜ	5Ŝăφ bô	a l·ûŜ№λl·f	5ŜăÕ№λœń2	¢λLJ2	vůèφ	/ [
м	½La aψлм	½L a aψлм	½9πмлл ¢wpp · ф	/2YLJ№l·		м	
н	{9 ² ψло	{9 ² ψло	5w[млл[пкC[к¢Ск9{т{	/2YLJ№l·		м	
о	wЬ ² ψлм	wЬ ²	9Yнψслψтуψ!ψнрψtCbψну ψtCbψм	/2YLJ№l·		м	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	wφ a l·№уK2	ноклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	yyycтφлл
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мYнр		A4	Material	±ł№2ă
Nome	Iw!φн							Descri-«o	hтλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм Iwaφфлφм

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



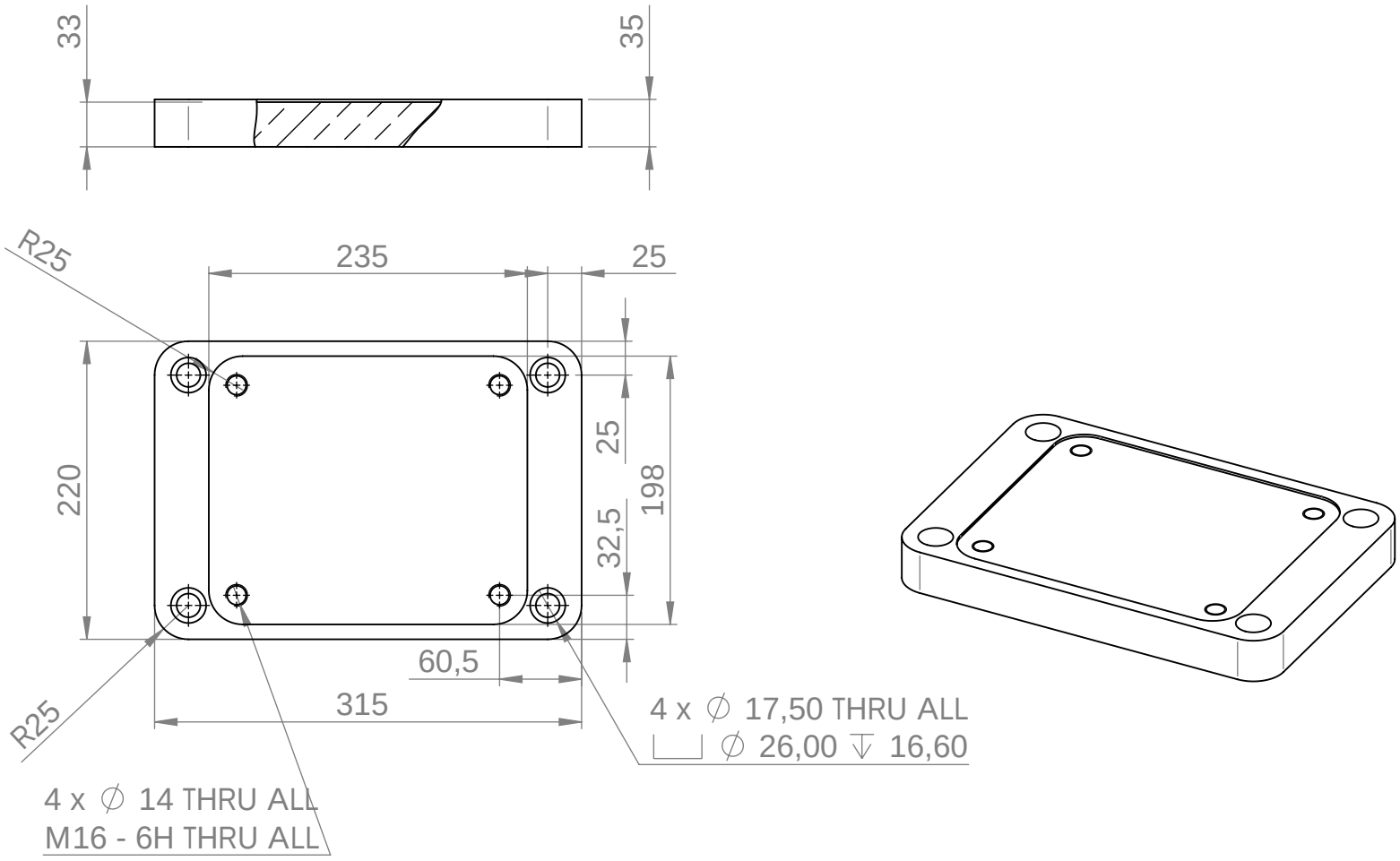




Screw jack: ZE-100-R-TR
Spindle: TR 55x 9, length = 3267 mm
Stroke: 2702 mm
Accessories:
Self-aligning nut (PM) incl. safety nut (SIFA)
Motor flange (MF) for flange Ø 200 mm, side D
Protective cap (SK)

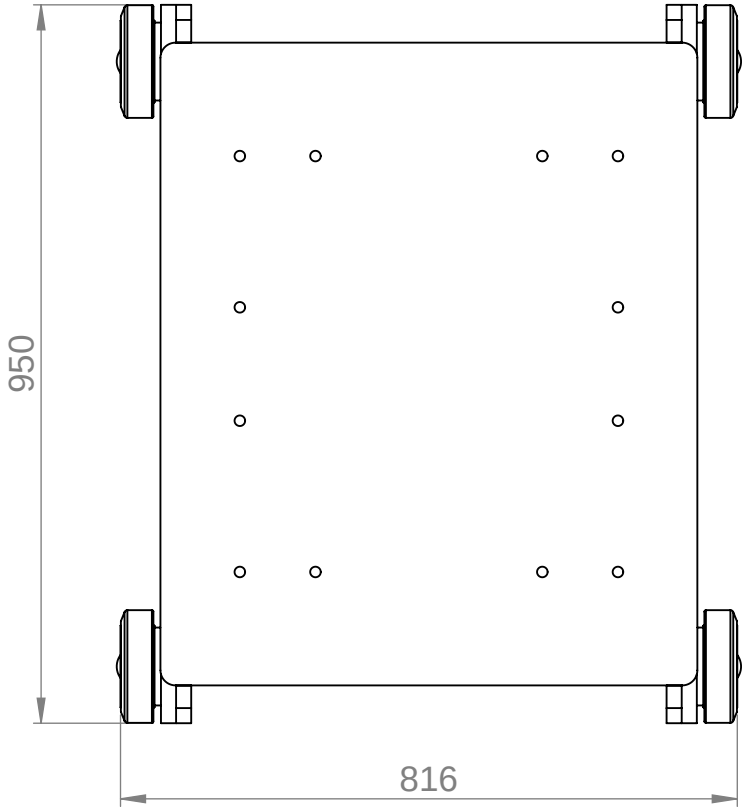
	Nome	Data						
Des.	wφ a l·ⅈⅈⅈуК2	мпклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	рутонφлл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸнр	A4	Tratamento	bŜyКdzY
Nome	½L a aψлм						Material	½9πмлл ¢wpp · ф
							Descri-«o	/2YLJⅈl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм ½L a aψлм

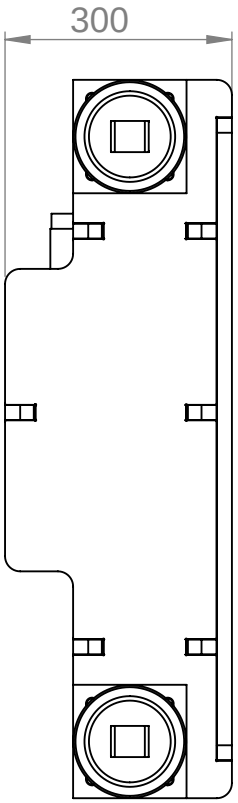
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

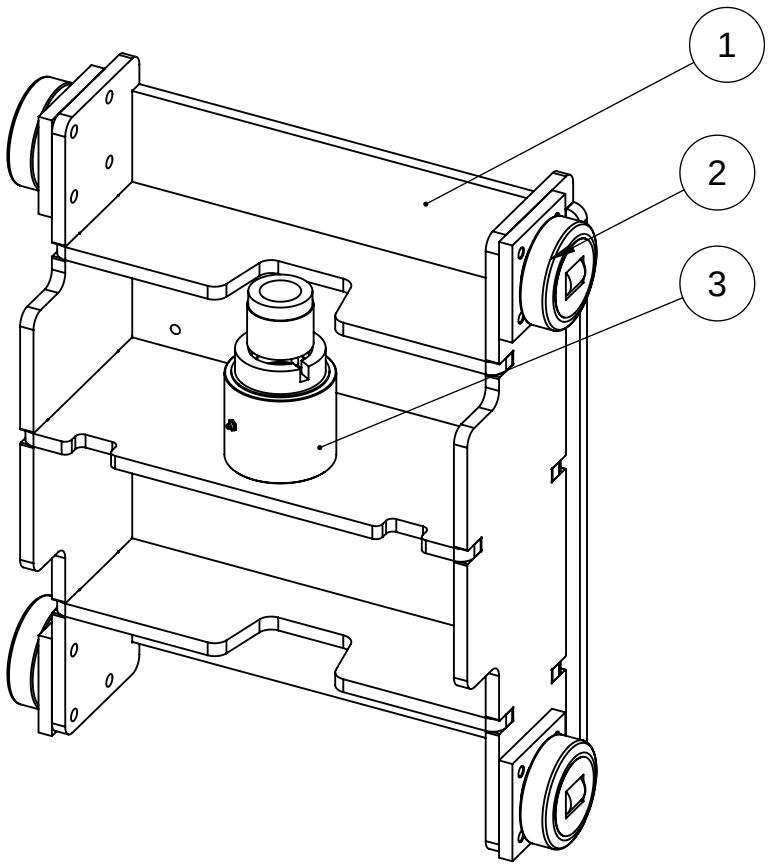


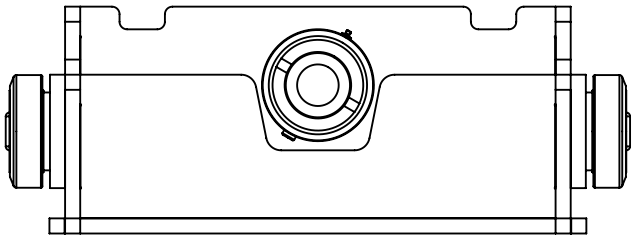
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŴуК2	млклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	р¢снºну
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŷр	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	lw!ºлмс						Material	!fdzYŷуЙ2 ! ² рлуо
							Descri-«o	CŴŠăł·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwaºмло

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





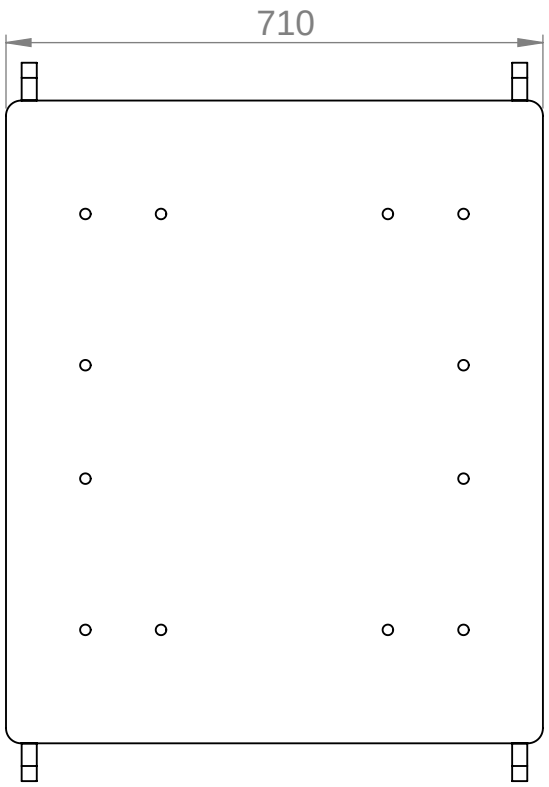


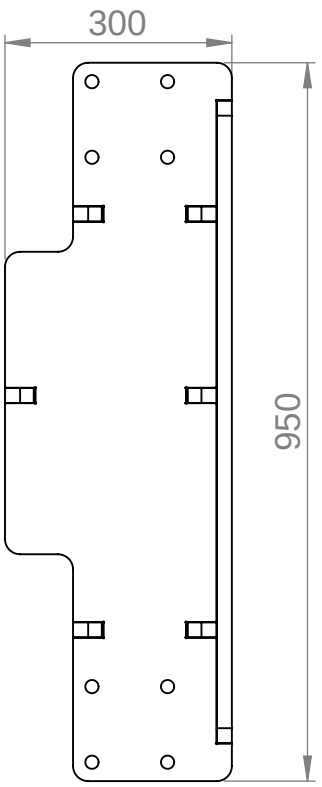


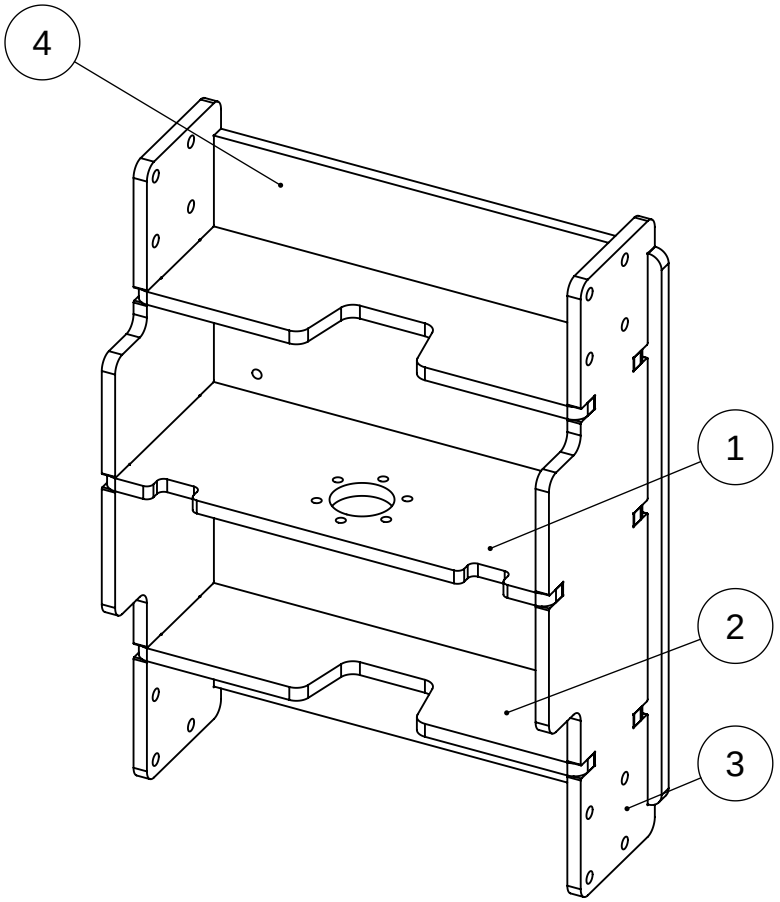
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№Ål·f	5ŜăÔ№Åœń2	¢ÅLJ2	vúë◊	/ [
M	Iw ! ψ[	Iwa◊млр	± ł№Å2ă	{2fŘl·		M	
H	² ÅyʼnŜtψлм	² Åyʼn$t	tw n◊лco ! tcπv	/ 2YʼnJ№l·		П	
o	½L a aψллo◊м	½L a a	b2ű ¦ ăŜŘ	b2ű ¦ ăŜŘ		M	

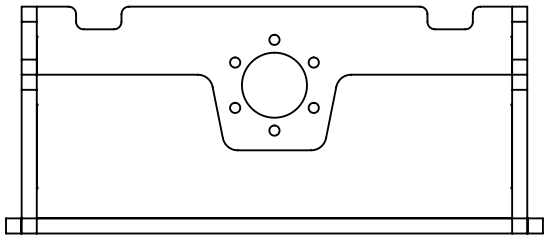
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№ÅyK2	мрклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	нтсоп◊ол
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY·
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мʸмл		A4	Material	± ł№Å2ă
Nome	Iw ! ψb							Descri- «o	hŦÅÔÅyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM Iwa◊млп

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







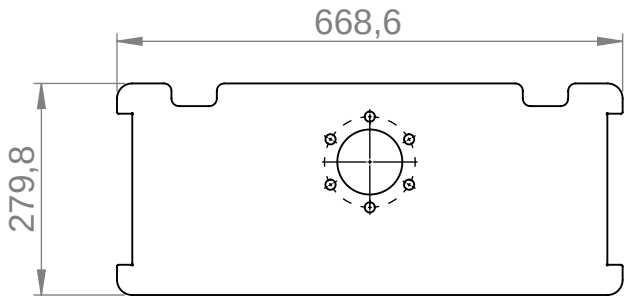


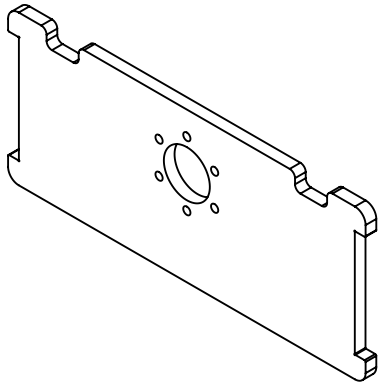
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№l·f	5ŜăÕ№λœń2	¢ʌLJ2	vűë◊	/ [
м	lw!ψ[◊ллм	lwa◊млс	{ű рн	[l·ăŜ№		м	
н	lw!ψ[◊ллн	lwa◊млт	{ű рн	[l·ăŜ№		н	
о	lw!ψ[◊лло	lwa◊млу	{ű рн	[l·ăŜ№		н	
п	lw!ψ[◊ллп	lwa◊млф	{ű рн	[l·ăŜ№		м	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№ŭУK2	мрклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	нмфопф◊ол
Vist.								Tratamento	tlyŭdz№l·
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мУмл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ[							Descri-«o	{2tŘl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa◊млр

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

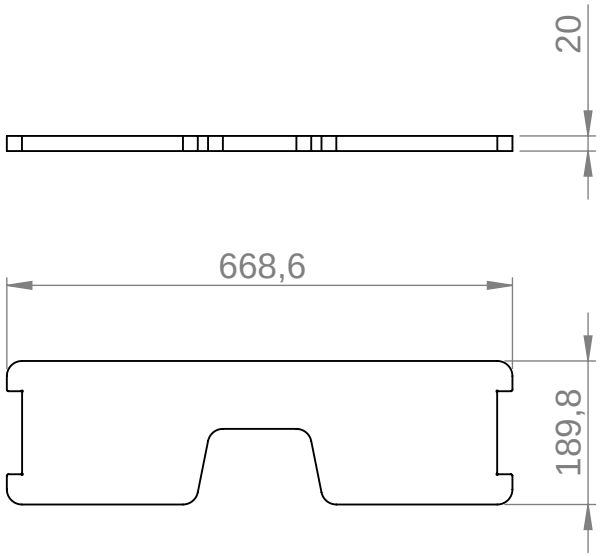


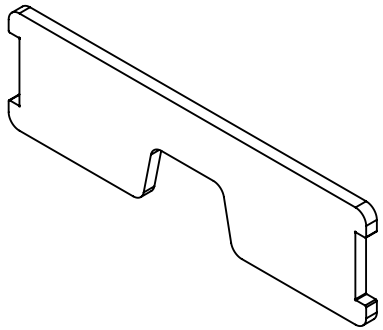




	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·ЩуҚ2	мрклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	нснст◊лр
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл	A4	Tratamento	bŜуҚdzY
Nome	Iw!ψ[◊ллм						Material	{ů рн
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa◊млс

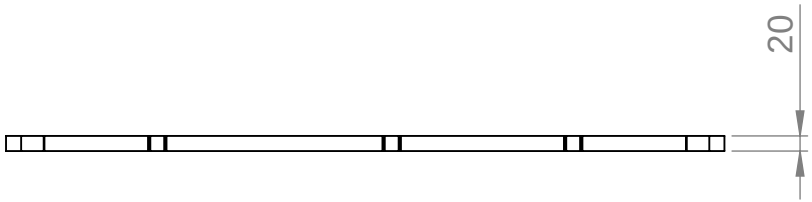
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

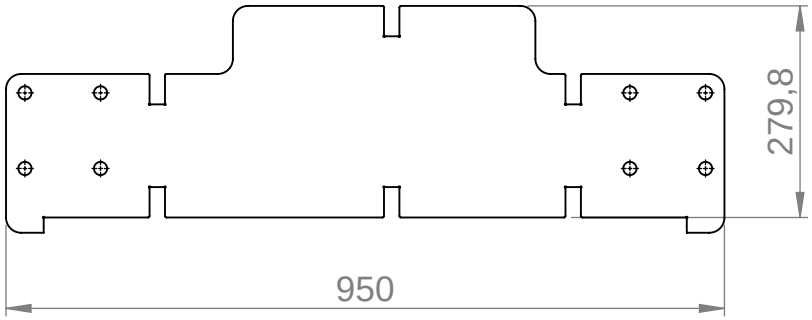


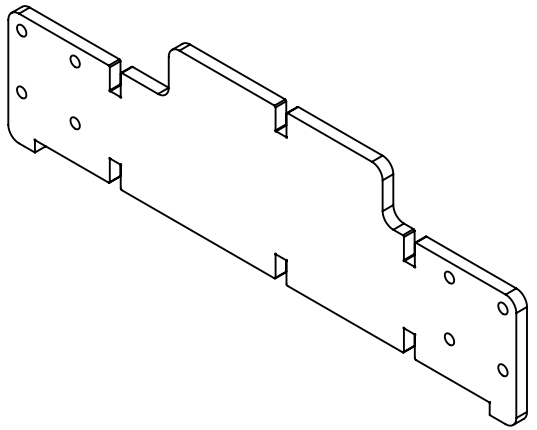


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ЩуЌ2	мрклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	мстлу¢ут
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	lw!ψ[¢ллн						Material	{ú рн
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢млт

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

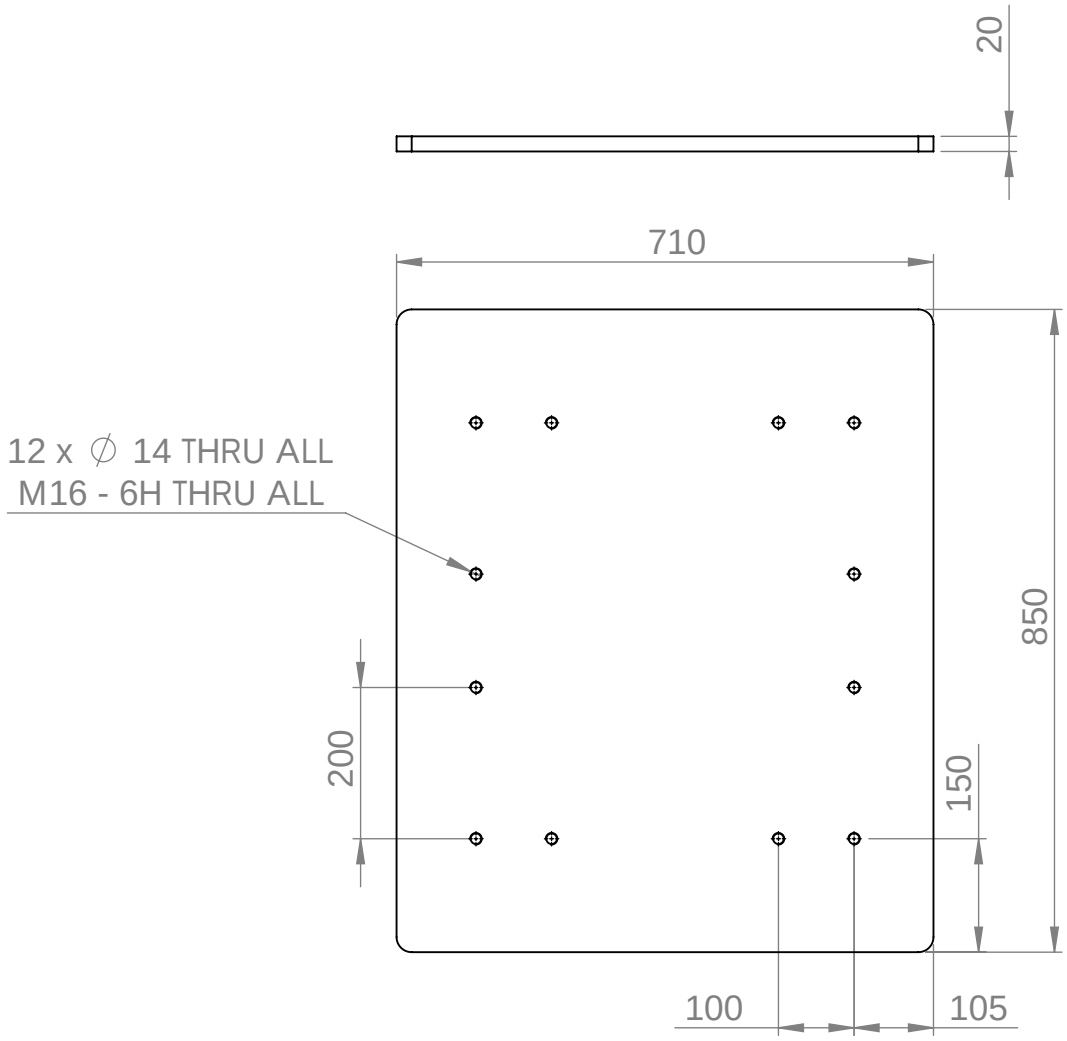


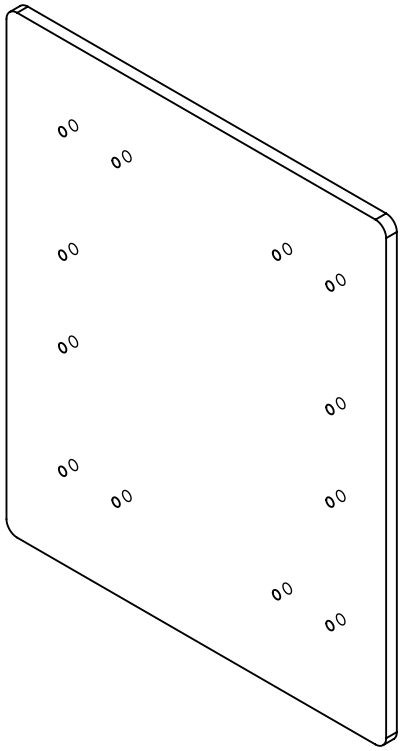




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуК2	мрклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	онфол◊мо
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Iw!ψ[◊лло						Material	{ů рн
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa◊млу

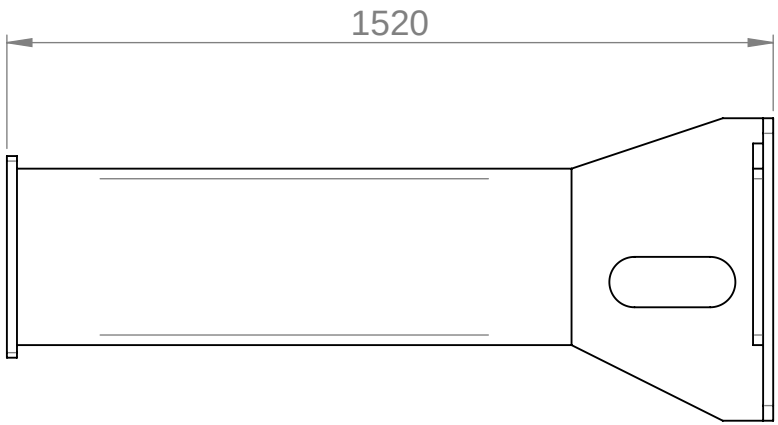
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

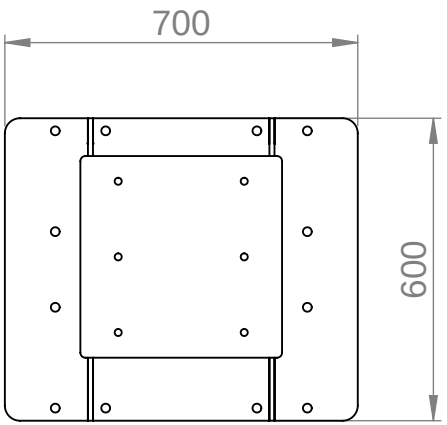


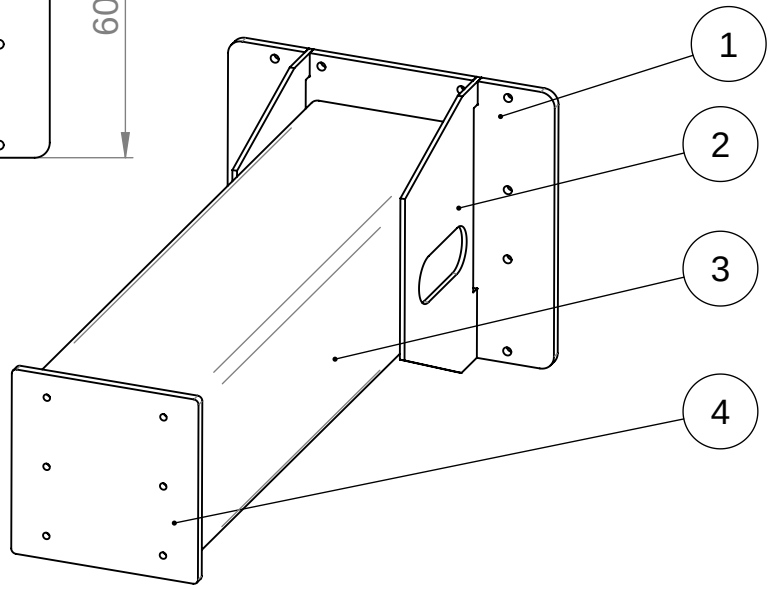


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲУҜ2	мрклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	фоулп¢нс
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмл	A4	Tratamento	bŜуҜ¢ZŸ
Nome	Iw!ψ[◊ллп						Material	{ů рн
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa◊млф

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



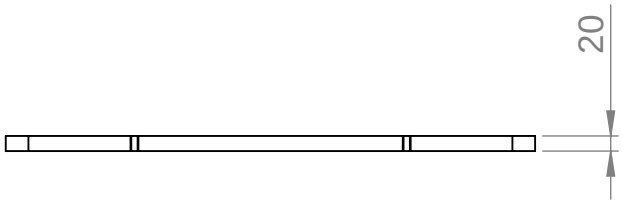


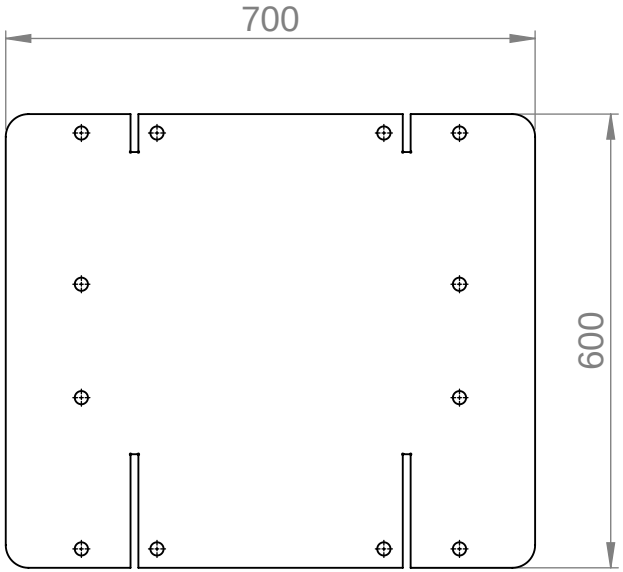


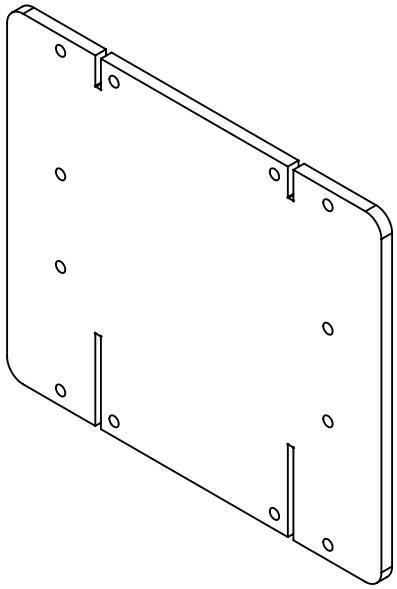
t2ă◊	b2YŜ	5Šă◊ bô	a l·úŜ№Ål·f	5ŜăÔ№Åœń2	¢ΛLJ2	vúè◊	/ [
м	lw!ψa◊ллм	lwa◊ммм	{ű рн	[l·ăŜ№		м	
н	lw!ψa◊ллн	lwa◊ммн	{ű рн	[l·ăŜ№		н	
о	lw!ψa◊лло	lwa◊ммо	пллƑпллƑмл	/2№ŰŜ		м	
п	lw!ψa◊ллп	lwa◊ммп	{ű рн	[l·ăŜ№		м	

	Nome	Data							
Des.	w◊ a l·№уК2	мпклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	нсусрн◊уу
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мр		A4	Tratamento	tlyŰdz№l·
Nome	lw!ψa							Material	±ł№2ă
								Descri-«o	{2tŘl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊ммл

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



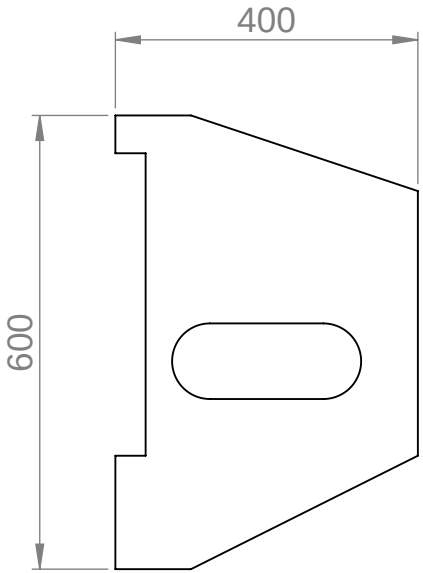


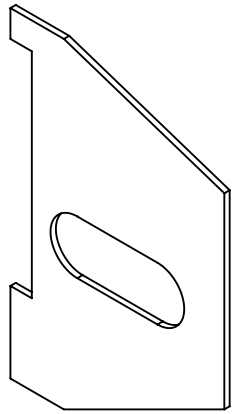


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуК2	олклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	спнфс¢лм
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	lw!ψa◊ллм						Material	{ú рн
							Descri-«o	[lăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa◊ммм

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

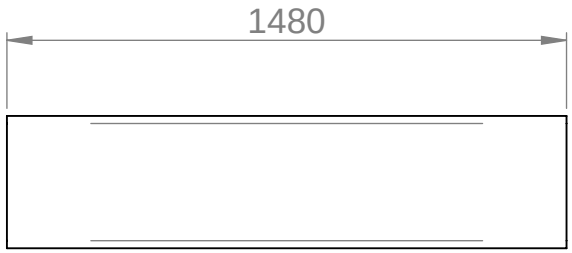


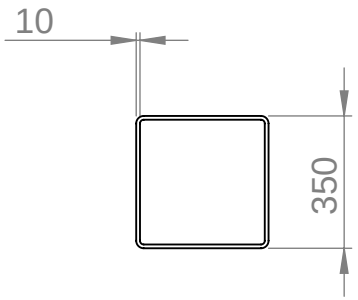


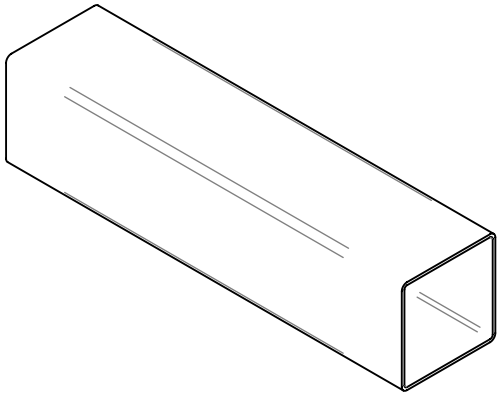


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲyK2	олклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	мнтсп¢оф
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл	A4	Tratamento	bŜyKdzY
Nome	Iw!ψa¢ллн						Material	{ú рн
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa¢ммн

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

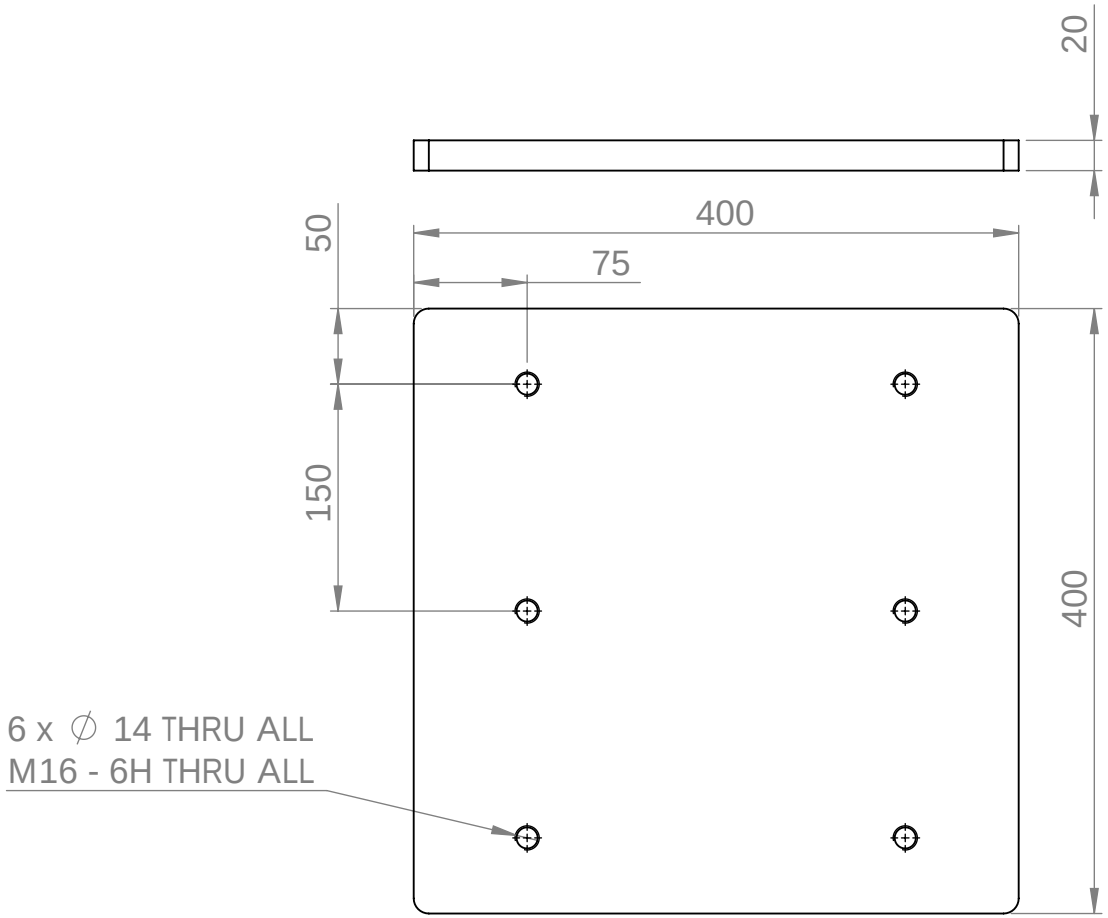


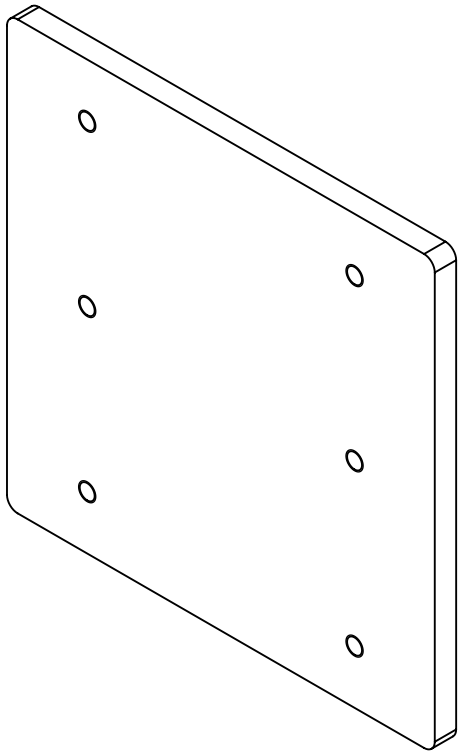




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲ¥Ķ2	олклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	мрплнр¢рс
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¥нл	A4	Tratamento	bŜ¥Ķ₫Y
Nome	lw!ψa¢лло						Material	плл₣плл₣мл
							Descri-«o	/2ŰŰŜ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢ммо

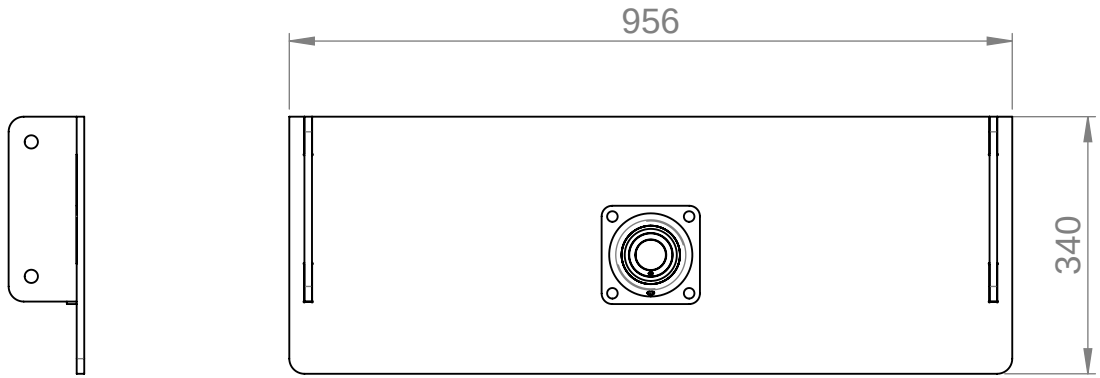
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

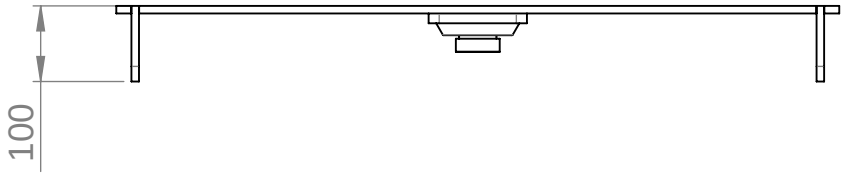


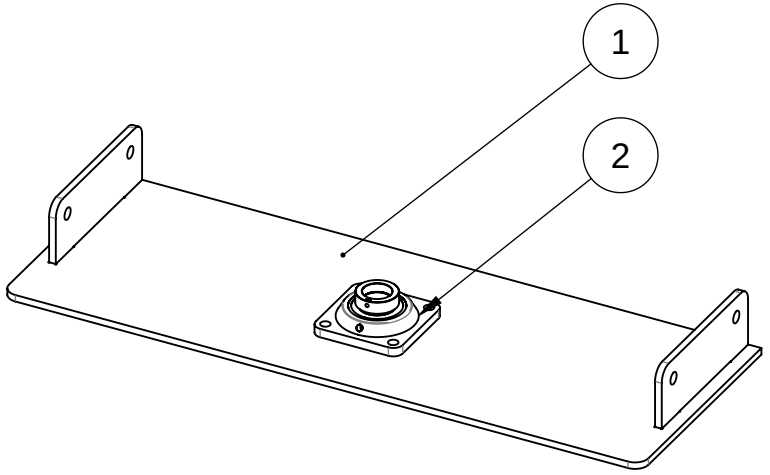


	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰуК2	олклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	нпулн¢рн
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м\р	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Iw!ψa◊ллп						Material	{ů рн
							Descri-«o	[l·ăŜ℔
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iwa◊ммп

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



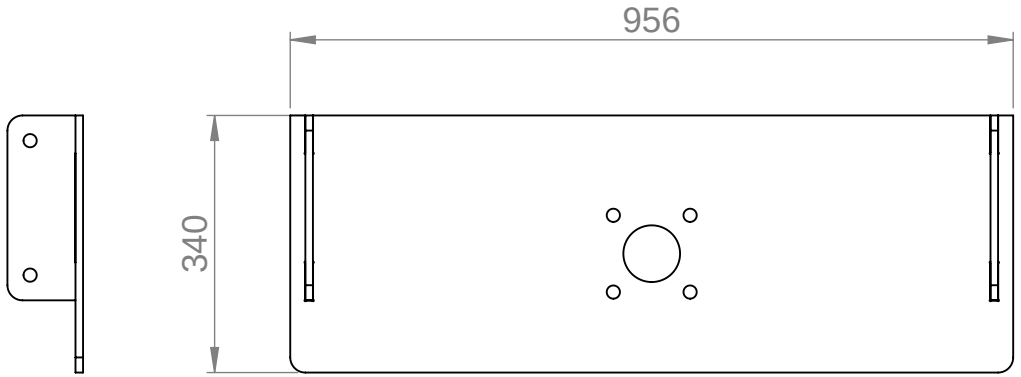




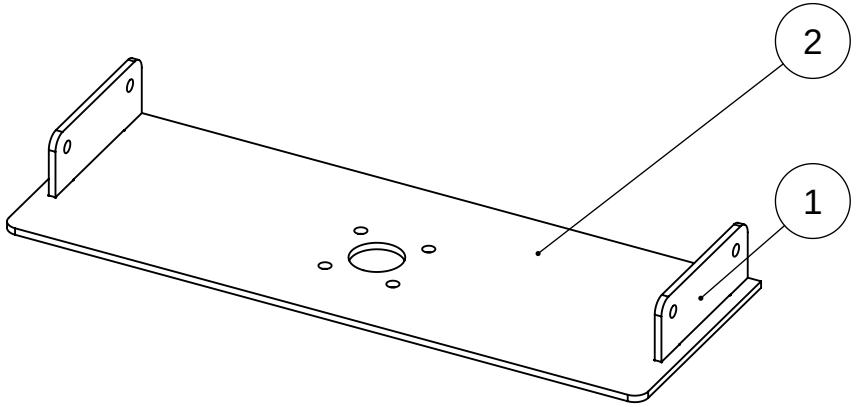
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ůŜ№l·f	5ŜăÓ№ææń2	¢ĂLJ2	vůě◊	/ [
м	lw!ψY	lwa◊ммc	±ł№2ă	{2fŘl·		м	
н	Lb!ψлм	Lb!	t/Cплπ·[	/2YLJ№l·		м	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№yK2	мпклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	нурмо◊рл
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY·
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ¦!							Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa◊ммр

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



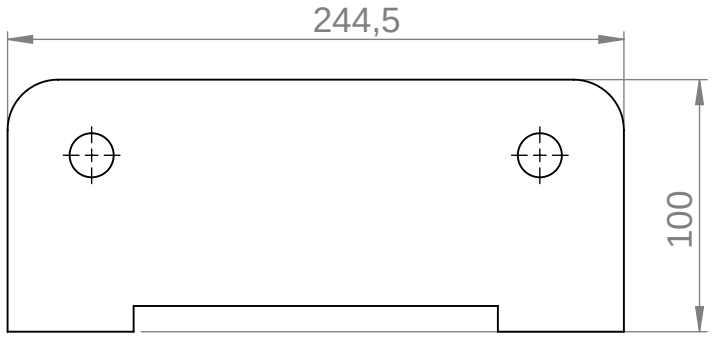




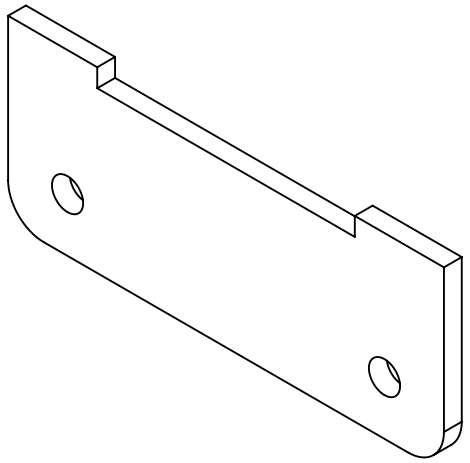
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№Al·f	5ŜăÔ№Äœń2	¢ʌLJ2	vûè◊	/ [
M	lw!ψY◊ллм	lwa◊ммт	{ű от	[l·äŜ№		H	
H	lw!ψY◊ллн	lwa◊ммy	{ű от	[l·äŜ№		M	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№yK2	ноклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	нуноt◊мн
Vist.								Tratamento	tʌyűdz№l·
Aprov.		нтклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мʏмл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψY							Descri-«o	{2třl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	MKM lwa◊ммс

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

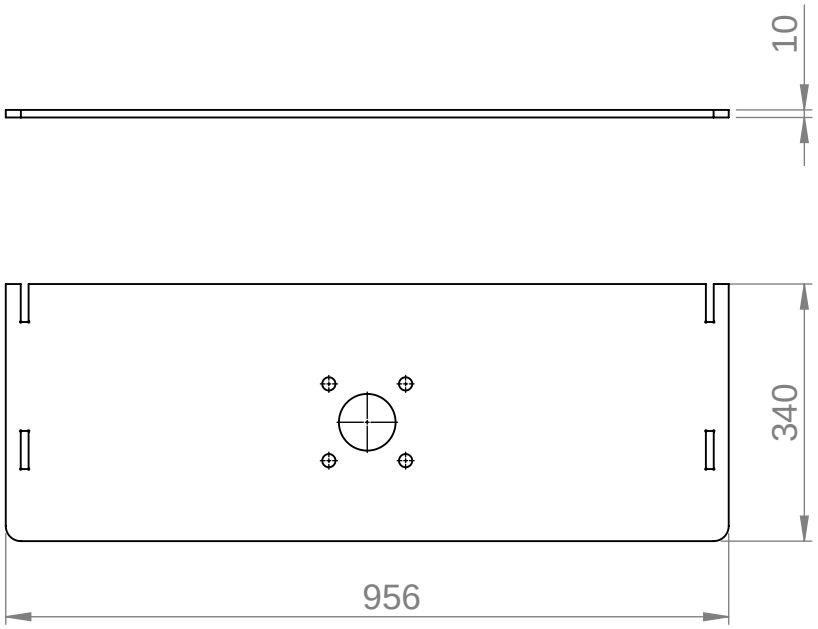


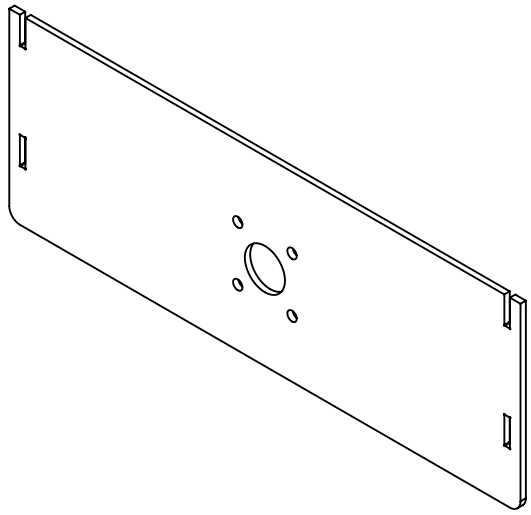




	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·ŰŲ¥K2	ноклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	мтпм◊нн
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м¼о	A4	Material	bŜ¥Kdz¥
Nome	Iw ! ψY◊ллм						Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	MKM Iw a◊ммт

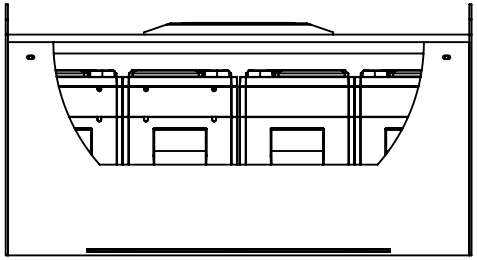
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

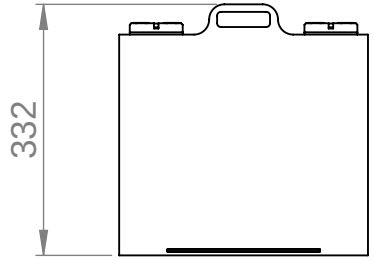




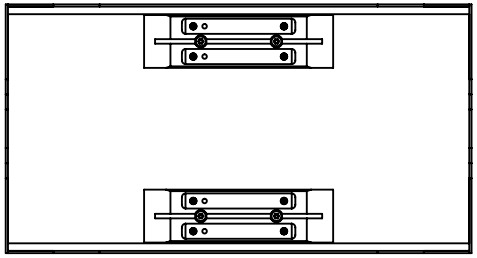
	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·ЩуЌ2	ноклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	нптрп◊ст
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл	A4	Tratamento	bŜуЌdzY
Nome	Iw ! ψY◊ллн						Material	{ů от
							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iw a◊ммy

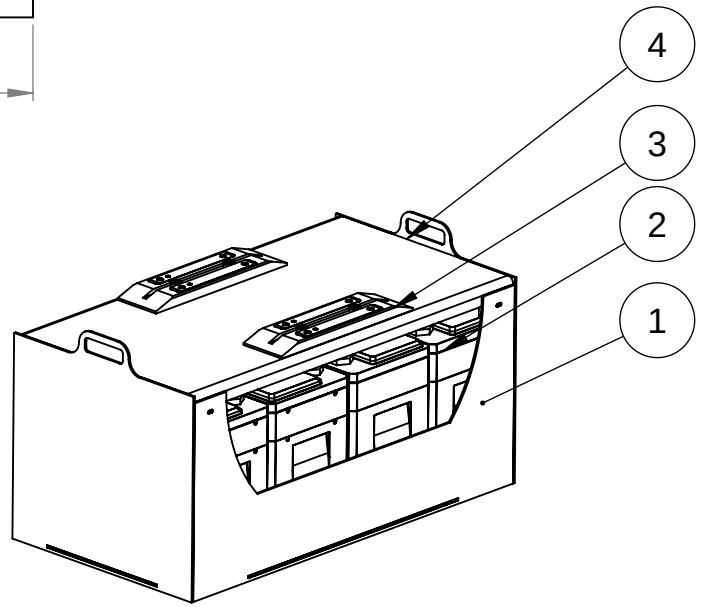
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





616

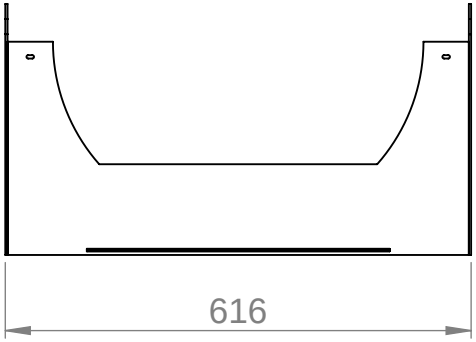


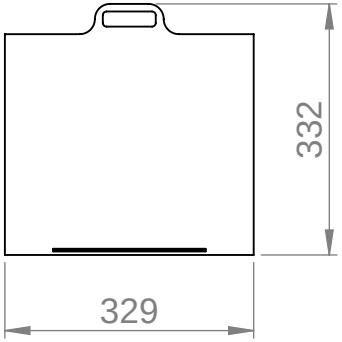


t2ă¢	b2YŜ	5Ŝă¢ bô	a l·ûŜ№l·f	5ŜăÓ№œń2	¢ÅLJ2	vüë¢	/ [
м	lw!ψ5	lwa¢мнл	±ł№2ă	{2fŘl·		м	
н	±ÅÖü№2y9ySЭèψлм	±ÅÖü№2y9ySЭè	[ÅCŜthп мнžy± нлл!K	/2YLJ№l·		п	
о	±l·KfŜψлн	±l·KfŜ	. [Y мллπнπлс	/2YLJ№l·		н	
п	lw!ψ5¢ллп	lwa¢мнп	{ű от	[l·ăŜ№		м	

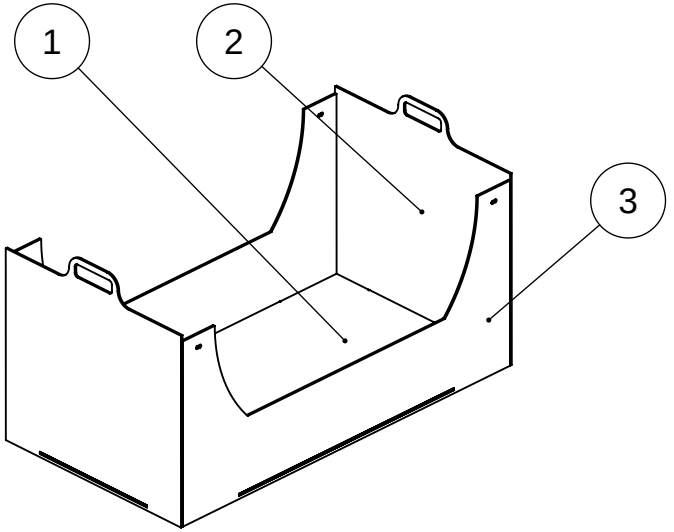
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w¢ a l·№yK2	лсклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	млоппп¢ус
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY·
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ½							Descri-«o	hŦłÔłyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa¢ммф

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.









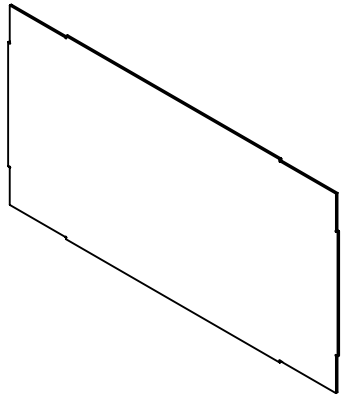
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№λl·f	5ŜăÓ№λœń2	¢λLJ2	vúè◊	/ [
м	lw!ψ5◊ллм	lwa◊мнм	{ű от	[l·ăŜ№		м	
н	lw!ψ5◊ллн	lwa◊мнн	{ű от	[l·ăŜ№		н	
о	lw!ψ5◊лло	lwa◊мно	{ű от	[l·ăŜ№		н	

	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№уК2	лсклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	моунп◊ну
Vist.								Tratamento	tλyŭdz№l·
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мŸмл		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ5							Descri-«o	{2tŘl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa◊мнл

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

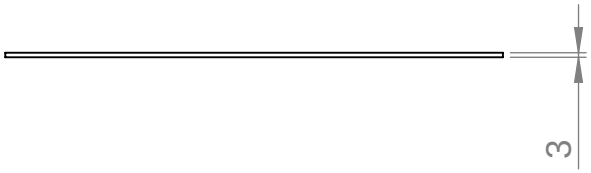


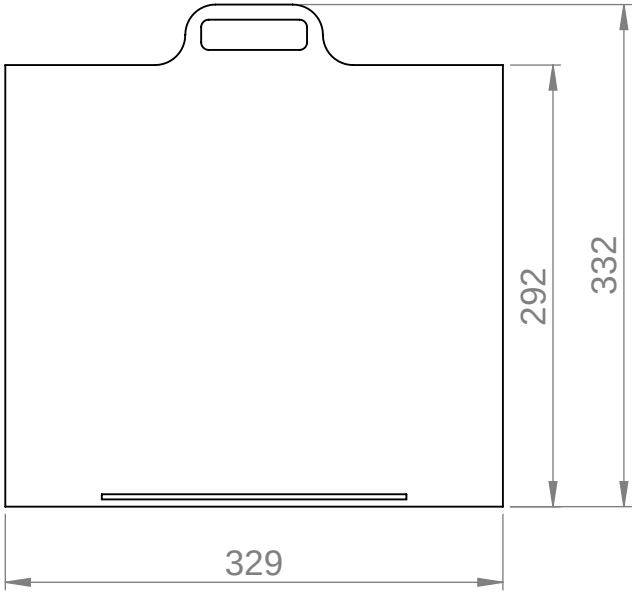


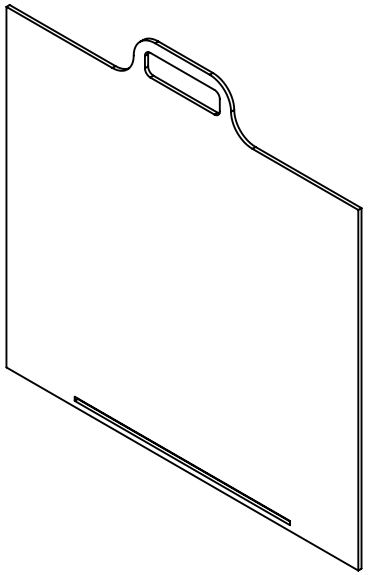


	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ⅰ·ⅈⅈⅈуК2	луклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	псфп¢пп
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Ⅰw ! ψ5¢ллм						Material	{ú от
							Descri-«o	[Ⅰ·ăŜⅈⅈ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Ⅰw a ¢мнм

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

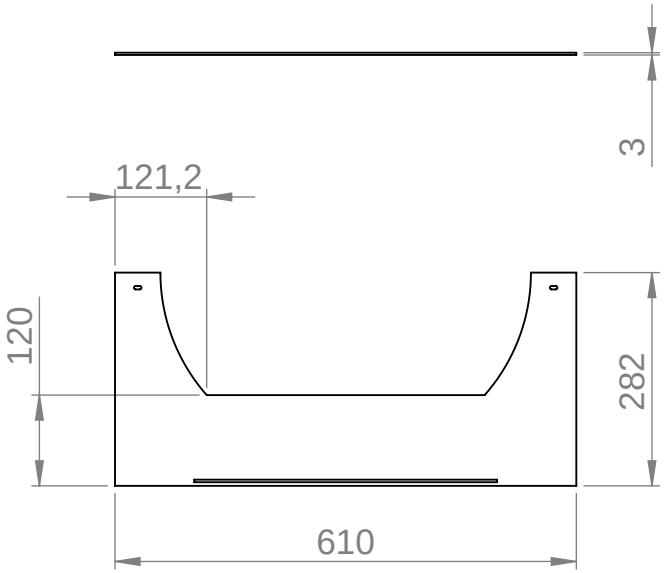


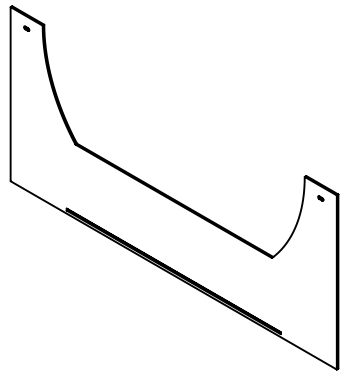




	Nome	Data						
Des.	w¢ a Ⅰ·ⅩуК2	млклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	ннуп℗уф
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м℣р	A4	Tratamento	bŜуКdzY
Nome	Ⅰw ! ψ5℗ллн						Material	{ů от
							Descri- «o	[Ⅰ·ăŜⅩ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Ⅰw a ℗мнн

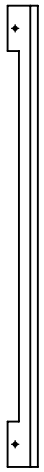
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

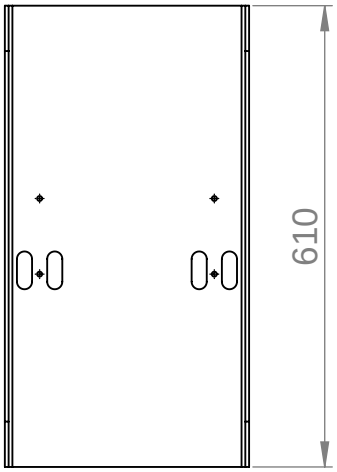


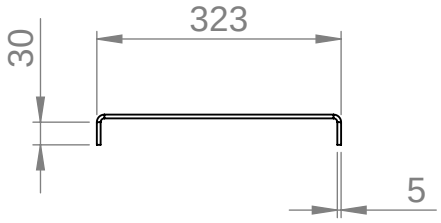


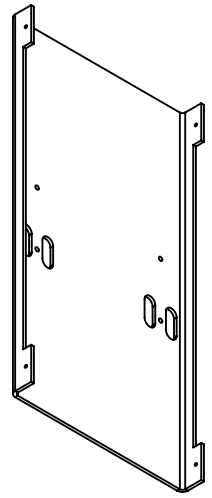
	Nome	Data						Quantidade	н
Des.	w¢ a l·ЩуК2	луклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	ннул◊ло
Vist.								Tratamento	bŜуКdzY
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'мл		A4	Material	{ú от
Nome	Iw!ψ5◊ллo							Descri-«o	[l·ăŜЩ
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм Iw a◊мно

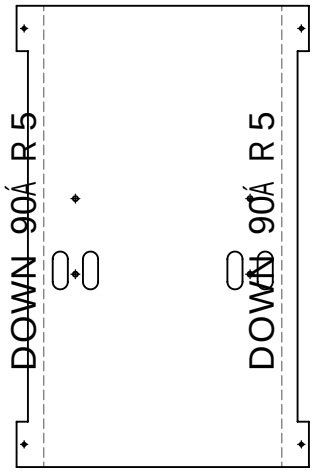
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





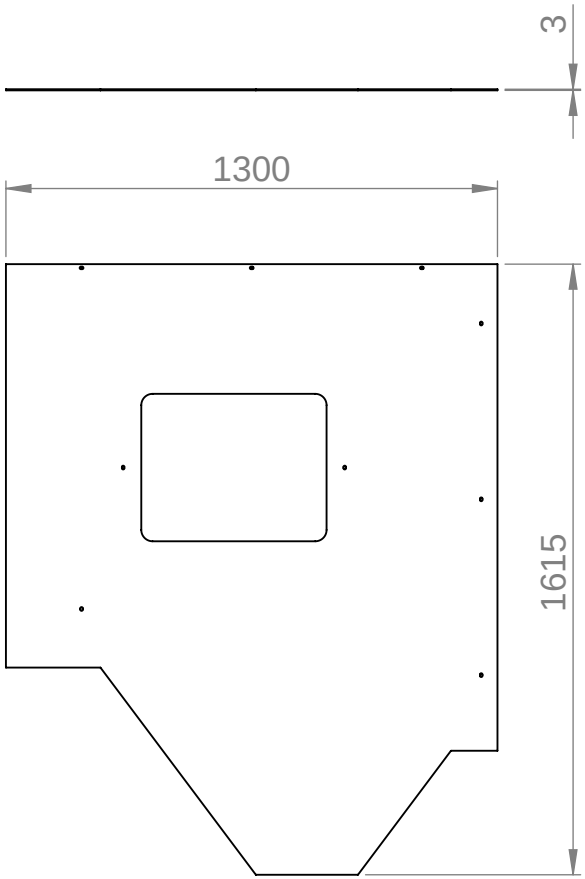


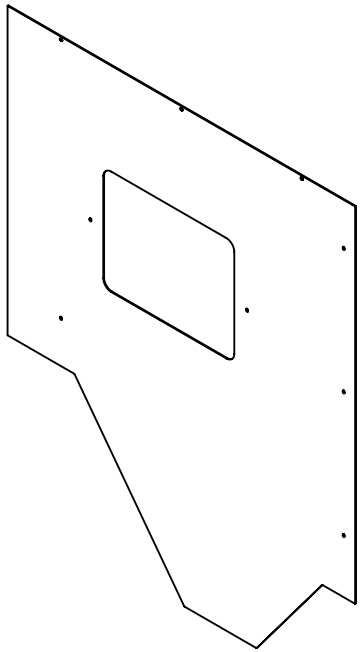




	Nome	Data						
Des.	w⌽ a l·ŰŰуК2	млклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	уптн⌽ру
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м⁄мл	A4	Tratamento	t⁄ŷŰdžŰl·
Nome	lw!ψ5⌽ллп						Material	{ů от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa⌽мнп

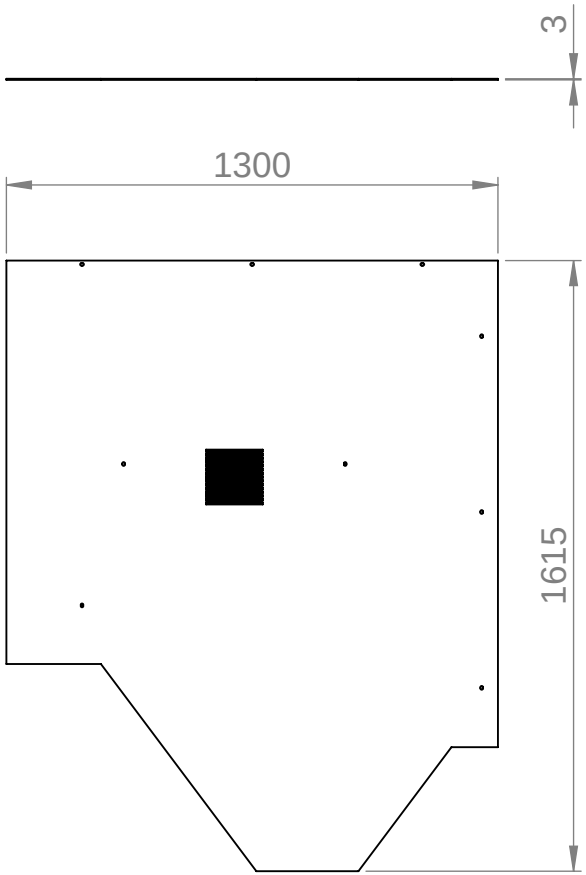
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

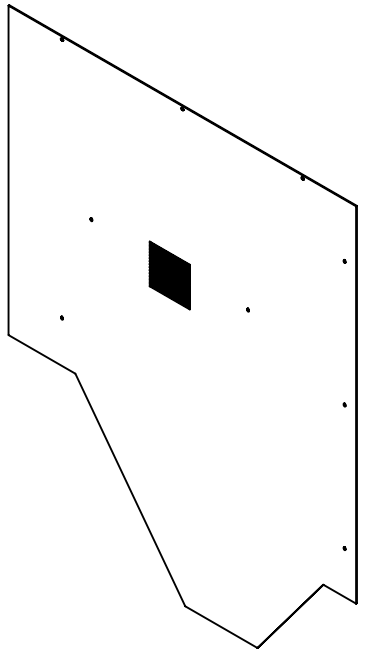




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŰуК2	олклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	осфоо¢сп
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м'нл	A4	Material	{ú от
Nome	Iw ! ¢ллф¢м						Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iw a ¢мнр

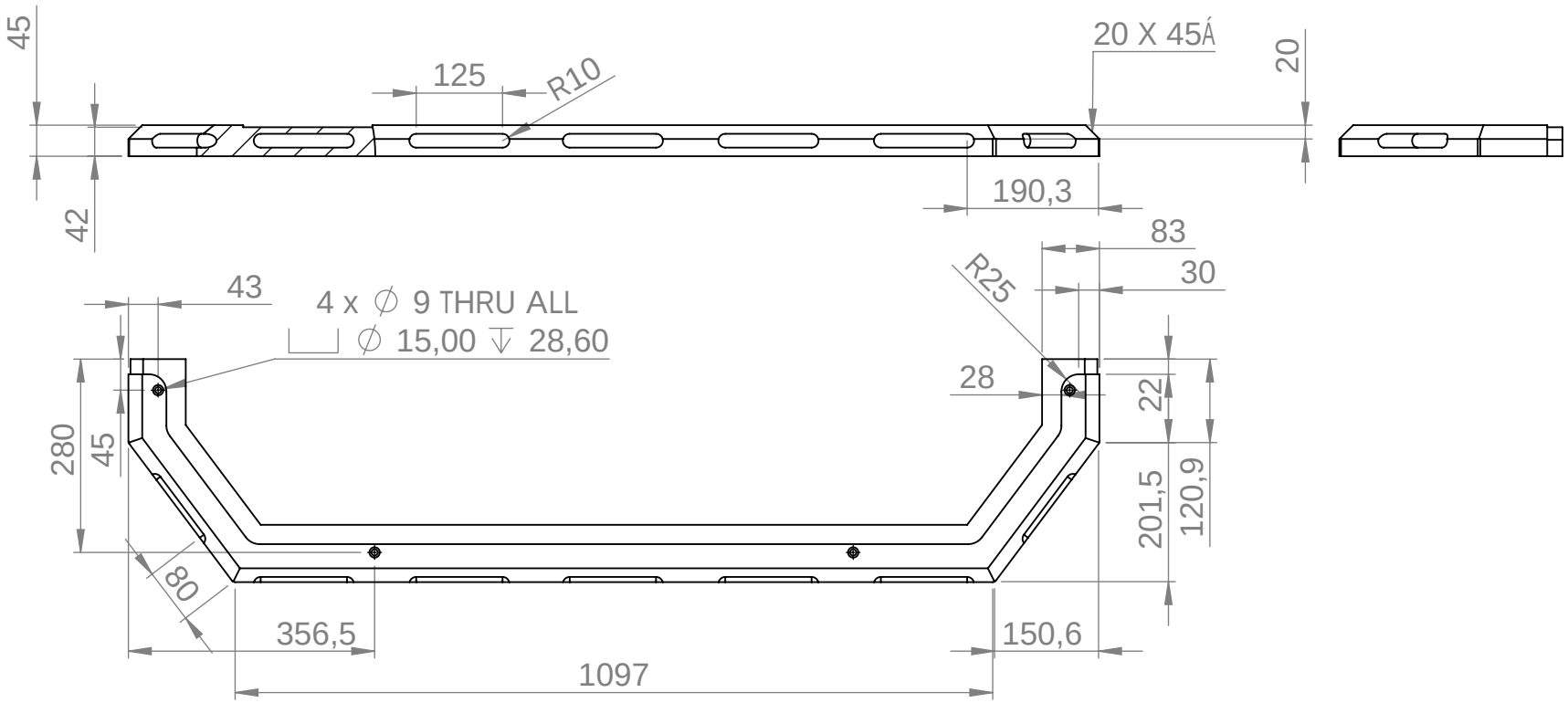
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

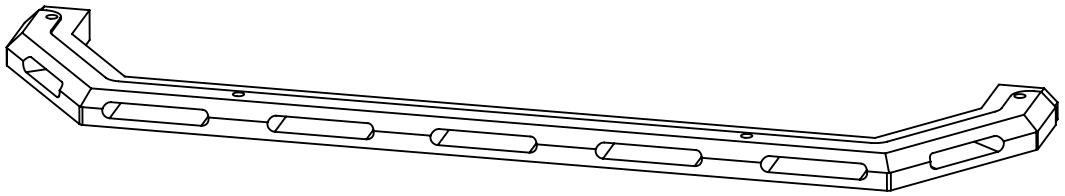




	Nome	Data						
Des.	w◊ a l·ŰŰуК2	олклпкнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	пммнп◊лр
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎнл	A4	Material	{ů от
Nome	Iw ! ◊ллф◊н						Descri- «o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iw a ◊мнс

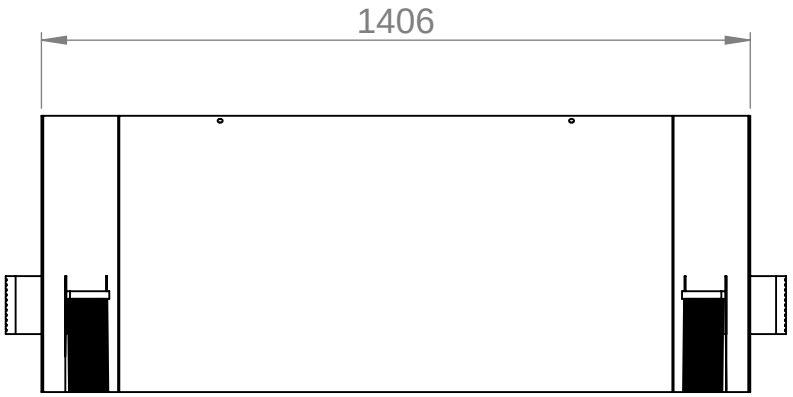
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

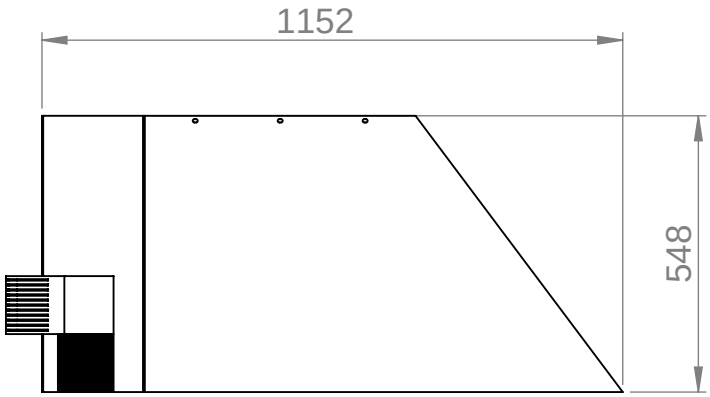


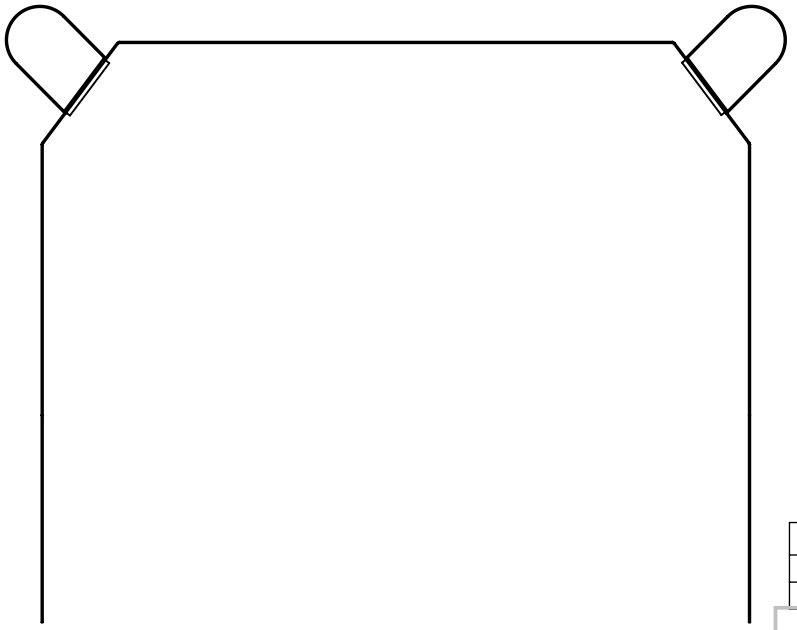


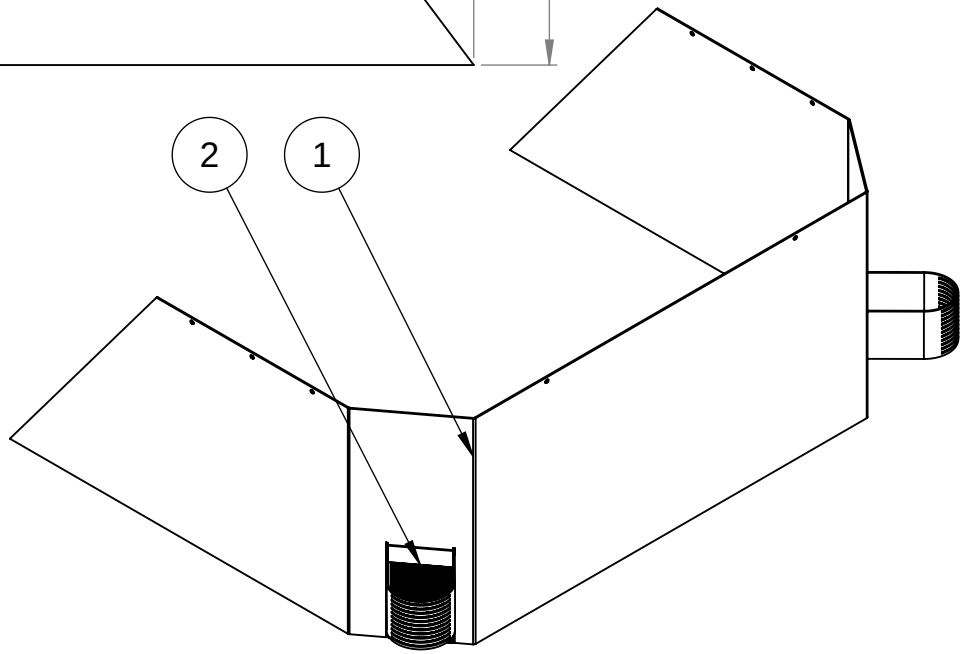
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·lll¼yŸ2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	ммпну¢ср
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м′мл	A4	Tratamento	bŜyŸd‡Y′
Nome	lw!¢лнл						Material	!fd‡Y′|y1⁄22!² рлуо
							Descri-«o	C‰Šă‡·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢мнт

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





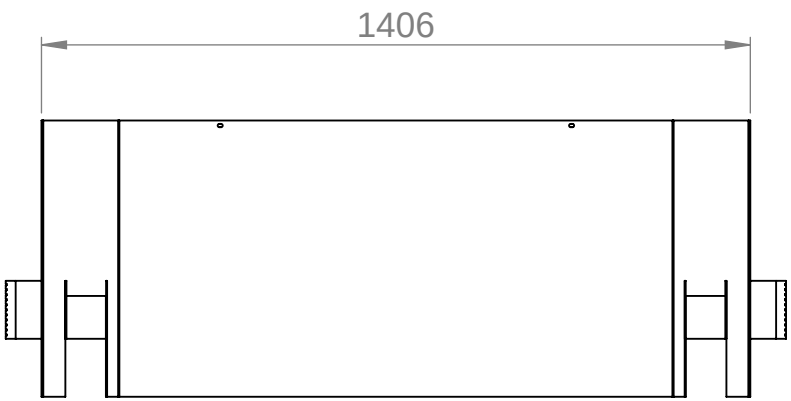


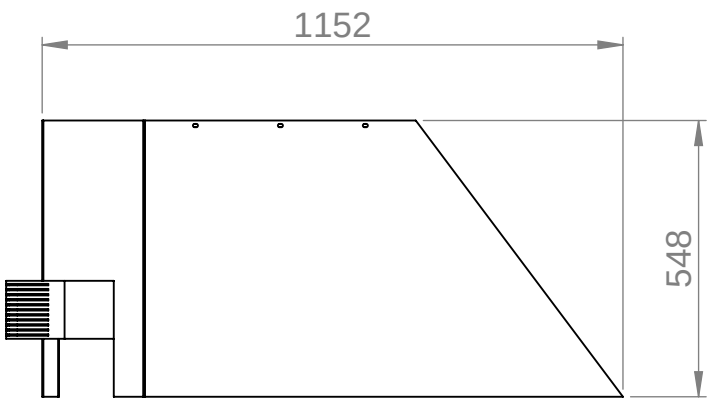


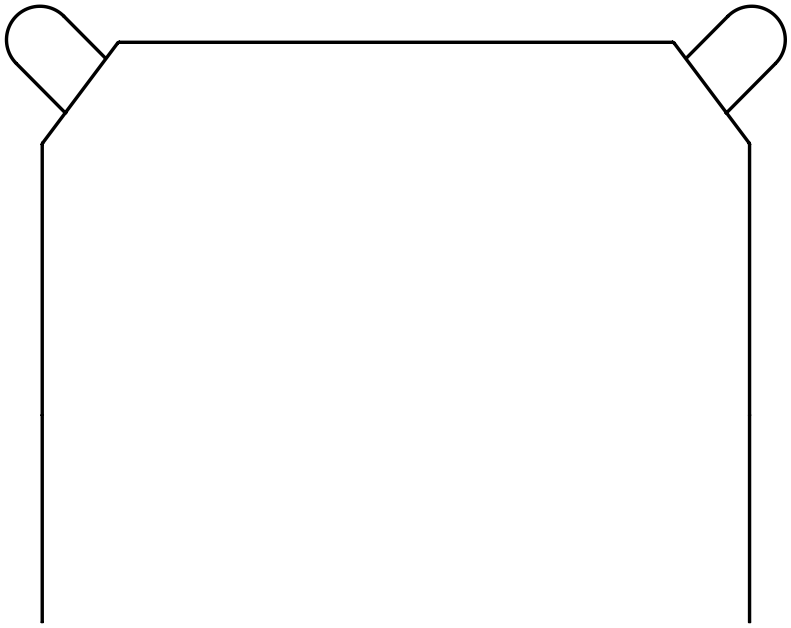
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№λl·f	5ŜăÔ№λœń2	¢ʌLJ2	vúè◊	/ [
M	lw!ψ.¢	lwa◊мнф	±ł№λ2ă	{2fŘl·		M	
H	D№dzLJ2 a l·λl·ψлн	D№dzLJ2 a l·λl·ψн	9t± a2Ř◊ млс [мол Смур	/2YLJ№l·		H	

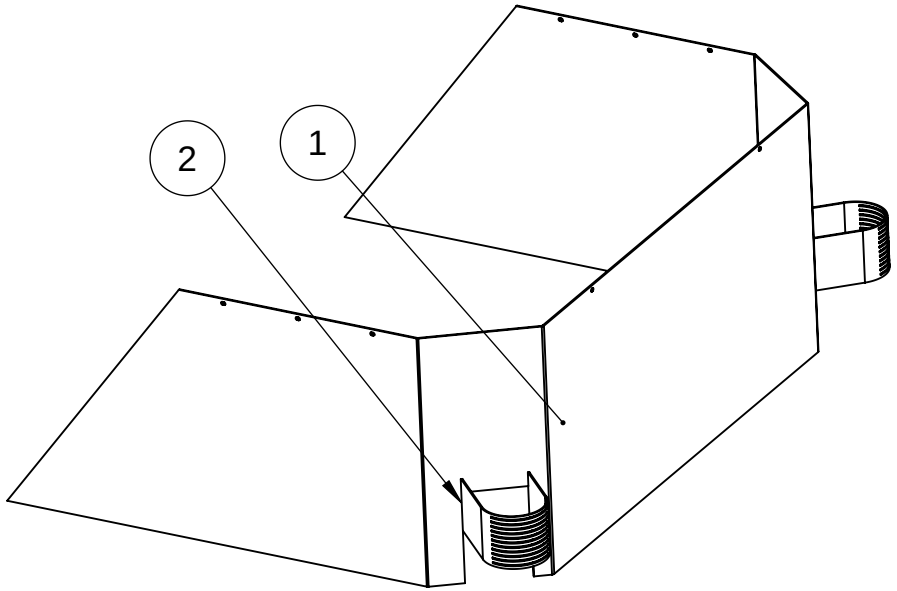
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№уK2	мткляснлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	пнфтн◊рн
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY·
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мУмр		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ.¢ψ.l·λÈ2							Descri-«o	hŦλÔlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa◊мну

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





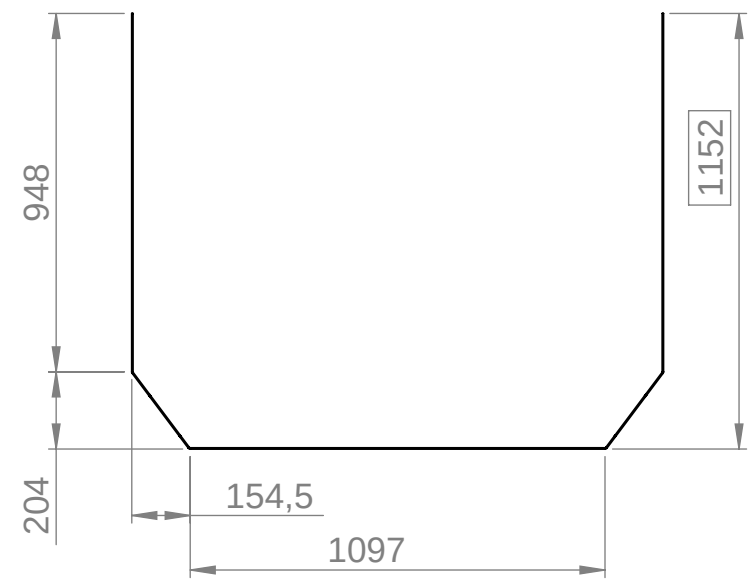


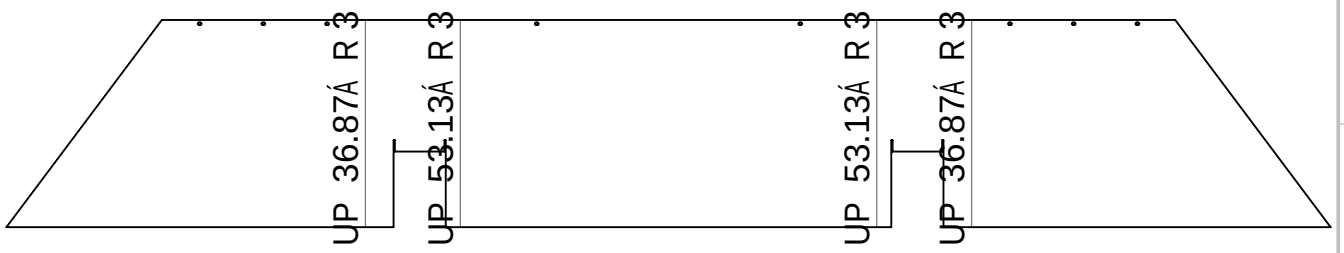


t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·ûŜ№l·f	5ŜăÔ№ĸœń2	¢ʌLJ2	vúè◊	/ [
м	lw!◊лмл	lwa◊мол	{ű от	[l·ăŜ№		м	
н	lw!◊лнУ	lwa◊мом	{ű от	[l·ăŜ№		н	

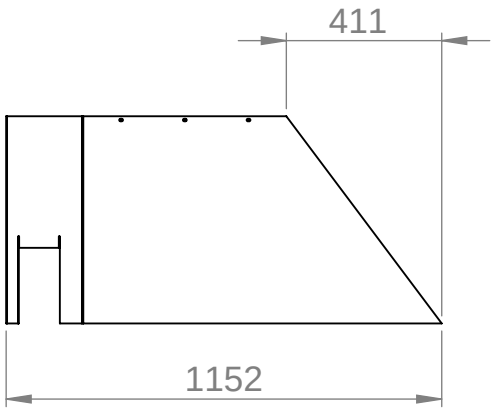
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№уК2	мрклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	плсон◊оф
Vist.								Tratamento	tlyűdz№l·
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мУмр		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ.¢							Descri-«o	{2fřl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa◊мнф

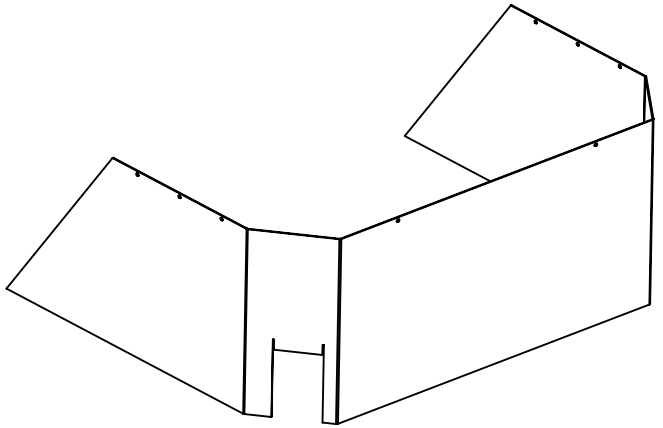
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





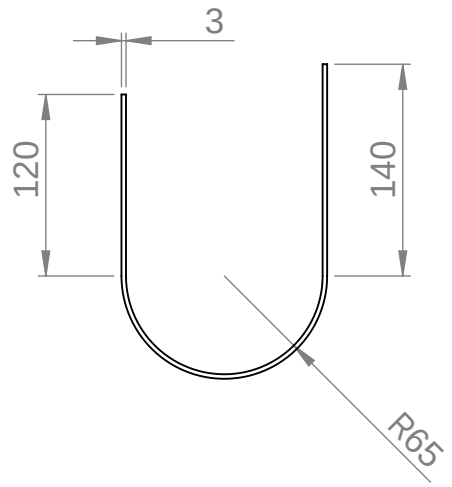


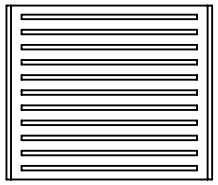


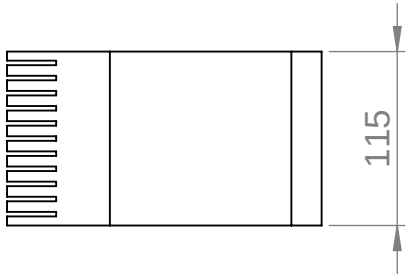


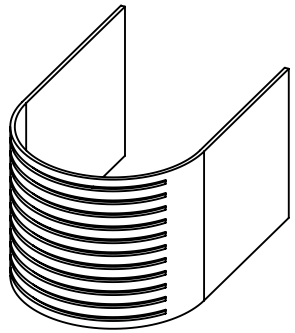
	Nome	Data						
Des.	w◊ a Ⅰ·ⅢуЌ2	мрклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	оуонс◊пп
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мЎнл	A4	Material	{ů от
Nome	Ⅰw ! ◊лмл						Descri- «о	[Ⅰ·ăŜⅢ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Ⅰw a ◊мол

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



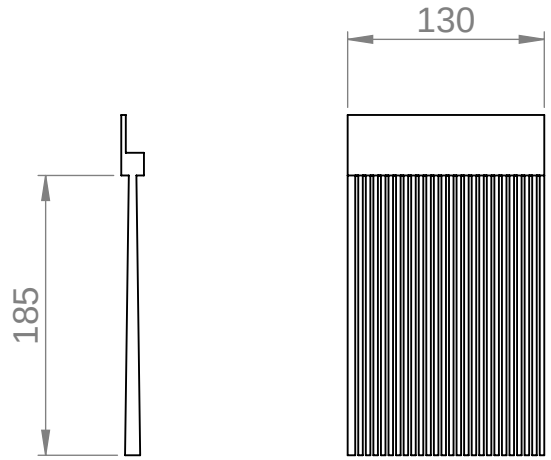


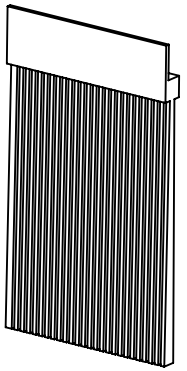




	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŴуК2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	н
Vist.							Massa (g)	ммрн¢фу
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м℘	A4	Material	{ű от
Nome	Iw!¢лну						Descri-«o	[l·ăŜ℔
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм Iw a¢мом

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

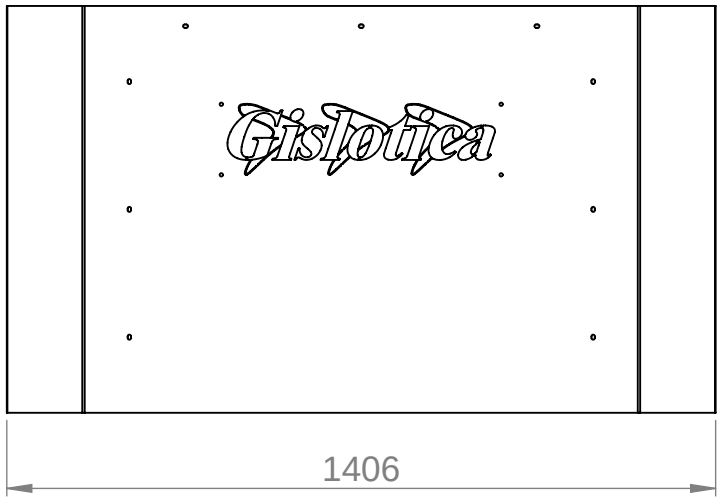


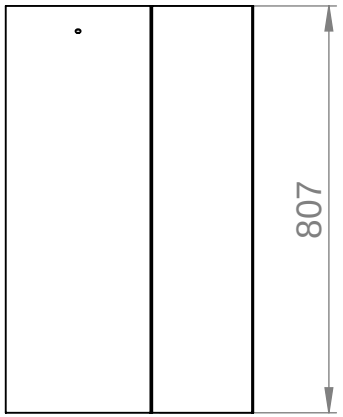


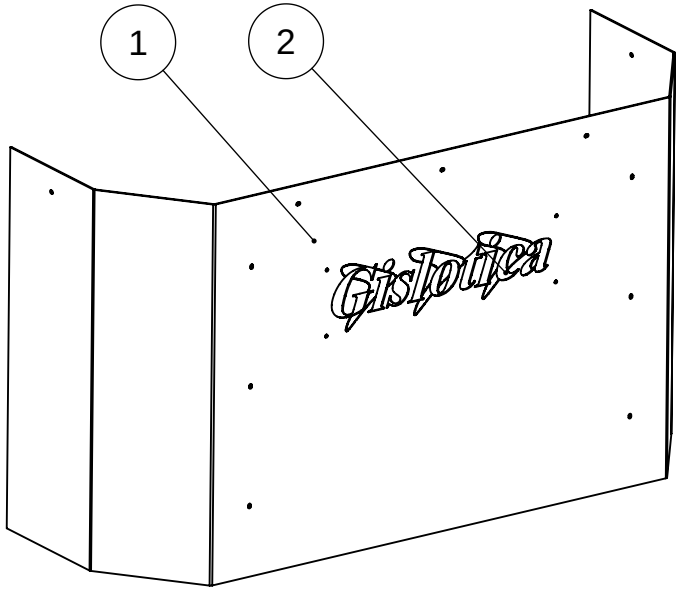
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŴɣҜ2	мпклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мγр	A4	Tratamento	bŜɣҜdzY
Nome	DŴdzLJ2 a l·λl·ψлн						Material	9t± a2Ř¢ млс [мол Смур
							Descri-«o	/2YLJŴl·
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм DŴdzLJ2 a l·λl·ψн

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





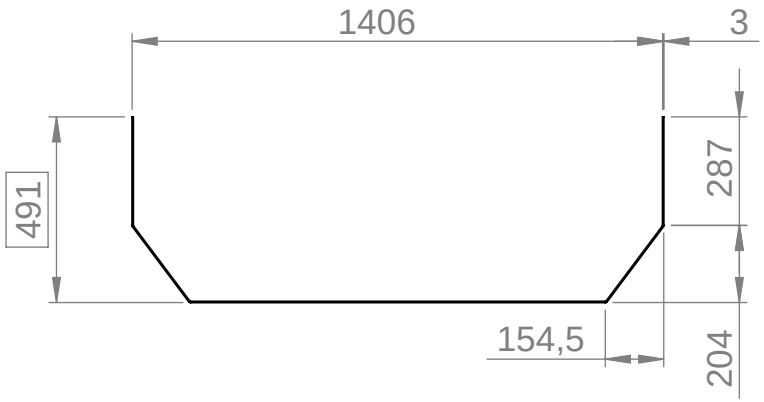




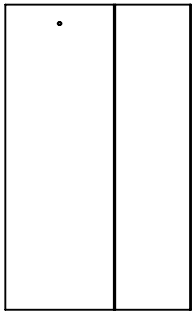
t2ă◊	b2YŜ	5Ŝă◊ bô	a l·úŜ№λl·f	5ŜăÕ№λœń2	¢λLJ2	vúë◊	/ [
M	lw!◊лмм	lwa◊моп	{ű от	[l·ăŜ№		M	
H	lw!◊лол	lwa◊мор	{ü от	[l·ăŜ№		M	

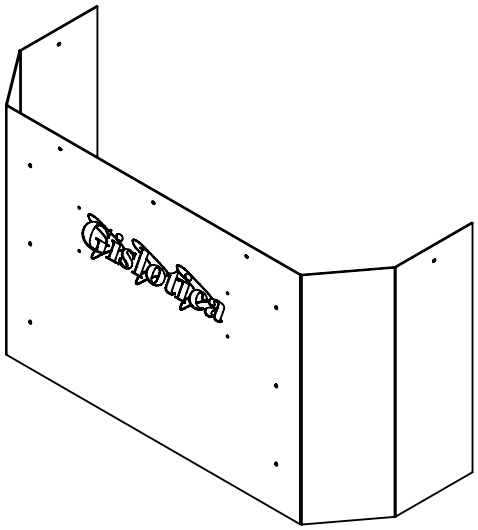
	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w◊ a l·№уK2	мтклскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	пнтоф◊ос
Vist.								Tratamento	bŜyKdzY·
Aprov.		нсклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мумр		A4	Material	±ł№2ă
Nome	lw!ψ.¢ψaŜ№2							Descri-«o	hŦλÕlyl·
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa◊моо

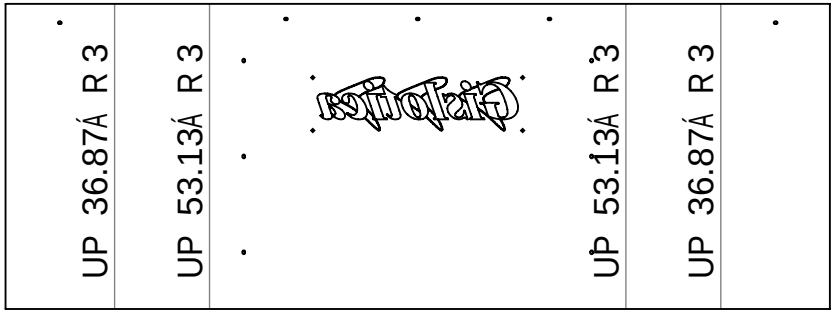
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





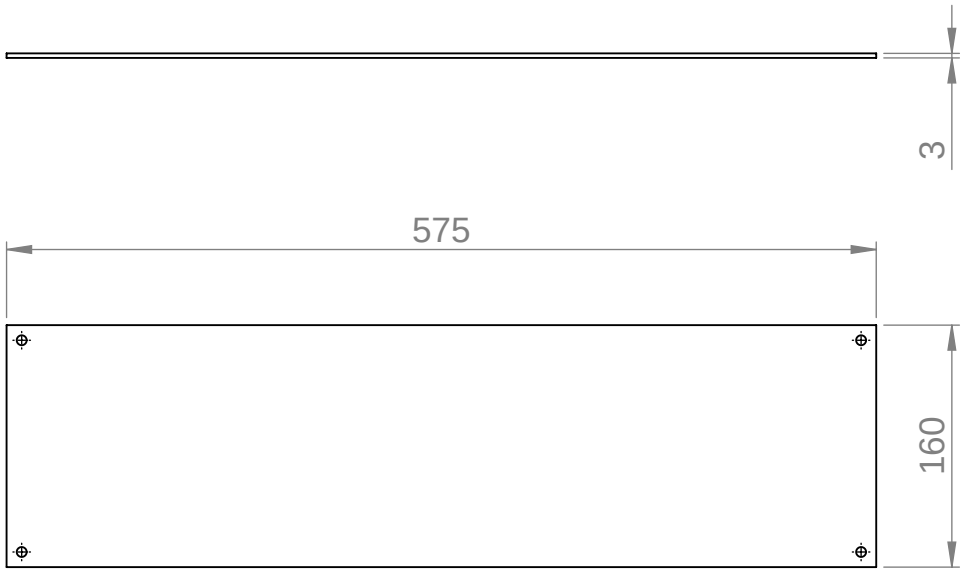


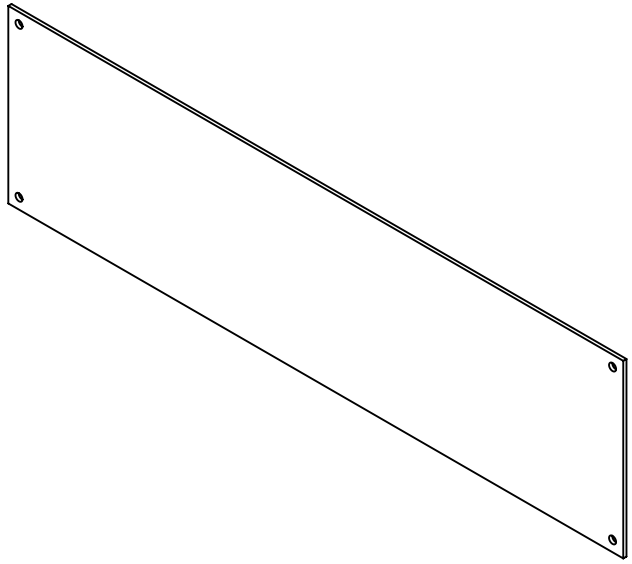




	Nome	Data						Quantidade	м
Des.	w⌀ a l·ŰŰуК2	мрклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Massa (g)	плруф⌀тс
Vist.								Tratamento	t\yŰűdzŰl·
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м⁄нл		A4	Material	{ű от
Nome	lw ! ⌀лмм							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lw a ⌀моп

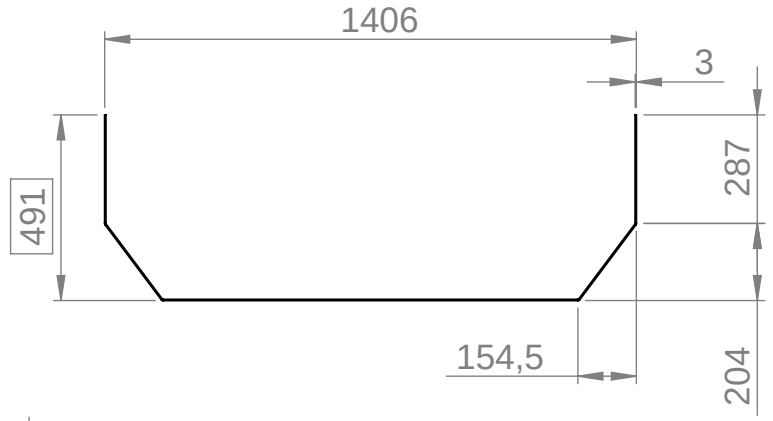
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

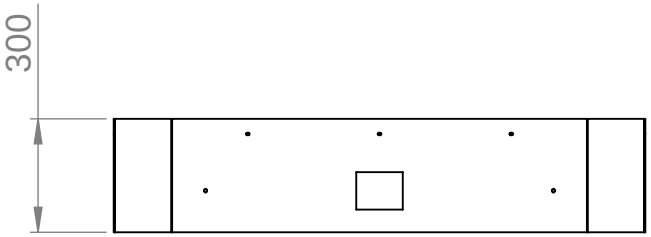


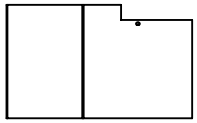


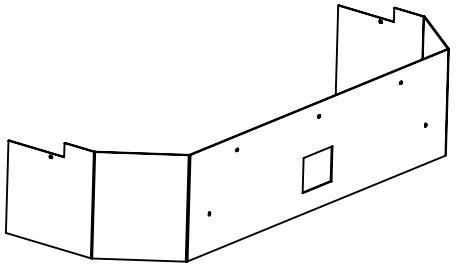
	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰŲуК2	мткскнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	нмпф¢сл
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- м|р	A4	Tratamento	t|уЎdzŰl·
Nome	lw!¢лол						Material	{ů от
							Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢мор

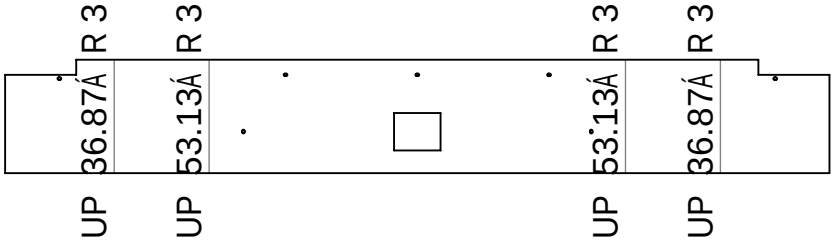
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





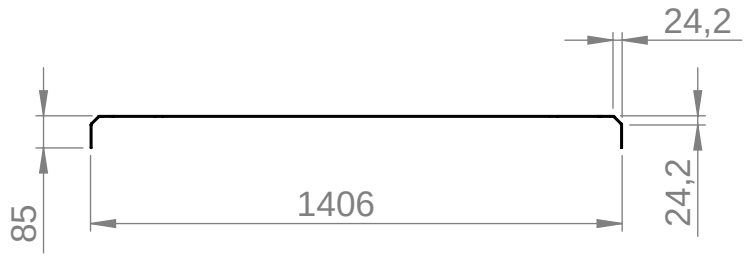


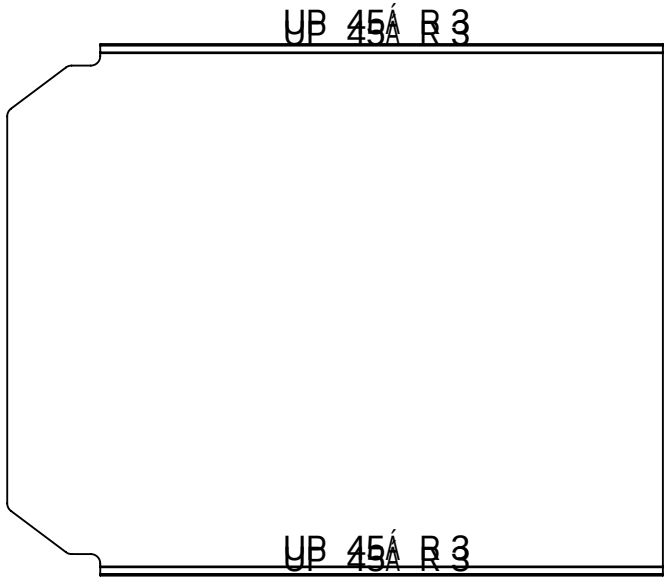


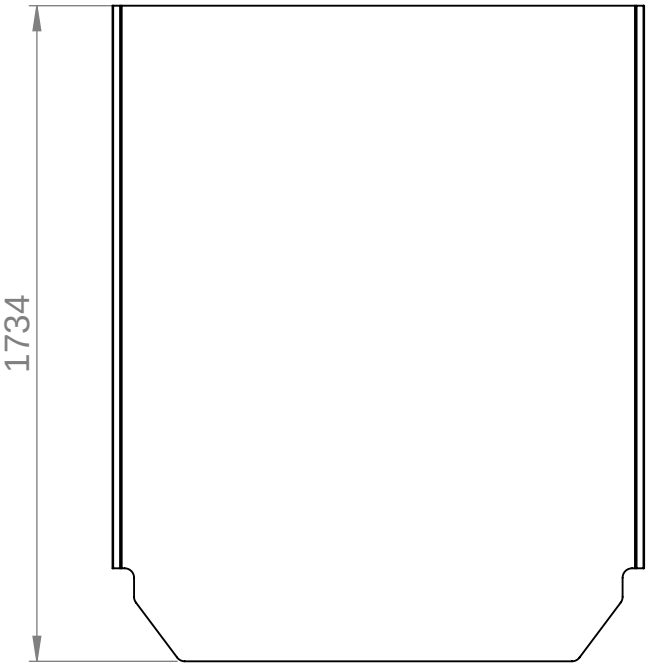


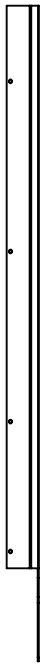
	Nome	Data							
Des.	w⌀ a l·ⅈⅈⅈуК2	мрклокнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO					Quantidade	м
Vist.								Massa (g)	мпсру⌀пм
Aprov.		нрклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мʏнл		A4	Tratamento	tlyŭdzⅈl·
Nome	lw!⌀.¢ψ/ʎYl·							Material	{ů от
								Descri-«o	[l·ăŜⅈ
DISSERTA ¢ ì O								Desenho	мкм lwa⌀мос

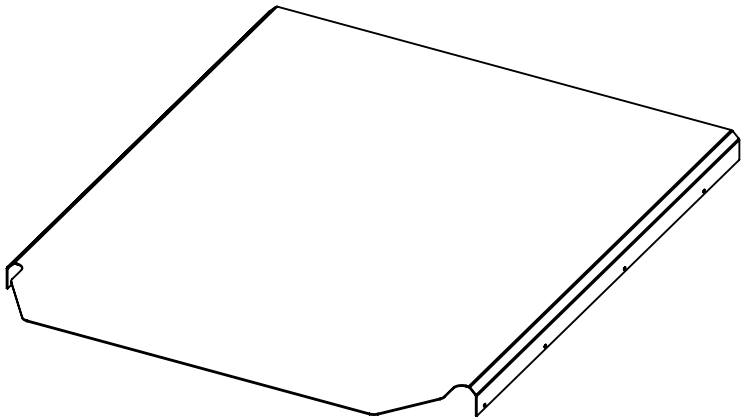
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.











	Nome	Data						
Des.	w¢ a l·ŰuK2	моклркнлнм	FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Quantidade	м
Vist.							Massa (g)	слтру¢пн
Aprov.		нуклскнлнм	ISO 2768	mK	Escala- мґнл	A4	Material	{ů от
Nome	lw!¢лмо						Descri-«o	[l·ăŜŰ
DISSERTA ¢ ì O							Desenho	мкм lwa¢мот

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Apêndice B

Especificações da Redutora Motriz

WE MOVE YOUR WORLD

EXAMPLE OF CONFIGURATION

GEARBOX TV-400

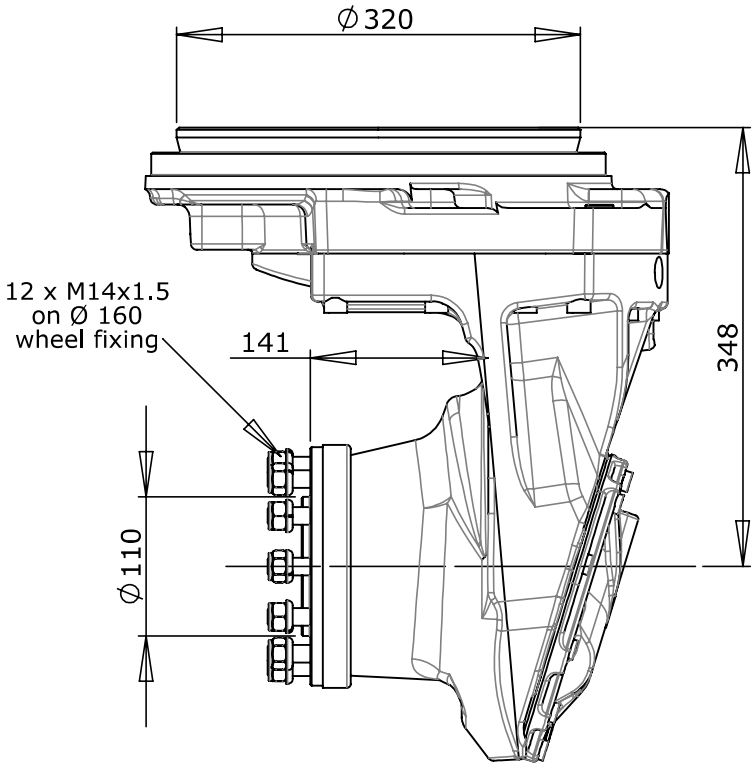
TECHNICAL DATA

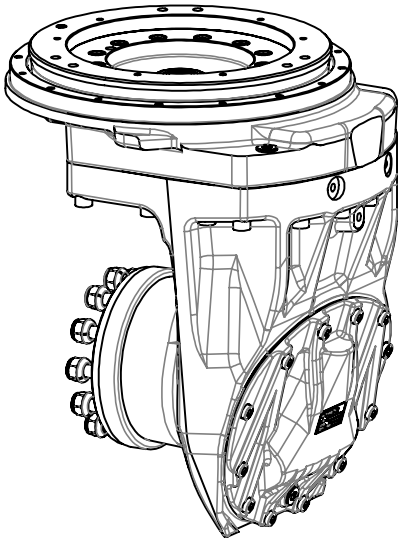
GEARBOX

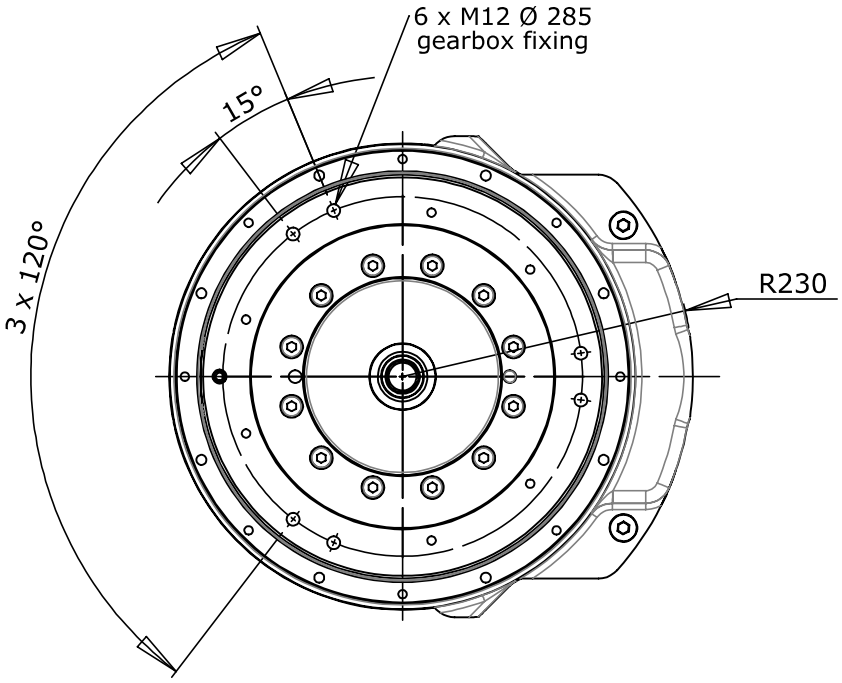
Max wheel torque	
- in acceleration	2600 Nm
- continuously	868 Nm
Max load	4300 kg
Gear ratio	1/20 - 1/24.4

WHEEL

Size	Ø406 x 178







The descriptions and pictures of this datasheet are indicative. Tekno M.P.
may introduce improvements without affecting the caracteristics of the machine.

www.tekno-mp.com
info@tekno-mp.com

Apêndice C

Especificações do Conversor de Tensão e das Baterias

EPC Bidirectional DC/DC converters

isolated series



The EPC is a family of bidirectional DC to DC power converters that can be used in a broad number of applications. They provide ultra-high efficiency in both directions with galvanic isolation. Standalone configuration with Soft-Start and wide voltage ranges allow fast and easy setup. Several converters can be connected in parallel in order to reach higher power. CAN communication can be used to implement voltage or current control and measures all the main relevant operation parameters.

KEY FEATURES

- Wide voltage range
- Voltage and current control
- Soft start from 0 V
- High efficiency
- Galvanic isolation
- Power scalable. Paralleling.
- Protections (Overcurrent, overvoltage, overtemperature)
- CAN communication
- Custom design under request
- MPPT from PV

TYPICAL APPLICATIONS

- Power supply
- Smart grids
- Battery charger
- Energy storage systems
- Energy recovery
- Hydrogen generation
- Battery hybridation
- Solar panels - MPPT

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Model	EPC 3k5 648i	EPC 5k5 648i	EPC 2k2 624i	EPC 2k2 348i	EPC 2k2 324i	EPC 4k8 6125i	EPC 8k 8380i
Peak power	4.2 kW	6.5 kW	2.6 kW	2.6 kW	2.6 kW	4.8 kW	10kW
Nominal power	3.5 kW	5.5 kW	2.2 kW	2.2 kW	2.2 kW	4.8 kW	8kW
High side voltage	510 to 848 Vdc			280 to 450 Vdc		430 to 830 Vdc	650 to-800Vdc
High side current (max)	6 A (7.5 A)	10 A (12 A)	4 A (5 A)	7 A (9.3 A)	7 A (9.3 A)	9 A	11 A (16 A)
Low side voltage	38 to 59 Vdc		19 to 30 Vdc	38 to 59 Vdc	19 to 30 Vdc	110 to 165 Vdc	280 to 600 Vdc
Low side current (max)	75 A (115 A)	115 A (180 A)	92 A (140 A)	50 A (70 A)	92 A (140 A)	45 A	21 A (33 A)
Isolation	High to Low side: 2.5 kV; High side to earth: 4kV; Low side to earth: 1.5 kV (2.5 kV for EPC-4k8-6125) Low side to user signals: 3kV (5 kV for EPC-4k8-6125)						
Max. efficiency	98 %						
Stand-by	<3 W						
Control	Digital control self-powered from high or low voltage side (low side prioritized)						

GENERAL SPECIFICATIONS

Item	Description
Operating temperature	-10 to 40 °C
Storage temperature	-10 to 70 °C
Cooling	Air cooled (Fans only ON when needed)
Communication protocol	CAN 2.0B: Bus speed typical 125kbps (min 125kbps, max 500kbps) Messages period: Default value: 250ms; Minimum value: 50m; Maximum value: 1000ms
MTBF	TELCORDIA SR-332, Issue 3: >350400 hours (PRELIMINARY)
Maintenance	No electrolytic capacitors in DC links (Long life FILM capacitors) Fan replacement >70000 h

REGULATIONS

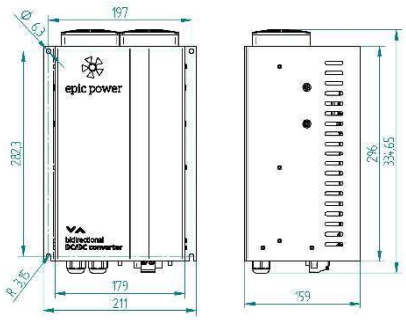
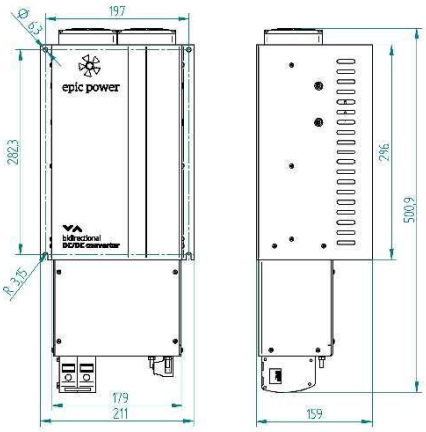
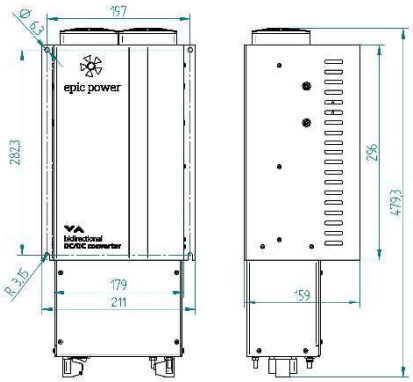
Directive	Standards
Low Voltage Regulations (LVD): European directive 2014/35/UE	UNE-EN 50178:1998. Electronic equipment for use in power installations UNE-EN 60204-1:2010. Safety of machinery - Electrical equipment of machines UNE-EN 60529:2018. Degrees of protection provided by enclosures UNE-EN 60664-1:2008. Insulation coordination for equipment within low-voltage systems UNE-EN 60664-4:2006. Insulation coordination for equipment within low-voltage systems UNE-EN 61293:2002. Marking of electrical equipment with ratings related to electrical supply - Safety requirements. UNE-EN 62109-1:2011. Safety of power converters for use in photovoltaic power systems UNE-EN 62477-1:2012. Safety requirements for power electronic converter systems and equipment
Electromagnetic Compatibility Regulations (EMC): European directive 2014/30/UE,	UNE-EN 61000-6-1:2007. Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 6-1: Generic standards UNE-EN 61000-6-2:2006. Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 6-2: UNE-EN 61000-6-4:2007. Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 6-4 UNE-EN 12015:2005. Electromagnetic compatibility - Product family standard for lifts, escalators and moving walks – Emission UNE-EN 12016:2014. Electromagnetic compatibility - Product family standard for lifts, escalators and moving walks – Immunity
Restriction of hazardous substances: European directive 2011/65/UE	UNE-EN 50581:2012. Technical documentation for the assessment of electrical and electronic products with respect to the restriction of hazardous substances
UL/CSA	ETL certification pending (1st Quarter 2020): UL 1744 / UL 61800-5-1 CSA 22.2 No 107.1

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Model	EPC 3k5 648i	EPC 5k5 648i	EPC 2k2 624i	EPC 2k2 348i	EPC 2k2 324i	EPC 4k8 6125i	EPC 8k 8380i
Size	Size 1*	Size 2*	Size 1*	Size 1*	Size 1*	Size 1*	Size 3*
Weight	6.05 kg	8.95 kg	6.15 kg	6.00 kg	6.05 kg	6.7 kg	9.23 kg
Enclosure	IP 20						

*. See mechanical dimensions

MECHANICAL DIMENSIONS

SIZE 1	SIZE 2	SIZE 3
		
SIZE 1	SIZE 2	SIZE 3

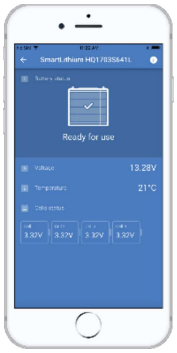
Bateria Smart de 12,8 V e 25,6 V de fosfato de ferro-lítio

Com *Bluetooth*

www.victronenergy.com



12,8V 300Ah LiFePO4 Bateria



Li-ion app

Porquê fosfato de ferro-lítio?

O fosfato de ferro-lítio ($LiFePO_4$ ou LFP) é a mais segura das baterias convencionais de iões de lítio. A tensão nominal de uma célula LFP é 3,2 V (chumbo-ácido: 2 V/célula). Portanto uma bateria LFP de 12,8 V é formada por quatro células conectadas em série e uma bateria de 25,6 V é formada por oito células conectadas em série.

Robustez

Uma bateria de chumbo-ácido pode avariar prematuramente por sulfatação:

- Se funcionar de forma deficitária durante períodos prolongados (ou seja, se a bateria nunca ou raramente for carregada integralmente).
- Se for deixada carregada parcialmente ou, ainda pior, totalmente descarregada (iate ou caravana no inverno).

Uma bateria LFP não precisa de estar completamente carregada. A vida útil aumenta ligeiramente com um carregamento parcial em vez de um completo. Esta é uma grande vantagem do LFP em comparação com o chumbo-ácido.
Outras vantagens são um intervalo de temperatura de funcionamento amplo, um desempenho de ciclo excelente, uma resistência interna baixa e uma elevada eficiência (ver abaixo).

Portanto, o LFP é a escolha química ideal para aplicações exigentes.

Eficiente

Em várias aplicações (especialmente eólicas e solares autónomas), a eficiência energética pode assumir uma importância fundamental.
A eficiência energética do ciclo completo (descarga de 100 % a 0 % e novamente até carga de 100 %) da bateria de chumbo-ácido convencional são 80 %.
A eficiência energética de ciclo completo de uma bateria LFP são 92 %.
O processo de carregamento das baterias de chumbo-ácido é particularmente ineficiente ao atingir 80 % do estado da carga, o que resulta em eficiências de 50 % ou inferior nos sistemas solares que necessitam de uma reserva energética de vários dias (bateria a funcionar de 70 % a 100 % do estado carregado).
Pelo contrário, a bateria LFP atinge ainda 90 % de eficiência em condições de descarga superficial.

Tamanho e peso

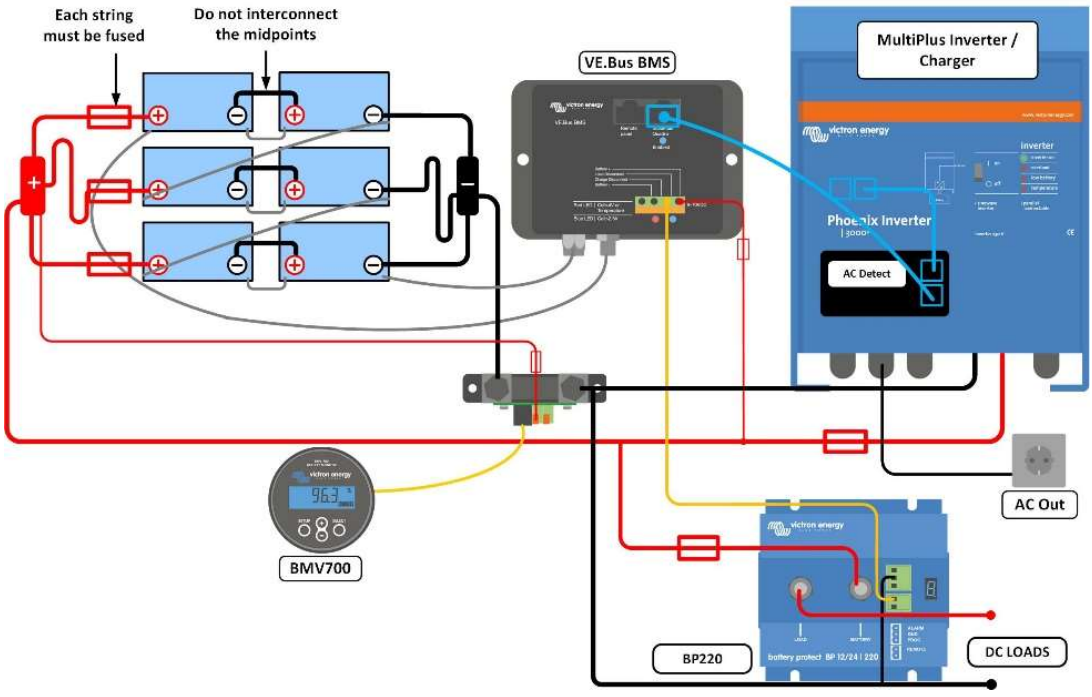
Economiza até 70 % em espaço
Economiza até 70 % em peso

Dispendioso?

As baterias LFP são dispendiosas em comparação com as de chumbo-ácido. Mas, em aplicações exigentes, o custo inicial elevado será amplamente compensado pela vida útil mais longa, pela fiabilidade superior e pela eficiência excelente.

Bluetooth

É possível monitorizar as tensões e a temperatura das células e o estado de alarme mediante *bluetooth*.
Muito útil para localizar um problema (potencial), como o desequilíbrio de uma célula.



As nossas baterias LFP dispõem de monitorização e regulação das células integrada. Si possono collegare fino a 5 batterie in parallelo e fino a quattro batterie da 12V o due da 24V in serie, così da poter assemblare un banco batterie da 48 V e 1500Ah massimi. Os cabos de regulação / monitorização podem ser ligados em margarida e devem ser conectados ao Sistema de Gestão de Baterias (BMS).

Sistema de Gestão de Baterias (BMS)

O BMS vai:

1. Gera um pré-alarme quando a tensão de uma célula de bateria for inferior a 3,1 V (regulável de 2,85 V a 3,15 V).
2. Desliga ou corta a carga quando a tensão de uma célula de bateria for inferior a 2,8 V (regulável de 2,6 V a 2,8 V).
3. Interromper o processo de carregamento quando a tensão de uma célula de bateria for superior a 4,2 V.
4. Desligar o sistema quando a temperatura de uma célula for superior 50 ºC.

Consulte mais características nas fichas de dados BMS.

Especificações técnicas da bateria

TENSÃO E POTÊNCIA	LFP-Smart 12,8/50	LFP-Smart 12,8/60	LFP-Smart 12,8/100	LFP-Smart 12,8/160	LFP-Smart 12,8/200	LFP-Smart 12,8/300	LFP-Smart 12,8/330	LFP-Smart 25,6/100	LFP-Smart 25,6/200	LFP-Smart 25,6/200-a
Tensão nominal	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	25,6V	25,6V	25,6V
Potência nominal @ 25 ºC*	50Ah	60Ah	100Ah	160Ah	200Ah	300Ah	330Ah	100Ah	200Ah	200Ah
Potência nominal @ 0 ºC*	40Ah	48Ah	80Ah	130Ah	160Ah	240Ah	260Ah	80Ah	160Ah	160Ah
Potência nominal @ -20 ºC*	25Ah	30Ah	50Ah	80Ah	100Ah	150Ah	160Ah	50Ah	100Ah	100Ah
Energia nominal @ 25 ºC*	640Wh	768Wh	1280Wh	2048Wh	2560Wh	3840Wh	4220Wh	2560Wh	5120Wh	5120Wh
*Corrente de descarga ≤ 1 ºC										
VIDA DE CICLO (potência ≥ 80 % da nominal)										
80 % DoD	2500 ciclos									
70 % DoD	3000 ciclos									
50 % DoD	5000 ciclos									
DESCARGA										
Corrente de descarga contínua máxima	100A	120A	200A	320A	400A	600A	400A	200A	400A	400A
Corrente de descarga contínua recomendada	≤50A	≤60A	≤100A	≤160A	≤200A	≤300A	≤300A	≤100A	≤200A	≤200A
Fim de tensão de descarga	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	22,4V	22,4V	22,4V
CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO										
Temperatura de funcionamento	Descarga: -20 ºC a +50 ºC Carga: +5 ºC a +50 ºC									
Temperatura de armazenagem	-45 ºC a +70 ºC									
Humidade (sem condensação)	Máx. 95 %									
Classe de proteção	IP 22									
CARGA										
Tensão de carga	Entre 14 V/28 V e 14,4 V/28,8 V (14,2 V/28,4 V recomendado)									
Tensão de flutuação	13,5 V/27 V									
Corrente de carga máxima	100A	120A	200A	320A	400A	600A	400A	200A	400A	400A
Corrente de carga recomendada	≤30A	≤30A	≤50A	≤80A	≤100A	≤150A	≤150A	≤50A	≤100A	≤100A
OUTROS										
Tempo de armazenagem máximo @ 25 ºC*	1 ano									
Ligação BMS	Cabo macho + fêmea com conector M8 circular, comprimento 50 cm									
Ligação elétrica (conectores roscados)	M8	M8	M8	M8	M8	M10	M10	M8	M8	M8
Dimensões (al x la x pr em mm)	199 x 188 x 147	239 x 286 x132	197 x 321 x 152	237 x 321 x 152	237 x 321 x 152	347 x 425 x 274	265 x 359 x 206	197 x 650 x 163	317 x 631 x 208	237 x 650 x 163
Peso	7kg	12kg	14kg	18kg	20kg	51kg	30kg	28kg	56kg	39kg
*Quando completamente carregado										

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Países Baixos
Telefone geral: +31 (0)36 535 97 00 | *E-mail*: sales@victronenergy.com
www.victronenergy.com

Apêndice D

Especificações dos Motores Selecionados

Designação de catálogo

DRL100L4/FF/TF/ES7S
Servomotores

Dados do produto

Velocidade nominal nC	[1/min]	: 1200
Posição de montagem		: B5
Base / Revestimento superior		: 7031 Cinza Azulado (51370310)
Posição da caixa de terminais	[°]	: 270
Posição da entrada de cabos/conector		: X
Eixo de saída	[mm]	: 28X60
Diâmetro do flange	[mm]	: 250
Binário do motor	[Nm]	: 26,00
Fator de duração		: S1-100%
Tensão do motor	[V]	: 400
Esquema de ligações		: R13
Corrente nominal (IN)	[A]	: 8,50
China (GB18613)		: 155(F)
Tipo de proteção		: IP54
Momento de inércia de massa do motor	[10^{-4} kgm²]	: 68,00
Peso	[kg]	: 30,00



Funções Adicionais

Eixo de saída: 28X60 mm
ES7S- encoder (U=24V, sin/cos 1Vss)
Grau de proteção do motor TF- 3 termistores (sem dispositivo de disparo)
Grau de proteção IP 54

As informações atuais do produto não representam uma proposta em termos legais. Os dados técnicos devem ser confirmados em uma verificação técnica final. Essa verificação é realizada ao criar a proposta/pedido. Um contrato juridicamente vinculativo exige um pedido emitido pelo requerente e uma confirmação do pedido emitida pela SEW-EURODRIVE Portugal.
Europeu (CE)/USA(UR)/Canada(CSA)/China
DC Version 2.35
Concebido na classe: 27/06/2021 23:20:18 CEST

Designação de catálogo

CM3C100M-20A-N/PK/RH1M/SM1

Dados do produto



Velocidade nominal nC	[1/min]	: 2000
Posição de montagem		: B5
Base / Revestimento superior		: 9005 Preto Escuro (51392010)
Posição da caixa de terminais	[°]	: 270
Posição da entrada de cabos/conector		: Posição: ajustável
Eixo de saída	[mm]	: 32x60
Diâmetro do flange	[mm]	: 163 (Flange quadrada)
Binário estático M0	[Nm]	: 26,80
Fator de duração		: S1-100%
Tensão do motor	[V]	: 400
Esquema de ligações		: DT11
Corrente estática I0	[A]	: 12,50
corrente permitida máx.	[A]	: 43,50
China (GB18613)		: F
Tipo de proteção		: IP65
Momento de inércia de massa do motor	[10^{-4} kgm²]	: 57,00
Peso	[kg]	: 20,20

Funções Adicionais

Desenho conetor de ficha SpeedTec
Material FKM
RH1M- resolver
Deteção de temperatura Sensor de temperatura PT1000
Regulação elétrica IEC34-1
Grau de proteção IP 65

As informações atuais do produto não representam uma proposta em termos legais. Os dados técnicos devem ser confirmados em uma verificação técnica final. Essa verificação é realizada ao criar a proposta/pedido. Um contrato juridicamente vinculativo exige um pedido emitido pelo requerente e uma confirmação do pedido emitida pela SEW-EURODRIVE Portugal.
Europeu (CE)/USA(UR)/Canada(CSA)/China
DC Version 2.35
Concebido na classe: 19/06/2021 14:38:55 CEST

WITTENSTEIN

Datasheet

alpha Value Line

NPS 035 STANDARD



Product characteristics	
Ordering code: NPS035S-MF2-50-1C1-1S	
Product type	NPS
Size	035
Characteristic	Standard
Gearbox model	Standard
Number of stages	2
Ratio	50
Output shape	Shaft with key
Clamping hub diameter	14 mm
Max. backlash	Standard ≤ 10 arcmin
Material number Gearbox	10044819

Motor mounting parts	
Material number Adapter plate	10032463

Performance data	
Max. torque $T_{2\alpha}$	400 Nm
Emergency stop torque	500 Nm
Max. input speed	7,000 min^{-1}
Permitted average input speed	3,900 min^{-1}
Max. tilting moment	487 Nm
Max. axial force	5,650 N
Max. lateral force	6,600 N
Mass moment of inertia	0.31 $kgcm^2$
Weight	8.8 kg
Lubrication	Lubricated for life
Max. permitted housing temperature	90 °C
Protection class	IP 65
Operating noise	63 dB(A)
Paint	Pearl dark grey / Innovation blue

Designação de catálogo

CMP63S/PK/RH1M/SM1
Servomotores síncrono CMP (Dinâmica Elevada)

Dados do produto

Velocidade nominal nC	[1/min]	: 4500
Posição de montagem		: B5
Base / Revestimento superior		: 9005 Preto Escuro (51392010)
Posição da caixa de terminais	[°]	: 270
Posição da entrada de cabos/conector		: Posição: ajustável
Eixo de saída	[mm]	: 14x30
Diâmetro do flange	[mm]	: 88 (Flange quadrada)
Binário estático M0	[Nm]	: 2,90
Fator de duração		: S1-100%
Tensão do motor	[V]	: 400
Esquema de ligações		: DT11
Corrente estática I0	[A]	: 3,05
corrente permitida máx.	[A]	: 18,30
China (GB18613)		: F
Tipo de proteção		: IP65
Momento de inércia de massa do motor	[10^{-4} kgm²]	: 1,00
Peso	[kg]	: 4,00



Funções Adicionais

Material FKM
Deteção de temperatura Sensor de temperatura PT1000
Regulação elétrica IEC34-1
Grau de proteção IP 65
SM1- Conector de ficha angular ajustável (motor)
RH1M- resolver

As informações atuais do produto não representam uma proposta em termos legais. Os dados técnicos devem ser confirmados em uma verificação técnica final. Essa verificação é realizada ao criar a proposta/pedido. Um contrato juridicamente vinculativo exige um pedido emitido pelo requerente e uma confirmação do pedido emitida pela SEW-EURODRIVE Portugal.
Europeu (CE)/USA(UR)/Canada(CSA)/China
DC Version 2.35
Concebido na classe: 21/06/2021 12:15:25 CEST

Designação de catálogo

DRL100L4/FL/TF/ES7S
Servomotores

Dados do produto

Velocidade nominal nC	[1/min]	: 2100
Posição de montagem		: B5
Base / Revestimento superior		: 7031 Cinza Azulado (51370310)
Posição da caixa de terminais	[°]	: 270
Posição da entrada de cabos/conector		: X
Eixo de saída	[mm]	: 28X60
Diâmetro do flange	[mm]	: 200
Binário do motor	[Nm]	: 25,00
Fator de duração		: S1-100%
Tensão do motor	[V]	: 400
Esquema de ligações		: R13
Corrente nominal (IN)	[A]	: 14,00
China (GB18613)		: 155(F)
Tipo de proteção		: IP54
Momento de inércia de massa do motor	[10^{-4} kgm²]	: 68,00
Peso	[kg]	: 30,00



Funções Adicionais

Eixo de saída: 28X60 mm
ES7S- encoder (U=24V, sin/cos 1Vss)
Grau de proteção do motor TF- 3 termistores (sem dispositivo de disparo)
Grau de proteção IP 54

As informações atuais do produto não representam uma proposta em termos legais. Os dados técnicos devem ser confirmados em uma verificação técnica final. Essa verificação é realizada ao criar a proposta/pedido. Um contrato juridicamente vinculativo exige um pedido emitido pelo requerente e uma confirmação do pedido emitida pela SEW-EURODRIVE Portugal.
Europeu (CE)/USA(UR)/Canada(CSA)/China
DC Version 2.35
Concebido na classe: 19/06/2021 15:38:10 CEST