FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Desenvolvimento de sistema de manipulação de pneus em verde

José Luís Delerue e Alvim Longras Mendes



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Francisco Jorge Teixeira de Freitas

Orientador da empresa: Engenheiro Rui Manuel Fazenda da Silva

setembro de 2019

Desenvolvimento de sistema de manipulação de pneus em verde

José Luís Delerue e Alvim Longras Mendes

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

setembro de 2019

Resumo

Durante o processo de fabrico dos pneus, estes passam por distintas etapas sendo que uma das etapas fundamentais é o processo de vulcanização. Imediatamente antes desta etapa, o pneu deve ser pulverizado com um desmoldante em todo o interior do pneu, apelidando este processo de "pintura do pneu". Um pneu, antes do processo de vulcanização, é considerado um "pneu em verde".

Este trabalho surge no sentido de aumentar a eficiência desta fase do processo de fabrico do pneu, a "pintura do pneu em verde", e pela necessidade da empresa Gislotica em obter uma solução robotizada que permita acelerar o processo de carregamento e descarregamento de pneus de veículos ligeiros para as máquinas de "pintura".

O desenvolvimento pretendido é de uma solução para manipular os "pneus em verde" provenientes de carros de transporte para os colocar sobre tapetes transportadores e, após serem "pintados", retirá-los destes e colocá-los nos carros de transporte. Para permitir esta manipulação robotizada foi necessário, numa primeira fase, realizar o projeto de uma ferramenta para agarrar nos pneus. Tendo a ferramenta do robô que permita manipular os pneus desenvolvida, foi construída uma solução de demonstração com todo o equipamento a ser utilizado ao longo do presente trabalho.

Esta solução envolveu um robô FANUC R-2000iC/210F que permite assegurar a manipulação dos pneus que foi alvo da programação adequada ao processo. Nesta fase, foi estudada a melhor disposição física dos elementos constituintes da célula de trabalho, isto é, do carro de transporte de capacidade de 12 pneus, do robô, dos tapetes transportadores de entrada e de saída, e dum sistema de leitura do código de barras, para identificação de cada pneu.

Em complemento da programação desenvolvida para o robô, foi desenvolvido todo o controlo lógico da célula de fabrico através de um autómato Siemens 1515F-2PN. A rotina do robô assenta em 3 modos de operação distintos. O primeiro modo manipula todos os pneus do carro de transporte, o segundo apenas manipula os pneus que forem previamente selecionados e o terceiro é o modo de testes onde se ensaia o bom funcionamento de cada etapa da rotina.

Para o desenvolvimento da interface homem-máquina e a conceção de alguns sistemas de segurança são seguidas algumas normas de segurança no decorrer do trabalho.

Este trabalho permite à Gislotica confirmar e demonstrar a viabilidade do projeto, permitindo basear-se no mesmo para desenvolver uma solução otimizada para disponibilizar aos seus clientes.

Development of green tire manipulation system

Abstract

During the tire manufacturing process, different stages are carried out, being the vulcanisation process one of them. Immediately before this stage, the tire must be sprayed with a release agent on the inside surface of the tire, being this process named as "tire painting". A tire, before the vulcanisation process, is considered a "green tire".

This work is related to the increase of the efficiency of this stage of the tire manufacturing process, the "Green Tire Painting". Gislotica has shown great interest in obtaining a robotized solution that allows the acceleration of the process of loading and unloading of light vehicle tires to "paint" machines.

The required work is the development of a solution to manipulate the "green tires" from transport buffers cars to make them available on conveyors and, after being "painted", reposition them on the transport buffers cars. As a first step it was necessary the design an adequate robotic held tool to hold and allow manipulation of tires. Having the tool of the robot that allows the manipulation of the tires developed, the equipment necessary to build demonstration work cell was selected.

As a second step, it was developed the trajectories programming for a FANUC R-2000iC/210F robot that allows the handling of the tires. Also, the physical layout of the cell was studied, which included, the transport buffer car with a capacity of 12 tires, the robot, the inlet and outlet conveyors, and the bar code reader device.

Further to the development of the trajectories programming , all logical control solution was developed in a Siemens 1515F-2PN PLC. The robot routine is based on 3 different operating modes. The first mode handles all the tires on the transport buffer car, the second only handles the tires that are previously selected and the third is the maintenance mode where the proper functioning of each stage of the routine is verified.

For the development of the human-machine interface and the design of some safety systems, some safety standards were followed during the work. This work allowed Gislotica to validate this robotic solution, and have a demonstration setup to make available to potential customers.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Francisco Freitas por todo o apoio e conhecimento transmitido ao longo deste trabalho. O acompanhamento próximo durante toda a realização da Dissertação permitiu aprender e melhorar continuamente, não só a nível teórico e prático como a nível de método que espero levar para toda a minha experiência profissional que se avizinha.

Agradecer ao Engenheiro Rui Fazenda pela possibilidade de realizar a Dissertação num ambiente industrial tão fascinante como é o da Gislotica. Agradecer, ainda, por todo o conhecimento transmitido em particular no desenvolvimento mecânico da ferramenta do robô.

Um especial agradecimento ao Engenheiro Humberto Ramos por todo o suporte dado na parte de automação e ao Engenheiro Manuel Castro pela preocupação e ajuda na transmissão de conhecimento sobre o robô FANUC e o seu *software*.

Gostaria de agradecer a todos os colaboradores da Gislotica que me permitiram ambientar à empresa de forma acolhedora, e que me permitiram melhorar todo o projeto desenvolvido com a sua ajuda.

Agradecer a todos os meus amigos, em particular aos colegas de estágio, pela ajuda, apoio, confiança e energia transmitida.

Agradecer a todos os Professores que se cruzaram ao longo de toda a minha formação, que me permitiram aprender sempre da melhor forma e que me formaram uma melhor pessoa.

Um muito obrigado, à minha família pela paciência e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

José Luís Delerue Mendes

À minha família

Conteúdo

1 Introdução **1**

1.1 Desenvolvimento do pneu 2

1.2 A Empresa 4

1.3 Enquadramento do projeto 7

1.4 Objetivo da Dissertação 10

1.5 Estrutura da Dissertação 11

2 Contextualização do problema **13**

2.1 Produção do pneu 13

2.2 Robótica e automação na indústria 15

2.2.1 Sistemas de transporte de pneus 16

2.2.2 Sistemas de armazenamento de pneus 18

3 Recursos físicos do projeto **21**

3.1 Caracterização do robô a utilizar 21

3.2 Desenvolvimento da ferramenta do robô 24

3.2.1 Interface entre ferramenta e robô 25

3.2.2 Atuador da ferramenta 27

3.2.3 Corpo central da ferramenta 31

3.2.4 Superfície de referência central da ferramenta ao pneu 32

3.2.5 Braços de aperto da ferramenta 33

3.2.6 Sensorização 41

3.2.7 Acionamento do eixo linear 53

3.2.8 Configuração final da ferramenta 58

3.3 Amplificador de potência 59
3.4 Controlador Lógico Programável 61
3.5 Interface Homem Máquina 62
3.6 Rede de comunicação 64

4 Desenvolvimento de *software* 67
4.1 *Software* de programação do robô - Roboguide 67
4.2 *Software* de programação do autómato - TIA Portal 69
4.3 Requisitos da aplicação 71
4.4 Disposição física da célula de trabalho 78
4.5 Especificações do controlador 81
4.6 Conceção e desenvolvimento da interface de visualização 85

5 Ensaios experimentais 93
5.1 Objetivos dos ensaios experimentais 93
5.2 Rotina de validação 94
5.3 Satisfação dos objetivos 94

6 Conclusões e Trabalho Futuro 101
6.1 Satisfação dos Objetivos 101
6.2 Trabalhos Futuros 103

Referências 107

A Lista de componentes da ferramenta do robô 111

B Desenhos de definição e conjunto 113

C Esquemas elétricos 161

D Grafcets 165

Lista de Figuras

1.1 Rodas de madeira [1]. 2
1.2 Comparação de estrutura de pneus [5]. 3
1.3 Estatísticas principais da indústria do pneu [10]. 5
1.4 Logótipo Gislotica [12]. 6
1.5 *Layout* da rotina. 8
1.6 Rotina do robô a executar. 9

2.1 Evolução e equipamento no processo de vulcanização de um pneu [15]. 14
2.2 Sistema habitual de transporte de um pneu através de um robô. 17
2.3 Sistema de empilhamento de pneus no seu estado final. 17
2.4 Formas de armazenamento de pneus no seu estado final [20]. 18
2.5 Carro de transporte com posições definidas para os pneus [21]. 19
2.6 Carro de transporte sem posições definidas para os pneus. 19
2.7 Carro de transporte utilizado. 20
2.8 Sistema de posicionamento do carro de transporte. 20

3.1 Dimensões gerais do carro de transporte de 12 pneus. 22
3.2 Robôs identificados. 23
3.3 Conceção inicial da ferramenta. 24
3.4 Punho do robô FANUC R2000iC 210F [24]. 25
3.5 Sistema de acoplamento e fixação ao robô. 26
3.6 Punhos dos robôs. 26
3.7 Flanges de acoplamento. 27
3.8 Esquema de forças atuadas no sistema braços da ferramenta + pneu. 29

3.9 Eixo linear ELGG-TB-55-450-20H-M. 30
3.10 Conjunto do bloco central da ferramenta. 32
3.11 Referência central da ferramenta ao pneu. 33
3.12 Esquema de forças exercidas sobre o eixo linear [26]. 34
3.13 Base de transmissão de movimento. 35
3.14 Posicionamento da base de transmissão de movimento. 35
3.15 Conceção inicial do braço de aperto sem tiras de contacto com pneu. 36
3.16 Distâncias mínimas entre pneus consecutivos no carro de transporte. 37
3.17 Nova geometria da barra metálica. 37
3.18 Teste das dimensões da ferramenta. 38
3.19 Alinhamento da base de suporte da barra. 38
3.20 Alinhamento da superfície de referência ao pneu. 39
3.21 TCP da ferramenta. 39
3.22 Nova versão do braço direito da ferramenta. 40
3.23 Esquema das forças atuantes sobre o patim das guias. 40
3.24 Conjunto de guias lineares e patins. 41
3.25 Distância do ponto de centro de contacto dos braços da maxila com o pneu, relativamente à superfície de encosto frontal. 42
3.26 Deteção de pneu por detetor mecânico baseado em fita de aço de mola. 43
3.27 Solução de deteção de encosto mecânico. 44
3.28 Esquemas do conjunto de deteção de encosto mecânico lateral. 44
3.29 Referência do ponto de contacto do pneu com o batente. 45
3.30 Alinhamento da ferramenta com carro de transporte, para pneu de 180 *mm* de altura. 45
3.31 Distância da ferramenta ao pneu e carro de transporte. 46
3.32 Soluções para detetores para identificação de encosto lateral. 47
3.33 Soluções para deteção de encosto lateral. 48
3.34 Sensibilidade de alcance de detetor fotoelétrico SICK GTB6-P4211 1052438. . 50
3.35 Gama de deteção SICK UC4-11341 6034667. 50
3.36 Detetor fotoelétrico SICK VTE180-2P42482. 51
3.37 Versão final do braço direito da ferramenta. 51

3.38 Detetor WENGLOR IW080BM50VA3. 52
3.39 Conjunto motor, redutor e sistema de acoplamento ao eixo linear. 57
3.40 Evolução das soluções de suporte e guiamento de cabos elétricos. 58
3.41 Configuração final da ferramenta do robô desenvolvida e construída. 58
3.42 Ligação do *drive* S120 ao PLC e motor/*encoder* [29]. 60
3.43 PLC e módulo utilizados. 63
3.44 Painel embutido Siemens KTP600 *Basic Color* PN [32]. 64

4.1 Esquema de ambiente do *software* Roboguide. 68
4.2 Esquema de ambiente do *software* TIA Portal. 70
4.3 Esquema de organização e hierarquia dos diferentes blocos de programação [45]. 71
4.4 Modos de operação. 72
4.5 Esquema geral de rotina do robô no modo automático recolha seletiva. 74
4.6 Esquema geral de rotina do robô no modo testes. 74
4.7 Esquema geral de rotina do robô no modo automático recolha global. 75
4.8 Esquema de recolha do pneu. 76
4.9 Espaço de colisões de célula de trabalho. 77
4.10 Disposição das opções do *layout* da aplicação. 80
4.11 Alternativa à opção 2 da disposição do *layout* - Opção 2'. 81
4.12 Esquema geral dos painéis da interface. 85
4.13 Painel *HOME*. 86
4.14 Painéis de inicialização. 87
4.15 Painel Referenciar eixo. 88
4.16 Painéis para definir diâmetro externo e altura dos pneus. 88
4.17 Painel Informação. 89
4.18 Painéis para definir tipo de carro de transporte. 89
4.19 Painéis para selecionar pneus a manipular. 90
4.20 Painel Automático Recolha Global Operação. 91
4.21 Painéis de alarmes. 91

5.1 Rotina de teste do robô. 95
5.2 Braço de ferramenta para ensaios. 97

5.3 Ensaio inicial de posição das molas. 98
5.4 Proposta de posicionamento otimizada. 98

6.1 Binário do servomotor no movimento de fecho para diâmetro 620 mm. 104

D.1 Grafcet Segurança Autómato. 166
D.2 Grafcet Funcionamento Autómato. 166
D.3 Grafcet Abrir Autómato. 167
D.4 Grafcet Fechar Autómato. 167
D.5 Grafcet Aproximação Autómato. 167
D.6 Grafcet Macroetapa 64 Autómato. 168
D.7 Grafcet Macroetapa 66 Autómato. 168
D.8 Grafcet Main Robô. 169
D.9 Grafcet Automático Recolha Seletiva Robô. 170
D.10 Grafcet Automático Recolha Global Robô. 171
D.11 Grafcet Testes Robô. 172
D.12 Grafcet Macroetapa D Recolher no Carro de Transporte. 172
D.13 Grafcet Macroetapa E Ler Código de Barras. 173
D.14 Grafcet Macroetapa F Entregar no Tapete Transportador Entrada. 173
D.15 Grafcet Macroetapa G Recolher no Tapete Transportador Saída. 173
D.16 Grafcet Macroetapa H Entregar no Carro de Transporte. 174
D.17 Grafcet Macroetapa I Recolher. 174
D.18 Grafcet Macroetapa J Entregar. 175
D.19 Grafcet Macroetapa K Entregar no Tapete Transportador Saída. 175

Lista de Tabelas

3.1 Características principais dos robôs selecionados. 22
3.2 Principais características do atuador ELGG-TB-55-450-20H-M [26]. 30
3.3 Forças e binários permitidos para uma vida útil de 2500 km por carruagem. . . 34
3.4 Principais características detetor SensoPart. 47
3.5 Principais características detetor FL 20 e fibra ótica K2R-6. 48
3.6 Principais características do detetor SICK GTB6-P4211 1052438. 49
3.7 Principais características do detetor SICK UC4-11341 6034667. 50
3.8 Principais características do detetor SICK VTE180-2P42482. 51
3.9 Principais características do detetor WENGLOR IW080BM50VA3. 52
3.10 Dados utilizados para dimensionamento do motor 53
3.11 Dados do servomotor selecionado 55
3.12 Dados do servomotor 1FK7042-2AC71-1RH0. 56
3.13 *Drive* Sinamics S120. 60
3.14 Tempo de varrimento de OB's associados a controlo de movimento de 1 eixo [30]. 61
3.15 Características principais CPU 1515F-2PN [30]. 62
3.16 Características principais ET 200SP IM155-6PN ST [31]. 62
3.17 Características principais HMI KTP600 *Basic Color* PN [31]. 63

4.1 Tempos de produção médios. 81
4.2 Falhas do sistema. 82
4.3 Alarmes do sistema. 83
4.4 Valores aconselháveis a utilizar numa interface portátil. 86

5.1 Características fitas antiderrapantes [47]. 97

5.2 Características dos pneus amostrados. 98
5.3 Ensaios de velocidade e distâncias de fecho do atuador linear. 99

A.1 Lista de componentes da ferramenta do robô. 112

Abreviaturas

DB	Bloco de Dados
FB	Bloco de Função
FC	Função
FIFO	*First In, First Out*
GRAFCET	*GRAphe Fonctionnel de Commande Etape Transition*
HMI	Interface Homem Máquina
IO	Entradas/Saídas
IP	Protocolo de Internet
OB	Bloco de Organização
PLC	Controlador Lógico Programável
PROFIBUS	*Process Field Bus*
PROFINET	*Process Field Net*
TCP	*Transmission Control Protocol* ou *Tool Center Point*
TIA	*Totally Integrated Automation*

Capítulo 1

Introdução

Com exceção dos períodos marcados por severas crises económicas ou por outros fatores atípicos, a produção mundial de automóveis aumentou a cada ano. Por exemplo, de 1997 até 2018 a produção anual praticamente duplicou, passando de 53 para 97 milhões de automóveis. Só em Portugal, por exemplo, segundo os dados da ACAP (Associação Automóvel de Portugal) em 2018 foram produzidos 294 mil de automóveis, sofrendo um aumento de cerca de 68% face ao ano de 2017. Constatando-se que o número de automóveis retirados de circulação por ano não tem praticamente expressão face aos números de produção, pode-se concluir que o número de automóveis em serviço em todo o mundo aumenta praticamente ao ritmo da produção de automóveis.

Por sua vez, o aumento do número de automóveis em circulação leva ao aumento da procura de componentes e fluidos consumíveis e não consumíveis. Os pneus enquadram-se nos componentes e são um elemento crítico a nível da segurança ativa de um automóvel, sendo responsáveis pela importante interface entre o solo e o automóvel. Por um lado, existe um aumento anual da procura de pneus e, por outro, o facto de este ser um componente muito importante para a segurança de um automóvel leva a que cada vez se exija mais, havendo uma menor tolerância a defeitos e falhas. Do ponto de vista das empresas responsáveis pelo seu fabrico, existe uma enorme competitividade entre os vários fabricantes que as obriga a assegurar padrões de elevada qualidade para elevadas cadências de produção e soluções de grande eficiência. No seguimento dessa necessidade, surge a procura por máquinas, equipamentos e sistemas automáticos para a indústria dos pneumáticos.

1.1 Desenvolvimento do pneu

O pneu é hoje um objeto muito importante no dia a dia da população mundial. O primeiro pneu surgiu em 1844 através da invenção de Charles Goodyear do processo de cura da borracha, conhecido igualmente como processo de vulcanização, que permitiu descobrir a possibilidade de uma borracha cobrir uma roda. Em 1845, Robert W. Thomson patenteou a primeira roda pneumática, um tubo que contém ar sob pressão e possibilita o seu envolvimento sobre uma roda. No entanto, este pneu ainda não era produzido com borracha e, apenas em 1888, através de John B. Dunlop, foi criado o pneu de borracha com ar pressurizado para rodas de bicicletas [1]. Nas Figuras 1.1a e 1.1b pode-se analisar uma roda de madeira coberta por aço, muito utilizada nas carruagens e automóveis antigos, e uma roda de madeira coberta por borracha, utilizado num transporte motorizado mais "recente", respetivamente.



(a) Coberta por aço



(b) Coberta por borracha

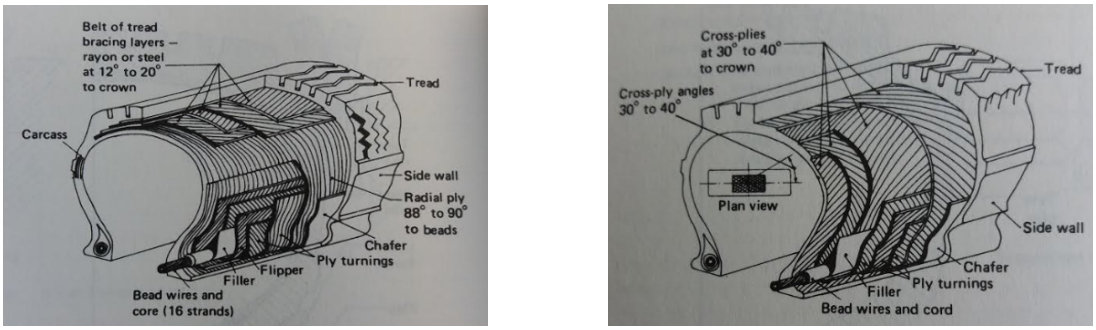
Figura 1.1 - Rodas de madeira [1].

Apenas uns anos mais tarde, em 1895, o pneu evoluiu para o uso em automóveis pelos irmãos Michelin, tornando-se a Michelin & Cie uma das empresas líderes de produção de pneus da Europa. Em 1905, o pneu sofreu uma grande evolução através da inclusão de um piso na superfície do pneu que permitiu uma melhoria significativa na performance em condições de estrada molhada e lamacenta aumentando a tração do pneu à estrada, para além de proteger o corpo do pneu de forma a tentar evitar que este se danifique. Nos 50 anos seguintes, os pneus para automóveis eram de construção do tipo diagonal, isto é, fabricados a partir de uma lona de borracha que continha o ar pressurizado, envolvida por camadas de telas feitas a partir de fios de tecido e borracha [2, 3].

Em 1946, a Michelin criou e patenteou o pneu do tipo de construção radial, que apresenta uma abordagem vantajosa em relação aos de construção diagonal ao nível da resistência do

piso ao desgaste, da manobrabilidade do veículo ao curvar e da resistência ao rolamento, o que conduz a consumos de combustível mais baixos [2, 4].

Na Figura 1.2 pode-se observar a diferença entre os dois tipos de construção anteriormente mencionados.



(a) Radial (b) Diagonal

Figura 1.2 - Comparação de estrutura de pneus [5].

Nos 20 anos seguintes, os pneus de construção radial tornaram-se um produto padrão nos carros fabricados nesta época. Empresas como Michelin em França, Bridgestone no Japão, Pirelli em Itália, e Continental na Alemanha, tornaram-se grandes referências na indústria do pneu. No entanto, foi apenas em 1973 que nos Estados Unidos da América, devido à crise do petróleo, a indústria automóvel americana investiu seriamente para poder equipar e produzir automóveis com este tipo de pneus [2, 6, 7].

No presente, praticamente todos os pneus são de construção radial, embora os de construção diagonal sejam muito utilizados em veículos agrícolas e de mercadorias.

O pneu pode ser visto como tendo quatro funções distintas:

- suportar uma carga;
- amortecer algumas vibrações;
- transmitir forças de condução e de travagem;
- direcionar o veículo [8].

O pneu é o produto mais consumidor a indústria de borracha, sendo que o setor dos pneus consumiu cerca de 61% de toda a borracha consumida a nível mundial em 2010, consumindo 70% de toda a borracha natural e cerca de 39% de toda a borracha sintética consumida a nível mundial. Neste ano, foram produzidas um total de 4,5 milhões de toneladas em pneus [7, 9].

Já em 2016, a produção de pneus a nível mundial manteve-se em relação ao ano anterior nos 41 mil milhões de euros, representando um total de 4,94 milhões de toneladas em pneus, um aumento de cerca de 1% relativamente ao ano de 2015. O setor dos pneus consumiu nesse ano um total de cerca de 56% de toda a borracha consumida a nível mundial nesse ano [10].

Desse modo, pode-se observar que, ao longo destes anos, a indústria dos pneus é um mercado muito vasto e que se tem mantido bastante inalterado ao nível de volume de negócio em geral. Em 2016, a empresa que gerou o maior volume de negócio na indústria dos pneus foi a Bridgestone, uma empresa sediada no Japão, gerando 22 412 milhões de euros em vendas. Os maiores produtores de pneus a nível mundial surgem no Japão, na Europa, na Índia, na China e nos países NAFTA (constituídos por Estados Unidos da América, Canadá e México) [10].

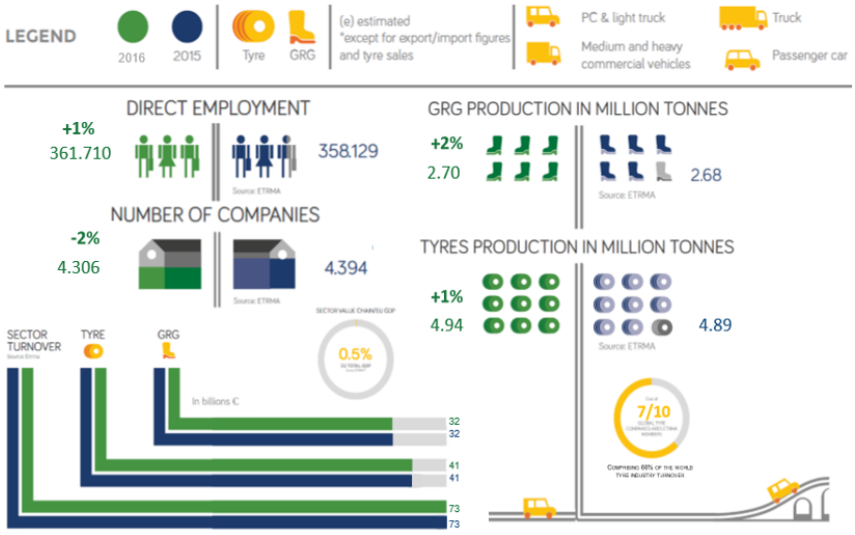
Na Figura 1.3 pode-se analisar estas e outras estatísticas gerais do ano de produção de 2016 pelos fabricantes de pneus.

O processo produtivo de um pneu tem de passar por múltiplas etapas até atingir o seu aspeto final e a sua posterior comercialização. Ao longo do seu processo de produção, o pneu vai-se tornando cada vez mais valioso à medida que ultrapassa cada uma das etapas. No entanto, todas as etapas têm a sua importância no seu desenvolvimento. Desde as primeiras etapas que as falhas e defeitos são algo a evitar para cumprir com os requisitos de um pneu pelo que o cuidado no seu fabrico e no seu transporte devem ser elevados.

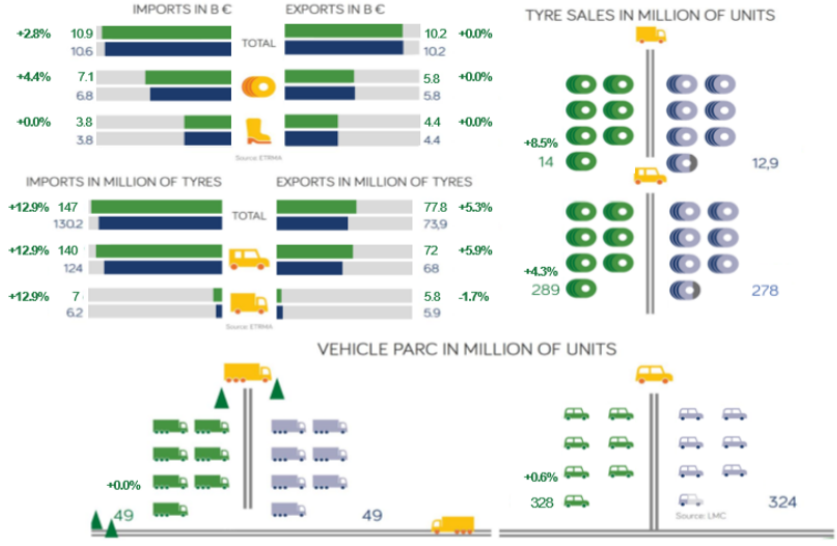
Como a cadência de produção de pneus de uma empresa com a dimensão da Continental de Lousada é de cerca de 60 000 unidades por dia, tudo o que permita aumentar a eficiência de processos é algo que deve ser analisado de modo a pesar os seus benefícios com os seus potenciais custos. É nesse sentido que surge este trabalho de Dissertação, no sentido de automatizar, e com isso aumentar a eficiência, o processo de transporte dos "pneus em verde" para a etapa seguinte de "pintura" dos pneus que costuma ser realizado manualmente.

1.2 A Empresa

A Gislotica, Projecto e Fabrico de Soluções Mecânicas, Lda é uma empresa portuguesa, localizada em Perafita, Matosinhos, que nasceu no ano de 2000, numa oficina metalomecânica com 100 m^2. A empresa dedica-se à conceção e produção de equipamentos para fabricantes de pneus. A Gislotica exporta 95% do volume de negócios para mais de 35 países, trabalhando com empresas de referência mundial, como Continental AG, Goodyear, Pirelli, Nexen, Apollo, MRF ou JK. A maior parte do seu mercado atualmente encontra-se na Europa, mas também se



(a)



(b)

Figura 1.3 - Estatísticas principais da indústria do pneu [10].

encontra na Índia, China e Estados Unidos da América, para além da Rússia. A Gislotica é uma empresa de engenharia especializada no estudo e desenvolvimento de projetos que vão desde a logística, estudo de fluxos, às máquinas especiais. A Gislotica desenvolve todos os seus projetos e entrega chave na mão, desde projeto, fabrico mecânico até à automação. A grande prioridade da empresa é a de servir da melhor forma os seus clientes, para isso colabora com os seus clientes no sentido de criar valor e dar consequência às suas ideias e visões, e, eventualmente, trabalha com parceiros de especialidade. Na Figura 1.4, pode-se observar o logótipo da empresa Gislotica [11, 12].



Figura 1.4 - Logótipo Gislotica [12].

História e missão da Empresa

A empresa tinha como principal objetivo, inicialmente, dar resposta a uma necessidade da empresa internacional fabricante de pneus da região, a Continental. No sentido de corresponder a uma necessidade do mercado, decidiu-se converter uma serralharia, o negócio de família, num fabricante de equipamentos. Surgiu assim a Gislotica no ano de 2000. Devido a este impulso inicial e tendo a Continental como grande cliente, a empresa em 2003 precisou de um espaço de trabalho para executar um projeto de grande envergadura. A empresa mudou-se assim para uma unidade de quase 800 m^2, que à partida seria uma mudança temporária, mas que devido ao sucesso que teve, as instalações mantiveram-se até ao ano de 2014. Nessa altura, a empresa decidiu comprar o armazém e todo o terreno envolvente e fazer as instalações que se encontram atualmente. A Gislotica evoluiu de forma sólida e hoje conta com um espaço total de 16 000 m^2, sendo 2 500 m^2 de área construída. Ainda no ano de 2019, a empresa conta que seja duplicada a área construída para os 5 000 m^2, estando as obras já em execução.

Inicialmente, a empresa reagia a solicitações, ou seja, atuava mediante um pedido específico de um cliente. Atualmente, existe já um método de previsão das soluções que poderão desenvolver para melhorias dos processos e propõem as suas próprias soluções aos clientes. Com uma equipa de cerca de 40 trabalhadores, a Gislotica apresenta-se como uma empresa completamente autónoma, permitindo fabricar todas as soluções mecânicas, elétricas e de automação, e realizar entregas "chave na mão" aos seus clientes. A empresa tem vindo a investir em *software* mas também em *hardware*, em maquinaria, potenciando a capacidade de resposta da empresa, o que é muito importante para uma empresa que atua num setor de mercado altamente móvel,

rápido, em desenvolvimento contínuo e competitivo. A missão da Gislotica passa por garantir uma qualidade de produtos e serviços que a identifique junto dos clientes. Ter os conhecimentos técnicos, os recursos e experiência comprovada no fornecimento de soluções integradas para a indústria, desenvolver equipamentos que vão desde o simples transportador ao sistema de movimentação mais completo, projetar e fabricar outros equipamentos, sistemas de manipulação e máquinas especiais são tudo capacidades potenciadas e desenvolvidas na empresa Gislotica.

1.3 Enquadramento do projeto

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema para manipulação de "pneus em verde". Este trabalho surge da necessidade da empresa ter uma solução que permita a manipulação de "pneus em verde" de modo a automatizar e aumentar a eficiência deste processo. Este processo costuma ser habitualmente realizado por parte de operadores que manualmente retiram os pneus individualmente dos carros de transporte e os posicionam num tapete transportador para um robô os pegar e os encaminhar para o processo de "pintura", processo que é abordado no Capítulo 2. No final do processo de "pintura", os pneus são repostos manualmente sobre os carros de transporte.

O principal objetivo passa por desenvolver uma aplicação para um robô de 6 eixos FANUC R-2000iC 210F manipular os "pneus em verde", substituindo a ação realizada por operadores. No entanto, a ferramenta utilizada neste trabalho tem de permitir o acoplamento não só ao robô FANUC R-2000iC 210F, mas também ao robô ABB IRB 6700 200/2.60 e ao robô KUKA 240 R2700 para permitir a utilização da mesma ferramenta em outros 2 modelos de robôs presentes na fábrica da empresa Gislotica.

Os "pneus em verde" que são operados nesta aplicação são pneus para veículos ligeiros, tendo dimensões e pesos variáveis, sendo que o diâmetro externo pode tomar valores até 900 mm, a sua altura pode tomar valores entre os 180 mm e os 350 mm e o pneu pode pesar até um máximo de 30 kg. Os pneus atingem a posição de partida para a realização da rotina sobre um carro de transporte. Este carro de transporte tem assegurada a sua posição relativa ao robô e assegura a posição dos "pneus em verde" a menos de uma imprecisão de mais ou menos 5 milímetros.

Os carros de transporte onde os pneus estão dispostos têm 2 configurações possíveis. Estes carros podem ter a capacidade de 12 pneus ou de 20 pneus. Os carros de 12 pneus têm 4 andares com 3 pneus por andar. Os carros de 20 pneus têm 5 andares com 4 pneus por andar. No

entanto, para esta aplicação, em particular, apenas se irão considerar os carros de transporte de 12 unidades de capacidade, apesar de se ter em consideração a possibilidade de outra configuração na disposição e quantidade de pneus. Em cada carro transportador apenas se encontram pneus da mesma família, isto é, pneus exatamente iguais ao nível das dimensões gerais e pesos próprios.

Assim que o carro de transporte chega à sua posição, o robô deve ir às posições dos pneus e recolher todos os pneus de um carro de transporte individualmente. O robô vai buscar os "pneus em verde", que estão dispostos nos carros de transporte e passa por uma etapa intermédia de leitura do seu código de barras disposto na face inferior do "pneu em verde". De seguida, entrega-os num tapete transportador alimentando 1 robô da estação de "pintura". Os pneus vão então para outra estação que envolve o processo de "pintura".

Durante o processo de "pintura" de um pneu, o robô deve recolher os restantes pneus do carro de transporte. Assim que todos os pneus estejam recolhidos do carro de transporte e entregues ao tapete transportador, deve-se iniciar o processo de preenchimento do carro de transporte com os pneus já "pintados", que vão surgindo noutro tapete transportador.

Na Figura 1.5 pode-se observar o *layout* utilizado para o presente trabalho.

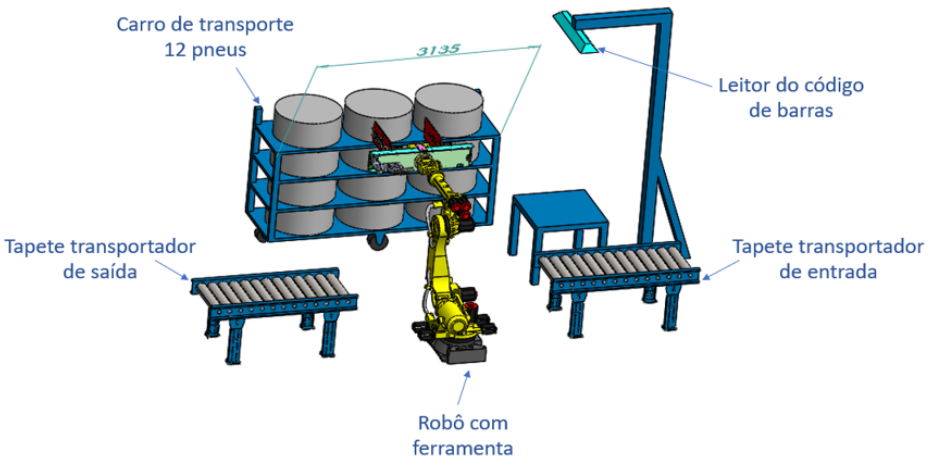
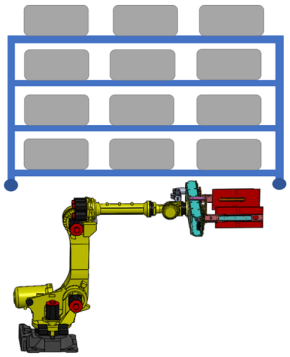
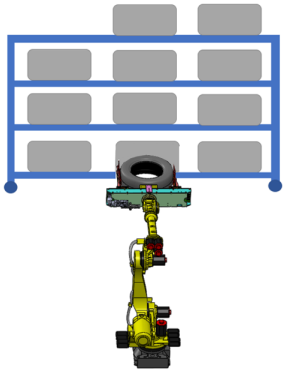


Figura 1.5 - *Layout* da rotina.

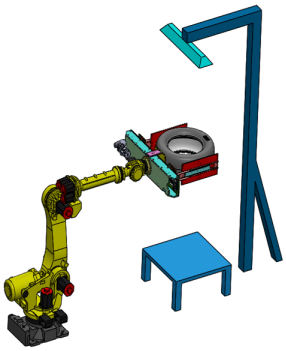
Na Figura 1.6 pode-se observar o esquema da rotina que deve ser executada, que representa todo um ciclo de um determinado carro de transporte. Ao longo do presente trabalho são analisadas ligeiras variações que pretendem acomodar possíveis variações no ciclo agora definido.



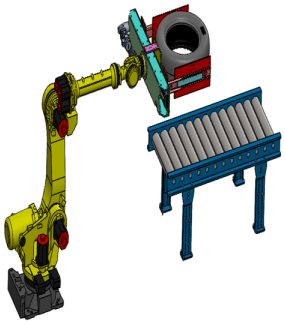
(a) Chegada do carro de transporte com capacidade para 12 "pneus em verde" idênticos



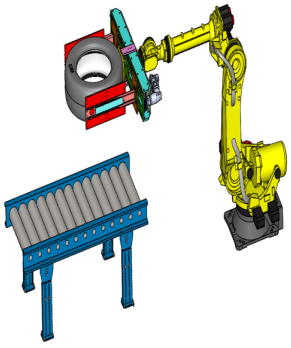
(b) Recolha do "pneu em verde", o pneu mais acima e à esquerda disponível no carro de transporte



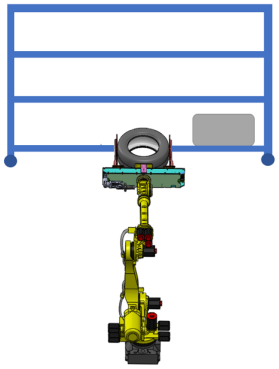
(c) Leitura do código de barras (sensor por cima do pneu)



(d) Depositar do "pneu em verde" no tapete transportador de entrada (x 12)



(e) Recolha do pneu "pintado" no tapete transportador de saída



(f) Recolocar o pneu "pintado" no carro de transporte

Figura 1.6 - Rotina do robô a executar.

1.4 Objetivo da Dissertação

O objetivo da Dissertação é o desenvolvimento de um sistema robotizado de manipulação de "pneus em verde". Nesse sentido, é necessário o desenvolvimento e a produção de uma ferramenta. Existe uma versão desatualizada desta ferramenta em suporte digital de uma primeira abordagem a este problema. Tendo por base essa primeira abordagem da ferramenta, é necessário desenvolvê-la no sentido de contemplar alguns aspetos redefinidos e fazer determinadas alterações no sentido de a melhorar para a aplicação desejada. Esta ferramenta terá de conter 3 flanges distintas que permitam o acoplamento a 3 robôs distintos. O primeiro objetivo do trabalho é, portanto, a análise à ferramenta anteriormente projetada e a definição dos aspetos a melhorar de modo a produzir e a obter um bom funcionamento da mesma para a aplicação desejada.

Toda a aplicação do robô é realizada ao nível da programação *offline* através do *software* disponível da FANUC para se ter a maior aproximação possível da simulação ao ambiente que se encontrará realmente.

Contudo, ao testar a aplicação em programação *online*, devem fazer-se os devidos ajustes. Toda a questão de segurança envolvente ao processo deve ser considerada, desde os componentes físicos aos sistemas de *software*. A comunicação entre o controlador do robô de manipulação e o PLC deve ser garantida para permitir a comunicação entre o robô e todo o ambiente envolvente, ou seja, o operador, o carro de transporte, o leitor de código de barras e a comunicação com o outro robô de manipulação para a "pintura".

No final, deve ser desenvolvida a interface HMI que permita visualizar e aceder a alguns dados referentes a todo o processo, para além de assegurar a interface entre o operador e o sistema de manipulação ao nível da execução das tarefas desejadas.

Este trabalho tem como objetivo a validação da solução apresentada para a ferramenta do robô, a validação da capacidade do robô a utilizar, a definição de uma disposição física dos elementos constituintes da célula de trabalho ótima, uma análise às possíveis falhas do sistema e encontrar soluções de automatização do processo. O trabalho desenvolvido nesta Dissertação será posteriormente analisado e ajustado ao meio incluído na fábrica de um cliente, algo que não existe atualmente pelo que não existem grandes limitações impostas ao sistema no presente trabalho. É fundamental que no decorrer deste trabalho haja uma preocupação para a modularidade da aplicação de modo a esta ser facilmente ajustada a uma alteração ou disposição, de capacidade dos carros de transporte, entre outros.

1.5 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está dividido em 6 capítulos, no qual se inclui este Capítulo 1 onde são descritas as principais características e especificidades do sistema a desenvolver e da empresa onde esta Dissertação decorreu.

No Capítulo 2 é contextualizado o trabalho, desde o processo de produção do pneu, ao equipamento de transporte e armazenamento de pneus, abordados ao longo da presente Dissertação.

No Capítulo 3 é feita uma análise dos recursos físicos utilizados ao longo deste trabalho.

No Capítulo 4 são apresentados os programas principais de *software* de automação utilizados neste trabalho, bem como o desenvolvimento das soluções propostas.

No Capítulo 5 é apresentada a demonstração e a análise ao sistema desenvolvido.

No Capítulo 6 é realizada uma análise mais profunda a todo o trabalho desenvolvido apresentando as principais conclusões de toda a Dissertação, assim como algumas propostas para realização futura no sentido de melhoramento e desenvolvimento do sistema desenvolvido neste trabalho.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas ao longo deste trabalho, tal como alguns anexos com informação relevante para o presente trabalho.

Capítulo 2

Contextualização do problema

2.1 Produção do pneu

O fabrico de um pneu é um processo com várias etapas, desde a receção das matérias-primas necessárias à produção dos componentes, passando pela construção do pneu, vulcanização e, por fim, pelo controlo de qualidade. De seguida, é apresentada a divisão dos processos de fabrico do pneu.

- **Mistura** - é o início do processo produtivo, onde são misturados todos os compostos – borracha natural e sintética, pigmentos, óleo mineral, sílica, etc. (cerca de 30 constituintes) – criando um composto negro e viscoso para ser entregue à etapa seguinte;
- **Preparação/Corte** - é a fase em que são preparados todos os componentes do pneu – talões, pisos, telas, metálica e têxtil, paredes do pneu, etc. Extrusoras, calandras e máquinas de corte são responsáveis pela preparação destes materiais depois destes arrefecerem, que seguem depois para a área de construção;
- **Construção** - é onde todos os componentes produzidos são montados. São utilizadas as máquinas de construção que constroem a carcaça do pneu, os elementos têxteis, as cintas de aço, os talões, as telas, o piso e outros componentes. O pneu é pressurizado dando origem ao "pneu em verde", com o aspeto aproximado da versão final;
- **Cura** - é a fase em que o "pneu em verde" é submetido a elevadas temperaturas, nas prensas de cura, onde se comprime o pneu dando o aspeto final ao pneu, atribuindo características elásticas à borracha;

- **Inspeção** - é onde são feitas as verificações para garantir todos os requisitos de qualidade do pneu. Depois desta fase os pneus seguem para o armazém de produto acabado e serão comercializados [7, 13, 14].

Processo de aplicação de desmoldante

A última etapa na produção de um pneu consiste no processo de cura, a qual compreende a vulcanização, responsável por conferir ao pneu uma cadeia tridimensional elástica, e um determinado tempo de repouso do pneu vulcanizado. A vulcanização, sendo um dos últimos passos, recebe o pneu já com elevado valor acrescentado e, como tal, deve ter uma probabilidade mínima de introdução de defeitos no pneu, já que tal acarreta elevadas perdas económicas. Na Figura 2.1, observa-se a evolução e o equipamento utilizado no processo de vulcanização de um pneu.



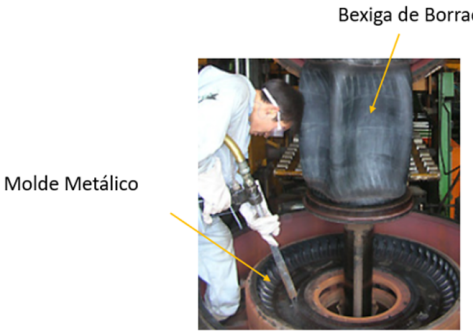
(a) "Pneu em verde"



(b) Molde de pneu



(c) Pneu disposto no forno



(d) Bexiga elástica [alterado]

Figura 2.1 - Evolução e equipamento no processo de vulcanização de um pneu [15].

O processo de vulcanização é realizado numa prensa aquecida equipada com moldes metálicos responsáveis pela moldação da superfície exterior do pneu. Umas bexigas, podendo ser igualmente intituladas como diafragmas, de borracha insufláveis, que servem como moldes,

moldam interiormente o pneu e pressionam-no contra o molde metálico. Antes de vulcanizar o pneu, é necessário garantir a integridade do mesmo ao entrar na máquina de cura. Nesse sentido, é aplicado um desmoldante de base aquosa por *spray* ao interior do pneu designando-se esta tarefa como "pintura". A aplicação do desmoldante permite a redução do atrito e permite a saída do ar do pneu durante o processo de expansão, na vulcanização [16]. Caso não fosse usado um fluido de separação, a separação do pneu e da bexiga elástica seria impossível. O agente de separação funciona, assim, como uma barreira entre o revestimento interno do pneu e a bexiga insuflável de borracha.

Apesar de o desmoldante ser de base aquosa, a sua aplicação acaba por contaminar o ar em seu redor. Assim, a sua aplicação é feita num ambiente controlado, caso seja executada manualmente. Por esse motivo, e para aumentar a eficiência de todo o processo de produção dos pneus, a automação e robótica surgem como imperativos nesta etapa do processo.

Depois do processo de "pintura", o pneu segue para o processo de vulcanização onde, a partir desse momento, qualquer defeito no pneu se torna irremediável. Desse modo, a construção do "pneu em verde", e da fase de "pintura", têm uma grande importância na qualidade final do produto [7].

2.2 Robótica e automação na indústria

O desenvolvimento das máquinas CN (controlo numérico), do computador e dos circuitos integrados permitiu o aparecimento do primeiro robô industrial nos anos 60. Os primeiros robôs apareceram para substituir os humanos em tarefas monótonas, repetitivas, perigosas e de elevação e transporte de cargas pesadas, ou seja, tarefas que garantem uma má ergonomia para os operadores. O primeiro protótipo de um robô industrial surgiu por parte da General Motors em 1961 para soldadura por pontos [17–19].

No entanto, a utilização de robôs e automação começou a tornar-se comum e usada para todo o tipo de tarefas, o que criou alguma resistência, por parte dos operadores, que sentiam que estes lhe estavam a retirar os seus empregos. Foi, assim, difícil demonstrar com clareza quais os benefícios que a robótica e a automação podiam trazer à indústria e quais os seus prejuízos [18].

Apenas anos mais tarde, foi possível compreender os reais benefícios da robótica e da automação, no fundo do desenvolvimento e progresso da própria indústria, sendo estes o aumento da segurança, a redução de custos, a redução dos desperdícios, o aumento da eficiência e da

produtividade, o aumento da qualidade, a redução dos riscos dos operadores e a requalificação de alguns postos de trabalho, não sendo necessariamente um aspeto negativo, pois permite o desenvolvimento e o acréscimo da qualidade de formação de todos os trabalhadores.

Desse modo, a automação e a robótica estão muito presentes na indústria automóvel nos dias que correm e, como não podia deixar de ser, na produção de componentes para os automóveis, inclusive nos pneus [19].

2.2.1 Sistemas de transporte de pneus

Os elementos que devem limitar o tempo de produção dos pneus têm de ser as principais etapas de produção, pelo que tudo o que permita aumentar a cadência e a diminuição do tempo de produção, traz uma enorme vantagem. Para além desse aspeto, o peso dos pneus varia muito consoante a sua dimensão e o seu propósito, ou seja, por exemplo se é para um veículo ligeiro ou se para um trator agrícola, o que leva a que a sua massa possa ascender às 6 toneladas. Apesar do peso médio de um pneu comercial surgir em torno dos 12 kg, este valor é consideravelmente elevado para a ergonomia e o bem estar dos operadores tendo em conta a cadência com que se exige a sua produção.

Assim sendo, é muito comum visualizar-se em fábricas de pneus sistemas de tapetes transportadores para facilitar o seu transporte.

Os "pneus em verde" encontram-se num estado particularmente sensível pelo que o seu transporte tem de ser especialmente cuidado. Os "pneus em verde", para evitar que as suas faces sejam danificadas, costumam ser movimentados em tapetes transportadores de tela. Já os pneus vulcanizados podem ser movimentados em tapetes transportadores de rolos visto que são muito mais resistentes.

Para além do cuidado que os pneus exigem, o seu peso avultado torna o processo de movimentação por parte de um operador uma tarefa de elevada exigência física e repetitiva. Nesse sentido tem-se vindo a verificar um aumento considerável da robotização destes processos.

Para um robô pegar num determinado pneu, inicialmente é necessário ter em consideração as dimensões e o peso que o pneu pode atingir de modo a ser selecionado um robô que cumpra com as exigências do processo. De seguida, é necessário ter em consideração o espaço de trabalho que é exigido ao robô percorrer para estar incluído no volume de trabalho que o robô é capaz de alcançar. Por fim, é necessário ter em consideração como se deverá pegar no pneu, com que ferramenta de trabalho, e como se deve verificar novamente se os pontos anteriores se

mantêm cumpridos.

Os sistemas de manipulação de um pneu dependem do estado em que o pneu se encontra. No entanto, o sistema de manipulação mais habitual é uma ferramenta que se posiciona no centro do pneu e que, pneumática ou eletricamente, se abre e agarra no pneu pelas suas paredes interiores, designando-se tecnicamente este componente do pneu como o "talão". Um exemplo deste sistema pode ser visualizado na Figura 2.2.

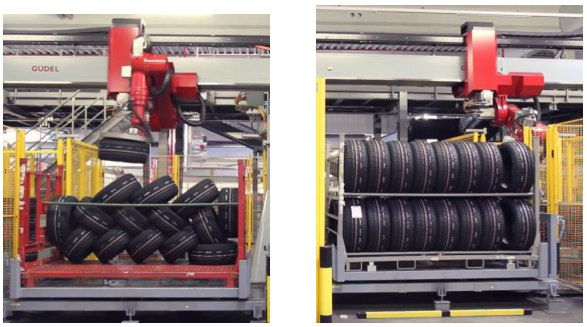


Figura 2.2 - Sistema habitual de transporte de um pneu através de um robô.

Para além desse sistema, os pneus no seu estado final permitem a recolha de múltiplos pneus empilhados como se pode observar na Figura 2.3.



Figura 2.3 - Sistema de empilhamento de pneus no seu estado final.



(a) (b)

Figura 2.4 - Formas de armazenamento de pneus no seu estado final [20].

2.2.2 Sistemas de armazenamento de pneus

Para além da função de transporte indiciada pelo seu próprio nome de "carro de transporte", estes têm igualmente uma função de armazenamento de pneus. Os "pneus em verde" são armazenados sobre os carros de transporte não só para facilitar o seu transporte como um conjunto, bem como para realizar o armazenamento sobre tabuleiros dispostos paralelamente uns aos outros. Os pneus no seu estado final, pelo contrário, já permitem a sobreposição de pneus, ocupando um menor espaço volumétrico.

Para além da capacidade de transporte que os pneus no seu estado final permitem, estes também permitem um mais fácil armazenamento. Podem-se observar duas formas distintas de armazenamento dos pneus nesta fase do processo na Figura 2.4.

Os "pneus em verde", contudo, exigem um sistema de armazenamento mais cuidado. O uso de carros de transporte dotados de tabuleiros é a solução que é utilizada na grande maioria das aplicações, sendo a mesma que irá ser utilizada no decorrer desta Dissertação.

Estes carros de transporte podem ter dimensões distintas, mas o seu modo de funcionamento é semelhante em todos. Os carros de transporte são constituídos por diversos tabuleiros, sendo que os tabuleiros são recolhidos imediatamente, através de um sistema de molas, assim que deixem de ter qualquer pneu sobre elas. Para baixar os tabuleiros, existem uns sistemas automáticos através de atuadores que as empurram de modo a que estas caiam com a ajuda do efeito da gravidade. A forma como estes tabuleiros são recolhidos pode ser observada na Figura 2.5.

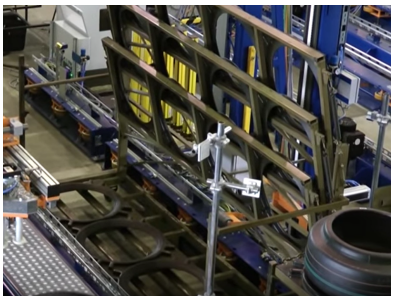


Figura 2.5 - Carro de transporte com posições definidas para os pneus [21].

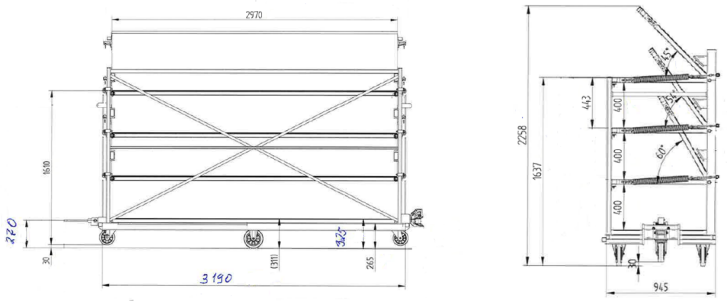
É igualmente importante observar o aspeto dos tabuleiros. No caso do carro representado na Figura 2.5, os tabuleiros têm furos definindo as posições exatas dos pneus. Antigamente, os carros de transporte tinham todos este aspeto. No entanto, começaram a surgir carros de transporte onde os tabuleiros são todos planos, como se pode visualizar no exemplo da Figura 2.6.



Figura 2.6 - Carro de transporte sem posições definidas para os pneus.

Os carros de transporte já não precisam ter posições físicas para os pneus, visto que o seu posicionamento é realizado através de robôs. Assim, os robôs garantem uma precisão e repetibilidade no posicionamento da ordem das décimas de milímetro. Consequentemente, os carros de transporte estão a evoluir para serem todos construídos com os tabuleiros planos.

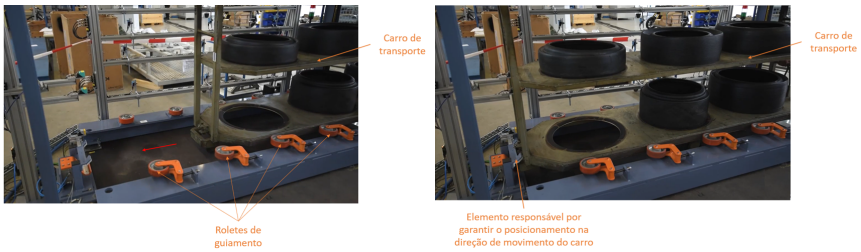
No presente trabalho, o objeto de trabalho do carro de transporte terá a configuração presente nas Figuras 2.6 e 2.7, configuração que garantirá algumas particularidades na definição da rotina, como se analisará mais à frente.



(a) Vista de frente (b) Vista da direita

Figura 2.7 - Carro de transporte utilizado.

Como se pode analisar, este carro de transporte apenas assenta sobre 2 rodas maiores na zona central do carro de transporte. As outras 2 rodas nas extremidades do carro de transporte apenas permitem o equilíbrio do carro. Desse modo, o carro de transporte não é possível fisicamente deslocar-se sobre as 4 rodas e não é suposto deslocar-se sobre 3 rodas de forma inclinada. Assim, para garantir a horizontalidade do carro de transporte, este é deslocado através de sistemas de guiamento. Estes sistemas, não só garantem o alinhamento do carro de transporte como também permitem definir o posicionamento de um carro de transporte de forma muito precisa. Este sistema pode ser observado na Figura 2.8.



(a) Em movimento (b) Parado

Figura 2.8 - Sistema de posicionamento do carro de transporte.

O carro de transporte é colocado manualmente por um operador no alinhamento do sistema de posicionamento do carro. Desde que o carro esteja alinhado, um sistema motorizado coloca o carro em movimento, movimentado-se sobre os roletes de posicionamento. O carro assegura depois o seu posicionamento devido à presença de uma batente no fim de curso. Assim, pode-se admitir um posicionamento bem definido do carro de transporte independentemente de qual a capacidade e dimensões do carro de transporte.

Capítulo 3

Recursos físicos do projeto

Neste Capítulo analisam-se os recursos físicos constituintes do projeto. É realizada uma análise e um desenvolvimento de uma ferramenta de trabalho de um robô, como pretendido para manipulação de "pneus em verde", tendo em conta as suas funcionalidades, capacidades e soluções apresentadas. São ainda selecionados elementos de *hardware* necessários para o desenvolvimento do projeto.

3.1 Caracterização do robô a utilizar

Para a aplicação desejada pretende-se aumentar a eficiência de uma tarefa que é atualmente executada manualmente. No sentido de automatizar este processo, surge a opção de utilizar um robô que permita retirar pneus de um carro de transporte de modo a alimentar uma estação de pintura, sendo posteriormente os pneus colocados de volta no carro de transporte, terminado o "processo de pintura" efetuado.

No seguimento da seleção do robô a utilizar, apresentam-se os requisitos que o mesmo tem de cumprir:

- ter um alcance que permita aceder a todos os pontos da rotina;
- permitir a manipulação de um pneu de 30 *kg* em qualquer um dos pontos da rotina.

De modo a se estudar o espaço volumétrico que o robô necessita contemplar, foram analisadas as dimensões do carro de transporte de 12 pneus representado na Figura 3.1.

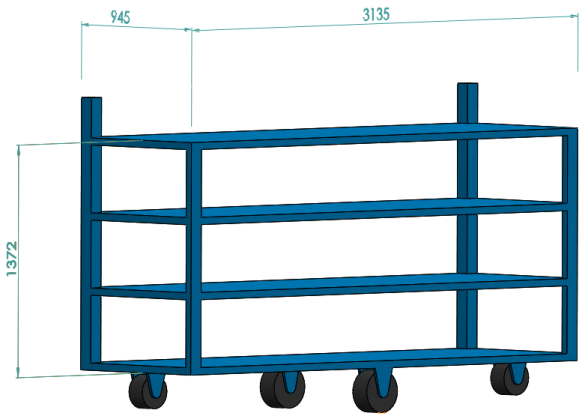


Figura 3.1 - Dimensões gerais do carro de transporte de 12 pneus.

O carro de transporte apresenta uma distância entre os tabuleiros extremos de 1397 *mm* e um comprimento total de 3135 *mm* pelo que o alcance do robô tem de abranger toda esta área envolvente.

Como a massa do pneu que se pretende manipular é de 30 *kg* , terá de ser acoplada ao robô uma ferramenta de trabalho que, numa fase de protótipo, se estima poder rondar cerca de 4 vezes a massa do pneu. Consequentemente, a capacidade de carga do robô tem de ter alguma margem de segurança relativamente aos 150 *kg* de carga que tem de transportar.

Posto isto, foram identificados 3 robôs, um de cada um dos maiores fabricantes de robôs industriais do mundo: a ABB, a FANUC e a KUKA. Na Figura 3.2 e Tabela 3.1 podem ser analisados os robôs selecionados [22–24].

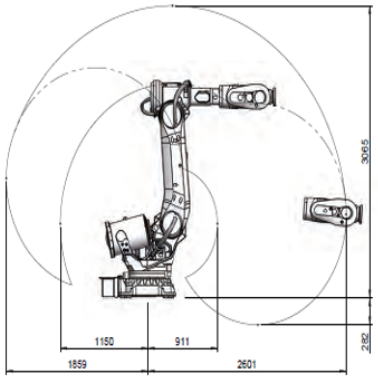
Tabela 3.1 - Características principais dos robôs selecionados.

Robô	**Capacidade de carga [kg]**	**Alcance [mm]**	**Eixos controlados**
ABB IRB 6700 200/2.60	200	2601	6
KUKA KR 240 KR2700 prime	240	2696	6
FANUC R-2000iC 210F	210	2655	6

Embora a empresa tenha disponíveis os 3 robôs, e assim uma qualquer aplicação tenha que contemplar a possibilidade de se utilizar qualquer um dos 3 robôs, é dada maior relevância ao robô FANUC, tornando-se o robô escolhido para a aplicação, sendo que o controlador do robô associado é o CP-1604.



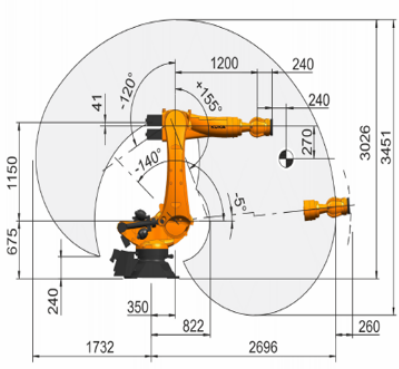
(a) ABB IRB 6700 200/2.60



(b) Alcance do robô ABB



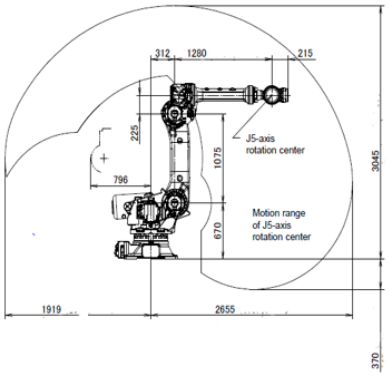
(c) KUKA KR240 KR2700 prime



(d) Alcance do robô KUKA



(e) FANUC R-2000iC 210F

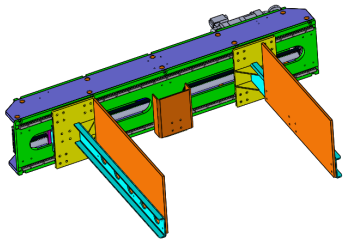


(f) Alcance do robô FANUC

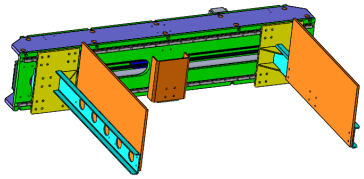
Figura 3.2 - Robôs identificados.

3.2 Desenvolvimento da ferramenta do robô

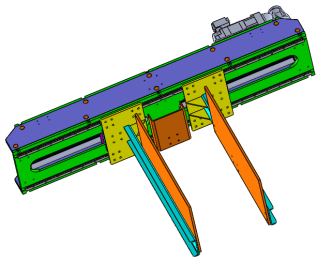
Para a manipulação dos "pneus em verde", foi projetada uma ferramenta que fosse capaz de realizar esta função de forma eficiente e segura. A primeira abordagem da ferramenta, ou seja, a abordagem que serve como ponto de partida para o presente trabalho, foi concebida pelo aluno Miguel de Magalhães Ferreira, na Unidade Curricular de Projeto/Estágio da licenciatura de Engenharia Mecânica no ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto), e que está representada na Figura 3.3.



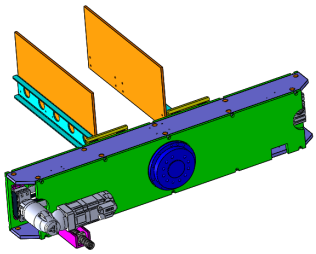
(a) Vista geral da ferramenta



(b) Vista de frente na sua posição de máxima abertura



(c) Vista de frente na sua posição de fecho



(d) Vista de trás na sua posição de fecho

Figura 3.3 - Conceção inicial da ferramenta.

No desenvolvimento desta ferramenta pretende-se garantir as seguintes capacidades:

- acoplar a ferramenta a um qualquer dos 3 robôs;
- ter capacidade para segurar e manipular um pneu com diâmetro externo desde 500 a 900 *mm* ;
- ter capacidade para segurar e manipular um pneu com um máximo de 30 *kg* ;
- permitir rodar o pneu de 180º, isto é, inverter a face no qual o pneu é pousado;
- ter capacidade para transportar o pneu para todas as posições da rotina;
- ter capacidade para pousar e recolher os pneus de forma segura.

3.2.1 Interface entre ferramenta e robô

A ferramenta é projetada para acoplamento ao robô FANUC R-2000iC 210F. Nesse sentido, importa analisar o punho do robô para entender como acoplar a ele uma ferramenta. Assim, pode-se observar a Figura 3.4.

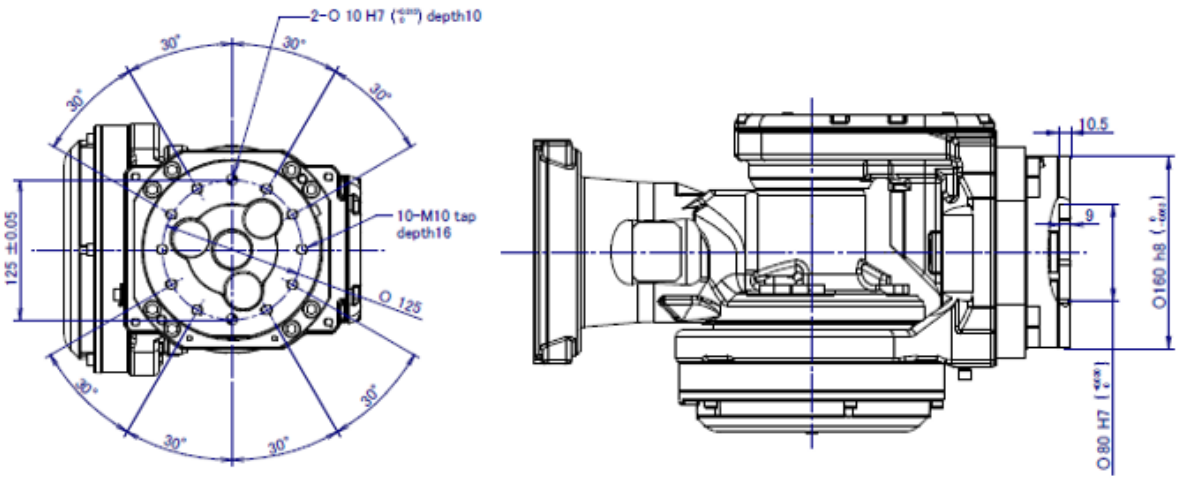
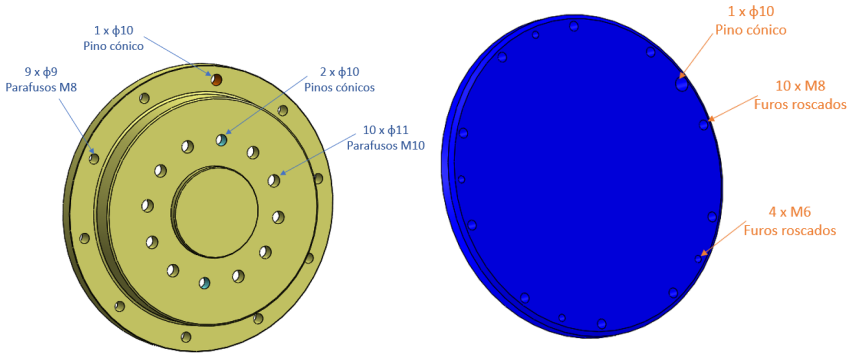


Figura 3.4 - Punho do robô FANUC R2000iC 210F [24].

Para montar uma determinada ferramenta no robô é necessária uma flange de interface que contenha tanto a furação de fixação da ferramenta como a do punho do robô. Esta flange tem de ser suficientemente robusta para suportar todo o peso da ferramenta, justificando assim o material escolhido. Para o sistema de aperto da flange à ferramenta e ao robô, a flange foi dividida em 2 meias-flanges, uma meia-flange macho, que permite a fixação ao robô, e uma meia-flange fêmea, que permite o aperto da flange à ferramenta. Este sistema, que pode ser observado na Figura 3.5, apresenta as seguintes características:

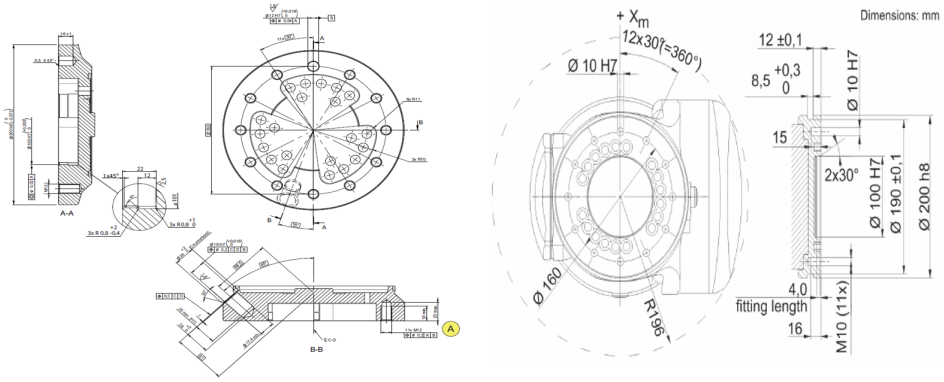
- furação interna da flange para fixação ao robô a $\phi 125$ *mm* ;
- furação externa da flange para fixação à ferramenta a $\phi 202{,}5$ *mm* ;
- secção de acoplamento central ao punho do robô de $\phi 80$ *mm* ;
- flange e porca interior em aço St37;
- massa total do sistema de acoplamento igual a 9,8 *kg* ;
- peças de revolução, a serem produzidas em torno mecânico.



(a) Meia-flange macho FANUC (b) Meia-flange fêmea universal

Figura 3.5 - Sistema de acoplamento e fixação ao robô.

Para além do sistema de acoplamento ao robô FANUC, é igualmente necessário ter uma flange para acoplar ao robô ABB IRB 6700 200/2.60, como também ao robô KUKA 240 R2700. Estas meias-flanges têm de permitir o acoplamento à ferramenta da mesma forma que a meia-flange macho do FANUC para que a meia-flange fêmea permaneça universal independentemente de qual o robô ao qual a ferramenta se vai acoplar. Do mesmo modo que para se analisar a meia-flange macho do FANUC se teve inicialmente que analisar o punho do robô, volta-se a repetir o mesmo procedimento agora para estes 2 robôs. Assim, pode-se analisar o punho de cada um dos robôs na Figura 3.6.

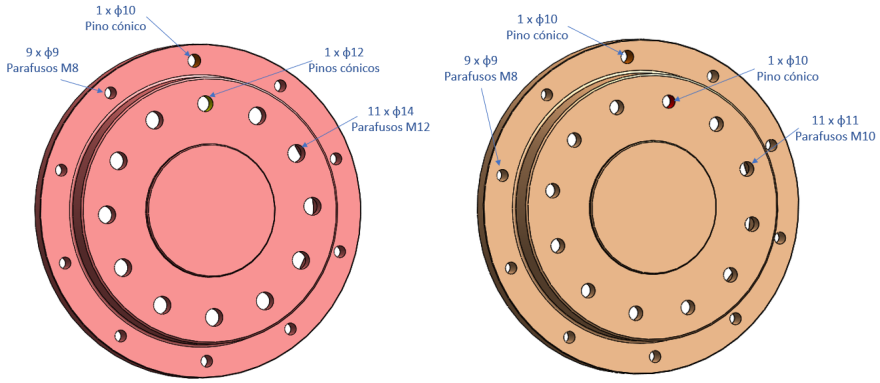


(a) Robô ABB IRB 6700 200/2.60 [22] (b) Robô KUKA KR240 R2700 [23]

Figura 3.6 - Punhos dos robôs.

As meias-flanges podem ser observadas na Figura 3.7. Seguem-se as seguintes características para as meias-flanges de acoplamento ao robô ABB e KUKA:

- furação interna das flanges para fixação ao robô ABB e ao robô KUKA a $\phi 160$ *mm* ;
- furação externa das flanges para fixação à ferramenta a $\phi 202{,}5$ *mm* ;
- secção de acoplamento central ao punho do robô ABB e KUKA de $\phi 100$ *mm* ;
- flanges em aço St37;
- flanges a serem produzidas em torno mecânico.



(a) Ao robô ABB IRB 6700 200/2.60 (b) Ao robô KUKA 240 R2700

Figura 3.7 - Flanges de acoplamento.

Os sistemas de acoplamento central aos punhos dos robôs têm um ajustamento deslizante com tolerância corrente H8/h8 nas 3 situações de modo a facilitar o processo de montagem mas também a exercer algum aperto durante a montagem das flanges ao robô. Em todas as flanges garante-se a presença de um pino cónico para facilitar o processo de centragem relativo à porca interior e 1 ou 2 pinos cónicos dependendo do robô para a centragem relativa ao punho do robô.

3.2.2 Atuador da ferramenta

O atuador da ferramenta é o sistema da ferramenta que permite agarrar e largar o pneu. Os pneus inicialmente encontram-se no carro de transporte com a face com o código de barras virada para baixo sendo necessário rodar o pneu para que a leitura do código de barras se realize através de um sensor que se encontra posicionado por cima do pneu. A necessidade de rodar o pneu surge, igualmente, porque o "pneu em verde" ao se encontrar muito tempo sobre uma determinada face, o pneu acaba por se deformar. Assim, antes do processo de "pintura" é necessário voltar a alongar o pneu para que este retome a sua estrutura inicial. Desse modo, o "pneu em verde" antes de entrar no processo de "pintura" mantém-se suspenso pela face deformada e, devido ao seu peso próprio e à sua elasticidade, regressa à sua forma inicial. O facto de o pneu ser pousado já com a face deformada orientada para cima, acaba por facilitar

a entrada no processo de "pintura". Enquanto que existem fabricantes de pneus com o código de barras colocados na face contrária à qual os pneus se encontram pousados, esta questão da deformação do pneu realiza-se em qualquer fabricante pelo que se torna manifestamente importante o robô inverter a face na qual o pneu é pousado antes de entrar no processo de "pintura".

Seguem-se as principais características que o atuador tem de permitir assegurar:

- a rotação do pneu;
- a integridade total do pneu;
- a manipulação de pneus de diâmetro entre os 500 e 900 *mm* ;
- a manipulação de pneus até 30 *kg* .

No seguimento da necessidade de rodar o pneu, o sistema de atuação da ferramenta não pode utilizar as paredes interiores do pneu mas sim as paredes exteriores para efetuar a sua preensão. A ferramenta tem, assim, de segurar os pneus lateralmente. Para esse efeito a solução encontrada é a utilização de um atuador linear.

Para assegurar a integridade total do pneu ao recolher os pneus, pretende-se assegurar que o fecho da ferramenta ocorra de modo síncrono entre o braço da ferramenta do lado direito e o do lado esquerdo. Como o diâmetro do pneu varia entre 500 e 900 *mm* , pretende-se que a ferramenta se adeque ao pneu. Ou seja, sabendo à partida as dimensões do pneu que se vai recolher, pretende-se aumentar a eficiência do processo e pretende-se que a ferramenta se dirija ao pneu não na sua posição de máxima abertura, mas naquela que melhor se aproxima, desde o início, ao diâmetro externo do pneu. Consoante a dimensão do pneu, a posição de fecho da ferramenta varia. Consequentemente, foi escolhido um atuador linear de atuação elétrica para controlar a posição de abertura e fecho da ferramenta.

Ao dirigir-se para um determinado pneu, a ferramenta não deve ir aberta exatamente com a abertura do diâmetro do pneu, nem deve fechar apenas encostando ao pneu. Assim, a ferramenta tem de realizar um curso mínimo total de 500 *mm*, 400 *mm* devido à variação de diâmetros e 100 *mm* devido à posição de abertura máxima relativa ao pneu de maiores dimensões e de fecho da ferramenta.

Para determinar a força de fecho do atuador necessária para reter um pneu de sua massa igual a 30 *kg* , pode-se visualizar o esquema da Figura 3.8 que representa as forças dos braços da ferramenta a segurar no pneu.

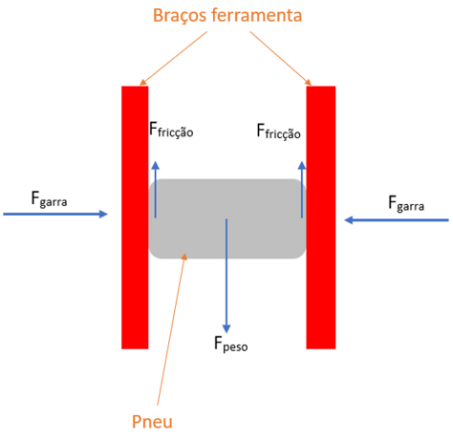


Figura 3.8 - Esquema de forças atuadas no sistema braços da ferramenta + pneu.

Para reter um pneu de peso máximo de 30 kg , a superfície de contacto entre o pneu e a ferramenta será realizada através de tiras de borracha acopladas aos braços da ferramenta para aumentar o atrito da superfície. Visto que o coeficiente de atrito borracha-borracha é de 1,16 [25], procede-se à verificação da capacidade de fecho do atuador para suportar pneus de 30 kg nas equações 3.1 à 3.6.

$$F_{\text{fricção total}} > P_{pneu} \tag{3.1}$$

$$F_{\text{fricção total}} = 2 \times F_{\text{fricção}} \tag{3.2}$$

$$P_{pneu} = m_{pneu} \times g = 30 \times 9,8 = 294\ N \tag{3.3}$$

$$F_{garra} = \frac{F_{\text{fricção}}}{2 \times \mu_{borracha-borracha}} \tag{3.4}$$

$$F_{garra} > \frac{P_{pneu}}{2 \times \mu_{borracha-borracha}} \tag{3.5}$$

$$F_{garra} > \frac{294}{2 \times 1,16} = 127\ N \tag{3.6}$$

Até ao momento não se contemplou a inércia da carga durante a movimentação do robô. Para que a capacidade de fecho mínima seja capaz de segurar num pneu de 30 kg com um devido fator de segurança de 1,5 e considerando uma inércia de 1/4 do peso da carga do pneu, considera-se uma capacidade mínima de fecho de 300 N.

Resumem-se, de seguida, as principais características que o atuador deve apresentar:

- atuador linear duplo;
- atuador síncrono;
- acionamento elétrico;
- curso total mínimo de 500 mm ;
- capacidade de força de fecho mínima de 300 N.

Assim, optou-se por uma solução já existente no mercado, o eixo linear de atuação elétrica da FESTO ELGG-TB-55-450-20H-M. Na Tabela 3.2 podem-se observar algumas características principais deste atuador.

Tabela 3.2 - Principais características do atuador ELGG-TB-55-450-20H-M [26].

Característica	
Método de funcionamento	Corrente dentada com guia de suporte simples
Tamanho	55
Curso de cada carro $[mm]$	450
Força máxima de fecho combinada $[N]$	350
Velocidade $[m/s]$	3
Máxima aceleração $[m/s^2]$	50
Peso $[kg]$	14,9
Suporte central	Sim

O eixo linear de atuação elétrica pode ser observado na Figura 3.9.

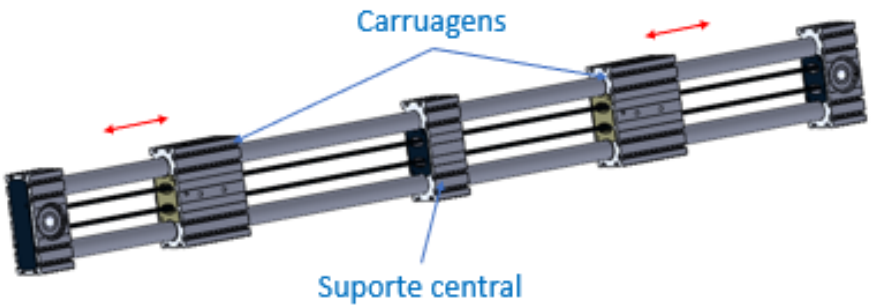


Figura 3.9 - Eixo linear ELGG-TB-55-450-20H-M.

Com os dados do eixo linear pode-se agora analisar a aceleração máxima com que se pode movimentar o robô durante a manipulação de um pneu.

$$F_{\text{fricção}} = F_{garra} \times \mu_{borracha-borracha} = 350 \times 1,16 = 406\ N \tag{3.7}$$

$$F_{\text{fricção total}} > F_{peso} + F_{\text{inércia}} = 30 \times 9,8 + 30 \times a_{\text{robô}} \tag{3.8}$$

$$a_{\text{robô}} < 17,3\ m/s^2 \tag{3.9}$$

3.2.3 Corpo central da ferramenta

O corpo central da ferramenta é o corpo da ferramenta que tem de permitir englobar todos os conjuntos de funcionamento da ferramenta. Nesse sentido, pretende-se um corpo suficientemente rígido para dar robustez ao conjunto, mas sem acrescentar peso de forma desnecessária.

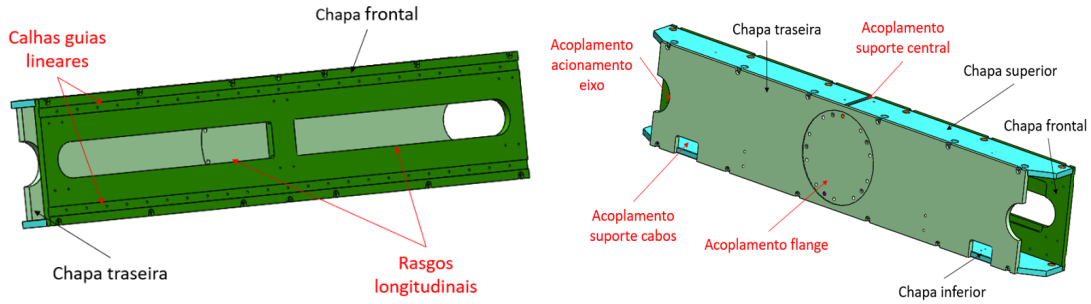
O corpo central da ferramenta tem de assegurar as seguintes características:

- disponibilizar uma face compatível com a interface de ligação ao robô;
- permitir a instalação do eixo linear;
- interligação com braços de aperto da ferramenta;
- ter uma massa global otimizada.

Assim, o corpo tem uma estrutura principal constituída por 4 chapas metálicas que formam um paralelepípedo, sem as faces de topo. O acoplamento do eixo linear é assegurado por uns rasgos na chapa frontal do corpo que permitem o movimento das carruagens e sua ligação aos braços de aperto da ferramenta. Na chapa traseira do corpo é disponibilizada uma face para acoplamento com a interface ao robô. As 2 chapas, superior e inferior do corpo dão robustez à estrutura, permitindo a consolidação estrutural entre as 2 chapas frontal e traseira, criando o espaço adequado para a instalação do eixo linear no seu interior.

O conjunto de 4 chapas do corpo são em liga de alumínio de alta resistência, que garante boa maquinabilidade, para além de um bom acabamento superficial. Todas as quatro chapas são simétricas relativamente ao eixo da ferramenta para facilitar o processo de montagem e

aumentar a versatilidade das peças. O conjunto do bloco central da ferramenta pesa cerca de 50 *kg* e está representado na Figura 3.10.



(a) Vista de frente (b) Vista de trás

Figura 3.10 - Conjunto do bloco central da ferramenta.

Na chapa frontal observam-se duas calhas para alocar as guias lineares que vão permitir o deslocamento dos braços da ferramenta sob um maior suporte físico. As guias serão dimensionadas na Secção 3.2.5. Os dois rasgos longitudinais sobre essa chapa permitem a fixação dos braços a cada uma das carruagens do eixo linear.

A chapa frontal contém, ainda, os rasgos para permitir o deslocamento do sistema de transmissão de movimento sobre a chapa. O rasgo central permite o curso total do eixo linear, ainda que os pneus tenham um diâmetro mínimo de $\phi 500$. Esse espaço central, contudo, tem de ser suficientemente largo para evitar criar pontos críticos naquela zona e permitir a fixação do suporte central do eixo à chapa frontal.

Em relação à chapa traseira, esta apresenta duas superfícies que permitem o acoplamento de qualquer uma das 3 meias-flanges macho e da meia-flange fêmea para a fixação ao robô. Os rasgos laterais circulares permitem a passagem do conjunto do motor. Os rasgos retangulares permitem o acoplamento de um sistema de apoio e passagem dos cabos elétricos. Este sistema, como se verá na Secção 3.2.7, sofrerá algumas alterações em relação ao previsto inicialmente.

3.2.4 Superfície de referência central da ferramenta ao pneu

A ferramenta acoplada ao robô, ao aproximar-se do pneu, tem uma superfície central que serve de referência para o pneu. O robô ao posicionar-se perante um pneu, não se pretende que a ferramenta encoste no mesmo. Assim, ao agarrar o pneu fica-se apenas com 2 pontos de contacto laterais exigindo um maior aprisionamento do pneu para evitar que o pneu rode sobre si mesmo. A possibilidade de a ferramenta encostar no pneu, de se assegurar 3 pontos de contacto

com o pneu, é uma impossibilidade devido à necessidade de se centrar o pneu em altura em relação à ferramenta, como se analisará na Secção 3.2.6. É importante realçar que a variação da altura do pneu não terá efeitos no ponto de contacto devido ao ajuste que o robô fará no ponto de recolha de cada pneu, como se analisará igualmente na Secção 3.2.6. A carga aplicada sobre esta superfície por parte do pneu é nula. Ainda assim, em caso de falha do sensor que será colocado nesta superfície, o pneu pode embater contra esta superfície. Esse impacto obriga a que este suporte tenha suficiente robustez e rigidez de forma a suportá-la sem dificuldades.

Nesse sentido, a superfície de referência central da ferramenta ao pneu deve:

- permitir acompanhar uma variação de altura entre os 180 e 350 *mm* ;
- ser uma solução robusta e rígida;
- manter-se como limite inferior da ferramenta.

Nesse sentido, a base de referência central da ferramenta ao pneu passa a ser constituída por 3 elementos. Para aumentar a sua rigidez a base de referência é fixa sobre duas bases de encaixe. Uma base de encaixe é fixa sobre a chapa superior e a outra é fixa sobre a chapa inferior do corpo central da ferramenta. A base de referência permite ainda a fixação de um sensor, o qual se abordará na Secção 3.2.6.

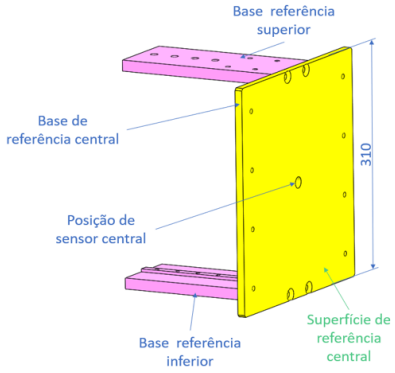


Figura 3.11 - Referência central da ferramenta ao pneu.

3.2.5 Braços de aperto da ferramenta

Os braços de aperto da ferramenta devem agarrar no pneu através de 2 pratos que se deslocam com o movimento síncrono das carruagens do atuador linear. Devido ao peso dos braços e do pneu que se pretende manipular, não se pode permitir que a carga esteja toda suportada

pelas carruagens do eixo linear, uma vez que o eixo tem uma capacidade de carga algo limitada, como se pode ver na Tabela 3.3. A Figura 3.12 permite interpretar os valores da Tabela referida.

Tabela 3.3 - Forças e binários permitidos para uma vida útil de 2500 km por carruagem.

Forças e binários admissíveis	
F_y^{max} $[N]$	300
F_z^{max} $[N]$	300
M_x^{max} $[Nm]$	5
M_y^{max} $[Nm]$	16
M_z^{max} $[Nm]$	16

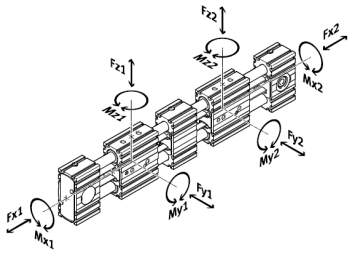


Figura 3.12 - Esquema de forças exercidas sobre o eixo linear [26].

Para evitar uma sobrecarga sobre o eixo linear, foi considerado suportar a carga em movimento sobre guias lineares. Assim, as guias lineares permitem o deslocamento dos braços através de patins que suportam mais esforços que aqueles que o eixo linear suporta. Para a seleção das guias é necessário definir primeiro a estrutura e geometria dos braços da ferramenta.

Os braços de aperto da ferramenta têm de assegurar as seguintes características:

- permitir o suporte e movimento sobre guias lineares;
- permitir o movimento síncrono com as carruagens do eixo linear;
- permitir agarrar em pneus de diâmetro entre 500 e 900 *mm* ;
- permitir agarrar em pneus de altura entre 180 e 350 *mm* .

O braço de aperto da ferramenta é constituído por um prato de aperto, que é uma chapa de alumínio onde na conceção inicial da ferramenta é fixa uma tira de borracha para permitir fazer o encosto lateral e a retenção do "pneu em verde". Este prato de aperto tem uma altura que garante

o acompanhamento dos pneus de menor altura, bem como dos de maior altura. O prato de aperto, que permite realizar o encosto lateral ao pneu, está aparafusada a uma barra metálica que permite acompanhar lateralmente o pneu desde a guia linear até ao final do acompanhamento do pneu. Desse modo, esta barra metálica tem um comprimento total de 800 *mm* . Como elemento de ligação entre a barra metálica e os patins da guia é necessário um elemento que permita fixar-se aos patins, bem como à barra metálica do braço.

Como elemento de ligação para garantir o movimento síncrono dos braços com as carruagens do eixo linear, é considerado um sistema de ligação por guiamento através de um mecanismo que funciona como um sistema de lingueta e ranhura. Visto que o peso dos braços está quase todo suportado pelos patins e guias lineares, este sistema apenas tem de assegurar o seu bom guiamento. Assim, o ajuste é realizado através das faces laterais com um ajuste JS9/h9. Esta base de transmissão e a sua posição referente à ferramenta pode ser observada na Figura 3.13 e 3.14 respetivamente.

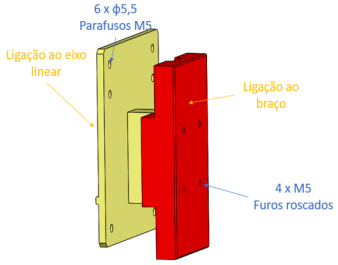
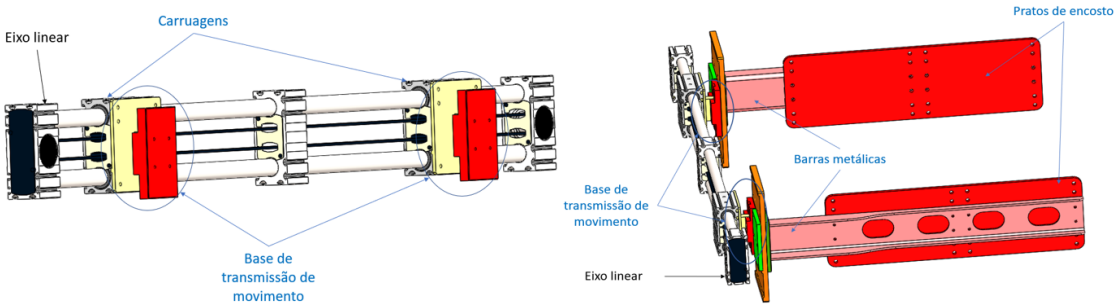


Figura 3.13 - Base de transmissão de movimento.



(a) Relativo ao eixo (b) Relativo ao braço

Figura 3.14 - Posicionamento da base de transmissão de movimento.

O braço inicialmente previsto pode ser visualizado na Figura 3.15.

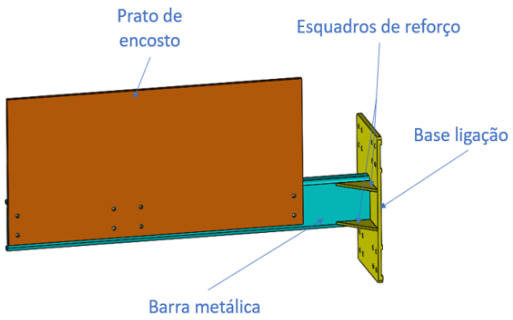


Figura 3.15 - Conceção inicial do braço de aperto sem tiras de contacto com pneu.

Na conceção inicial da ferramenta, a barra metálica do braço é soldada à base de ligação entre os patins e a barra, com 2 esquadros de reforço para evitar a encurvadura, algo a reconsiderar tendo em conta o lado da barra onde se encontra e o aspeto visual. Para além desse ponto, pretende-se ter um elemento que sirva de ligação entre a barra e essa base de ligação, permitindo que essa base seja em alumínio. Essa base passa, assim, a servir como suporte da barra metálica.

O prato de aperto, de encosto lateral ao pneu, permite fixar uma tira de borracha que entra em contacto com o pneu. Desse modo, o seu comprimento foi considerado para acomodar-se a todos os diâmetros de pneus solicitados e a sua largura para acompanhar uma grande área de contacto do pneu, evitando elevadas pressões de aperto e consequentes deformações.

O posicionamento previsto do prato que faz o encosto lateral ao pneu não permite assegurar o bom acompanhamento aos pneus de altura de 180 *mm* e de 350 *mm* porque não permite que o pneu fique centrado em altura com a ferramenta. Nesse sentido, na reformulação do braço pretende-se colocar em vez de uma só tira de borracha, duas para aumentar a capacidade de retenção sobre o pneu através de uma bolsa de ar que se assegura entre as tiras de borracha. Para a ferramenta se poder posicionar perante o "pneu em verde" através da base inferior do suporte central como referência e tendo em conta a altura entre os tabuleiros do carro de transporte, é necessário um reposicionamento na ferramenta pratos de aperto.

Assim, tendo em conta a análise à conceção inicial, é necessário proceder às seguintes alterações:

- evitar os esquadros de reforço;
- evitar soldar barra metálica diretamente à base de suporte da barra;
- reposicionamento do prato de aperto ao pneu.

Para a análise a uma redefinição da geometria da barra metálica é importante conferir a disposição dos pneus no carro de transporte e a distância mínima livre entre dois pneus consecutivos e entre um pneu e a estrutura do carro de transporte. Essa análise pode ser realizada com base na Figura 3.16.

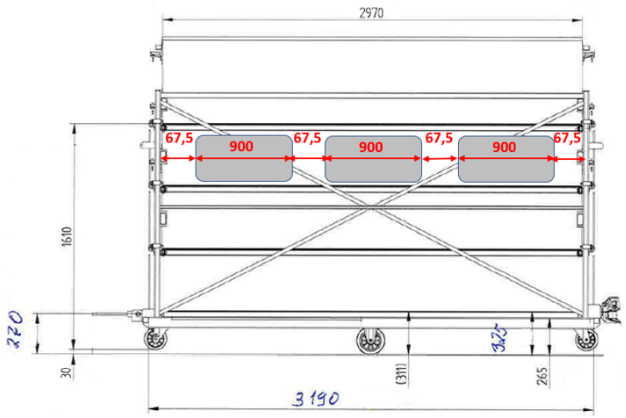


Figura 3.16 - Distâncias mínimas entre pneus consecutivos no carro de transporte.

A geometria da barra metálica tem de ter em consideração que ao pegar num determinado "pneu em verde", não pode afetar a posição do pneu imediatamente ao lado ou mesmo a estrutura do carro de transporte dos pneus. Assim, tendo em conta a redefinição da barra metálica, exposta na Figura 3.17, podem ser observadas nas Figuras 3.18a e 3.18b que o espaço no caso limite entre a ferramenta e o pneu imediatamente ao lado é de apenas 28 *mm* , tendo de ser analisada com muito cuidado visto que não estão representadas as tiras de borrachas que reduzem esse intervalo. A ferramenta, ao se aproximar do pneu, tem os seus braços afastados o suficiente para não embater no pneu que se pretende manipular. No entanto, estes, não podem estar demasiado afastados de modo a colidir com o pneu imediatamente ao lado, ou mesmo na estrutura do carro de transporte. Tenta-se criar uma geometria da própria barra metálica que permita atenuar a sua eventual deformação elástica.

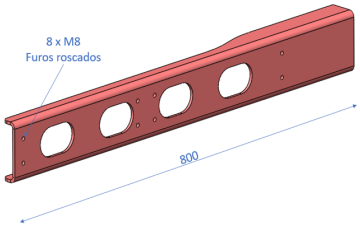
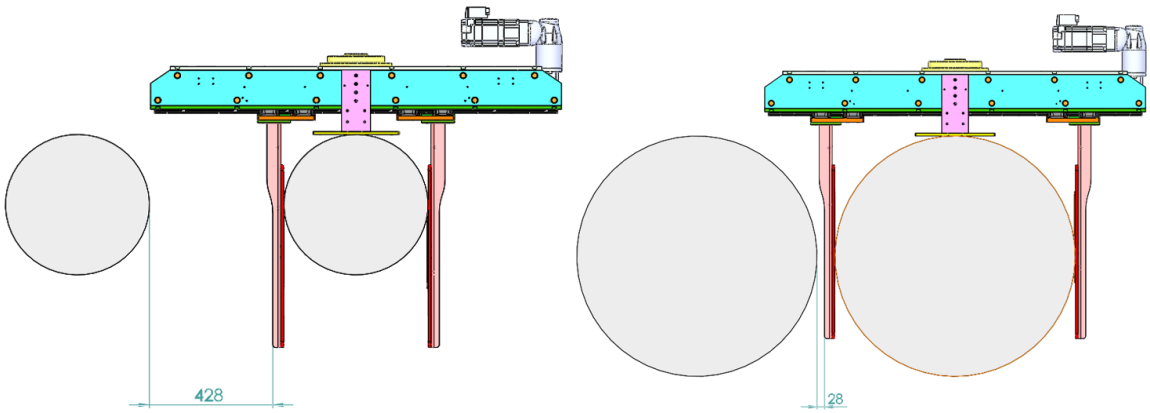


Figura 3.17 - Nova geometria da barra metálica.



(a) Teste com pneus de diâmetro $\phi 500$ (b) Teste com pneus de diâmetro $\phi 900$

Figura 3.18 - Teste das dimensões da ferramenta.

A base da barra é a única peça em alumínio dos braços da ferramenta. Assim sendo, todas as outras peças são em aço. Visto que o sistema de acoplamento da barra metálica é através de soldadura, e a soldadura entre uma peça em alumínio e outra em aço é muito cara e de grande dificuldade, a peça de ligação entre a barra metálica e a base de suporte tem igualmente de ser em aço St55 tal como a barra metálica. Desse modo, são definidas duas peças em aço por cada braço, uma base que serve para soldar a barra metálica e aperta numa base de aperto roscada também em aço St55 para evitar roscar em alumínio. Assim, garante-se um maior aperto e uma melhor fixação do braço da maxila. Para facilitar no processo de montagem, a base de suporte da barra metálica deve fazer o alinhamento para a base de aperto e a peça do sistema de guiamento do braço. A base de suporte da barra do braço da ferramenta tem ainda uma face de alinhamento no processo de montagem dos patins das guias inferiores. Este alinhamento pode ser observado na Figura 3.19.

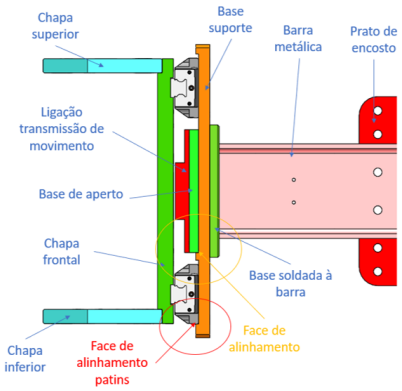


Figura 3.19 - Alinhamento da base de suporte da barra.

Devido ao redimensionamento do suporte central de encosto ao pneu e ao seu funcionamento, o suporte de encosto remete para a superfície de alinhamento relativamente à aproximação ao pneu. Assim, a face delimitadora inferior da ferramenta é dada pelo suporte de encosto e pela base de encaixe inferior, tal pode ser verificado na Figura 3.20. Para referência de alinhamento da ferramenta em relação ao carro de transporte, tapetes transportadores e todos os outros elementos constituintes da rotina, o TCP (*tool center point*, ou seja, a origem do referencial da ferramenta) é disposto no ponto central da face de encosto do suporte central de encosto, como se pode observar na Figura 3.21.

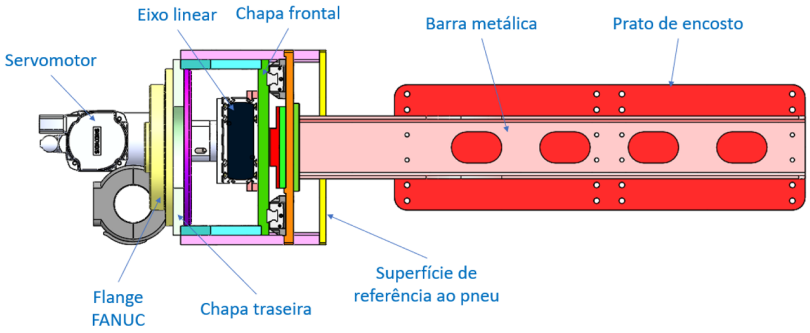


Figura 3.20 - Alinhamento da superfície de referência ao pneu.

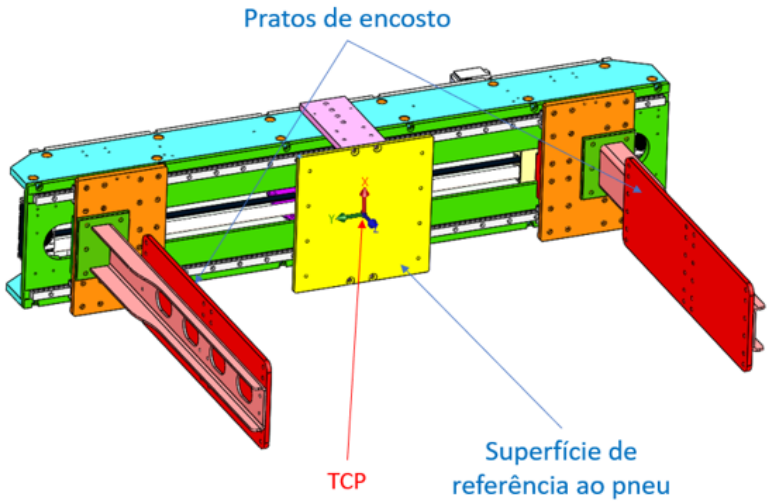


Figura 3.21 - TCP da ferramenta.

O braço da garra da ferramenta direito pode ser assim observado na Figura 3.22.

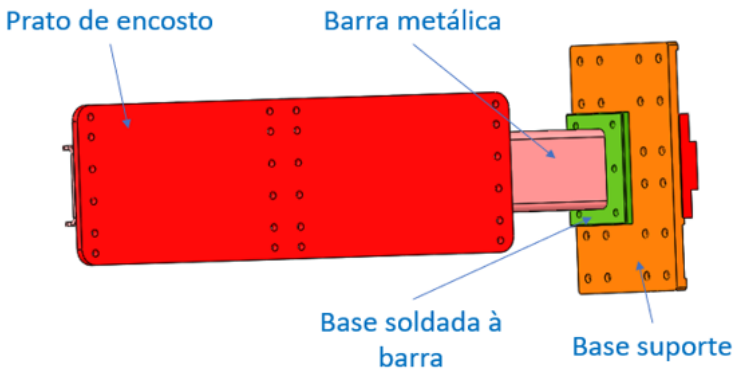


Figura 3.22 - Nova versão do braço direito da ferramenta.

Definida a geometria e a estrutura dos braços da ferramenta, pode-se agora selecionar as guias lineares adequadas. Pretende-se ter 2 guias lineares para facilitar o deslocamento dos braços e 4 patins por cada braço, 2 patins movimentam-se sobre a guia superior e os outros 2 sobre a guia inferior. Assim sendo, o braço da ferramenta encontra-se bem suportado e com bom guiamento.

Por uma questão de segurança, testa-se a capacidade de um único patim suportar a carga exercida pelo, e sobre, o braço da maxila. Assim, garante-se um coeficiente de segurança de 4.

Para seleção das guias lineares e dos respetivos patins, estes têm de suportar as condições críticas desejadas, ou seja, um pneu de 30 *kg* de ϕ900 *mm* :

- massa de cada braço de 28 *kg* aplicada a cerca de 330 *mm* do patim;
- carga de 15 *kg* aplicada pelo pneu em XX a cerca de 510 *mm* do patim;
- carga de 15 *kg* aplicada pelo pneu em ZZ a cerca de 510 *mm* do patim.

O esquema de representação da carga do pneu sobre as guias e o carro pode ser observado na Figura 3.23.

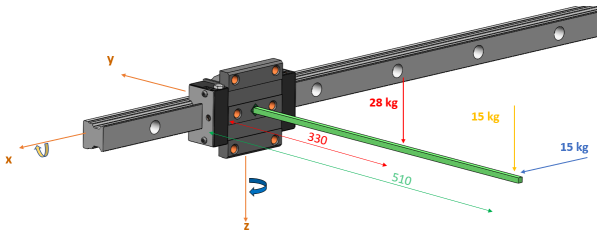


Figura 3.23 - Esquema das forças atuantes sobre o patim das guias.

$$M^x_{real} = P_{\text{braço}} \times L_{\text{centro de massa braço}} + P_x \times L_{carga-guia} \tag{3.10}$$

$$M^x_{real} = 28 \times 9,8 \times 0,330 + 15 \times 9,8 \times 0,510 = 165,5Nm \tag{3.11}$$

$$M^z_{real} = P_z \times L_{carga-guia} \tag{3.12}$$

$$M^z_{real} = 15 \times 9,8 \times 0,510 = 75,0Nm \tag{3.13}$$

É necessário, então, que o patim da guia permita absorver um momento em XX de 165,5 *Nm* e um momento em ZZ de 75,0 *Nm*. Pelo catálogo da Shaefller, as guias selecionadas previstas inicialmente têm de ser corrigidas para as guias lineares TKVD20-1400-40-40-G2 e os patins KWVE20-B-V1-G2-L1/S16, patins com conexão para lubrificante. As guias lineares selecionadas têm um comprimento de 1400 *mm* e podem ser visualizadas em conjunto com os patins na Figura 3.24.

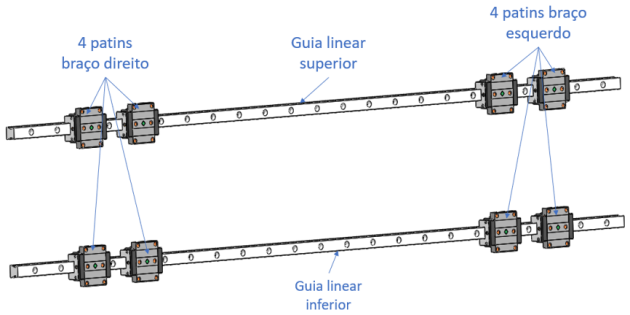


Figura 3.24 - Conjunto de guias lineares e patins.

3.2.6 Sensorização

Para controlar a abertura e fecho da ferramenta, pretende-se recorrer ao controlo por posicionamento do servomotor. Para confirmar o encosto dos braços da maxila ao pneu e garantir que a ferramenta retém de forma segura o pneu, opta-se pela inclusão de um detetor que seja capaz de identificar esse encosto.

Este sistema tem de assegurar as seguintes características:

- identificação do encosto dos pratos de aperto ao pneu;
- compatibilidade com variação de diâmetro do pneu de 500 a 900 *mm* ;
- compatibilidade com variação de altura de 180 a 350 *mm* .

Uma das grandes dificuldades da colocação de um sensor para a deteção de encosto de um pneu relativamente aos braços da ferramenta é a variação do ponto de contacto entre ambas as superfícies. Dependendo do diâmetro externo do pneu esse ponto de contacto pode estar abrangido num intervalo de 175 *mm* , como se pode observar na Figura 3.25.

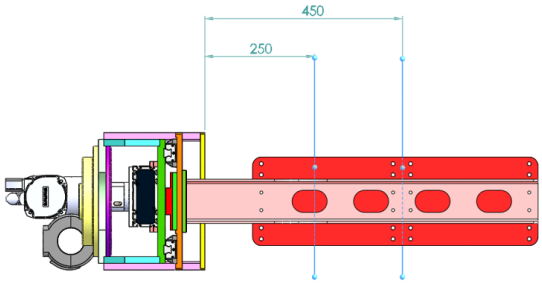


Figura 3.25 - Distância do ponto de centro de contacto dos braços da maxila com o pneu, relativamente à superfície de encosto frontal.

Posto isto, é de difícil colocação um sensor capacitivo, fotoelétrico ou de pressão que abranja toda essa área. Tendo em conta, ainda a variação dos diâmetros dos pneus, é impossível verificar a presença de um pneu através do posicionamento da base da barra metálica, ou seja, através da posição do *encoder* do servomotor. Assim sendo, uma alternativa seria a colocação de um sensor capacitivo ou fotoelétrico que estivesse posicionado sobre a base da barra metálica paralelamente às tiras de borracha que perfazem a superfície de encosto lateral ao pneu. No entanto, esta solução seria de dificuldade extrema de garantir devido ao alinhamento do sensor para detetar um pneu a uma distância de 200 *mm* , eventualmente.

Assim, a solução encontrada foi a de criação de um detetor de contacto mecânico que permita abranger todas as dimensões dos pneus. Este sistema não só tem de ter um comprimento de 200 *mm* que garanta que tanto os pneus de 500 *mm* de diâmetro como os de 900 *mm* sejam detetados, como também deve admitir a deformação dos pneus, ou seja, um alongamento da sua área de contacto. A deformação de um pneu, aquando do encosto da ferramenta, depende das dimensões dos pneus e da forma como estes são constituídos. Ou seja, há pneus que se deformam mais facilmente do que outros que se deformam apenas ligeiramente, não dependendo esta deformação exclusivamente do diâmetro do pneu.

Com a solução de detetor de contacto mecânico, o que se pretende é algo capaz de garantir um determinado deslocamento quando ocorre o encosto do pneu e que retome a sua posição quando ocorre o desencosto do pneu. Ou seja, pretende-se uma solução que depende de uma reação por uma mola. Nesse sentido, uma primeira abordagem a este problema recorre à utilização de uma peça de determinada geometria para garantir o seu deslocamento em aço mola. Esta peça surge fixa à barra metálica e com uma base de suporte para acoplar um sensor indutivo que deteta a aproximação do componente em aço mola. A geometria deste sensor permite ainda o aproveitamento dos furos da barra metálica e tem uma geometria parabólica de forma a garantir o seu deslocamento ao longo da área de contacto com os pneus.

Este sistema tem um inconveniente demasiado importante, a dificuldade de garantir que o encosto de um pneu na extremidade do sensor mecânico se traduza num deslocamento no seu ponto médio de forma a ser detetado um determinado deslocamento pelo sensor indutivo. Assim, esta solução, que pode ser observada na Figura 3.26, não foi adotada para solucionar o problema.

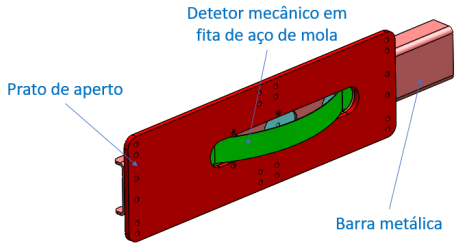


Figura 3.26 - Deteção de pneu por detetor mecânico baseado em fita de aço de mola.

Para além das características já referidas anteriormente que têm de ser garantidas através do detetor mecânico, é ainda particularmente importante que seja uma solução compacta. Isto deve-se ao facto de não dever interferir com a distância entre a barra metálica e o pneu imediatamente a seu lado, ou seja, não deve afetar a distância mínima de 28 *mm* referida na Secção 3.2.5.

Assim, foi estudada uma alternativa que permitisse ter uma peça que funcionasse como batente e acompanhasse todo o encosto do pneu paralelamente ao prato de encosto. Este batente move-se quando o pneu encosta no mesmo e recuando por efeito de molas. Na face posterior deste batente encontra-se um detetor, o qual deve detetar a presença de um postiço que está fixado a uma chapa de aperto deste encosto, que suportam igualmente as molas. Este mecanismo pode ser melhor entendido através das Figuras 3.27 e 3.28.

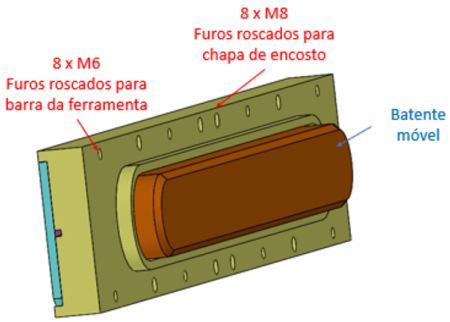
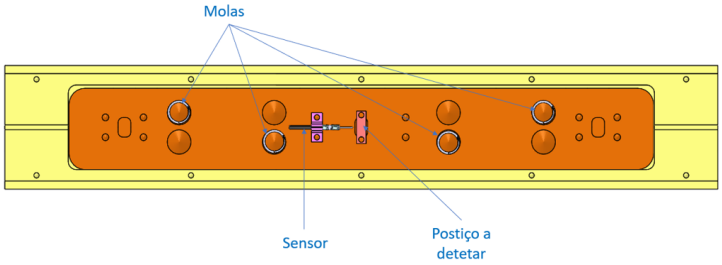
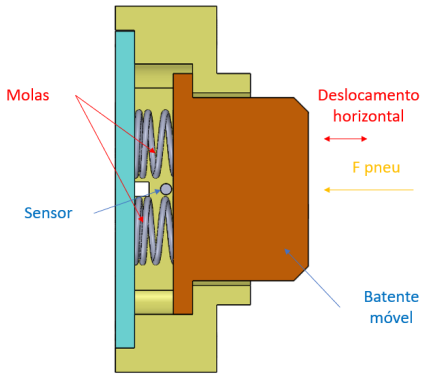


Figura 3.27 - Solução de deteção de encosto mecânico.



(a) Vista de trás sem a chapa traseira do conjunto de deteção de encosto mecânico



(b) Vista lateral em corte do conjunto de deteção de encosto mecânico

Figura 3.28 - Esquemas do conjunto de deteção de encosto mecânico lateral.

Na Figura 3.29 pode-se observar a posição da zona de contacto do pneu relativamente ao sistema de batente mecânico criado.

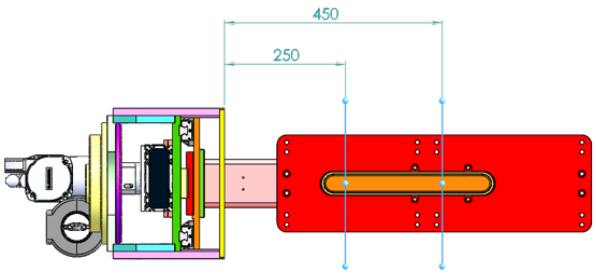


Figura 3.29 - Referência do ponto de contacto do pneu com o batente.

A inclusão deste batente mecânico pressupõe que qualquer pneu contacte com o mesmo e seja capaz de o fazer deslocar. Caso a ferramenta seja totalmente inserida entre os tabuleiros do carro de transporte e o limite inferior da ferramenta fique a 30 *mm* do tabuleiro para um pneu de altura 180 *mm* , o pneu contacta o batente mecânico a cerca de 5 *mm* do meio da sua altura, como se pode verificar na Figura 3.30.

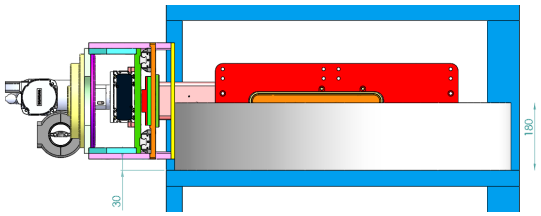


Figura 3.30 - Alinhamento da ferramenta com carro de transporte, para pneu de 180 *mm* de altura.

Pretende-se que o encosto do pneu se verifique ao longo de toda a altura do pneu e desta forma não se cumpre o último ponto que o sistema tinha de assegurar, o de permitir uma variação de altura de 180 a 350 *mm* . Apresentam-se de seguida as possíveis alternativas para contornar este problema:

- deslocar o sistema de batente para reduzir a altura onde se encontra;
- deslocar todo o braço para reduzir a altura onde se encontra;
- alargar em altura o detetor mecânico de encosto ao pneu;
- compactar a ferramenta em altura;
- abdicar de que a ferramenta se posicione toda entre tabuleiros.

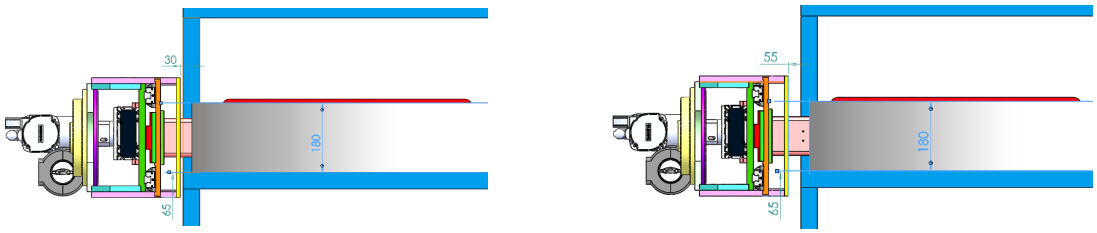
Ao recolher um pneu do carro de transporte, a face de alinhamento com o carro de transporte é sempre a mesma. No entanto, quando se encontra a preencher o carro de transporte, a

ferramenta recolhe os pneus do tapete transportador invertida 180º, ou seja, a face que anteriormente era a face superior passa agora a ser a face inferior. Assim sendo, as duas primeiras alternativas deixam de ser admissíveis porque não resolvem o problema, eliminam o problema ao recolher do carro de transporte mas mantêm o problema ao recolher do tapete transportador de saída.

A possibilidade de alargar em altura o sistema de batente garantiria que o contacto com pneu fosse suficiente para ser detetado pelo sensor. No entanto, esteticamente esta solução fica algo criticável devido à área de contacto que se realizaria unicamente numa pequena parte do batente e não ultrapassaria sequer a sua metade da altura.

A solução de compactar a ferramenta em altura é uma solução possível para o robô FANUC R-2000iC 210F. No entanto, para os robôs ABB IRB 6700 200/2.60 e KUKA KR 240 KR2700 prime é mais difícil devido ao diâmetro onde se dispõe a furação de acoplamento da flange ao robô de 160 *mm* , sendo que na do robô FANUC se encontra a 125 *mm* . O diâmetro externo da meia-flange macho e da meia-flange fêmea são consequência das furações de acoplamento ao robô. A flange é, assim, o elemento limitador ao nível de redução da altura da ferramenta. Como se pretende que a mesma ferramenta permita o acoplamento aos 3 diferentes robôs, esta solução deixa de ser admissível. A única alternativa para a redução da altura da ferramenta é a redução das espessuras das chapas superior e inferior do corpo da ferramenta, tal como do suporte central. No entanto, esta solução apenas será uma possibilidade numa fase posterior à fase em que se enquadra este projeto de protótipo.

Assim, a solução encontrada passa por abdicar de que a ferramenta se posicione totalmente entre tabuleiros. A ferramenta pode ajustar livremente a sua posição de modo a agarrar o pneu pelo seu meio. Isto implica que o pneu não encoste no suporte central de encosto ao pneu, ficando sempre a uma distância mínima de 30 *mm* e máxima de 55 *mm* .



(a) Distância mínima

(b) Distância máxima

Figura 3.31 - Distância da ferramenta ao pneu e carro de transporte.

Para escolher o sensor a utilizar na aplicação para detetar o deslocamento do batente é necessário garantir as seguintes particularidades:

- solução compacta;
- gama de deteção entre 5 e 15 *mm* aproximadamente.

Pretende-se com este detetor uma solução compacta que permita ser inserida dentro do sistema de batente mecânico. O detetor será disposto lateralmente, no acompanhamento da face posterior do batente, para detetar um postiço. O alcance do detetor pode ser regulável, ou não, no próprio detetor, sendo que existe a possibilidade de ser regulado mecanicamente.

O detetor fotoelétrico SensoPart FT 10-B-RLF2-PS-KM4, um detetor de laser, é uma solução possível devido às suas pequenas dimensões e baixo alcance tal como o detetor fotoelétrico SensoPart FT 10-BF2-PS-KM4 como se verifica na Tabela 3.4. Ambas as soluções apresentadas são compactas e têm uma gama de alcance que inclui a distância a que o detetor fica do postiço de deteção de deslocamento do batente.

Tabela 3.4 - Principais características detetor SensoPart.

Característica	**FT 10-B-RLF2-PS-KM4**	**FT 10-BF2-PS-KM4**
Princípio de deteção	Fotoelétrico	Fotoelétrico
Dimensões caixa $[mm]$	21 x 15 x 8	21 x 15 x 8
Área de deteção $[mm]$	1 x 3	3,5 x 5 (a 10mm)
Gama de alcance $[mm]$	6 a 30	2 a 30
Configuração de saída	PNP	PNP
Tensão de alimentação $[VDC]$	10 a 30	10 a 30

Ambas as soluções apresentadas podem ser visualizadas na Figura 3.32.



(a) SensoPart FT 10-B-RLF2-PS-KM4



(b) SensoPart FT 10-BF2-PS-KM4

Figura 3.32 - Soluções para detetores para identificação de encosto lateral.

Na empresa encontra-se disponível o detetor SensoPart FL20 e a fibra ótica K2R-6 pelo que se analisa a possibilidade da sua utilização.

Na Tabela 3.5 apresentam-se algumas das principais características deste sensor.

Tabela 3.5 - Principais características detetor FL 20 e fibra ótica K2R-6.

Característica	
Princípio de deteção	Fibra ótica
Dimensões caixa $[mm]$	32 x 20 x 12
Diâmetro fibra $[mm]$	2,2
Gama de alcance $[mm]$	2 a 50
Configuração de saída	NPN
Tensão de alimentação $[VDC]$	10 a 30

Este detetor identifica qualquer tipo de material e é muito compacto pelo que corresponde às características pré-definidas. O detetor utilizado para identificar o deslocamento do batente é então o detetor de fibra ótica da SensoPart, o modelo FL 20 com a fibra ótica K2R-6, visíveis na Figura 3.33.



(a) SensoPart FL20



(b) SensoPart K2R-6

Figura 3.33 - Soluções para deteção de encosto lateral.

O guiamento das molas é dado pelos furos presentes no batente. Pretende-se que a força exercida no pneu aquando do encosto seja da ordem dos 2 kgf , e provoque um deslocamento de 5 mm do batente. O posicionamento das molas e do sensor é algo que tem de ser analisado devido ao desvio que ocorrerá no batente quando o ponto de contacto com o pneu se realizar mais na extremidade do batente.

A constante de rigidez de cada mola é de 2,0 N/mm. Assim, vai ser estudada a posição e a quantidade de molas necessária para a melhor aplicação. A constante de rigidez equivalente pode ser considerada como na equação 3.15 devido às molas estarem em paralelo.

$$F_{aplicada} = k_{eq} \times x_{deslocamento} \tag{3.14}$$

$$k_{eq} = k_{mola} \times n_{molas} \tag{3.15}$$

O número de molas teórico corresponde a 1 ou 2 molas sendo necessária a realização de uma fase experimental para tomar a decisão final.

Com a redefinição dos elementos constituintes dos braços da ferramenta a massa de cada um dos braços foi reduzida para 18,9 kg e foi aproximado o centro de gravidade do braço para uma distância de 250 mm em relação ao patim da guia linear. Voltando a calcular o binário gerado em XX, o valor $M^x_{real} = 121,3\ Nm$. As guias anteriormente selecionadas, mantêm-se inalteradas.

Quando o robô se posiciona perante um pneu, tanto no carro de transporte como no tapete transportador de saída, para verificação da presença de um pneu ou apenas para confirmação da presença de um pneu, é interessante colocar um detetor na superfície de encosto frontal da ferramenta ao pneu. Esse detetor pode ser situado no centro do suporte central de encosto visto que a altura do suporte é de 310 mm , acrescendo à distância que a ferramenta se encontra do tabuleiro do carro de transporte ou do tapete transportador de saída é de 30 mm , esses 185 mm estão garantidamente perante a superfície do pneu.

Assim, este detetor para identificar a presença de um pneu tem de ser um detetor de tamanho inferior a 85 mm de comprimento incluindo já o cabo com conector a 90º, por uma questão geométrica da ferramenta, não necessita de grande precisão, nem exatidão, apenas precisa de detetar a superfície de borracha preta de um pneu e ter um alcance a curta distância. Como se pretende que o pneu apenas seja detetado quando este se encontra próximo da superfície de encosto, a gama de alcance deve conter uma distância mínima de 30 e máxima de 55 mm .

Este detetor não tem necessariamente de ter uma determinada geometria, ou seja, tanto pode ser retangular como cilíndrico, desde que seja colocado num local que permita detetar a presença de um pneu. Nesse sentido, o detetor SICK GTB6-P4211 1052438 é uma boa solução devido à sua capacidade de identificar o pneu a uma distância entre 35 e 140 mm , como se verifica na Figura 3.34. Na Tabela 3.6 pode-se observar algumas características deste detetor.

Tabela 3.6 - Principais características do detetor SICK GTB6-P4211 1052438.

Característica	
Princípio de deteção	Fotoelétrico
Dimensões da caixa $[mm]$	12 x 31,5 x 21
Gama de alcance preto $[mm]$	35 a 140 mm
Configuração de saída	PNP
Tensão de alimentação $[VDC]$	10 a 30

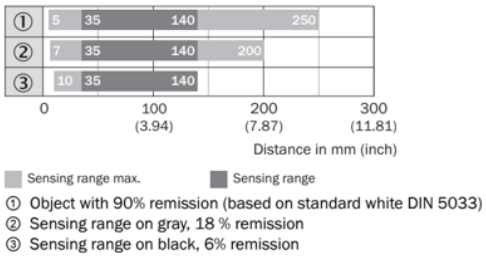


Figura 3.34 - Sensibilidade de alcance de detetor fotoelétrico SICK GTB6-P4211 1052438.

Outra alternativa igualmente válida, é o detetor ultrassónico SICK UC4-11341 6034667. Neste caso, por ser um detetor ultrassónico, este tem uma gama de alcance independente da cor do objeto que se pretende identificar. O detetor é paralelepipédico e tem uma gama de alcance entre 13 e 100 *mm* , como se verifica na Figura 3.35. Na Tabela 3.7, podem ser observadas algumas características principais deste detetor.

Tabela 3.7 - Principais características do detetor SICK UC4-11341 6034667.

Característica	
Princípio de deteção	Ultrassónico
Dimensões caixa $[mm]$	16 x 39 x 16,6
Gama de alcance $[mm]$	13 a 100
Tensão de alimentação $[VDC]$	15 a 30

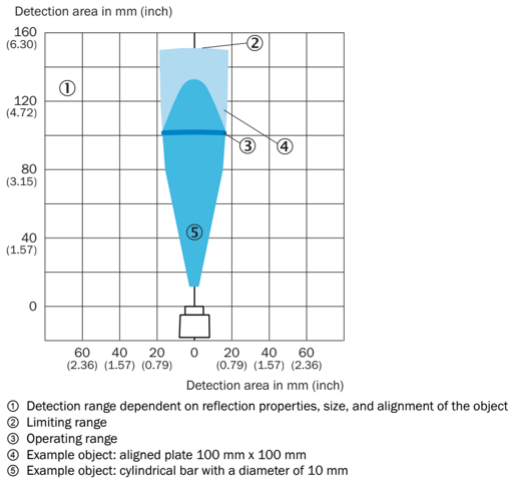
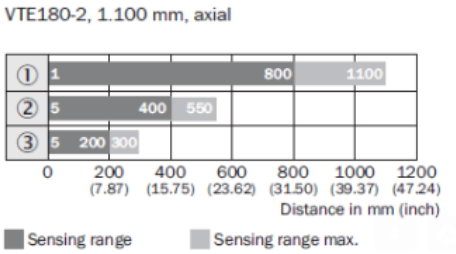


Figura 3.35 - Gama de deteção SICK UC4-11341 6034667.

Na empresa existe um detetor fotoelétrico disponível pelo que é necessário analisar se o mesmo serve para a aplicação desejada. Assim, o detetor disponível é o SICK VTE180-2P42482 que pode ser observado na Figura 3.36 com o cabo conector a 90º. De seguida, seguem-se algumas características deste detetor na Tabela 3.8.



(a) Detetor fotoelétrico com conector



(b) Sensibilidade de alcance do detetor

Figura 3.36 - Detetor fotoelétrico SICK VTE180-2P42482.

Tabela 3.8 - Principais características do detetor SICK VTE180-2P42482.

Característica	
Princípio de deteção	Fotoelétrico
Comprimento da caixa $[mm]$	69,2
Gama de alcance preto $[mm]$	5 a 200
Diâmetro de rosca $[mm]$	M18
Configuração de saída	PNP
Tensão de alimentação $[VDC]$	10 a 30

Pode-se observar que o sensor cumpre com os pré-requisitos, sendo por isso o sensor selecionado.

Devidos às alterações referidas, os braços da ferramenta sofreram nova atualização, podendo ser observado o seu aspeto final na Figura 3.37.

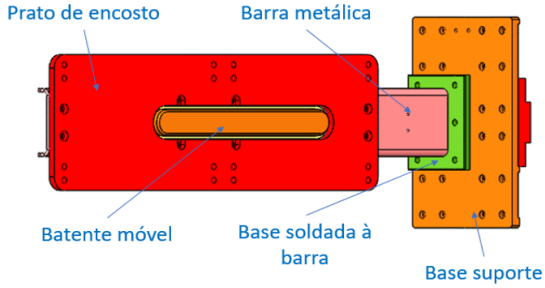


Figura 3.37 - Versão final do braço direito da ferramenta.

Por uma questão de segurança, na utilização do atuador linear é prudente incluir detetores de fim de curso complementares, exatamente para limitar o curso do eixo. Nesse sentido, a inclusão de 2 detetores de fim de curso tem de assegurar as seguintes características:

- detetar quando o carro do eixo está nas posições extremas;
- preferencialmente, ser o mesmo detetor para o limite mínimo e para o máximo.

Para facilitar a sua inserção na ferramenta, opta-se pela colocação do detetor de modo a identificar não o carro do eixo, mas a base do braço que acaba por ser idêntico mas facilita o processo de montagem. Como a base do braço é em aço, os detetores utilizados podem ser detetores indutivos.

Assim sendo, os detetores devem ter um alcance entre 5 e 15 *mm* para além de serem indutivos. O ideal seriam detetores de pequenas dimensões, M12, no entanto na empresa estão disponíveis detetores M18. O detetor cumpre com os pré-requisitos, como se verifica na Tabela 3.9, pelo que os detetores de fim de curso são da referência WENGLOR IW080BM50VA3, visíveis na Figura 3.38.

Tabela 3.9 - Principais características do detetor WENGLOR IW080BM50VA3.

Característica	
Princípio de deteção	Indução
Comprimento da caixa $[mm]$	50
Gama de alcance preto $[mm]$	8
Diâmetro de rosca $[mm]$	M18
Configuração de saída	PNP
Tensão de alimentação $[VDC]$	10 a 30



Figura 3.38 - Detetor WENGLOR IW080BM50VA3.

Para a condução dos sinais de todos estes detetores são necessárias calhas e guiamentos dos cabos elétricos, bem como elementos de suporte tanto para esses sistemas como para os próprios detetores.

3.2.7 Acionamento do eixo linear

Para atuar o eixo linear é necessário um motor elétrico. Desse modo, para um melhor controlo sobre a posição de abertura e a velocidade, necessário devido à variabilidade do diâmetro externo do pneu e para não danificar a superfície do pneu, o motor elétrico equacionado foi um servomotor.

O servomotor permite assegurar uma elevada precisão ao nível do controlo de posição e de velocidade, sendo que o controlo de velocidade permite ser assegurado numa elevada gama de velocidades. Disponibiliza um binário com elevada estabilidade e um binário estático considerável (binário a velocidade nula), tendo uma capacidade de sobrecarga e uma boa performance dinâmica.

Tendo escolhido o tipo de motor a ser utilizado nesta aplicação, é necessário dimensioná-lo para verificar se é necessário alterar a opção tomada anteriormente.

O conjunto de ambos os braços da maxila pesa um total de cerca de 36 kg e os oito patins um total de 6 kg , perfazendo um total de massa a deslocar de cerca de 42 kg . Apesar de a maior parte desta carga estar suportada pelas guias lineares e patins, é necessário considerar a carga devido à inércia por efeito da aceleração. Por uma questão de segurança, ao não saber ao certo os atritos associados ao longo da movimentação dos braços da ferramenta, decide-se considerar a carga de 60 kg . De seguida, na Tabela 3.10 apresentam-se os dados que permitem o dimensionamento do servomotor.

Tabela 3.10 - Dados utilizados para dimensionamento do motor

$m_{total}\ [kg]$	60	$t_{acel}\ [s]$	0,38
$L_{curso}\ [mm]$	360	$t_{desacel}\ [s]$	0,38
$v_{max}\ [mm/s]$	180	$\eta_{redutor}$	0,90
$a_{minima}\ [mm/s^2]$	-1000	η_L	0,85
$a_{maxima}\ [mm/s^2]$	1000	$D_L\ [mm]$	28,65
$jerk\ [mm/s^3]$	5000	$\mu_{guiamento}$	0,1
$t_{ciclo}\ [s]$	2,38	$i_{\text{razao de transmissao}}$	10

Valores referidos ao redutor:

Recursos físicos do projeto

-Velocidades

$$n^{redutor}_{\text{veio de saida}} = \frac{v_{\text{maxima carga}}}{D_L/2} = \frac{0,18}{0,02865/2} = 12,565 rad/s = 120\ rpm$$

$$n^{redutor}_{\text{veio entrada}} = n^{redutor}_{\text{veio de saida}} \times i_{\text{razao de transmissao}} = 120 \times 10 = 1200\ rpm$$

-Binários

$$T^{redutor}_{\text{acel carga}} = \frac{1}{\eta_L} \times m_{total} \times a \times \frac{D_L}{2} = \frac{1}{0,85} \times 60 \times 1 \times \frac{0,02865}{2} = 1,011\ Nm$$

$$T^{redutor}_{\text{desacel carga}} = \eta_L \times m_{total} \times a \times \frac{D_L}{2} = 0,85 \times 60 \times (-1) \times \frac{0,02865}{2} = -0,731\ Nm$$

$$T^{redutor}_{\text{estatico carga}} = \frac{1}{\eta_L} \times m_{total} \times g \times \mu_L \times \frac{D_L}{2} = \frac{1}{0,85} \times 60 \times 9,8 \times 0,1 \times \frac{0,02865}{2} = 0,991\ Nm$$

$$T^{redutor}_{\text{total carga em arranque}} = 1,011 + 0,991 = 2,002\ Nm$$

$$T^{redutor}_{\text{total carga na paragem}} = -0,731 + 0,991 = 0,260\ Nm$$

Valores referidos ao veio do motor:

-Velocidades

$$n^{motor}_{\text{veio motor}} = n^{redutor}_{\text{veio entrada}} = 1200\ rpm$$

-Binários

$$T^{motor}_{\text{acel carga}} = \frac{T^{redutor}_{\text{acel carga}}}{i_{\text{razao de transmissao}}} \times \frac{1}{\eta_{redutor}} = \frac{1,011}{10} \times \frac{1}{0,90} = 0,112\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{desacel carga}} = \frac{T^{redutor}_{\text{desacel carga}}}{i_{\text{razao de transmissao}}} \times \eta_{redutor} = \frac{-0,731}{10} \times 0,90 = -0,066\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{estatico carga}} = \frac{T^{redutor}_{\text{estatico carga}}}{i_{\text{razao de transmissao}}} \times \frac{1}{\eta_L} = \frac{0,991}{10} \times \frac{1}{0,85} = 0,117\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{total carga em arranque}} = 0,112 + 0,117 = 0,229\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{total carga na paragem}} = -0,066 + 0,117 = 0,051\ Nm$$

Escolha do motor: T_{maximo}, n_N

$$T_{\text{max motor}} > T^{motor}_{\text{total carga em arranque}} = 0,229\ Nm$$

$$T_{bloqueio} > \frac{T_{\text{max motor}}}{2} \approx 0,115\ Nm$$

$$n_N > 1200\ rpm$$

Nesse sentido, o motor escolhido é o Siemens 1FK7022-5AK71-1LH3, uma solução com um *encoder multiturn* que permite o registo do número de voltas do servomotor, com método de arrefecimento próprio e com travão para assegurar a posição durante a manipulação do pneu.

Este motor apresenta as seguintes características:

Tabela 3.11 - Dados do servomotor selecionado

Dados do motor	
$n_N\ [rpm]$	6000
$P_n\ [kW]$	0,53
$T_0\ [Nm]$	0,85
$T_{max}\ [Nm]$	3,40
$J_{motor}\ [kgm^2]$	$3,5 \times 10^{-5}$
$I_{max}\ [A]$	8,00
$I_0\ [A]$	1,80

Assim, pode-se proceder à verificação dos cálculos incluindo os dados do motor:

$$J^{motor}_{carga} = \frac{m}{\eta_{global}} \times \left(\frac{v}{\omega_{motor}}\right)^2 = \frac{60}{0,9 \times 0,85} \times \left(\frac{0,18}{1200 \times 2 \times \pi/60}\right)^2 = 1,61 \times 10^{-4}\ kgm^2$$

$$\frac{J^{motor}_{carga}}{J_{motor}} = \frac{1,61 \times 10^{-4}}{3,5 \times 10^{-5}} = 4,6 < 15$$

O redutor utilizado é um redutor angular a 90º por uma questão geométrica e de disposição física, para garantir uma solução o mais compacta possível sem interferir com a flange de acoplamento ao robô. Visto que a opção de razão de transmissão escolhida é de 10, por ser suficiente, isto significa que o redutor é de 1 único andar de redução, com binário nominal de 10 Nm, com veio de saída de 11 mm e momento de inércia do redutor de $2,0 \times 10^{-5}\ kgm^2$. O redutor utilizado é o Apex Dynamics PEIIR 050.

$$T^{motor}_{\text{aceleracao motor}} = J_{motor} \times \alpha = 3,5 \times 10^{-5} \times \frac{125,65}{0,38} = 0,012\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{acel inércia redutor}} = J^{motor}_{redutor} \times \alpha = 2,0 \times 10^{-5} \times \frac{125,65}{0,38} = 0,007\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{acel inércia redutor}} = \frac{T^{redutor}_{\text{estatico carga}}}{i_{\text{razao de transmissao}}} \times \frac{1}{\eta_L} = \frac{0,991}{10} \times \frac{1}{0,85} = 0,117\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{total em arranque}} = 0,112 + 0,012 + 0,007 + 0,117 = 0,248\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{total na paragem}} = -0,066 - 0,012 - 0,007 + 0,117 = 0,032\ Nm$$

No entanto, existe outro motor e outro redutor disponível na empresa pelo que se procede à verificação da sua capacidade. O servomotor é o motor de íman permanente síncrono SIEMENS 1FK7042-2AC71-1RH0 e o redutor a 90º ALFA-EQUINOTEC LPK090-MO2-10.

Tabela 3.12 - Dados do servomotor 1FK7042-2AC71-1RH0.

Dados do motor	
$n_N\ [rpm]$	2000
$n_{max}\ [rpm]$	4000
$P_n\ [kW]$	0,60
$T_0\ [Nm]$	3,0
$T_{max}\ [Nm]$	10,50
$J_{motor}\ [kgm^2]$	$3,2 \times 10^{-4}$
$I_{max}\ [A]$	5,80
$I_0\ [A]$	1,60

O redutor é um redutor planetário irreversível, isto é, os braços apenas se movimentam única e exclusivamente por ação do servomotor, é de 2 andares de redução, com binário nominal de 40 *Nm*, velocidade nominal de 2700 *rpm*, com veio de saída de 23 *mm* e o momento de inércia do redutor é de $4,1 \times 10^{-4}\ kgm^2$.

$$J^{motor}_{carga} = 1,61 \times 10^{-4}\ kgm^2$$

$$\frac{J^{motor}_{carga}}{J_{motor}} = \frac{1,61 \times 10^{-4}}{3,2 \times 10^{-4}} = 0,5 < 15$$

$$T^{motor}_{\text{aceleracao motor}} = J_{motor} \times \alpha = 3,2 \times 10^{-4} \times \frac{125,65}{0,38} = 0,106\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{acel inércia redutor}} = J^{motor}_{redutor} \times \alpha = 4,1 \times 10^{-4} \times \frac{125,65}{0,38} = 0,136\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{acel inércia redutor}} = \frac{T^{redutor}_{\text{estatico carga}}}{i_{\text{razao de transmissao}}} \times \frac{1}{\eta_L} = \frac{0,991}{10} \times \frac{1}{0,85} = 0,117\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{total em arranque}} = 0.112 + 0,106 + 0,136 + 0,117 = 0,471\ Nm$$

$$T^{motor}_{\text{total na paragem}} = -0,066 - 0,106 - 0,136 + 0,117 = -0,191\ Nm$$

O servomotor escolhido é assim o SIEMENS 1FK7042-2AC71-1RH0 e o redutor a 90º ALFA-EQUINOTEC LPK090-MO2-10. O conjunto do servomotor e redutor selecionados pesam um total de cerca de 12 *kg* e estão representados na Figura 3.39.

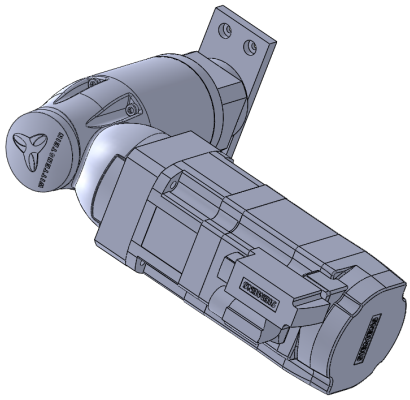


Figura 3.39 - Conjunto motor, redutor e sistema de acoplamento ao eixo linear.

Na conceção inicial, pretendia-se um suporte e guiamento de cablagem unicamente para os cabos dos detetores, que pode ser visualizado na Figura 3.40a. Este sistema estaria fixo à chapa metálica inferior do corpo da ferramenta, tal como foi referido anteriormente na Secção 3.2.3.

Atualmente, pretende-se um sistema de guiamento que permita não só guiar os cabos elétricos dos sensores, bem como do servomotor e do *encoder*, pelo que o seu posicionamento tem de ser alterado tal como a sua geometria. Assim sendo, utiliza-se para o suporte e guiamento de cabos elétricos, uma solução do fornecedor IGUS. Este sistema Triflex R Série TRC.60 tem um

diâmetro interno de 60 *mm* e é fixo à chapa traseira da ferramenta através de 2 parafusos M8. Este sistema pode ser visualizado na Figura 3.40b.

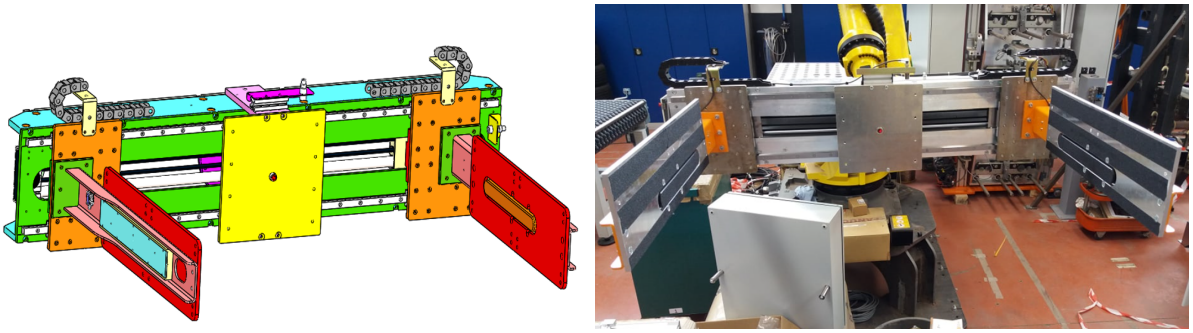


(a) Suporte de cablagem inicial (b) Suporte de calha da IGUS

Figura 3.40 - Evolução das soluções de suporte e guiamento de cabos elétricos.

3.2.8 Configuração final da ferramenta

No término do desenvolvimento da ferramenta, a configuração final da ferramenta pode ser visualizada na Figura 3.41. O conjunto da ferramenta pesa um total de cerca de 140 *kg* . A distância entre as duas superfícies laterais de encosto apresenta uma abertura máxima da ferramenta de 1120 *mm* e uma abertura mínima de 340 *mm* .



(a) Em simulação de *software* (b) Em suporte físico para testes

Figura 3.41 - Configuração final da ferramenta do robô desenvolvida e construída.

Para uma análise mais detalhada dos elementos constituintes da ferramenta, são dadas as respetivas informações nos Anexos A e B.

3.3 Amplificador de potência

Como elemento responsável pela transmissão da potência elétrica necessária ao servomotor é preciso escolher um *drive* (amplificador de potência).

A corrente máxima que o *drive* é capaz de fornecer é determinante para a limitação do binário máximo do servomotor. Se corresponder a um binário superior ao binário máximo permitido pelo motor, esta corrente máxima tem que ser configurada no *drive* para um valor inferior, compatível com o binário máximo do servomotor [27].

Em geral, deve-se escolher o servomotor e o *drive* do mesmo fabricante, uma vez que a identificação dos parâmetros que caracterizam o servomotor e os algoritmos de controlo é facilitada nestes casos. A compatibilização de *drives* e motores é normalmente apresentada em tabelas de correspondência, sendo comum existirem múltiplas alternativas ou combinações *drive*/motor [27].

A Siemens tem variadores de frequência para todo o espectro de conversão de energia permitindo maximizar a eficiência energética e obter melhorias de produtividade. Os produtos integrados incluem acionamentos de motores de baixa tensão, acionamentos de média tensão e acionamentos de corrente contínua [28].

Associados ao servomotor selecionado, ou seja um servomotor do tipo 1FK7, a Siemens propõe 2 soluções distintas: Sinamics S110 e Sinamics S120.

As grandes diferenças entre um e outro são apenas questões de capacidade de processamento da unidade de controlo e que o S120 tem uma funcionalidade de DDC (*Drive Control Chart*) que oferece a oportunidade de adicionar livremente lógicas e cálculos ao *drive* num ambiente de programação gráfica.

Consequentemente, qualquer dos 2 *drives* poderiam ser aplicados neste projeto. Contudo, na empresa está disponível um *drive* Sinamics S120, pelo que se prossegue com a sua análise.

O *drive* Sinamics S120 é constituído por [29]:

- Uma unidade de controlo (*control unit*);
- Um módulo de motor (*motor module*);
- Um módulo de potência (*line module*).

Na Figura 3.42 pode-se visualizar o esquema de ligação do *drive* aos outros elementos constituintes do sistema.

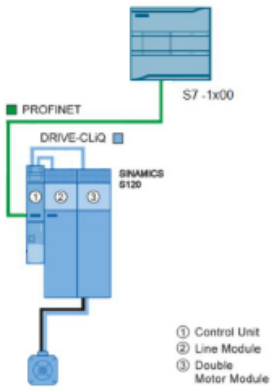


Figura 3.42 - Ligação do *drive* S120 ao PLC e motor/*encoder* [29].

Na Tabela 3.13 pode-se observar os constituintes do *drive* disponíveis na empresa.

Tabela 3.13 - *Drive* Sinamics S120.

Unidade de controlo	CU320-2PN 6SL3040-1MA01-0AA0
Módulo de linha	Smart Line 6SL3130-6AE15-0AB0
Módulo do motor	Double 3A 6SL3120-2TE13-0AA3

A unidade de controlo é uma unidade central encarregue do processamento de todas as funcionalidades tecnológicas do *drive*, desde a execução das malhas de controlo dos motores a si associados, à comunicação em tempo-real com controladores de hierarquia superior, ou ainda a comunicação com o sistema de configuração e parametrização do *drive* [28].

O módulo de linha é uma fonte de alimentação DC que disponibiliza, a partir de tensão de alimentação AC trifásica, um barramento de tensão contínua aos módulos do motor. Este módulo é do tipo *Smart Line Module*, permitindo a regeneração de energia durante a travagem. Contudo, a tensão disponibilizada não é regulada. Dessa forma, o módulo tem dois modos de operação, o *infeed* e o regenerativo [28].

O módulo do motor tem a função de transformar a tensão proveniente do barramento DC em tensão AC sinusoidal e fornecê-la ao motor consoante os comandos recebidos pela unidade de controlo. Por esse motivo, o módulo do motor tem de estar ligado à unidade de controlo via DRIVE-CLiQ. Este funciona como um inversor em transformar a tensão contínua em alternada. O módulo do motor a usar é um módulo duplo que permite alimentar dois servomotores distintos, embora no presente trabalho só seja necessário a utilização de um único servomotor [29].

A comunicação cíclica com controladores de hierarquia superior pode ser realizada por rede PROFINET IO ou PROFIBUS DP, com recurso a telegramas. Estes telegramas são sequências de *words* e *double words* estruturadas tendo em conta as informações a trocar.

3.4 Controlador Lógico Programável

Para a aplicação desejada, controlar a abertura e fecho da ferramenta, é necessário controlar um único eixo. Pretende-se controlar o movimento do atuador linear em posição e em velocidade.

Num PLC, a menos de um PLC de segurança, nenhum OB (Bloco de Organização) é mais prioritário que os OB's associados a controlo de movimento. Assim, com esta estratégia de controlo, o tempo de ciclo é aumentado. Num PLC da série S7-1200 o tempo de varrimento de um OB associado a controlo de movimento de um eixo é de 10 ms, enquanto que num da série S7-1500 é de 4 ms. O tempo de varrimento de um OB tem influência na dinâmica do eixo controlado.

O PLC corre o bloco OB1 de forma cíclica, sendo que esse ciclo pode ser interrompido por rotinas de interrupção (por exemplo: interrupções periódicas, interrupções de *hardware*, entre outras). O tempo de ciclo (t_{ciclo}) é influenciado pela ocorrência dos diferentes OB's de interrupção. Logo, o controlo de movimento recorrendo aos objetos tecnológicos cria os seus próprios OB's de interrupção (*Motion Control* OB's), nas quais se calcula o *setpoint* a enviar para o *drive*.

Na Tabela 3.14 pode-se observar o tempo de execução dos vários OB's associados ao controlo de movimento por parte do PLC 1515F-2 PN.

Tabela 3.14 - Tempo de varrimento de OB's associados a controlo de movimento de 1 eixo [30].

Tempo de varrimento do OB servo $[ms]$	0,22
Tempo de varrimento do OB IPO $[ms]$	0,42
Tempo total de interrupções $[ms]$	0,64

Verifica-se que este PLC não tem influência no controlo de movimento de um eixo como pretendido.

O controlador lógico programável, PLC, responsável pelo controlo de movimento e controlo lógico a utilizar no presente projeto é, então, o Siemens CPU 1515F-2 PN representado na Figura 3.43a, e com as características presentes na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 - Características principais CPU 1515F-2PN [30].

Propriedades	
Memória de trabalho	750 *Kbytes* para programa 3 *Mbytes* para dados
Memória de armazenamento	32 *Gbytes*
Tensão de alimentação	20,4 a 28,8 *VDC*
Tempo por operação booleana	30 *ns*
Tempo por operação word	36 *ns*
Protocolo de comunicação	PROFINET PROFIBUS Precision Time Protocol (PTP)

O PLC selecionado não tem disponível um módulo de entradas e saídas digitais físicas incluído. Ou seja, é necessário para a ligação dos sinais digitais dos detetores utilizados, um barramento de I/O's distribuído. Como apenas foram considerados 5 detetores na ferramenta e 2 detetores, um em cada tapete transportador, para garantir que o tapete transportador de entrada se encontra livre antes de pousar um pneu e que o tapete transportador de saída tem um pneu disponível para recolha do robô, um módulo de interface com 8 entradas digitais de 24 V DC é suficiente.

O módulo distribuído escolhido é o SIMATIC ET 200SP IM 155-6PN ST disponível na Figura 3.43b e com as características presentes na Tabela 3.16.

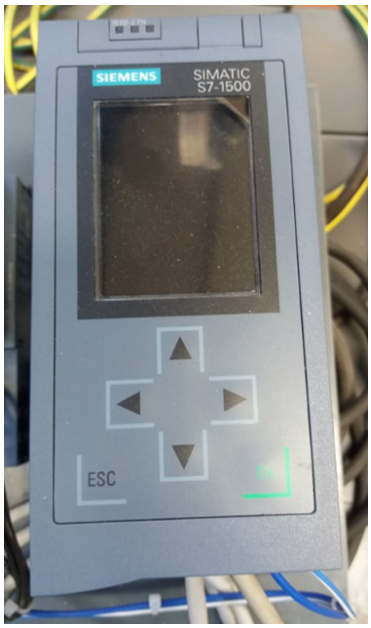
Tabela 3.16 - Características principais ET 200SP IM155-6PN ST [31].

Propriedades	
Tempo de ciclo	250 μs
Máxima configuração módulo de I/O	32 I/O
Protocolo de comunicação	PROFINET

3.5 Interface Homem Máquina

Para visualização e interação com o sistema utiliza-se um painel embutido tátil, Siemens KTP600 *Basic Color* PN, presente na Figura 3.44.

Este painel oferece a vantagem de se integrar com facilidade em tarefas de controlo lógico nas quais se recorra a PLC's da família Simatic S7, através de PROFINET. Não obstante, através



(a) PLC Siemens S7-1515F-2 PN



(b) Módulo SIMATIC ET200SP IM155-6PN ST

Figura 3.43 - PLC e módulo utilizados.

de protocolos de rede tais como Modbus/IP e EtherNet/IP é compatível com PLC's das mais variadas marcas, como por exemplo Allen Bradley e Omron.

Na Tabela 3.17, encontram-se reunidas as principais especificações técnicas e funcionais deste painel.

Tabela 3.17 - Características principais HMI KTP600 *Basic Color* PN [31].

Ecrã	TFT *touch screen* 5,7 " Resolução 320 x 240 pixel 256 cores
Alimentação	350 mA @ 24VDC (19,2 a 28,8 V)
Processador	RISC 32-bit
Memória de armazenamento	1 *Mbyte*
Porta de comunicação	*Ethernet* com conector RJ45
Protocolos	PROFINET MODBUS/IP EtherNet/IP
Variáveis disponíveis	Até 500
Teclado	6 teclas físicas de funções programáveis Teclado numérico e alfanumérico virtual

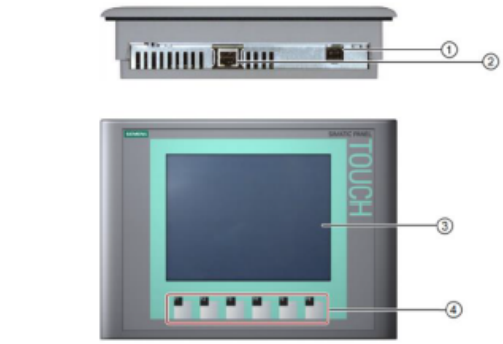


Figura 3.44 - Painel embutido Siemens KTP600 *Basic Color* PN [32].

3.6 Rede de comunicação

Para comunicação entre os diferentes equipamentos utiliza-se a rede industrial PROFINET porque esta está disponível nos componentes utilizados neste trabalho, é de fácil utilização, e tem um tempo de transferência de dados suficiente para a grande maioria dos sistemas robóticos, incluindo o sistema do presente trabalho.

PROFINET (*Process Field Net*) é uma rede de padrão aberto Ethernet Industrial, compatível com a Ethernet Standard (IEEE802.3), desenvolvida pela maior organização de redes de campo, PROFIBUS & PROFINET International [33, 34].

A comunicação por PROFINET é sempre *full duplex*, isto é, a comunicação é realizada em ambos os sentidos e em simultâneo entre o master e os escravos. A grande vantagem da rede PROFINET é a comunicação em "tempo-real". Para serviços de tecnologia de informação, para automação de uma fábrica, o tempo de ciclo é de 100 ms, enquanto que para controlo de movimento a comunicação é realizada por TCP/IP com tempo de ciclo de 250 μs. O tempo de ciclo entende-se como o tempo necessário para transmissão de uma mensagem de um equipamento para outro sem falhas de transmissão [35–37].

A rede PROFINET pode ser configurada segundo o barramento em linha, o barramento distribuído, em anel e em estrela. A rede permite a sua utilização em redes *wireless* IEEE802.11 IWLAN (*Industrial Wireless* LAN). A rede PROFINET integra tecnologia *Failsafe* usando o protocolo PROFIsafe, com a comunicação *Standard* e *Failsafe* no mesmo meio físico [35, 38, 39].

A rede PROFINET pode ser distinguida em 3 configurações possíveis [33, 35]:

- PROFINET CBA (*Component Based Network Non-real Time*);
- PROFINET IO RT (*Real Time*);
- PROFINET IO IRT (*Isochronous Real Time*).

A PROFINET CBA baseia-se no protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*). É utilizada para tarefas que não sejam críticas, ou seja, que não necessitem de tempo-real. Esta configuração é adequada para aplicações compatíveis com um tempo de ciclo de 100 ms, e nas quais a eventualidade de se ultrapassar este tempo não seja crítico.

A rede PROFINET nas configurações RT e IRT dispensa a utilização do protocolo TCP/IP permitindo que a comunicação se faça em "tempo-real".

A PROFINET IO RT é utilizada em aplicações de elevado rigor ao nível do tempo de transmissão da informação, em aplicações que exigem um tempo de ciclo até 10 ms. O ultrapassar deste tempo de ciclo pode ser suficiente para a degradação da informação transmitida ou atrasos de comandos que necessitam de uma elevada precisão temporal.

A PROFINET IO IRT é exatamente uma resposta aos sistemas onde a PROFINET IO RT não é suficiente, ou seja, nos quais todos os sinais de entrada e saída são lidos/escritos exatamente ao mesmo tempo. Todos os equipamentos ligados na mesma rede PROFINET estão associados a um relógio comum, designando-se como relógio mestre. A sua utilização adequa-se para aplicações onde a sincronização de informação é crítica. Para esta configuração é necessário utilizar equipamento com *hardware* específico e compatível com os seus requisitos de funcionamento.

Ao longo do presente trabalho a configuração utilizada é a PROFINET IO RT devido à necessidade de garantir o bom funcionamento do eixo controlado e do robô sem que ocorram danos no equipamento.

Para uma análise mais aprofundada dos elementos utilizados no trabalho, incluindo fontes de alimentação (SIEMENS SITOP POWER FLEXI 6EP1353-2BA0 e ALLEN-BRADLEY 1606-XL), disjuntor-motor (SIEMENS 3RV1021-4AC10) e disjuntores (HAGER MU 316A C16 e SIEMENS 5SY62), e como estes se encontram interligados, são dadas as respetivas informações no Anexo C.

Capítulo 4

Desenvolvimento de *software*

Neste Capítulo é feita uma análise das aplicações informáticas utilizadas ao longo do projeto. É realizada uma análise à aplicação de *software* utilizada para o desenvolvimento da rotina do robô, bem como à aplicação de *software* utilizada para o desenvolvimento do controlo lógico do PLC. Após a análise às aplicações utilizadas, é feita uma análise ao código de programação desenvolvido no presente trabalho.

4.1 *Software* de programação do robô - Roboguide

O Roboguide é uma aplicação informática para programação *offline* dos robôs FANUC. É um *software* que permite a criação de ambientes, a programação e a simulação de células robóticas em representação 3D, sem a necessidade de recorrer a sistemas físicos. Com robôs virtuais e modelos de células de trabalho, a programação *offline* no Roboguide permite reduzir riscos, falhas e erros, assegurando uma maior rapidez de otimização da aplicação no momento em que se passa para o robô físico.

Na Figura 4.1 pode-se observar o ambiente de trabalho do *software* Roboguide. A página do ambiente Roboguide pode ser dividida em 4 partes:

- Barra de menu principal;
- Árvore de trabalho;
- Célula de trabalho;
- Consola de programação (*Teach Pendant*).

A célula de trabalho divide-se em diferentes categorias:

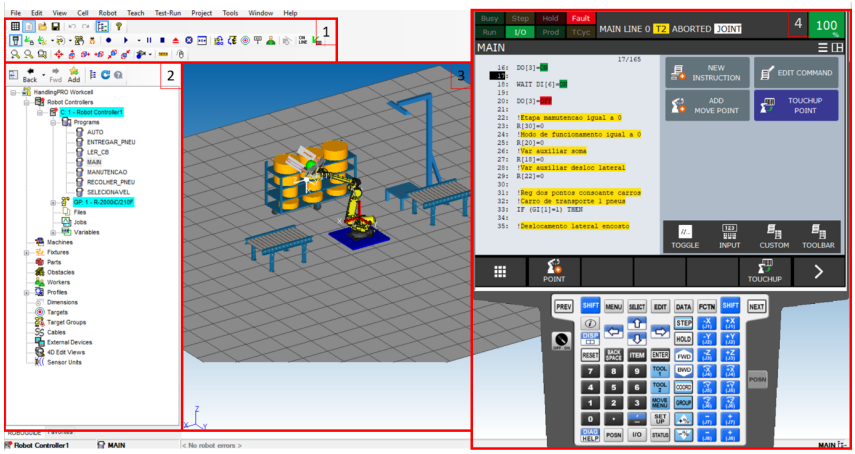


Figura 4.1 - Esquema de ambiente do *software* Roboguide.

- Robô;

O elemento central da célula de trabalho é o robô, sendo que o objetivo do utilizador é conseguir controlar o robô. Na biblioteca do Roboguide é possível escolher entre todos os robôs FANUC existentes no mercado. É possível definir as características do controlador para que a solução inserida na célula de trabalho seja exatamente igual ao que se encontra fisicamente.

- Ferramenta do robô (*End of Arm Tooling*);

A ferramenta do robô é o elemento que se encontra na extremidade do robô, que é acoplado ao punho do robô. Este é o elemento que faz a relação entre o robô e as peças (*Parts*). É, assim, o elemento que manipula as peças, permitindo agarrar ou largar uma determinada peça.

As ferramentas dos robôs podem ser garras, ventosas, tochas de soldar, entre muitas outras opções. No presente trabalho, a ferramenta do robô é o sistema de garra desenvolvido na Secção 3.2.

- Peças (*parts*);

As peças são os elementos que se pretende que sejam manipulados pelo robô. Estes elementos podem ser modelados num *software* CAD como o SolidWorks e serem importados para o Roboguide. Desse modo, na célula de trabalho têm-se os objetos virtuais que se pretendem manipular pelo que a simulação fica muito próxima da realidade.

- Objetos (*fixtures*);

Para se poder pegar ou largar uma peça no ambiente da célula de trabalho, a peça tem necessariamente de estar associada a um objeto. Assim, os objetos são os locais onde as peças pousam.

- Obstáculos (*obstacles*).

Os obstáculos são os elementos que representam os diferentes elementos que possam interferir com a trajetória do robô. É particularmente importante incluir na célula de trabalho os obstáculos que estão presentes no ambiente de trabalho real, para garantir que o robô não colida com os mesmos.

4.2 *Software* de programação do autómato - TIA Portal

O TIA (*Totally Integrated Automation*) Portal é uma plataforma informática única da Siemens que integra a configuração e a programação de grande parte dos seus equipamentos industriais, tais como controladores, painéis, *drives*, I/O's distribuídos, entre outros [40].

Esta ferramenta de trabalho contempla ainda a monitorização *online*, a simulação e a gestão de dados. É uma das diferentes respostas da Siemens a nível de *software* ao desenvolvimento da Indústria 4.0 [41].

Na Figura 4.2 pode-se observar o ambiente de trabalho do *software* TIA Portal. A página do ambiente TIA Portal pode ser dividida em 4 partes:

- Árvore de trabalho;
- Página de trabalho;
- Propriedades/informações dos equipamentos, alarmes e erros;
- Biblioteca.

O TIA Portal é constituído por 4 diferentes blocos de programação estruturada [42–44]:

- OB (Bloco de Organização)

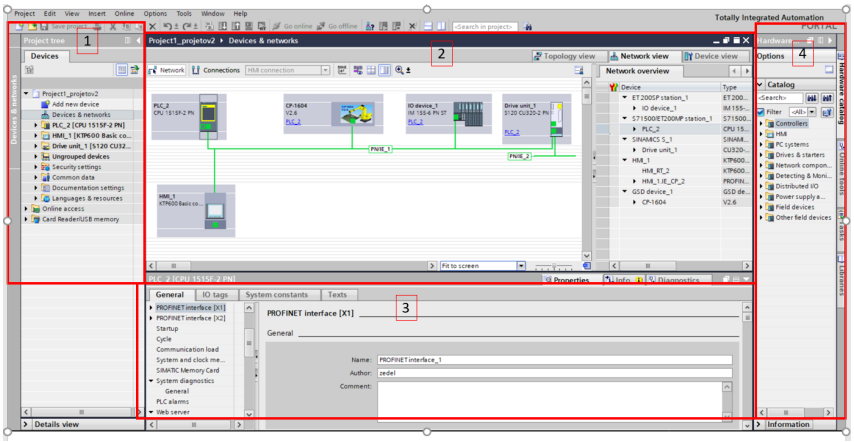


Figura 4.2 - Esquema de ambiente do *software* TIA Portal.

Os Blocos de Organização são a interface entre o sistema operativo do PLC e o programa do utilizador. Os OB's são classificados em função da sua prioridade e da natureza de varrimento, podendo esta ser cíclica, por interrupções ou na inicialização do PLC. Os blocos de organização "chamam" todas as sub-rotinas inerentes ao trabalho, ou seja, os FB's e as FC's;

- FB (Bloco de Função)

Os Blocos de Funções são blocos que armazenam determinadas sub-rotinas, sendo chamados num OB. A essa chamada é dado o nome de instância. A realização de programação estruturada é concebida com recurso a FB's, provocando a divisão do programa em vários subsistemas permitindo a elaboração de programas organizados, modulares e potencialmente universais.

Os Blocos de Função apresentam um carácter sequencial, uma vez que os valores das suas variáveis internas e de saída são guardados de ciclo para ciclo. Este armazenamento de memória permite que os dados provenientes de FB's possam ser disponibilizados a sistemas de supervisão e interfaces homem-máquina (HMI), tal como serem utilizados por outros FB's.

- DB (Bloco de Dados)

Os Blocos de Dados não contêm qualquer instrução, consistem unicamente em áreas de armazenamento de dados. Os DB's classificam-se em dois tipos: os globais e os de instância. Os DB's globais podem armazenar qualquer tipo de informação e podem comunicar, isto é tanto ler como escrever, com qualquer outro bloco, seja um OB, um FB ou um FC. Os DB's de instância são locais, isto é, estão associados a uma ou várias chamadas de um determinado FB.

- FC (Função)

As Funções não têm a si associadas memória, isto é, os valores das variáveis internas utilizadas numa função não são armazenados após o final de um varrimento. Logo, no final de um varrimento acede-se unicamente ao valor de saída de uma função. Quer isto dizer que as saídas deste tipo de bloco dependem exclusivamente das entradas. Dessa forma, a sua utilização é adequada em subsistemas combinacionais.

Para traduzir a organização e hierarquia destes blocos, observa-se o esquema da Figura 4.3.

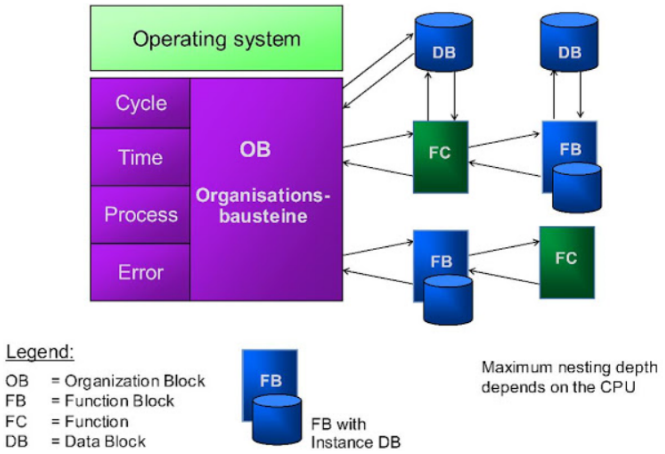


Figura 4.3 - Esquema de organização e hierarquia dos diferentes blocos de programação [45].

4.3 Requisitos da aplicação

Antes de iniciar a programação da aplicação é necessário definir os requisitos que a aplicação tem de cumprir:

- 3 modos de operação: automático recolha global, automático recolha seletiva e testes;
- garantir a integridade total do pneu;
- recolher os pneus do carro de transporte de cima para baixo e depositar no carro de baixo para cima no modo automático recolha global;
- máxima velocidade de manipulação de pneu admissível;
- evitar e reduzir o risco de colisões;
- assegurar a maior modularidade possível na programação;
- ter 2 utilizadores: administrador e operador.

Os três modos de operação, como se observa no esquema da Figura 4.4, são:

- o modo automático recolha global;
- o modo automático recolha seletiva;
- o modo testes.

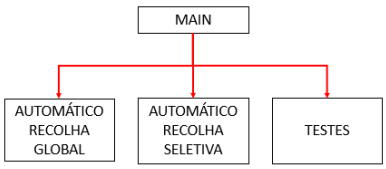


Figura 4.4 - Modos de operação.

O modo automático recolha global corresponde genericamente ao processo sequencial automático que foi descrito na Secção 1.3, ou seja, inicia-se coma a chegada de um carro de transporte que, quando chega ao seu local de estacionamento é identificado, e o operador valida o início do processo. Assim, o robô deve recolher todos os pneus do carro de transporte, começando no pneu do andar de cima, sendo que em cada andar se começa por recolher o pneu situado mais à esquerda. Depois de um pneu recolhido, o robô deve rodar o pneu de 180º e levá-lo à estação de leitura do código de barras. A estação de leitura de código de barras é constituída por 5 leitores posicionados sobre diferentes orientações garantido a leitura do código de barras independentemente da sua posição na face do pneu. Desse modo, o robô não tem de posicionar o pneu sobre nenhuma orientação particular. Lido o código de barras, o pneu deve ser pousado no tapete transportador de entrada desde que este o permita, isto é, que esteja livre. Depois de entregar o pneu ao tapete transportador de entrada, o robô deve repetir a mesma rotina com o pneu que se encontra imediatamente à direita do pneu anterior no carro de transporte, ou eventualmente no andar imediatamente abaixo do andar onde se encontrava o pneu anterior, com o pneu mais à esquerda desse andar. Terminado este processo com os pneus todos do carro de transporte, o robô deve-se dirigir ao tapete transportador de saída e recolher o pneu que lá se encontra para iniciar o processo de enchimento do carro de transporte pela ordem inversa à qual os pneus foram recolhidos. Admitindo que o processo de "pintura" segue o método FIFO (*First In, First Out*), o pneu que se encontrava na primeira posição do carro de transporte deve ser agora reposto na posição onde se encontrava o último pneu recolhido do carro de transporte. O processo termina quando todos os pneus do carro de transporte forem recolhidos, com o código de barras lido, depositados no tapete transportador de entrada, recolhidos do tapete transportador de saída e colocados novamente no carro de transporte.

O modo automático recolha seletiva faz exatamente o mesmo que o modo automático recolha global faz, a menos da grande vantagem que a ferramenta assegura, isto é, a possibilidade de manipular somente os pneus previamente selecionados. Com esta ferramenta assegura-se a possibilidade de não ser necessário recolher os pneus todos de um andar para se poder aceder aos pneus no tabuleiro imediatamente inferior. Assim, os pneus que se encontram no carro de transporte não necessitam de ser todos pintados, podendo-se colocar casais de pneus para um determinado veículo todos dispostos no mesmo carro de transporte e apenas se pintarem os estritamente necessários. Neste caso, perde-se eficiência no transporte, na chegada e saída de um carro de transporte, mas recupera-se numa fase posterior de associação dos pneus de um mesmo veículo. Neste modo de operação os pneus são selecionados previamente pelo operador e têm a particularidade de após o processo de "pintura", os pneus regressarem exatamente à mesma posição onde se encontravam no carro de transporte. Ou seja, no modo automático recolha global manteve-se o método tradicional de esvaziamento do carro de cima para baixo e o enchimento do carro de baixo para cima, no modo automático recolha seletiva já não. O modo automático recolha seletiva termina quando todos os pneus selecionados previamente forem recolhidos do carro de transporte, com o código de barras lido, depositados no tapete transportador de entrada, recolhido do tapete transportador de saída e colocados na posição onde estavam à partida no carro de transporte.

O modo testes divide a rotina em 4 possibilidades distintas:

- Teste 1 - recolher o pneu do carro de transporte e posicioná-lo de novo no carro de transporte;
- Teste 2 - recolher o pneu do carro de transporte, ler o código de barras e depositar no tapete transportador de entrada;
- Teste 3 - recolher o pneu do tapete transportador de saída e depositá-lo de novo no tapete transportador de saída;
- Teste 4 - recolher o pneu do tapete transportador de saída e depositá-lo no carro de transporte.

O operador indica previamente qual o pneu que pretende testar e igualmente a etapa. Caso selecione o Teste 1, é necessário indicar o pneu que se pretende manipular. Nessa opção, permite-se analisar se os pontos de recolha e entrega no carro estão conforme desejado. Caso selecione o Teste 2, o operador pode analisar os pontos de recolha do carro de transporte e entrega no tapete transportador de entrada, e a leitura do código de barras. Caso opte pelo Teste 3, o operador pode analisar o ponto de recolha no tapete transportador de saída. Caso opte pelo teste 4, pode analisar os pontos de recolha no tapete trasportador de saída e de entrega no carro

de transporte. Este modo de operação é exclusivamente para validar os pontos de acesso da rotina automática.

Nas Figuras 4.5, 4.7 e 4.6 podem-se observar os esquemas gerais dos 3 modos de operação. Contudo, para uma análise mais detalhada podem-se observar os grafcets no Anexo D.

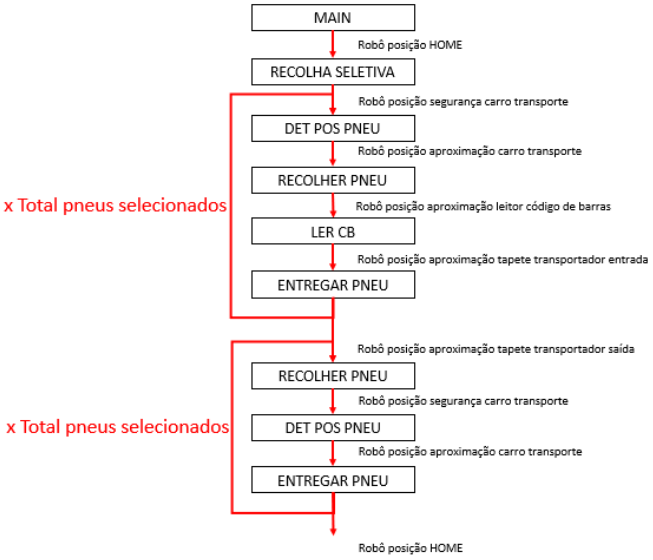


Figura 4.5 - Esquema geral de rotina do robô no modo automático recolha seletiva.

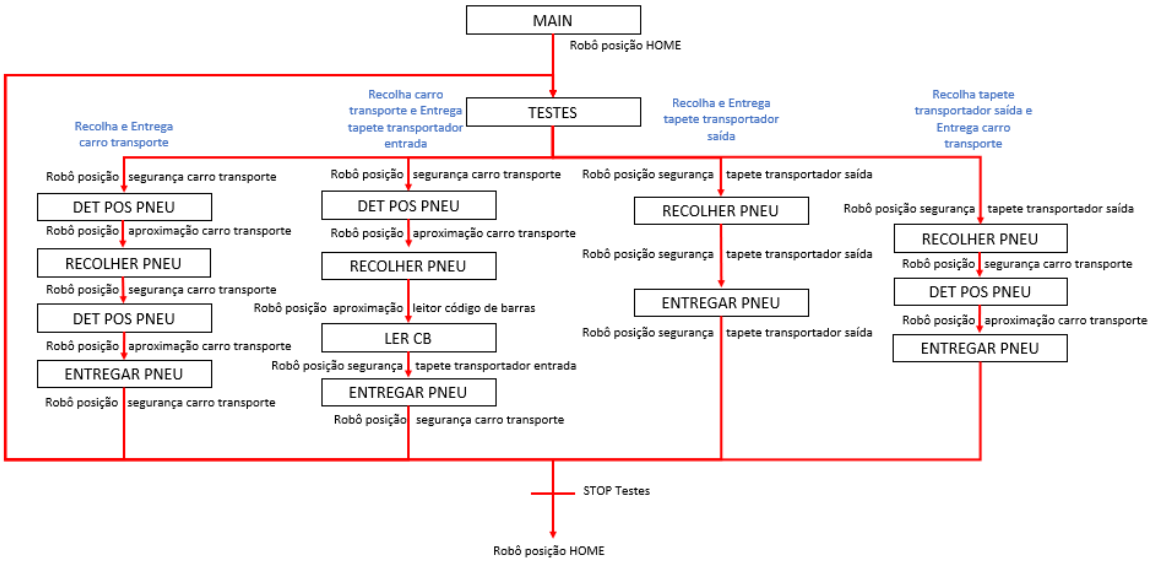


Figura 4.6 - Esquema geral de rotina do robô no modo testes.

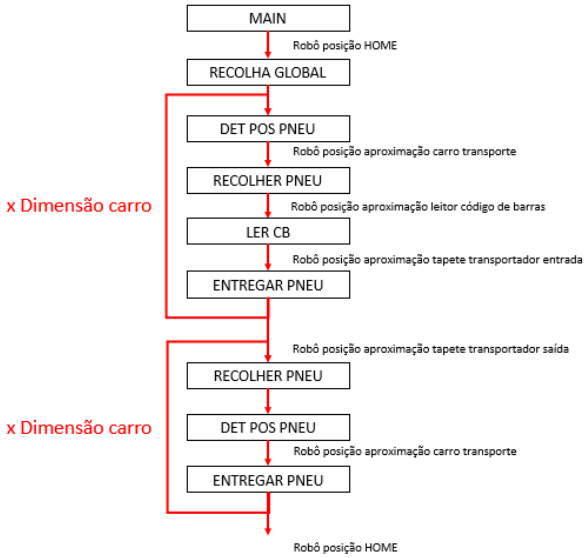
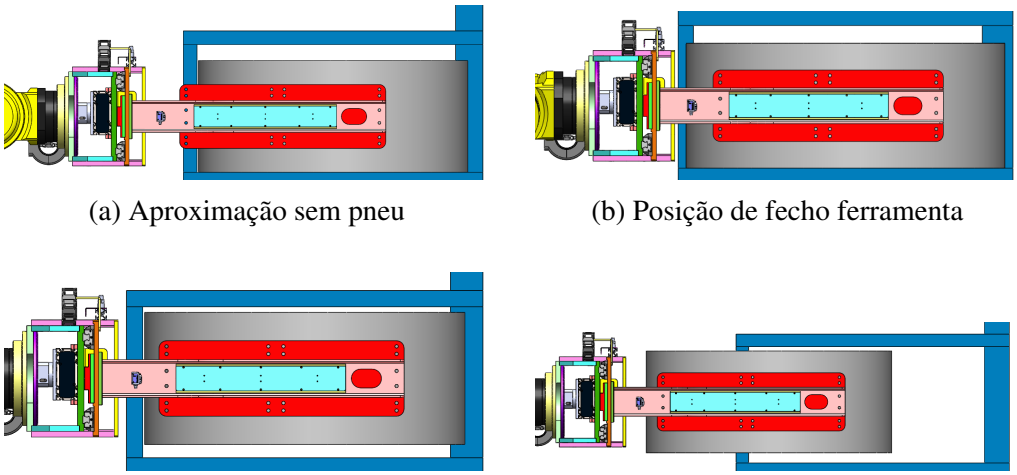


Figura 4.7 - Esquema geral de rotina do robô no modo automático recolha global.

Para garantir a integridade do pneu, é necessário recorrer a alguns cuidados. Para evitar arrastar o pneu e danificar a superfície inferior do pneu, é necessário elevar o pneu 35 *mm* sempre que se estiver ou a recolher ou depositar o pneu, seja no carro de transporte ou nos tapetes transportadores. Assim, sempre que se estiver a recolher o pneu, a aproximação da ferramenta pode ser realizada à altura do ponto onde se pega no pneu e depois da garra fechada, eleva-se o pneu antes de começar a deslocá-lo horizontalmente. A sequência do processo de recolha pode ser visualizada na Figura 4.8. Sempre que se estiver a depositar o pneu, o processo é inverso, isto é a ferramenta, com o pneu, aproxima-se do local de depósito a uma altura superior e, apenas na vertical do local de depósito, desce para largar o pneu em segurança. No momento de fechar a garra da ferramenta, a medida de fecho dos braços da ferramenta terá que ser experimentada na Secção 5 de modo a garantir a integridade total do pneu, bem como garantir que o pneu se encontra bem aprisionado de modo a nunca poder cair ao longo da trajetória do robô. Posto isto, no pousar do pneu a sequência de figuras altera para 4.8d, 4.8c, 4.8b e 4.8a.

A máxima velocidade admissível do robô tem de se ajustar ao tipo de movimentos que se pretende. No entanto, de modo geral, o robô pode-se deslocar à máxima velocidade admitida pelo robô, ou seja, 3000 mm/s. É, no entanto, preciso ter o cuidado de garantir uma aceleração inferior ao valor determinado na subsecção 3.2.2 de 17,3 m/s^2. No entanto, o robô FANUC não permite controlar o valor de aceleração em valor absoluto, apenas em valor percentual de um limite máximo estabelecido pelo fabricante e que não se encontra acessível ao utilizador.



(a) Aproximação sem pneu

(b) Posição de fecho ferramenta

(c) Elevação do pneu

(d) Recuo com pneu

Figura 4.8 - Esquema de recolha do pneu.

Assim, por uma questão de segurança, sempre que se movimenta o robô com o pneu, para além de definir uma nova carga da ferramenta com o centro de gravidade um pouco mais distante do punho do robô, também se define um limite de aceleração de 10%.

Para reduzir ou evitar os riscos de colisões do robô ou da ferramenta com os obstáculos incluídos na célula de trabalho são implementadas 2 diferentes medidas. Para reduzir os riscos de colisões nas imediações de objetos, ou seja, na imediação dos tapetes transportadores e carro de transporte, é assegurado um ponto de aproximação a cada uma das estações. O robô pode-se mover em juntas até atingir esses pontos de aproximação, ou seja, movimentar os eixos livremente até atingir o ponto de destino sem uma trajetória definida. Após o robô atingir esses pontos de aproximação, tudo o que sejam trajetórias realizadas pelo robô são segundo movimentos lineares. Isto é, ao contrário da movimentação em juntas, a movimentação linear garante uma trajetória linear do ponto de partida ao ponto de destino, a orientação dos 6 eixos do robô garante sempre a linearidade da trajetória que para os efeitos desta aplicação se pode considerar ideal, sem desvios. Desse modo, com o acionamento do botão de emergência, onde os travões são todos acionados, o robô afasta-se da sua trajetória deixando de ser linear mas acaba-se por ter algum controlo de movimento não originando uma variação brusca da trajetória colidindo com os obstáculos da célula de trabalho.

Outra forma de reduzir o risco de colisão é a inclusão de espaços de colisão associados a cada um dos objetos. O espaço de colisão de cada objeto só pode ser ultrapassado se for concedida autorização. Estes espaços de colisão são volumes virtuais em redor dos objetos, criados com a volumetria dos próprios objetos acrescida da volumetria da ferramenta do robô

com um pneu. Assim, podem ser observados estes espaços na Figura 4.9. Assegurando que no correto funcionamento da rotina não ocorrem colisões, os espaços de colisões impedem que numa eventual falha na transmissão de uma mensagem o robô se desloque e se movimente de alguma forma que não deveria.

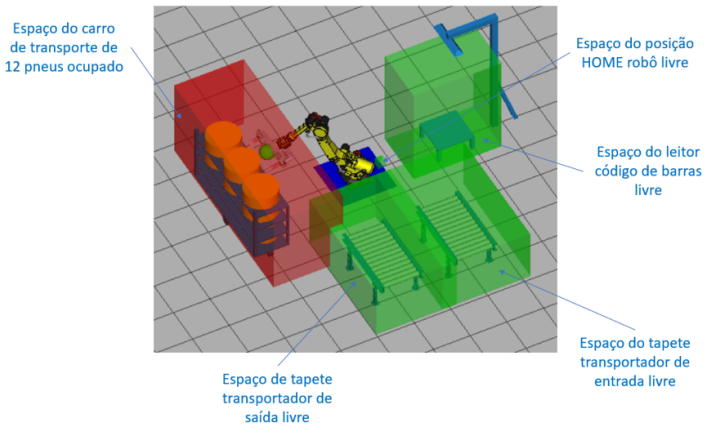


Figura 4.9 - Espaço de colisões de célula de trabalho.

Seria possível ainda incluir esforços máximos sobre cada um dos eixos do robô. Nesse sentido, inserem-se binários máximos e mínimos que cada um dos servomotores dos eixos do robô pode superar. Caso qualquer um dos limites seja superado, o robô emite um sinal de falha, um alarme de colisão detetada, acionando todos os travões de bloqueio. Esta medida não evita colisões. No entanto, pode evitar que danos graves ocorram após uma colisão. Esta prevenção depende da margem que for dada em relação ao binário máximo admissível. Sabendo que a carga da ferramenta é variável, podendo não incluir nenhum pneu mas igualmente pode incluir um pneu de 30 kg, os danos mais graves ocorrem para o caso de não se encontrar nenhum pneu em manipulação.

Apesar desta medida ser de elevado nível de segurança, pela dificuldade de ensaio dos binários máximos admissíveis na rotina e da análise de eventuais danos provocados por uma colisão, não será tida em consideração no seguimento deste trabalho.

Esta aplicação está prevista que decorra para um só tipo de carro de transporte, o de 12 pneus. No entanto, apesar de nesta fase não se ter dimensões físicas do carro de transporte de máxima capacidade de 20 pneus e sabendo dessa alternativa, é de máxima relevância contemplar no código essa possibilidade, assim como outras que possam surgir. Consequentemente, o código está concebido para se acomodar a diferentes carros de transporte, desde que estes assegurem sempre as seguintes características:

- um número específico de andares por carro;
- um número específico de pneus por cada andar;
- a mesma distância entre andares consecutivos;
- a mesma distância entre pneus consecutivos, em cada tabuleiro;
- a mesma altura do andar inferior em relação à base do robô;
- a referência do carro é dada pelo limite esquerdo do andar inferior;
- a posição dos pneus tem de estar sempre garantida relativa à superfície frontal do carro.

Ainda que todas estas características tenham de ser asseguradas, as 4 primeiras são consideradas fundamentais. A mesma altura do andar inferior em relação à base do robô independente de cada carro de transporte pode sempre ser ultrapassada, caso não se cumpra, com a definição de um novo referencial para cada carro de transporte. A referência do carro de transporte é dada pelo limite esquerdo do andar inferior sendo que essa posição é fixa pensando no sistema de fixação do carro de transporte.

Deste modo, para inserir um novo carro de transporte no programa é necessário indicar:

- número total de pneus de capacidade;
- número de andares do carro;
- número de pneus por andar;
- distância entre centros de pneus lateralmente;
- distância entre tabuleiros consecutivos;
- posição do pneu do andar de cima, o mais à esquerda (pneu 1).

A posição dos pneus, independentemente do carro de transporte e do diâmetro do pneu, é definida não pela posição do seu centro mas sempre pelo ponto na sua circunferência exterior mais próximo da ferramenta. Assim, a posição de recolha do pneu é sempre a mesma independentemente do seu diâmetro.

4.4 Disposição física da célula de trabalho

No sentido de otimizar o processo, é necessário estudar o melhor posicionamento dos elementos constituintes da célula de trabalho. Para esse efeito, é preciso primeiramente definir o posicionamento do robô em relação ao principal objeto de trabalho, o carro de transporte.

O robô tem de atingir todos os pontos de acesso do carro de transporte de 12 pneus de capacidade. Dessa forma, o robô tem de estar distante o suficiente de modo a não colidir com

o carro de transporte com um pneu de diâmetro de 900 *mm*, situação na qual a ferramenta do robô se encontra com a maior volumetria, mas suficientemente perto para poder aceder aos pontos de recolha e entrega sem qualquer dificuldade. É necessário igualmente estudar o seu posicionamento em altura, sabendo que o robô tem maior facilidade de acesso a pontos de maior cota do que a pontos de menor cota. Para esse efeito existem 3 alternativas possíveis:

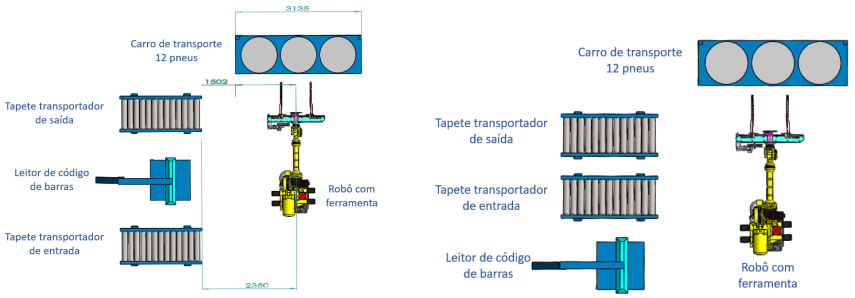
- colocar o robô sobre uma base baixa;
- colocar o robô numa solução embutida no chão de fábrica;
- elevar o carro de transporte.

A solução escolhida neste trabalho é a colocação do robô sobre uma base de baixas dimensões dado que facilmente se pode incluir numa fábrica ao contrário das outras duas alternativas que necessitam de adaptação da fábrica na qual a solução é inserida. A base do robô de 15 *mm* de altura é a solução de compromisso encontrada para permitir aceder aos pontos de menor cota e sem atingir pontos de singularidade nos pontos de maior cota do carro de transporte.

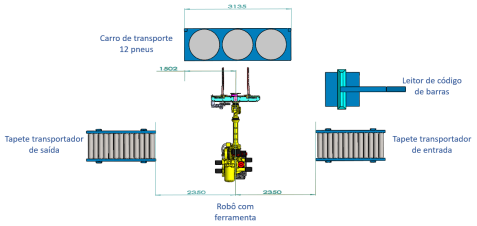
O problema da singularidade do robô é uma questão para a qual se deve tomar algum cuidado ao realizar um programa. A singularidade é uma configuração do robô na qual seria necessário impor velocidades infinitamente altas numa ou mais juntas para manter determinadas velocidades no espaço operacional. De outro modo, haveria um atuador cujo controlo seria sempre insuficiente para cumprir as velocidades desejadas no espaço operacional. Numa situação de singularidade há a perda de um ou mais graus de movimento que, quando o número de graus de liberdade no manipulador for menor ou igual a 6, se diz perda de um grau de liberdade.

No ponto mais desfavorável, o braço é alinhado perfeitamente com o punho do robô permitindo que a velocidade da junta 4 possa atingir um valor perigoso para o mecanismo do robô. Desse modo, o controlador do robô assim que detete uma aproximação a um ponto de singularidade, é emitido um sinal de alarme e acionados os travões do robô.

Definida a posição do robô relativamente ao carro de transporte, é necessário definir a melhor disposição dos outros elementos constituintes da célula de trabalho, isto é, do tapete transportador de entrada, do tapete transportador de saída e da estação de leitura do código de barras, tendo em conta especificações definidas. Importa referir que na análise da disposição dos elementos constituintes, pretende-se estudar a disposição dos elementos considerando uma estação de leitura do código de barras própria, no "percurso" do robô entre o carro de transporte e o tapete transportador de entrada. No sentido de reduzir o tempo do processo analisam-se 3 alternativas demonstradas na Figura 4.10.



(a) Opção 1 (b) Opção 2



(c) Opção 3

Figura 4.10 - Disposição das opções do *layout* da aplicação.

Na primeira opção, se se aproximar o tapete transportador de saída do carro de transporte o robô movimenta-se nas proximidades do carro de transporte, podendo mesmo colidir com o mesmo. Se se afastar o tapete transportador de saída do carro de transporte, tanto a estação do leitor de código de barras como o tapete transportador de entrada têm de se deslocar no mesmo sentido, atingindo o limite da área de trabalho do robô. Desse modo, como uma solução de compromisso, coloca-se o tapete transportador de saída o mais distante possível do carro de transporte e insere-se um ponto de segurança entre o retirar do pneu do tapete transportador de saída e o ponto de segurança do carro de transporte, para permitir rodar o pneu em segurança.

Na segunda opção, devido à acrescida dificuldade do robô em aceder a posições de cotas mais baixas, é impossível o robô aceder a todos os pontos de acesso. Para contornar este problema sugere-se uma alternativa representada na Figura 4.11.

Assim, apresentam-se na Tabela 4.1 os tempos de processo das alternativas apresentadas. Repare-se que na opção 3 optou-se pelo alinhamento do tapete transportador de entrada com o tapete transportador de saída por uma questão de facilidade de montagem da linha. No entanto, havendo a possibilidade de deslocar o tapete transportador para uma posição mais próxima do carro de transporte, os tempos de encher o carro igualam os valores da opção 2', aproximando-se dos tempos totais da opção 2'. Verifica-se que a opção otimizada é a opção 2' apesar da opção 3 poder ser uma alternativa bastante válida.

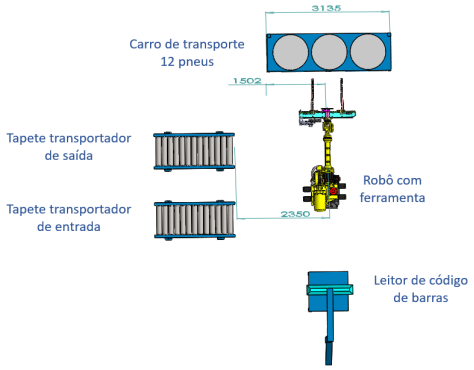


Figura 4.11 - Alternativa à opção 2 da disposição do *layout* - Opção 2'.

Tabela 4.1 - Tempos de produção médios.

	Opção 1	**Opção 2'**	**Opção 3**
$T_{\text{esvaziar carro 12 pneus}}$	2 min 08 s	2 min 06 s	2 min 10 s
$T_{\text{encher carro 12 pneus}}$	1 min 43 s	1 min 28 s	1 min 36 s
$T_{\text{total rotina carro 12 pneus}}$	3 min 52 s	3 min 36 s	3 min 47 s
$T_{\text{médio esvaziar 1 pneu}}$	10,667 s	10,500 s	10,833 s
$T_{\text{médio encher 1 pneu}}$	8,583 s	7,333 s	8,000 s

4.5 Especificações do controlador

Em paralelo com o robô, o autómato é responsável por controlar o sistema. Isto é, é o autómato que indica ao robô o que deve executar, quando e de que forma. O autómato é responsável, ainda, pelo controlo da segurança do sistema.

O funcionamento pode ser dividido em 5 partes, correspondendo a 5 diferentes grafcets:

- segurança;
- operação;
- abrir os braços da ferramenta;
- fechar os braços da ferramenta;
- aproximação.

Em termos hierárquicos, o grafcet de segurança é superior a todos os outros, sendo capaz de se sobrepor e interromper os mesmos a qualquer momento do funcionamento do sistema.

- Segurança

O autómato é responsável por averiguar se ocorre alguma falha durante a execução das rotinas. Nesse sentido, é necessário definir as eventuais falhas que poderão surgir no decorrer do funcionamento. Estas falhas podem ser identificadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Falhas do sistema.

Falhas do sistema
Atuação do botão de emergência
Falha robô
Falha perda de pneu
Falha pneu agarrado

Neste trabalho, apesar de não se encontrar disponível um botão de emergência físico, inseriu-se na lógica do sistema como forma de interromper todo e qualquer movimento, seja do robô ou do eixo linear, na posição em que se encontra. Tendo em conta as velocidades de movimento do eixo linear serem relativamente baixas, na ordem dos 180 mm/s, pode-se garantir que o servomotor trava precisamente no local onde se encontra quando o botão de emergência é acionado. Porém, no caso do robô, como as velocidades de deslocamento são da ordem dos 3000 mm/s, a travagem é brusca e origina uma ligeira perturbação da posição do robô.

O robô tem sinais digitais (UOP) de entrada (UI) e saída (UO) pré-definidos, 18 de entrada e 20 de saída, que permitem ao utilizador comandar o robô de forma remota. Dentro dos sinais de saída, o robô emite um sinal de falha não distinguido a origem da falha. Para poder observar a sua origem é necessário aceder à consola do robô, ao *teach pendant*, visualizando em detalhe o erro ocorrido.

Qualquer que seja a falha do robô, seja por exemplo por aproximação de singularidade, ou por incapacidade de atingir um determinado ponto, o robô emite um sinal de "Falha robô", interrompendo o seu movimento.

Quando a ferramenta fecha e aperta o pneu, se os dois detetores dos braços de aperto da ferramenta deixarem de estar atuados antes de ser dada indicação para a ferramenta largar o pneu, é emitido um sinal de "Falha perda de pneu". Quando a ferramenta abre e larga o pneu, se pelo menos um dos detetores dos braços de aperto da ferramenta identificarem o encosto do braço, é emitido um sinal de "Falha pneu agarrado".

Para além das falhas que exigem a interrupção de qualquer movimento do robô e onde qualquer umas das falhas apenas permitem a retoma do movimento em modo manual, existem

alarmes que o operador tem acesso sem a necessidade de interromper a rotina. Estes alarmes podem ser observados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Alarmes do sistema.

Alarmes do sistema
Falha fecho
Falha aproximação
Espera por tapete entrada livre demorada
Espera por tapete saída ocupado demorada
Limite positivo do eixo atingido
Limite negativo do eixo atingido
Erro detetor direita
Erro detetor esquerda

O "Falha fecho" e o "Falha aproximação" serão abordados no grafcet fechar os braços da ferramenta e aproximação, respetivamente.

O alarme de "Espera por tapete entrada livre demorada" é ativo assim que o robô pede autorização para aceder ao espaço do tapete transportador de entrada e este não se encontra livre de pneus em menos de 5 segundos. O alarme de "Espera por tapete saída ocupado demorada" assim que o robô pede autorização para aceder ao espaço do tapete transportador de saída e este não se encontra com pneu disponível em menos de 5 segundos.

O "Limite positivo do eixo atingido" e o "Limite negativo do eixo atingido" são sinais dados pelos detetores de fim de curso incluídos na ferramenta, apenas permitindo o movimento do eixo linear no sentido contrário.

O "Erro detetor direita" ocorre quando os braços da ferramenta fecham e o detetor do braço direito não identifica o encosto do pneu. O "Erro detetor esquerda" é idêntico, no entanto para o detetor do braço esquerdo. Deste modo, é possível continuar a rotina até ao fim se um detetor avariar, não interrompendo a rotina do robô.

- Operação

O grafect "Operação" é responsável pela garantia da correta inserção dos dados referentes ao carro de transporte e dos pneus e pelo comando do robô. Desse modo, este grafcet tem a responsabilidade de transmitir a informação do modo de operação e dos dados que o robô necessita para executar a rotina pretendida.

- Abrir braços da ferramenta

O grafect "Abrir braços da ferramenta" é responsável por comandar a abertura do eixo linear da ferramenta. Quando o robô indica que se encontra na posição de entrega do pneu, a ferramenta deve abrir os seus braços permitindo libertar o pneu, seja nos tapetes transportadores ou no carro de transporte.

- Fechar braços da ferramenta;

O grafect "Fechar braços da ferramenta" assegura o fecho do eixo linear da ferramenta. Quando o robô indica que se encontra perante um pneu e em posição de fechar os braços da ferramenta, o eixo linear deve movimentar-se de modo a que a distância entre os braços seja 7% inferior ao valor do diâmetro do pneu. O valor de 7% é resultado dos ensaios experimentais do Capítulo 5.

Caso nenhum dos detetores indique o encosto dos braços ao pneu, o eixo deve fechar mais 2% e emitir o sinal de alarme "Falha fecho". Na eventualidade de nenhum dos detetores voltar a detetar o encosto, o eixo fecha mais 2%, repetindo apenas mais uma vez se voltar a não ser detetado o encosto. A partir desse momento, o operador pode optar por terminar a rotina ou repetir o fecho, isto é a ferramenta abrir até à sua posição de abertura de aproximação e reiniciar o seu movimento de fecho. Deste modo, o valor inserido no sistema do diâmetro pode ter um ligeiro erro associado permitindo que a rotina se mantenha em funcionamento.

Quando o eixo linear fecha, se o pneu se encontrar descentrado relativamente à ferramenta, isto é se apenas um dos detetores identificar o encosto do pneu, o robô desloca-se 10 *mm* no sentido do encosto identificado de modo a centrar o pneu. De seguida, o eixo linear volta a fechar mais 2% do diâmetro do pneu.

- Aproximação.

O grafect "Aproximação" assegura que após a aproximação da ferramenta ao pneu, o mesmo é identificado. Caso o pneu não seja detetado, o robô deve reaproximar-se 10 *mm*. Caso ainda não seja identificada a presença do pneu, o robô reaproxima-se 10 *mm* uma segunda vez, e na terceira reaproximação apenas mais 5 *mm*, garantindo que não ocorre colisão com o carro de transporte.

Após o robô reaproximar-se 3 vezes, ou seja 25 *mm*, o operador pode optar por terminar a rotina, eventualmente se não se encontrar nenhum pneu naquela posição, ou optar por recomeçar a aproximação. Recomeçar a aproximação significa que o robô recua até ao ponto de aproximação ao pneu, e refaz o movimento de aproximação ao pneu.

4.6 Conceção e desenvolvimento da interface de visualização

Os sinais de entrada para a progressão do modelo comportamental do sistema especificado na Secção 4.5 são inseridos por parte de um operador através da HMI (Interface Homem-Máquina). Nesse sentido é necessário conceber a HMI, isto é, desenhar e programar a interface de visualização de modo a que esta seja intuitiva e organizada esteticamente, tal como deve permitir assegurar o bom funcionamento sequencial do sistema.

Antes de definir as especificações da interface e de se analisar os diferentes painéis em particular, apresenta-se na Figura 4.12 um esquema geral da sequência dos painéis principais que se segue no decorrer do funcionamento do sistema.

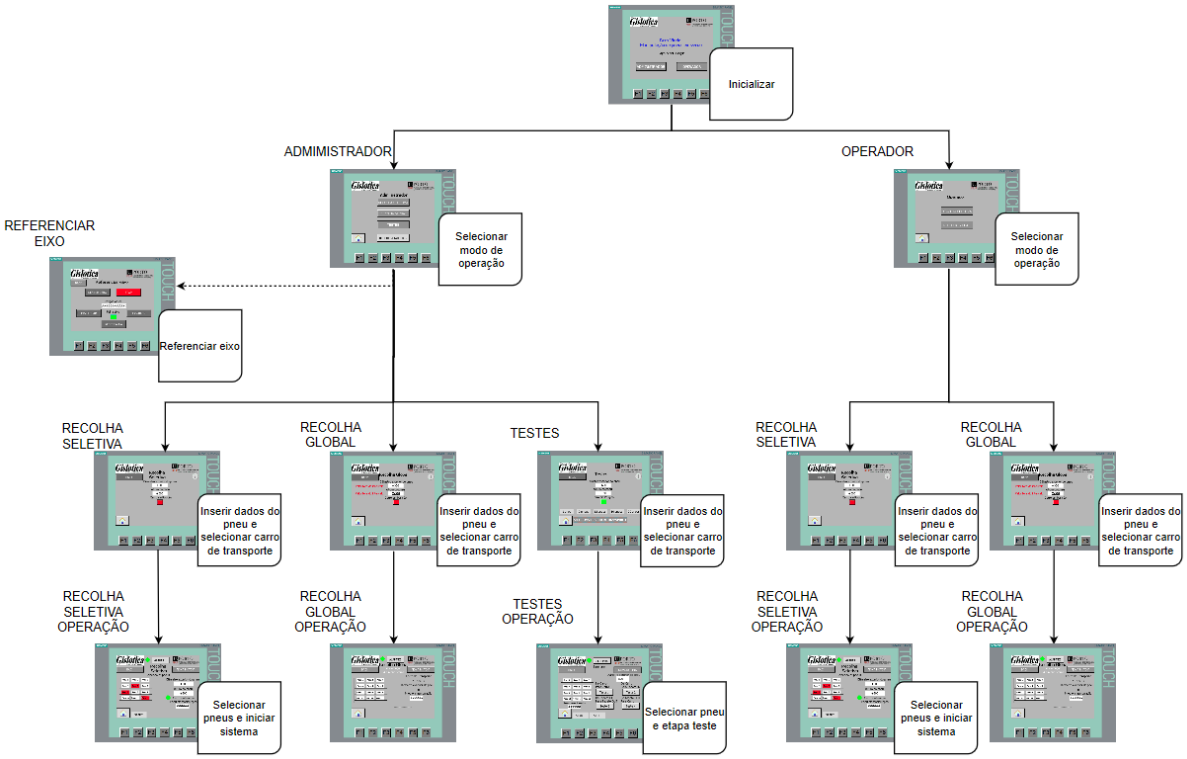


Figura 4.12 - Esquema geral dos painéis da interface.

A interface tem de assegurar alguns requisitos, entre os quais:

- conformidade estética;

Uma das especificações basilares incide sobre a estética da interface, tendo que se desenvolver todos os diferentes ecrãs segundo um mesmo padrão, mantendo fixas as cores e a posição

dos vários elementos padrões que se repetem ao longo dos diferentes ecrãs tais como os logótipos, da empresa e da faculdade, o nome do sistema, os botões de retorno (*BACK*). Assim, garante-se uma maior consistência na navegação entre ecrãs para além de facilitar a capacidade de interação por parte do operador. Ao longo das seguintes especificações demonstra-se a coerência dos diferentes painéis que contêm os mesmos botões, tal como ocorre na definição das características dos pneus e dos carros de transporte nos 3 distintos modos de utilização.

No desenvolvimento da interface segue-se a norma IEC/IEEE 82079-1:2019. Segundo esta norma, os valores aconselháveis para utilizar na interface são os apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Valores aconselháveis a utilizar numa interface portátil.

Local e função da informação	**Alto contraste texto a preto em fundo claro**	**Baixo contraste ou texto a branco**
Mensagens críticas	14 pt bold	16 pt bold
Títulos	12 pt	14 pt
Texto	10 pt	12 pt

- permissão de inicialização através de 2 utilizadores (Administrador e Operador);

No menu principal, *HOME*, o operador pode inicializar-se como administrador ou operador. Neste painel, que pode ser visualizado na Figura 4.13, como em todos os seguintes, pode-se observar os logótipos da faculdade e da empresa onde este trabalho foi desenvolvido.



Figura 4.13 - Painel *HOME*.

- seleção do modo de operação;

A distinção dos 2 tipos de utilizador tem de permitir selecionar entre os 3 modos de utilização, automático recolha seletiva, automático recolha global e testes, para o administrador, ou

entre os 2 modos de utilização, automático recolha seletiva e automático recolha global, para o operador. O administrador é o único utilizador que tem capacidade de referenciar o eixo linear, isto é, de estabelecer a posição zero do servomotor. Os painéis de inicialização de ambos os utilizadores podem ser observados nas Figuras 4.14a e 4.14b.



(a) Administrador (b) Operador

Figura 4.14 - Painéis de inicialização.

- permissão para referenciar eixo linear;

Antes de iniciar a rotina pela primeira vez por parte de um utilizador, no perfil de administrador deve ser referenciado o eixo para garantir a correta utilização do sistema. Referenciar o eixo é exigido antes da utilização do servomotor. Caso contrário, o eixo não permite o seu funcionamento emitindo um sinal de falha. Assim, para referenciar o zero do eixo é possível não só movimentar o eixo através dos comandos *Jog* Abrir e *Jog* Fechar para posicionar os braços da ferramenta na posição desejada, como também definir o zero através do comando Definir HOME, e ainda fazer o reconhecimento da falha através do comando *Reset* Falha.

O comando STOP serve apenas como medida de segurança, mas é uma medida redundante visto que quando não se deixa de premir o botão *Jog* Abrir ou *Jog* Fechar o eixo para automaticamente. Ainda assim, na eventualidade de se ter premido qualquer um destes 2 botões e o botão STOP, o botão STOP é predominante sobre os outros, bloqueando o atuador de qualquer movimento. O botão STOP é de atuação alternada pelo que premindo novamente disponibiliza o eixo novamente.

O painel que permite referenciar o eixo pode ser visualizado na Figura 4.15.



Figura 4.15 - Painel Referenciar eixo.

- definição do diâmetro externo e da altura da família de pneus do carro de transporte;

Nos 3 modos de utilização é necessário definir o diâmetro externo e altura dos pneus que se pretendem ver manipulados. Sabendo que o diâmetro externo do pneu tem de estar contido entre 500 e 900 *mm* , e a altura do pneu entre 180 e 350 *mm* , aparece uma mensagem de erro enquanto não for inserido um valor dentro destes intervalos. Apenas quando ambos os valores são corretamente submetidos, aparece o botão de confirmação do correto posicionamento do carro. Neste trabalho, optou-se por simular a indicação do correto posicionamento do carro de transporte através de um botão de atuação alternada. A Figura 4.16 permite observar a correta submissão dos dados dos pneus que se pretende que sejam manipulados. A submissão dos dados do pneu é idêntica em qualquer dos modos de operação.



(a) Painel Automático Recolha Seletiva



(b) Painel Automático Recolha Global

Figura 4.16 - Painéis para definir diâmetro externo e altura dos pneus.

Para um operador que desconhece os intervalos de valores admissíveis tanto para o diâmetro como para a altura, é disponibilizado um botão de informação onde aparece a informação

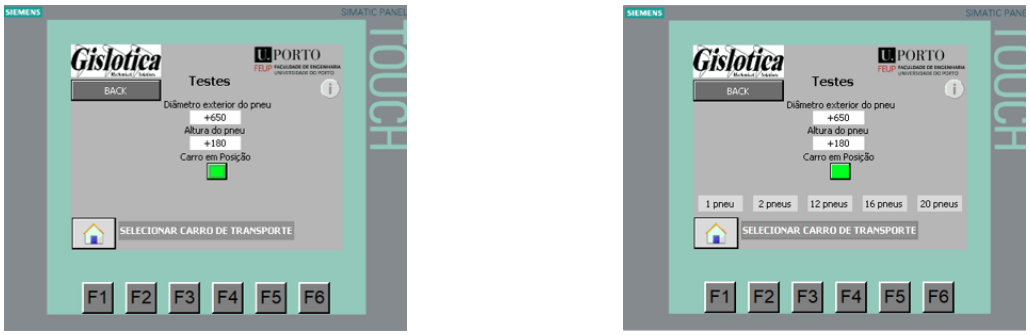
necessária para a correta utilização da interface HMI. Este painel pode ser observado na Figura 4.17.



Figura 4.17 - Painel Informação.

- seleção do tipo de carro de transporte;

Tal como referido no painel de informação da Figura 4.17, antes de definir o carro de transporte da aplicação deve ser garantido o correto posicionamento do carro de transporte. Estando o carro de transporte bem posicionado, deve-se então identificar o carro de transporte. O carro de transporte para este trabalho tem como capacidade 12 pneus. No entanto, tal como já foi referido anteriormente, existe outro carro de transporte de capacidade para albergar 20 pneus. Para os ensaios experimentais, como se verá no Capítulo 5, irá ser testada a rotina com um "carro de transporte" de capacidade para um único pneu. Para uma questão meramente demonstrativa, optou-se por acomodar na HMI as opções de 1, 2, 12, 16 e 20 pneus. Na Figura 4.18 pode-se observar o limite de diferentes carros de transporte que esta interface permite ter. Acima de 5 diferentes carros de transporte, deve-se optar por uma caixa de lista para selecionar o carro de transporte adequado, ao contrário dos botões aqui inseridos.



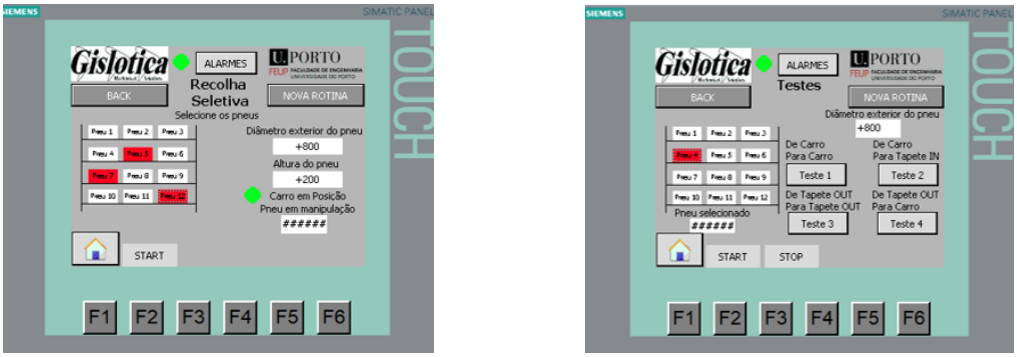
(a) Painel Testes antes de 'Selecionar carro de transporte'

(b) Painel Testes após 'Selecionar carro de transporte'

Figura 4.18 - Painéis para definir tipo de carro de transporte.

- seleção dos pneus a manipular no modo automático recolha seletiva e no modo testes;

Nos modos de utilização automático recolha seletiva e testes, é necessário definir quais os pneus que se pretendem manipular. Assim sendo, pode-se selecionar através de botões que correspondem a cada um dos pneus presentes no carro de transporte, tal como se pode ver na Figura 4.19. É necessário selecionar pelo menos um pneu antes de iniciar a rotina no modo automático recolha seletiva. No entanto, para o modo testes apenas se pode selecionar um único pneu.



(a) Painel Recolha Seletiva Operação (b) Painel Testes Operação

Figura 4.19 - Painéis para selecionar pneus a manipular.

- seleção da etapa de teste;

No modo testes, para além de ser necessário definir o pneu que se pretende manipular, é ainda necessário definir qual a etapa de teste que se pretende executar. Isto é, é necessário definir o pneu que se pretende manipular, mas posteriormente é necessário escolher entre recolher um pneu do carro de transporte, ler o código de barras, entregar o pneu no tapete transportador de entrada, recolher o pneu no tapete transportador de saída e entregar o pneu no carro de transporte. Só após serem realizadas ambas as seleções se poderá iniciar o processo. A forma como se seleciona a etapa de teste pode ser igualmente observada na Figura 4.19b.

- visualização do pneu em manipulação;

Nos 3 modos de utilização, é possível acompanhar-se o pneu em manipulação. No entanto, esta informação é algo limitada para entender em que ponto a rotina se encontra. Ora por exemplo, no caso do carro de transporte de 12 pneus no modo automático recolha global, se a informação da HMI indicar que o pneu em manipulação é o 2º, não se sabe se a rotina

estará ainda no princípio, na segunda manipulação, ou se estará a terminar, estando já na 23ª manipulação, faltando apenas mais uma para terminar a rotina. Esta informação passa a ser de extrema relevância, sendo por isso possível visualizar a informação na HMI se se encontra a esvaziar ou a encher o carro de transporte. Esta informação pode ser visualizada na Figura 4.20 no modo automático recolha global.



Figura 4.20 - Painel Automático Recolha Global Operação.

- visualização de falhas e alarmes do sistema.

Ao longo do funcionamento da rotina é possível visualizar uma luz na HMI, verde quando não se encontra em falha e vermelha quando se encontra em falha. É possível aceder ao painel dos alarmes para se tomar conhecimento dos alarmes. Este painel tem um botão de informação que permite indicar como se deve proceder quando for detetada uma falha. Pode-se observar ambos os painéis na Figura 4.21. Este painel permite, ainda, tal como referido na Secção 4.5, abrir totalmente a ferramenta até à sua posição HOME. Esta etapa deve ser realizada em colaboração com o robô, isto é, o robô deve ser colocado numa posição onde seja permitido largar o pneu em segurança.



(a) Painel Alarmes



(b) Painel Informação Alarmes

Figura 4.21 - Painéis de alarmes.

Capítulo 5

Ensaios experimentais

Neste Capítulo são analisados os ensaios experimentais realizados para validação do desenvolvimento efetuado.

5.1 Objetivos dos ensaios experimentais

Nos ensaios experimentais não é possível executar a rotina da aplicação descrita anteriormente devido à inexistência de um carro de transporte e à indisponibilidade dos outros elementos constituintes da célula de trabalho. Nesse sentido, a rotina de teste sofre algumas alterações que serão explicitadas em 5.2. No entanto, com a realização de ensaios experimentais pretende-se validar os seguintes aspetos:

- Validar a rotina de teste;
- Confirmar a não ocorrência de colisões com a célula de trabalho;
- Validar detetores utilizados;
- Validar a superfície de encosto lateral ao pneu;
- Validar o sistema de batente de encosto lateral ao pneu (definir posicionamento e número de molas);
- Definir a velocidade e a posição de fecho.

5.2 Rotina de validação

A rotina de teste tem como base fundamental a rotina da aplicação. No entanto, sofre algumas alterações. Nesta rotina de ensaio, o carro de transporte de capacidade para 12 pneus é substituído por uma caixa que simbolizará um tabuleiro com um único pneu.

Inicialmente, o robô encontra-se na sua posição de *HOME*, uma posição de segurança relativamente a todo o meio envolvente no espaço físico de trabalho. Dando início à rotina, a ferramenta de trabalho fecha até uma posição com que fique com os braços da ferramenta a uma distância próxima do valor do diâmetro externo do pneu que irá ser manipulado.

De seguida, o robô dirige-se para a posição de segurança do "carro de transporte" para posteriormente realizar o movimento de recolha do pneu conforme indicado na rotina da aplicação. Tendo o pneu agarrado, retoma à posição de segurança do "carro de transporte", finalizando o processo de recolha do pneu do "carro de transporte".

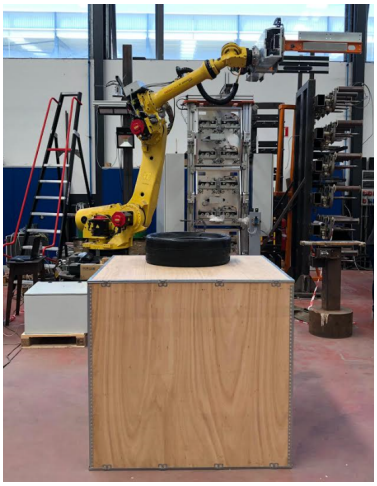
Após a recolha do pneu, o robô não se deve dirigir ao leitor de código de barras com o pneu, nem colocá-lo no tapete transportador de entrada, visto que ambos os elementos não existem fisicamente. Desse modo, para validar a capacidade de fecho da ferramenta e a sua capacidade de retenção durante o movimento de rotação do pneu, o robô deve rodar o pneu 180^{o} para um lado e 180^{o} para o outro, estando o robô posicionado no ponto de segurança do carro de transporte.

Terminado o movimento de rotação do pneu, o robô deve depositar o pneu no "carro de transporte" sobre a face com que estava pousada previamente. Estando o pneu pousado em segurança, o robô termina a sua rotina e retoma à sua posição de segurança, a posição de *HOME*.

Na Figura 5.1 pode-se observar em sequência a rotina de validação.

5.3 Satisfação dos objetivos

Na rotina de teste demonstrada na Figura 5.1 consegue-se garantir a acessibilidade do robô a todos os pontos definidos na aplicação e sem colidir com os elementos constituintes da célula de trabalho. Esta é a grande vantagem da utilização do *software* de simulação para programação *offline* que facilita a passagem para programação *online*. Desse modo, a transição para o ambiente real torna-se fácil por ser uma transição onde apenas se têm de ajustar os referenciais dos objetos de trabalho.



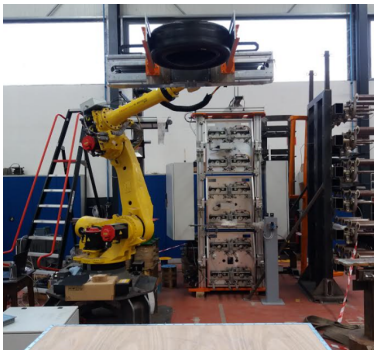
(a) Robô na posição *HOME* e pneu no "carro de transporte"



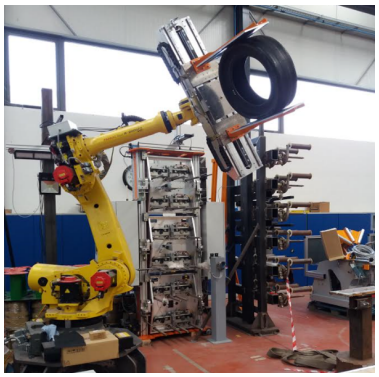
(b) Robô na posição de segurança do "carro de transporte"



(c) Fechar dos braços da ferramenta e consequente agarrar no pneu



(d) Robô na posição de segurança do "carro de transporte" com pneu



(e) Rotação de 180º no sentido positivo e depois 180º no sentido negativo



(f) Depositar do pneu sobre o tabuleiro do "carro de transporte"

Figura 5.1 - Rotina de teste do robô.

No entanto, nos ensaios detetou-se a falha de deteção de presença do pneu por parte do detetor fotoelétrico SICK VTE180-2P42482. Este detetor apenas identifica o pneu sob determinadas orientações e luminosidades devido à refletividade da superfície de borracha negra. Assim sendo, sugere-se a utilização de outro detetor selecionado previamente no Capítulo 3. Nesta fase de ensaios, não é possível analisar o comportamento de outro detetor, pelo que se regista apenas a inviabilidade deste detetor utilizado.

Para os braços da ferramenta não são utilizadas as tiras de borracha para acomodar o pneu lateralmente e aumentar o atrito entre o pneu e a placa de encosto lateral por indisponibilidade de material. Nesta fase de ensaios tentou-se evitar a utilização de qualquer tipo de material para aumentar a capacidade de retenção. Sendo essa superfície de encosto o alumínio (o coeficiente de atrito $\mu_{\text{borracha-aluminio}} = 0,4$ [46]), e para um pneu de cerca de 15 kg, confirmando os cálculos apresentados em 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, a ferramenta não tem capacidade de retenção permitindo que o pneu escorregue devido à sua superfície lisa e macia.

$$F_{\text{fricção}} > P_{pneu} \tag{5.1}$$

$$P_{pneu} = m_{pneu} \times g = 15 \times 9,8 = 147N \tag{5.2}$$

$$F_{\text{fricção}} = F_{garra} \times \mu_{borracha-aluminio} \tag{5.3}$$

$$F_{\text{fricção}} = 350 \times 0,4 = 140N < P_{pneu} \tag{5.4}$$

Apesar da força de fecho do eixo linear ser de 350 N, o pneu ensaiado é um "pneu em verde" vulcanizado ao ar. Isto é, o "pneu em verde" manipulado apesar de não ter sofrido o processo de cura, devido ao tempo que esteve em repouso ao ar, por meio da temperatura ambiente da fábrica e da pressão atmosférica apresenta características próximas de um pneu vulcanizado. Esse efeito tem uma particular relevância neste ensaio visto que a sua superfície lisa torna-se muito escorregadia e impede o bom aprisionamento por parte da ferramenta. Assim sendo, os ensaios aqui realizados não serão totalmente validados pela inexistência de "pneus em verde" no seu estado puro. Há ainda outro aspeto relevante quanto aos "pneus em verde" que não se encontra nos pneus ensaiados que é o efeito de colagem que garantem em contacto com outra superfície.

Como alternativa utilizam-se fitas adesivas antiderrapante, um material com elevada rugosidade que proporciona uma capacidade de retenção superior ao valor obtido com as tiras de borracha ($\mu_{\text{borracha-fitas adesivas}}$=1,38). Comparativamente ao valor determinado no Capítulo 3, o $\mu_{\text{borracha-borracha}} = 1,16$, é de esperar uma capacidade de retenção de cerca de 20% superior.

O material ensaiado apresenta as características expostas na Tabela 5.1, sendo Corindo um mineral com base em óxido de alumínio..

Tabela 5.1 - Características fitas antiderrapantes [47].

Material antiderrapante	Corindo
Espessura	0,800 *mm*
Resistência à temperatura	-5 a 50 ^{o}C

O aspeto do braço para a realização de ensaios pode ser observado na Figura 5.2.



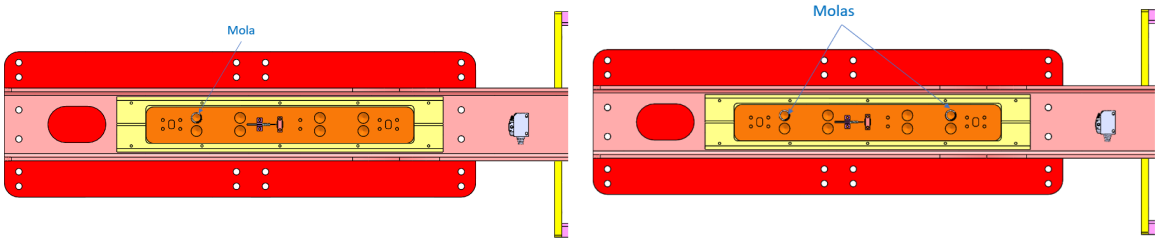
Figura 5.2 - Braço de ferramenta para ensaios.

Nos ensaios experimentais os pneus amostrados apresentam as características presentes na Tabela 5.2.

Nesta fase experimental, é necessário definir o número e posição das molas do sistema de batente de encosto lateral ao pneu, algo que ficou por definir no Capítulo 3. Assim ensaia-se a capacidade de deteção do encosto lateral do pneu dispondo 1 mola na opção A e 2 molas na opção B, como se verifica na Figura 5.3.

Tabela 5.2 - Características dos pneus amostrados.

	Pneu 1	**Pneu 2**
Diâmetro externo [*mm*]	600	620
Altura [*mm*]	200	306
Massa [*kg*]	12	15



(a) 1 mola (b) 2 molas

Figura 5.3 - Ensaio inicial de posição das molas.

Neste ensaio, rapidamente se entendeu que a força necessária para deslocar o batente era excessiva no caso das 2 molas. Nesse sentido, passou-se a analisar o melhor posicionamento para uma única mola.

Analisando as 8 diferentes posições da mola possíveis, as 4 alternativas dos extremos garantem a boa deteção do encosto no pneu. As outras 4 soluções apresentam algumas falhas de deteção, estes posicionamentos aumentam a sensibilidade a falhas. De recordar que os pneus analisados têm 600 e 620 *mm* de diâmetro exterior e a aplicação tem de assegurar o seu funcionamento para uma gama de diâmetros entre 500 e 900 *mm* . Dessa forma, tendo em conta que a ferramenta se encontra a uma distância máxima de 55 *mm* do pneu, o ponto de encosto em relação a um pneu de 900 *mm* gera alguma instabilidade do detetor.

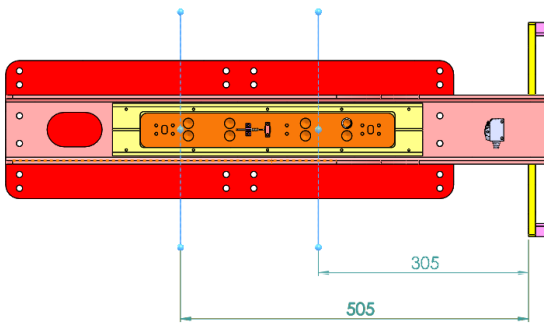


Figura 5.4 - Proposta de posicionamento otimizada.

Para definir a medida de distância entre os braços da ferramenta que é necessária de garantir para que o pneu fique seguro durante todo o movimento de manipulação, foram realizados alguns ensaios expostos na Tabela 5.3. De relembrar que o Pneu 1 e o Pneu 2 têm, respetivamente, um diâmetro de 600 e 620 *mm* .

Tabela 5.3 - Ensaios de velocidade e distâncias de fecho do atuador linear.

Velocidade $[mm/s]$	**Distância** $[mm]$	**Pneu 1**	**Pneu 2**
120	540	✗	-
	550	✓	-
	560	✓	-
	570	✓	-
	580	✗	-
150	540	✗	-
	550	✓	-
	560	✓	-
	570	✓	-
	580	✗	-
180	540	✗	-
	550	✓	-
	560	✓	-
	570	✓	-
	580	✗	-
120	560	-	✗
	570	-	✓
	580	-	✓
	590	-	✗
	600	-	✗
150	560	-	✗
	570	-	✓
	580	-	✓
	590	-	✗
	600	-	✗
180	560	-	✗
	570	-	✓
	580	-	✓
	590	-	✗
	600	-	✗

É de notar que nos ensaios realizados, a influência da velocidade é nula. No entanto, é de ressalvar que os pneus ensaiados não apresentam efetivamente as propriedades dos "pneus em verde", uma vez que é expectável que os "pneus em verde" sejam menos resistentes. Sabendo

que nos ensaios a velocidade foi definida e analisada tendo em conta a boa performance do sistema do eixo linear ao nível da sua dinâmica, a análise nos "pneus em verde" têm de ser mais cuidada relativamente ao pneu em si. A velocidade de fecho tem influência no impacto dos braços com o pneu, pelo que tem de se assegurar a sua integridade total. No entanto, considera-se a velocidade de 180 mm/s a velocidade adequada, sendo uma velocidade suficientemente rápida para as condições pretendidas.

Assim, analisa-se a performance do sistema em função da distância dos braços. Para o pneu de 600 *mm* de diâmetro, para uma distância entre os braços de 540 *mm* a correia do eixo linear salta dentes no final do seu movimento devido à resistência do pneu. O mesmo acontece para o pneu de 620 *mm* de diâmetro para uma distância de 560 *mm* . Para o pneu de 600 *mm* e uma distância de 580 *mm* , o pneu mantém-se aparentemente seguro. No entanto, durante a movimentação do robô o pneu acaba por cair, falhando dessa forma o teste. O mesmo resultado acontece para o pneu de 620 *mm* de diâmetro e uma distância de 590 e de 600 *mm* .

Os resultados positivos registam-se para o Pneu 1 para distâncias entre 550 e 570 *mm* e para o Pneu 2 para distâncias entre 570 e 580 *mm* . Nota-se por isso que o fecho da garra da ferramenta tem de se ajustar em função do diâmetro de cada pneu em termos percentuais e não se pode fechar relativo a uma posição absoluta. Nesse sentido, a ferramenta deve fechar até que a distância entre os braços seja um valor percentual relativo ao diâmetro do pneu. Visto que para o Pneu 1 se obtiveram resultados positivos para um fecho entre 5% e 8,3% relativo ao diâmetro do pneu, e para o Pneu 2 entre 6,5% e 8,1%, conclui-se que o valor de fecho deve ser 7% do valor do diâmetro do pneu. Ou seja, para um pneu de 900 *mm* de diâmetro, a distância entre os braços deve ser de 837 *mm* e para um pneu de 500 *mm* de diâmetro, a distância deve ser de 465 *mm* .

Quando o encosto lateral ocorre unicamente num dos braços do robô, ou por falha de um detetor ou por desvio do pneu relativamente à sua posição de referência, tal como referido anteriormente o robô faz um ajuste de 10 *mm* para o lado onde encostou e fechando posteriormente mais um pouco a ferramenta. No entanto, nos ensaios observou-se que se o desvio for consideravelmente superior aos 10 *mm* , o robô arrasta o pneu consigo. O facto de o robô arrastar o pneu ensaiado não permite analisar se o pneu sai com a sua superfície inferior danificada. É necessário, portanto, analisar posteriormente o efeito desse arrasto sobre um "pneu em verde".

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

6.1 Satisfação dos Objetivos

Apesar de não estar explícito nos objetivos pessoais desta Dissertação, um dos objetivos deste trabalho consistia na adaptação a um ambiente empresarial. No final do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica na especialização de Automação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pretendia-se criar uma ligação entre os estudos académicos e o mundo empresarial que se avizinha. Nesse sentido, a realização deste trabalho decorreu numa PME (Pequena e Média Empresa), na empresa nacional Gislotica. A realização deste trabalho neste ambiente permitiu um desenvolvimento de capacidades multidisciplinares, desde as conhecidas *softskills*, à adaptação ao ritmo empresarial que é seguramente diferente do académico.

A realização deste trabalho permitiu não só ter um contacto próximo com a indústria, como também permitiu ter um contacto com algumas empresas que trabalham como fornecedores da Gislotica, desde a FANUC, FESTO, FFonseca, SICK, entre outras. O desenvolvimento da ferramenta gerou enormes desafios que exigiram uma rápida resposta e adaptação. A possibilidade de acompanhar de perto e ajudar na montagem da ferramenta permitiu, igualmente, cumprir o objetivo de adaptação ao meio empresarial.

O objetivo principal desta Dissertação era o desenvolvimento de um sistema robótico para manipulação de "pneus em verde". Para cumprir esse objetivo geral do trabalho, foi necessário o desenvolvimento de uma ferramenta que permitisse a sua manipulação. O desenvolvimento da ferramenta tinha de permitir a validação da solução apresentada. Os ensaios realizados permitiram validar a solução para os 2 tipos de pneus ensaiados, ou seja, para um pneu de 600 *mm* de diâmetro e altura de 200 *mm*, e um pneu de 620 *mm* de diâmetro e altura de 310 *mm*. Assim,

a validação total da ferramenta ficou refém da disponibilidade de "pneus em verde" existentes na empresa. Tendo a ferramenta que assegurar a variabilidade de diâmetros de pneus entre 500 e 900 mm, e altura de 180 *mm* a 350 *mm*, não se pôde assegurar a validação da ferramenta para os pneus de maiores dimensões.

No entanto, tendo em conta os ensaios experimentais realizados e a análise realizada ao longo do presente trabalho, a forma como ambos os pneus ensaiados atuaram como previsto, prevê-se que a solução apresentada possa, muito provavelmente, garantir as condições desejadas. Contudo, é sempre necessário ter a ressalva de que não foi testada para os limites dos pneus, sendo o caso mais crítico o pneu de máxima carga, ou seja, de 30 *kg* de massa.

Estudadas diferentes possibilidades de disposição física dos constituintes da célula de trabalho, apresentaram-se algumas limitações e encontrada aquela que se considera a solução ótima. Nesta disposição apresentada, é necessário ter em conta que não foram tidos em consideração os espaços físicos disponíveis de nenhuma empresa em particular, nem as possíveis limitações geradas pela cabine de "pintura" dos "pneus em verde".

No desenvolvimento da aplicação, foram consideradas algumas falhas do sistema que possam surgir. Estas falhas foram consideradas como as falhas principais e mais previsíveis que possam surgir durante o seu processo para permitir o correto funcionamento da solução apresentada.

A comunicação entre o robô e o controlador foi concebida através de uma rede PROFINET. Esta comunicação garantiu uma boa resposta do sistema apresentado. A HMI desenvolvida seguiu alguns procedimentos gerais para permitir que alguns comandos pudessem ser intuitivos e funcionais por parte de um operador.

A aplicação desenvolvida, no modo automático de recolha global para o caso de um carro de 12 pneus de capacidade está dependente do tempo de leitura do código de barras, algo que não foi estudado neste trabalho. Assumindo esse tempo como de 1 segundo por pneu, o tempo que o robô demora na execução de uma só rotina de esvaziar o carro de transporte e deposição dos pneus no tapete transportador de entrada, lendo entretanto o código de barras, é de 2 *min* 06 *s*. O tempo de retirar um pneu do carro de transporte dependerá sempre da sua posição no carro. No entanto, o tempo médio de execução de um ciclo de entrega de um único pneu à cabine de "pintura", para o carro de 12 pneus de capacidade, é de 10,500 *s*. O tempo que o robô demora a pegar nos 12 pneus do tapete transportador de saída e voltar a colocá-los no carro de transporte é de 1 *min* 28 *s*, sendo o tempo médio de entrega do pneu no carro de transporte de 7,333 *s*. Apesar de não se ter nenhum tempo de comparação para poder avaliar a qualidade desta

solução, o tempo reduzido desta aplicação não será muito inferior ao tempo que um operador a demoraria a realizar, mas permite uma cadência de trabalho muito superior. É nesse aspeto que a solução apresentada se torna muito vantajosa em relação ao processo tradicional.

6.2 Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro do presente trabalho, é imperativa a validação da ferramenta para todo e qualquer tipo de pneu. Desse modo, testar a aplicação para os pneus de diâmetro 500 *mm* e de 900 *mm* é algo que se deve realizar para poder considerar a solução apresentada como viável. A força de fecho para um pneu de máxima carga, 30 kg, tendo em conta as acelerações do robô, a dimensão, a posição do batente mecânico nos braços da ferramenta e a disposição e número de molas são os aspetos que não foram totalmente validados devido à limitação dos "pneus em verde" disponíveis. As velocidades de fecho e forças aplicadas no pneu devem ser verificadas igualmente para "pneus em verde" acabados de produzir por apresentarem características bastante diferentes das apresentadas pelos pneus testados.

No sentido de melhorar a solução apresentada, sugere-se a tentativa de compactar a ferramenta em altura de modo a esta poder ser mais compacta e eventualmente permitir entrar toda num andar do carro de transporte. Esta solução passa por reduzir essencialmente espessuras das chapas, estando a ferramenta limitada pela flange dos robôs KUKA 240 R2700 e ABB IRB 6700 200/2.60. A redução da massa total da ferramenta também é algo aconselhável dado que para o pneu de máxima massa, de 30 kg, a inércia gerada no punho do robô encontra-se no limite das suas capacidades. Assim sendo, a redução da sua massa permitiria uma melhoria na performance do robô.

Para a boa deteção da presença de um pneu por parte da ferramenta do robô, devido à incapacidade de garantir a sua fiabilidade na deteção por parte do sensor ensaiado SICK VTE180-2P42482, sugere-se as alternativas selecionadas no Capítulo 3. Ou seja, sugere-se em alternativa, ou o sensor fotoelétrico SICK GTB6-P4211 1052438 ou o sensor ultrassónico SICK UC4-11341 6034667. É de esperar que o sensor fotoelétrico possa manter as mesmas dificuldades que o sensor experimentado apresentou, pelo que a melhor solução espera-se que seja optar pelo sensor ultrassónico, ainda que o preço seja superior.

É necessário, ainda, analisar a resposta dos braços da ferramenta sem as tiras antiderrapantes utilizadas nos ensaios experimentais com os pneus "verdadeiramente" "em verde", isto é, se os "pneus em verde" permitem agarrar-se o suficiente aos braços sem a necessidade de ser utilizado qualquer material complementar. Ou seja, pretende-se analisar se a característica colante dos "pneus em verde" é suficiente para garantir a sua retenção sobre a superfície de alumínio dos braços da ferramenta. Caso contrário, é necessário analisar a solução de utilizar tiras de borracha. Na eventualidade de estas ainda não assegurarem a retenção segura dos pneus, é necessário repensar na solução utilizada com o eixo linear e pensar noutra solução com capacidade de fecho superior. Caso a solução passe por evitar qualquer tipo de superfície entre os braços em alumínio e o pneu, sabendo que o coeficiente de atrito entre uma superfície de borracha e outra de alumínio é de 0,80 [25], a força de fecho do atuador deve ser superior a 367,5 N. Assim, se se utilizar um coeficiente de segurança de 1,5, a força de fecho deve ser superior a 550 N.

No final do desenvolvimento deste trabalho, surgiu um pedido de orçamento por parte do maior cliente da Gislotica para uma aplicação em tudo semelhante à qual foi desenvolvida nesta Dissertação. No caderno de encargos apresentado, surgem alguns aspetos que têm de ser garantidos, entre os quais o controlo de fecho da ferramenta ter de ser realizado em binário, ao contrário do que foi realizado aqui. Nesse sentido, realizou-se um pequeno ensaio desta possibilidade apenas para estudar a viabilidade deste processo que pode ser observado na Figura 6.1.

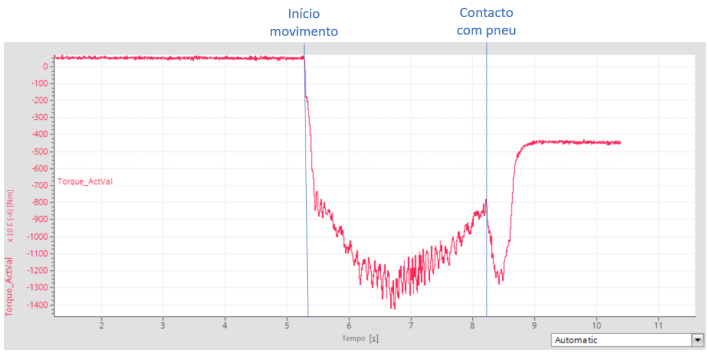


Figura 6.1 - Binário do servomotor no movimento de fecho para diâmetro 620 mm.

Verifica-se com este ensaio a dificuldade que surge em garantir através do binário exercido pelo motor um controlo adequado do fecho da ferramenta. Dado que o binário no arranque do movimento é superior ao binário no momento de encosto ao pneu, é de grande dificuldade restringir o movimento do fecho através de um limite imposto pelo binário exercido por parte

do motor. Eventualmente, corre-se o risco de parar o movimento de fecho ainda longe do pneu dado que o motor ainda se encontra em aceleração. Verifica-se um valor de binário resistente durante o encosto no pneu de 0,125 Nm inferior ao valor máximo obtido durante o movimento de 0,139 Nm. De referir ainda que este ensaio foi realizado para uma velocidade de 150 mm/s, aceleração de 100 mm/s^2 e *jerk* de 1000 mm/s^3. É, contudo, de referir que este ensaio foi único, para um "pneu em verde" que apresenta características de pneu vulcanizado ao ar livre, pelo que devem ser realizados novos ensaios de modo a validar esta possibilidade. Este ensaio permite apenas apontar para eventuais dificuldades que possam surgir nessa perspetiva futura. Nesse sentido, a solução apresentada de controlo do eixo linear por posição poderá garantir maior fiabilidade.

Como se verificou nos ensaios, quando o pneu se encontra apenas encostado sobre um dos braços, ou seja, quando se encontra desviado da sua posição de referência, o deslocamento do robô corrigindo a sua posição para tentar manter o pneu centrado em relação à ferramenta, acaba por arrastar o pneu com alguma facilidade. Mais uma vez, é necessário verificar se esse arrastar do pneu é suficiente para danificar o "pneu em verde", mesmo que o controlo de fecho seja realizado em binário. Logo, como alternativa à solução apresentada, seria interessante estudar a possibilidade de utilização de um atuador duplo, em vez do atuador simétrico utilizado, controlados individualmente por um servomotor cada.

No futuro é necessário, ainda, ajustar-se ao espaço físico reservado pela empresa para esta aplicação, sendo possível que não se possa utilizar a disposição estabelecida como ideal para a aplicação. Desse modo, é necessário analisar todos os pontos de recolha e de acesso do robô para outros tipos de carro de transporte, em particular o de capacidade de 20 pneus, verificando a capacidade do robô em atingir todos os pontos pretendidos. O robô não deve consequentemente aceder a pontos cujos limites dos eixos sejam ultrapassados, nem deve ser permitido que surjam pontos de singularidade no percurso do robô. Será necessário incluir esta aplicação no meio envolvente da célula de trabalho, nomeadamente a interação com o sistema de posicionamento do carro de transporte, dos tapetes transportadores e dos leitores do código de barras. No futuro, considera-se que o operador poderá ficar limitado a confirmar os valores do diâmetro dos pneus, a altura dos pneus, o correto posicionamento e a capacidade do carro de transporte, sendo esses valores definidos numa tarefa mais administrativa e com alguma antecedência. Deve, ainda, ser realizada uma avaliação de riscos e elementos de segurança a implementar na célula de trabalho. Poderá ser também interessante adaptar esta aplicação à Indústria 4.0.

Referências

[1] William J. Bodziak. *Tire Tread and Tire Track Evidence*. CRC Press, Primeira edition, 2008. ISBN 978-0-8493-7247-6.

[2] Jaguar Associate Group. What we should know about tires: A historical background, 2001. Disponível em `http://www.jags.org/jagazette/2000/11Nov00/tires/tires.htm` [Acedido: 28-Fev-2019].

[3] H.B. Pacejka H. C. A. van Eldik Thieme. *The Tire as a Vehicle Component*. Vehicle Research Laboratory, Delf University of Technology, 1971.

[4] Michelin. L'histoire de michelin, 2018. [Online] Disponível em `https://www.michelin.com/groupe-michelin/profil/L-histoire-de-Michelin/Les-dates/1946` [Acedido: 27-Fev-2019].

[5] Heinz Heisler. *Vehicle and Engine Technology*. Society of Automotive Engineers, Segunda edition, 1999.

[6] Reza N Jazar. *Vehicle Dynamics Theory and Application*. Springer, Primeira edition, 2008.

[7] Mário Caetano. Pneu, 2014. [Online] Disponível em `https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/aplicacoes/pneus/` [Acedido: 27-Fev-2019].

[8] Yasushiro Ishikawa. *Systematic Review of Tyre Technology*. National Museum of Nature and Science (Independent Administrative Institution), Vol.16 edition, 2011.

[9] ETRMA. *European Tyre and Rubber Industry Statistics*. European Tyre and Rubber Manufacturers Association, Terceira edition, 2011.

[10] ETRMA. *European Tyre and Rubber Industry Statistics*. European Tyre and Rubber Manufacturers Association, Nona edition, 2017.

[11] Jornal de Notícias. Gislotica mechanical solutions - um impulso de inovação. *31º Guia Empresarial*, pages 12–13, 2016.

[12] Globaz. Gislotica mechanical solutions, 2012. Disponível em `http://www.gislotica.pt/pt/` [Acedido: 27-Fev-2019].

[13] United States Department of Commerce. *Mechanics of Pneumatic Tires*. National Bureau of Standards Monograph 122, 1971.

[14] Goodyear. Como são fabricados os pneus, 2016. [Online] Disponível em `https://www.goodyear.eu/pt_pt/consumer/learn/how-tires-are-made.html` [Acedido: 28-Fev-2019].

[15] BHP. Team-bhp, 2006. [Online] Disponível em `http://www.teambhp.com/forum/tyre-alloy-wheel-section/160608-pics-apollo-tyres-chennai-factorydetailed-report-making-tyre.html` [Acedido: 13-Mai-2019].

[16] U.S. Environmental Protection Agency. *Rubber Tire Manufacturing Industry - Background Information for Proposed Standards*. NEPA, 1983.

[17] Robin R. Murphy. *Introduction to AI Robotics*. Ronald C. Arkin, Primeira edition, 2000.

[18] RobotWorx. Industrial robot history, 2019. [Online] Disponível em `https://www.robots.com/articles/industrial-robot-history` [Acedido: 01-Mar-2019].

[19] Robotics Online Marketing Team. The history of robotics in the automotive industry, 2019. [Online] Disponível em `https://www.robotics.org/The-History-of-Robotics-in-the-Automotive-Industry/24` [Acedido: 01-Mar-2019].

[20] GUDEL. Tire handling system - sorting and palletizing of finished tires, 2017. [Online] Disponível em `https://www.youtube.com/watch?v=DOfNe1iyImY&t=1s` [Acedido: 26-Mai-2019].

[21] SYSTRAPLAN GmbH & Co. KG. Green tire loading systems, 2019. [Online] Disponível em `https://www.systraplan.com/products/feeding_stacking/green_tire_loading_system.htm` [Acedido: 31-Ago-2019].

[22] ABB. Product specification irb 6700. Technical report, ABB, 2018.

[23] KUKA. Kr 240 r2700 prime. Technical report, KUKA, 2017.

[24] FANUC. Fanuc robot r-2000ic. Technical report, FANUC Corporation, 2014.

[25] Tabor Bowden. *The Friction and Lubrication of Solid*. Oxford Classic Texts, 1950.

[26] FESTO. Toothed belt axes elgg. Technical report, FESTO, 2019.

[27] Paulo Abreu and Manuel Romano. Apontamentos servomotores síncronos (ip). *Sistemas Eletromecânicos*, 2017.

[28] Siemens. Siemens answers with advanced variable frequency drive solutions, 2019. [Online] Disponível em `https://new.siemens.com/us/en/products/drives/sinamics-electric-drives.html` [Acedido: 18-Jun-2019].

[29] Siemens. Sinamics s: Positioning an s120 with s7-1x00 (tia portal) via profinet with hmi, 2014.

[30] Siemens. S7-1500/s7-1500f technical data, 2015.

[31] Siemens. Simatic et200sp im 155-6 pn st interface module (6es7155-6au01-0bn0), 2017.

[32] Siemens. Simatic hmi devices basic panels, 2012.

[33] Richard Zurawski. *Industrial Communication Technology Handbook*. CRC Press, Segunda edition, 2000.

[34] Vinod Kumbhar. Siemens plc programming obs in siemens tia portal, 2019. [Online] Disponível em `https://automacaoecartoons.com/2018/06/01/o-que-e-a-rede-profinet/` [Acedido: 26-Jul-2019].

[35] Siemens. Profinet network design profinet is easy!, 2013. [Online] Disponível em `https://profibusgroup.files.wordpress.com/2013/01/c1-profinet-design-pete-brown.pdf` [Acedido: 27-Jul-2019].

[36] PROFIBUS & PROFINET International. A beginner's guide to profinet, 2015. [Online] Disponível em `https://us.profinet.com/beginners-guide-profinet/` [Acedido: 27-Jul-2019].

[37] Siemens. Profinet o padrão em ethernet industrial para automação, 2009. [Online] Disponível em `https://w3.siemens.com.br/home/br/pt/cc/automobilistica/portfolio/Documents/profinet-manufacturing-automation-automob.pdf` [Acedido: 27-Jul-2019].

[38] Control Logic. What is profinet io?, 2019. [Online] Disponível em `https://www.control-logic.com.au/blog/2019/02/18/what-is-profinet-io/` [Acedido: 26-Jul-2019].

[39] PROFIBUS & PROFINET International. Profinet, 2017. [Online] Disponível em `https://www.profibus.com/technology/profinet/` [Acedido: 28-Jul-2019].

[40] Siemens. Totally integrated automation portal, 2019. [Online] Disponível em `https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html` [Acedido: 19-Jul-2019].

[41] Control Engineering. Ec: Totally integrated automation portal (tia portal) automation software, 2011. [Online] Disponível em `https://www.controleng.com/articles/ec-totally-integrated-automation-portal-tia-portal-automation-software/` [Acedido: 25-Jul-2019].

[42] Siemens. S7-1500, s7-1500r/h, et 200sp, et 200pro cycle and response times, 2019. [Online] Disponível em `https://cache.industry.siemens.com/dl/files/558/59193558/att_895996/v1/s71500_cycle_and_reaction_times_function_manual_en-US_en-US.pdf` [Acedido: 18-Jul-2019].

[43] Siemens. Axis control blocks for s7-1500 / s7-1500t, 2019. [Online] Disponível em `https://cache.industry.siemens.com/dl/files/348/109749348/att_952300/v2/LAxisCtrl_AxisBasedFunctionalities_SIMATIC_V1_0_en_12_2017.pdf` [Acedido: 25-Jul-2019].

[44] Siemens. Tia portal module 010-020 block types for the simatic s7-1200, 2012.

[45] Vinod Kumbhar. Siemens plc programming obs in siemens tia portal, 2019. [Online] Disponível em `https://plc-scada-dcs.blogspot.com/2017/06/siemens-plc-programming-obs-in-siemens.html` [Acedido: 26-Jul-2019].

[46] Elena Loredana Deladi. *STATIC FRICTION IN RUBBER-METAL CONTACTS WITH APPLICATION TO RUBBER PAD FORMING PROCESSES*. University of Twente, 2006.

[47] TESA. tesa® professional 60950 anti slip tape - black, 2019.

Anexo A

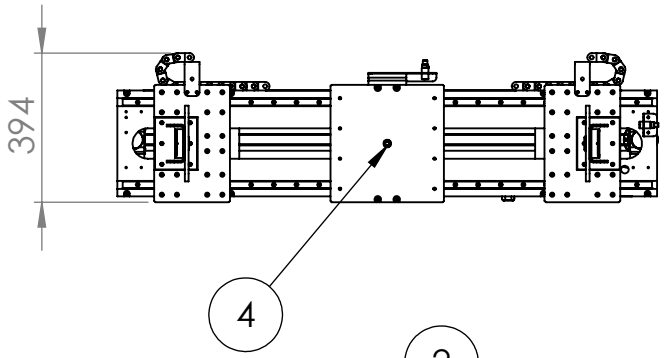
Lista de componentes da ferramenta do robô

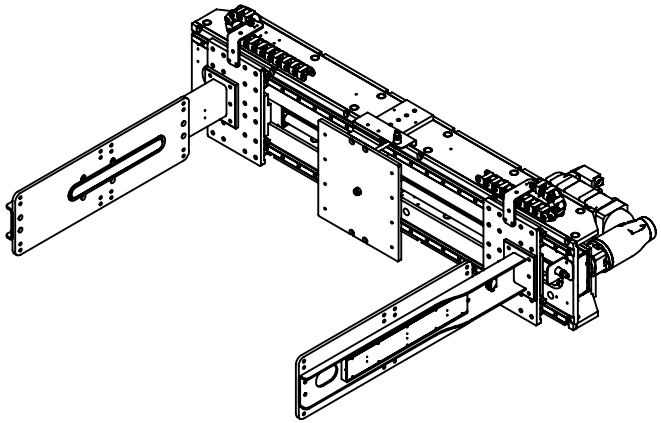
Tabela A.1 - Lista de componentes da ferramenta do robô.

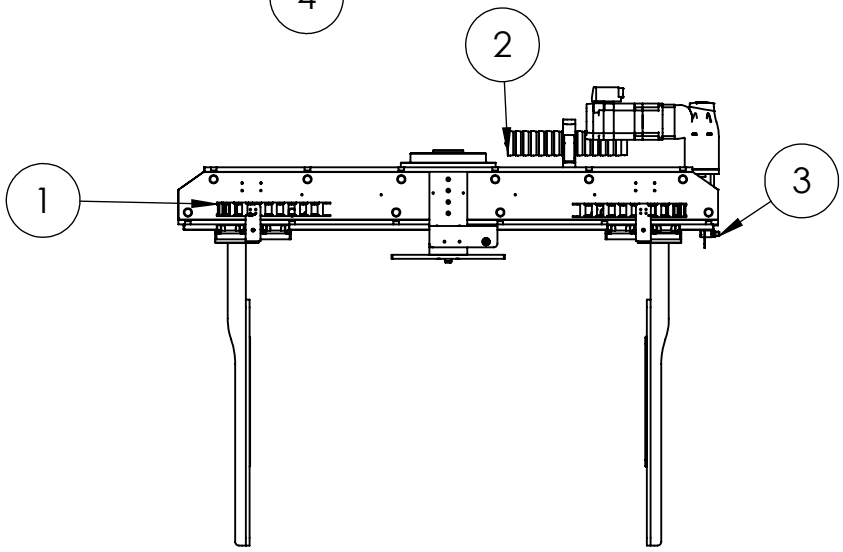
Nome	Desenho Número	Material	Descrição	Quantidade
Acoplamento redutor	R+W Couplings	EK7/20/B/022/016	Compra	1
Aperto Barra Metalica Rosca	20190119-009	St 37	Laser	2
Aperto Base Furada Lisa	20190119-028	St 55	Laser	2
Batente Movel	20190119-033	Poliamida	Laser	2
Barra Metalica	20190119-029	St 55	Laser	2
Base Barra Metalica Direita	20190119-010	St 55	Fresa	1
Base Barra Metalica Esquerda	20190119-013	St 55	Fresa	1
Base de Referência Central	20190119-024	Al5083	Fresa	1
Base Hexagonal Superior-Inferior	20190119-005	Al5083	Fresa	2
Base Referência Superior-Inferior	20190119-025	Al5083	Fresa	2
Calha IGUS	IGUS	10.025.038	Compra	2
Calha sensorfibra	20190119-034	Al5083	Quinagem	2
Chapa Batente	20190119-031	Al5083	Fresa	2
Chapa Encosto Lateral	20190119-047	Al5083	Fresa	2
Chapa Frontal	20190119-003	Al5083	Fresa	1
Chapa Traseira	20190119-020	Al5083	Fresa	1
Eixo Linear	FESTO	ELGG-TB-55-450-20H-M-G	Compra	1
Encaixe Sensor	20190119-035	Al5083	Fresa	2
FlangeABB	20190119-041	St 37	Torno	1
FlangeFANUC	20190119-039	St 37	Torno	1
FlangeKUKA	20190119-040	St 37	Torno	1
Flange Motor	20190119-045	Al5083	Fresa	1
Flange Motor Eixo	20190119-044	Al5083	Fresa	1
Guia	Shaeflller Technologies	TKVD20/1400-40/40-G2	Compra	2
inafag kwve20-b-v1-g2-l1-s16	Schaeffler Technologies	KWVE0-b-v1-g2-l1-s16	Compra	8
IW080BM50VA3	WNGLOR	IW080BM50VA3	Compra	1
Ligacao ao Eixo	20190119-017	S235	Fresa	2
Ligacao Barra Batente	20190119-032	Al5083	Fresa	2
Ligacao braco	20190119-008	Al5083	Fresa	2
Mola	FANAMOL	36394	Compra	2
Motor	Siemens	1FK7042-2AC71-1RH0	Compra	1
MUE-45	FESTO	MUE-45	Compra	6
NST-5-M5	FESTO	SNT-5-M5	Compra	16
PE#1401145538	SensoPart	FL 20 (2)	Compra	2
PE#1401145548	SensoPart	FL 20 (1)	Compra	2
Perfil de aluminio	30x30x100	Al5083	Compra	1
Porca Cilindrica	20190119-006	ASTM A36 Steel	Torno	24
Porca Interior Grande	20190119-021	St 37	Laser	1
Redutor	ALFA-EQUINOTEC	LPK090-MO2-10	Compra	1
SICK-VTE180-2	SICK	VTE180-2P42482	Compra	1
Suportecabos	IGUS	TRC-60-087-0-2	Compra	1
Suporte calha	20199119-011	S235	Fresa	2
Suporte-sensor-neg	20190119-042	Al5083	Fresa	1
Suporte-sensor-pos	20190119-026	Al5083	Quinagem	1
TR-60-02-4	IGUS	TRC.60.02	Compra	1

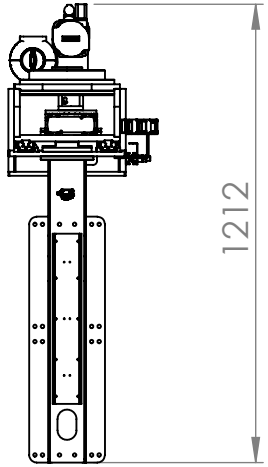
Anexo B

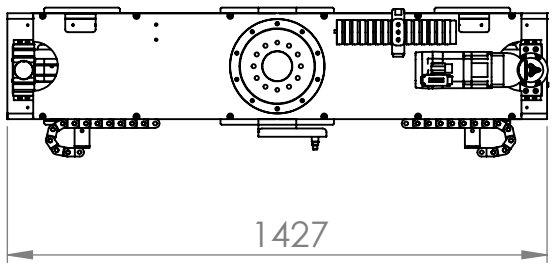
Desenhos de definição e conjunto











Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Calha_IGUS	**IGUS**	10.025.038	Compra		2	
2	Ferramenta_2	**20190119-046**	Vários	Oficina		1	
3	IW080BM50VA3	**WENGLOR**	IW080BM50VA3	Compra		2	
4	SICK-VTE180-2	**SICK**	VTE180-2P42482	Compra		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	14/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019
Nome	Ferramenta	

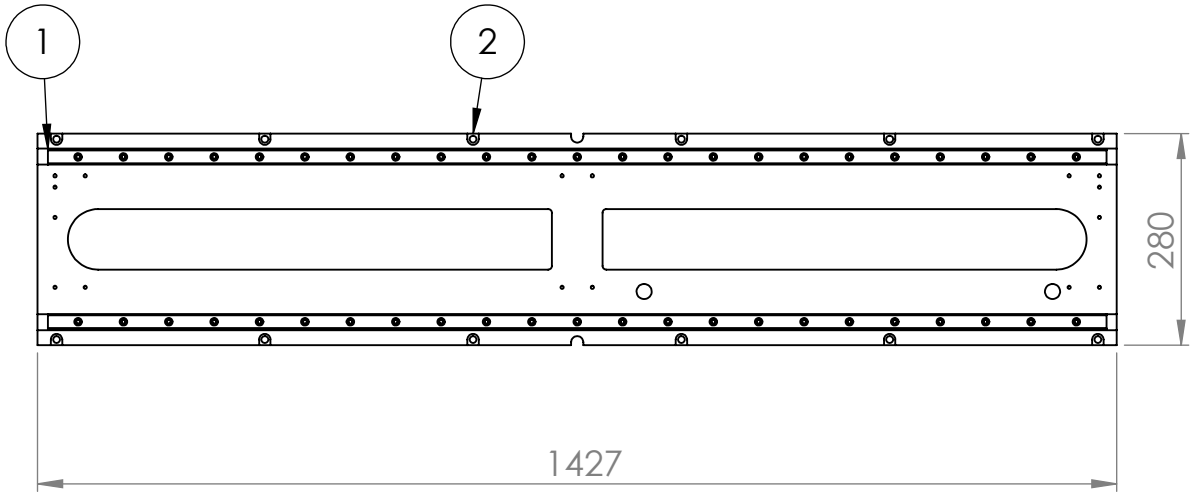
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

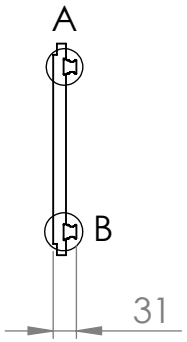
Dissertação

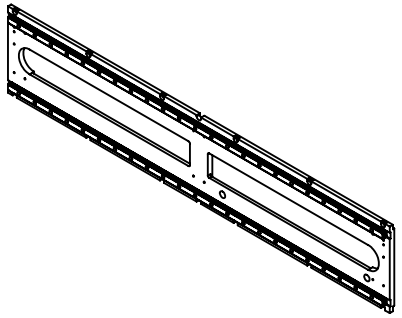
ISO 2768 | mK | Escala- 1:20 | A4

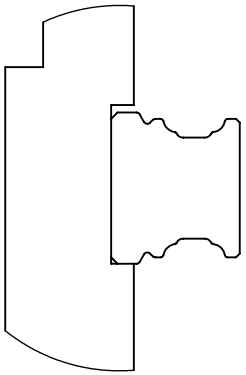
Quantidade	1
Massa (kg)	128.28
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-001 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

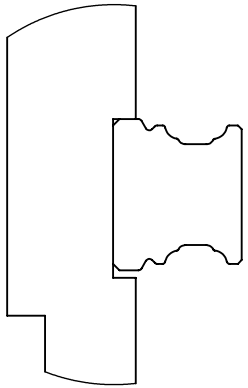








DETAIL A
SCALE 1 : 1



DETAIL B
SCALE 1 : 1

Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Guia	**Schaeffler Technologies AG & Co. KG**	TKVD20/1400-40/40-G2	Compra		2	
2	Chapa Frontal	**20190119-003**	Al5083	Fresa		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	28/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

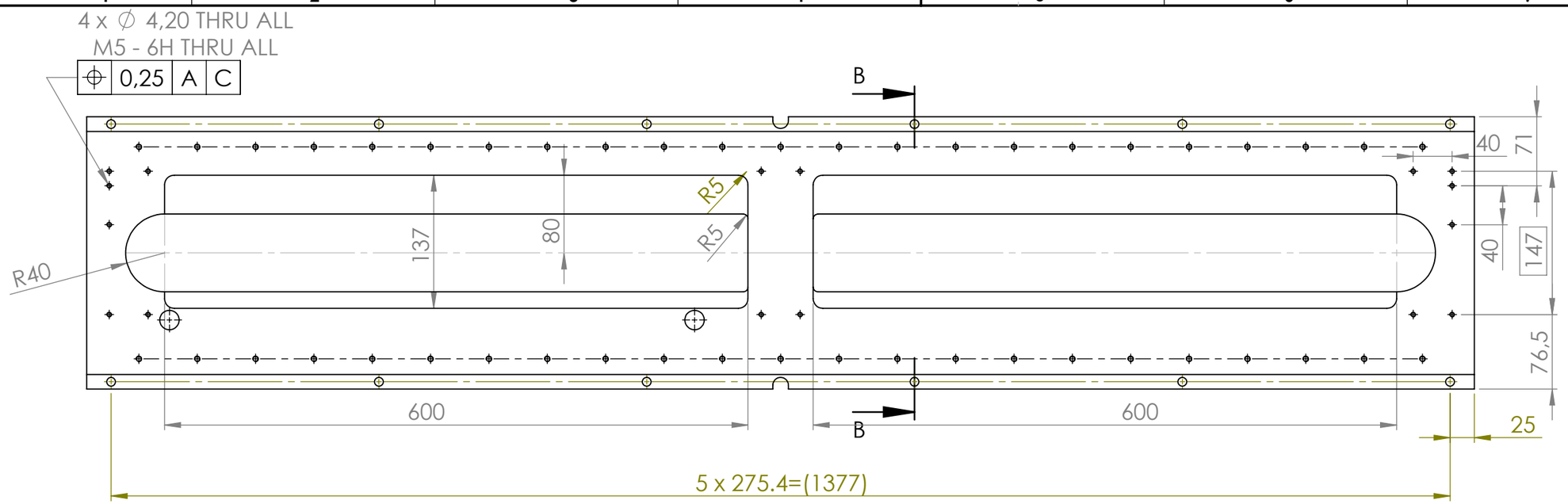
ISO 2768	mK	Escala- 1:10	A4

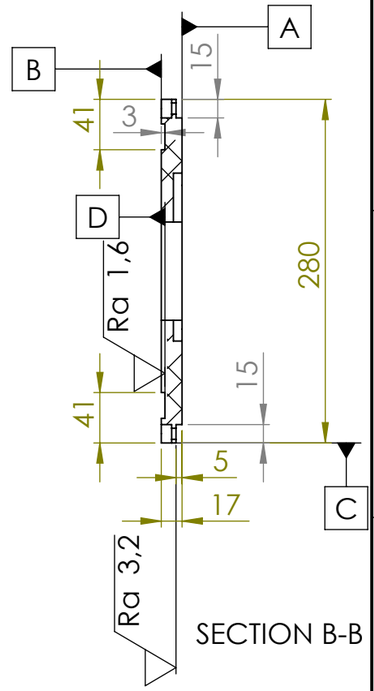
Nome	Corpo_Ferramenta_1

Quantidade	1
Massa (kg)	11956.85
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-002

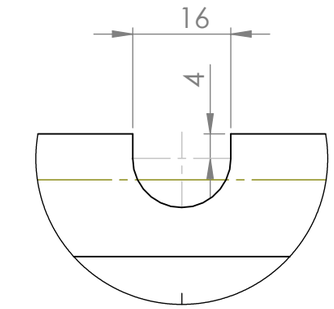
1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

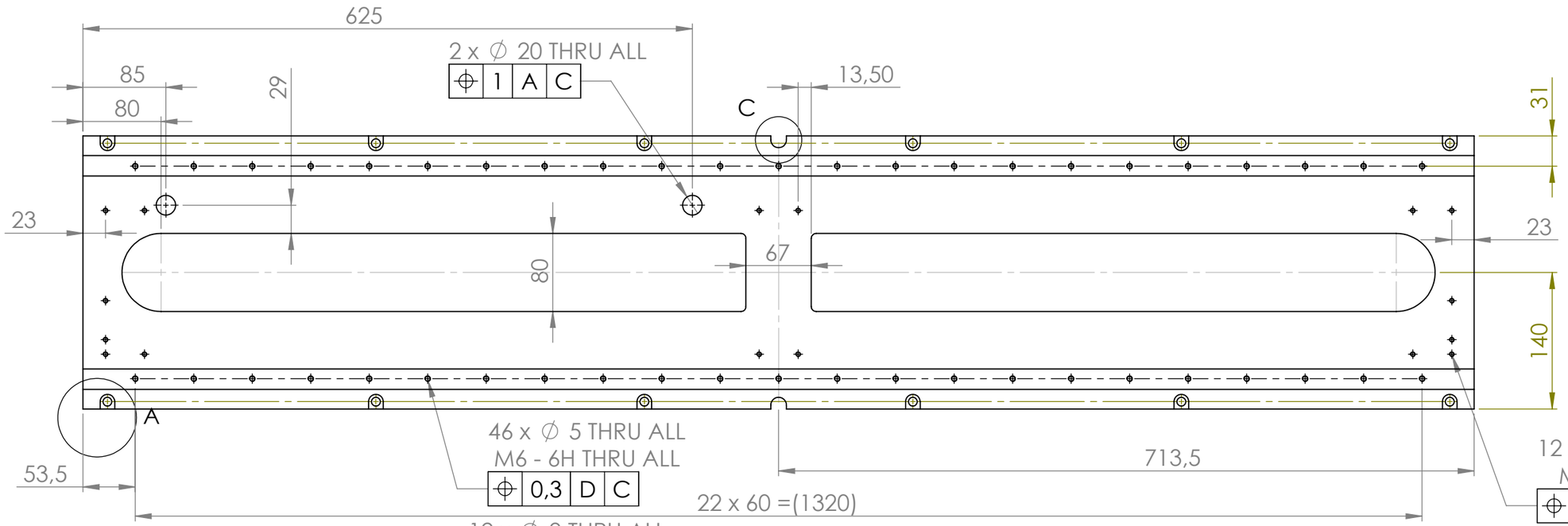


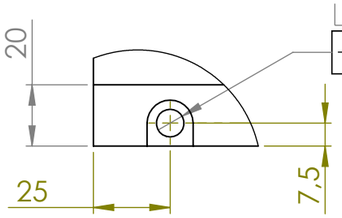


SECTION B-B



DETAIL C
SCALE 1 : 1



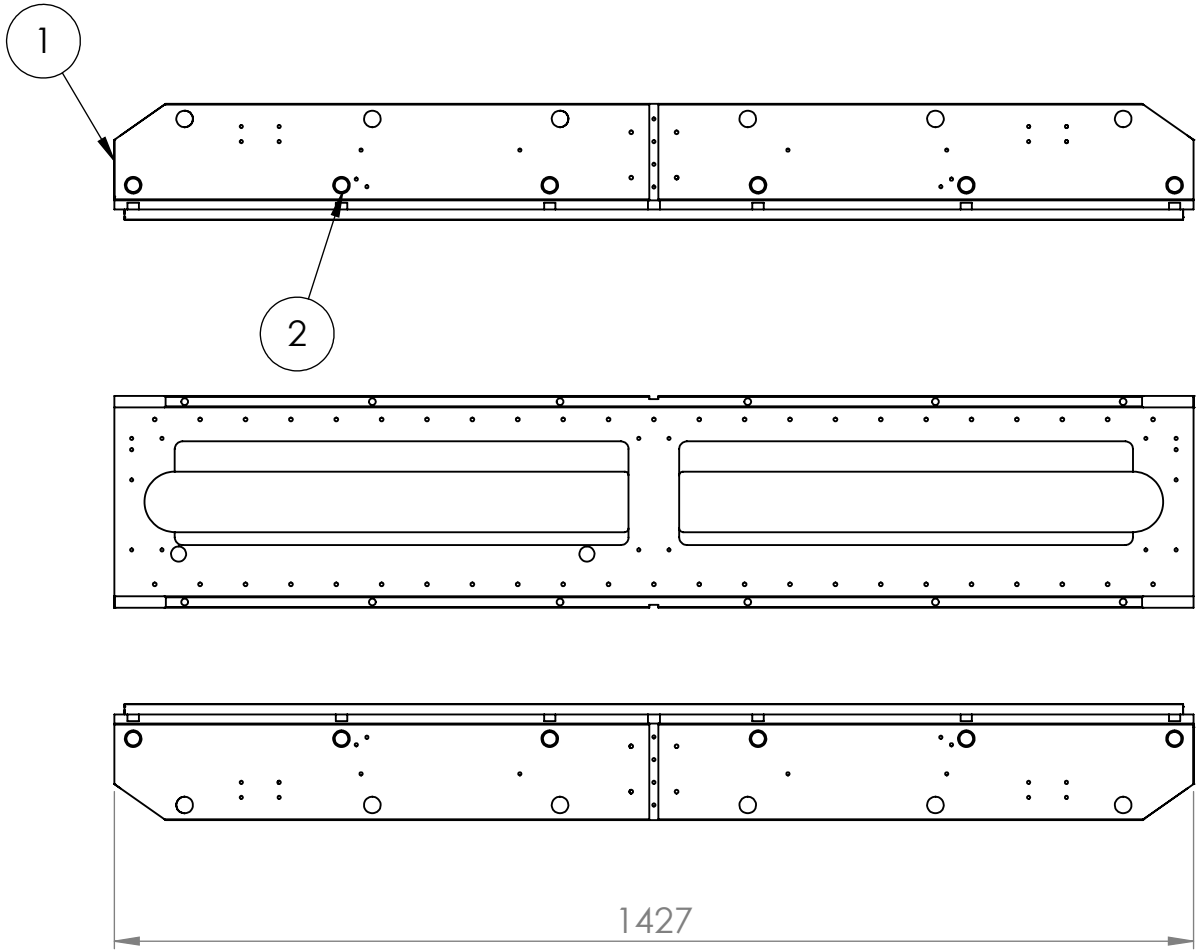


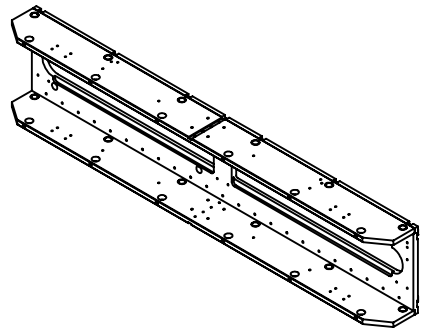
DETAIL A
SCALE 1 : 2

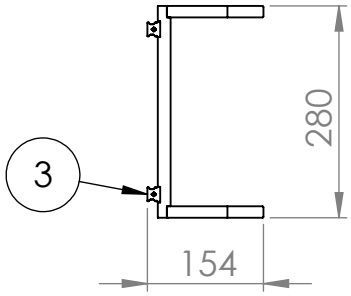
Ra 12,5 (Ra 3,2 , Ra 1,6)

	Nome	Data					
Des.		11/10/2018	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação		Quantidade	1
Vist.						Massa (kg)	11.20
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:5 A3	Tratamento	Nenhum
Nome	Chapa Frontal					Material	Al5083
						Descrição	Fresa
						Desenho	20190119-003 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Base Hexagonal Superior-Inferior	**20190119-005**	Al5083	Fresa		2	
2	Porca_Cilindrica	**20190119-006**	ASTM A36 Steel	Torno		12	
3	Corpo_Ferramenta_1	**20190119-002**	Vários	Oficina		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	28/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

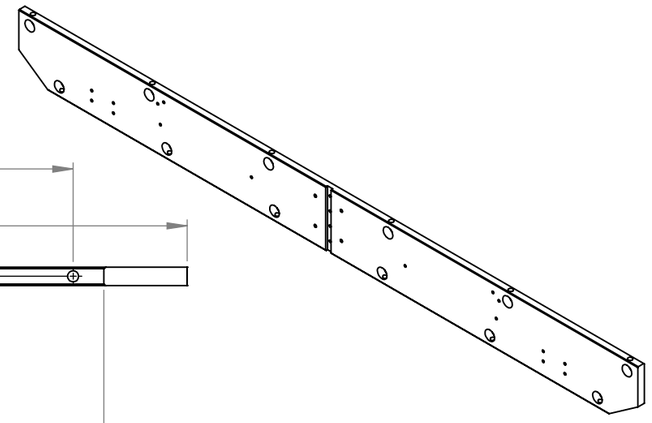
ISO 2768 | mK | Escala- 1:10 | A4

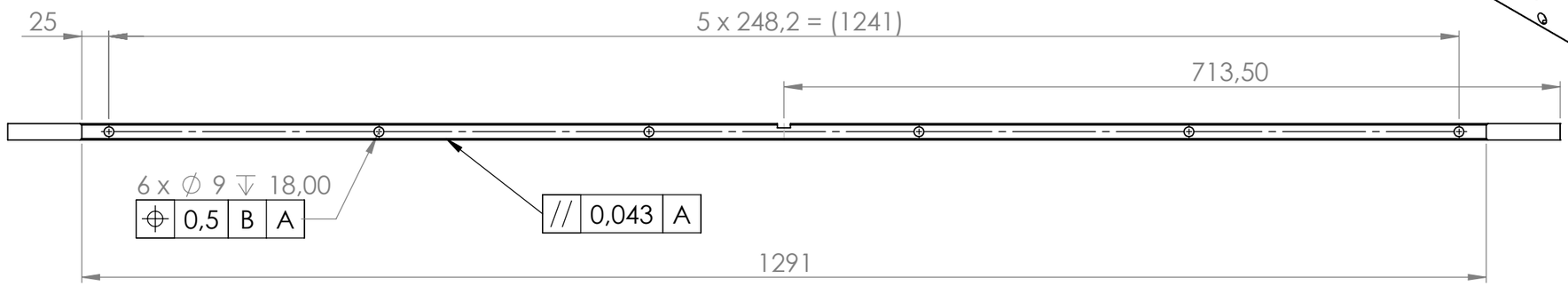
Nome: Corpo_Ferramenta_2

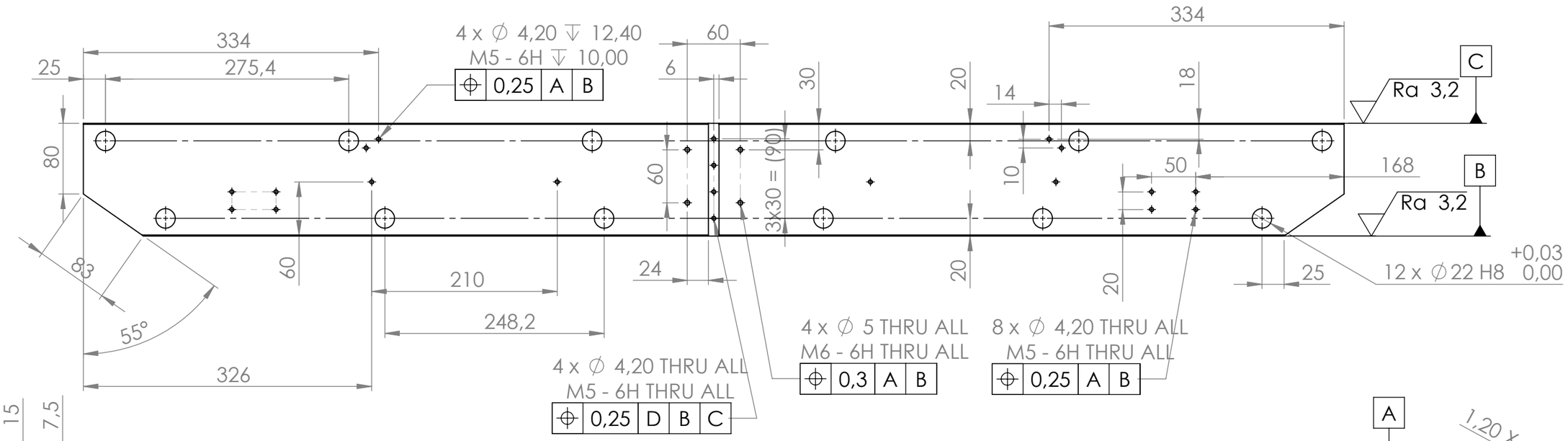
Quantidade	1
Massa (kg)	26393.96
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-004

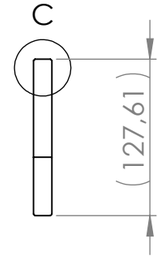
1/1

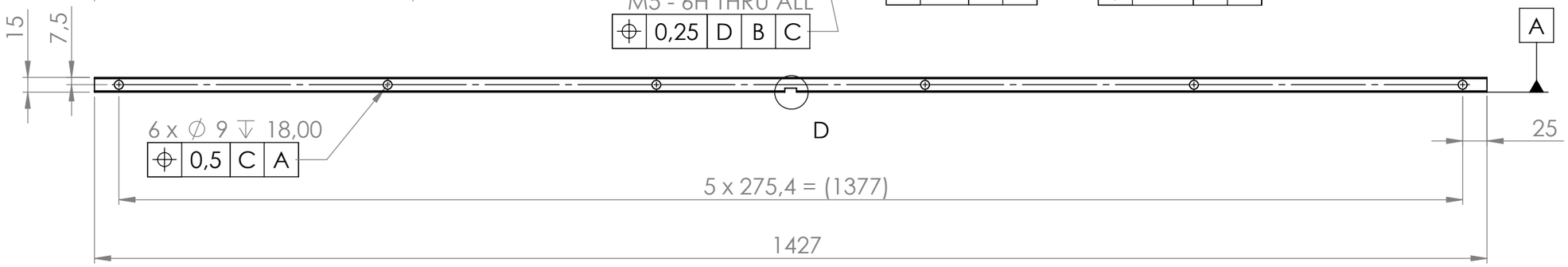
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

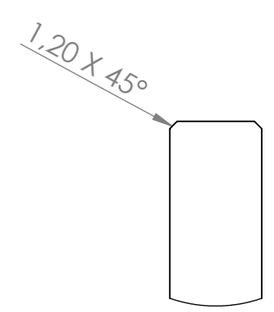






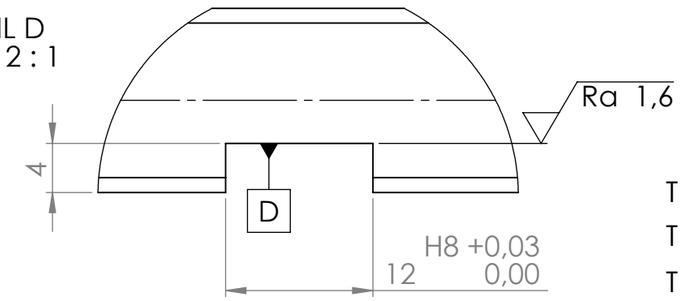






DETAIL C
SCALE 1 : 1

DETAIL D
SCALE 2 : 1

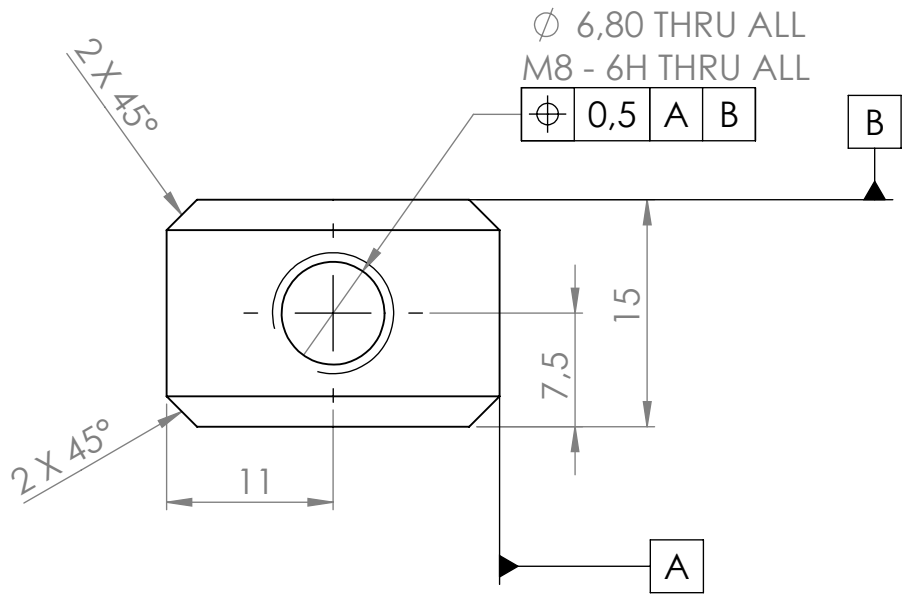


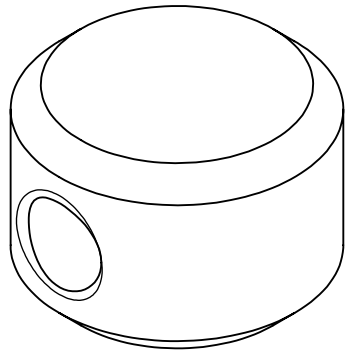
Ra 12,5 (Ra 3,2 , Ra 1,6)

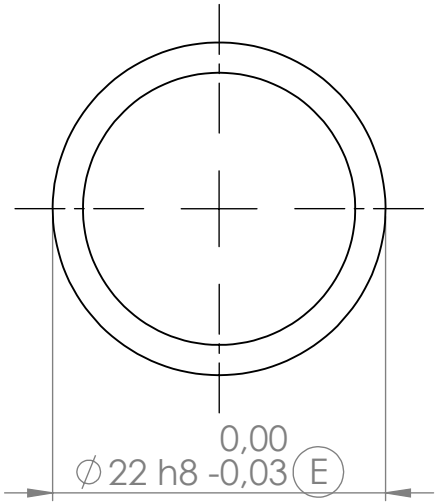
T paralelismo (IT9) =0,043
T posicionamento (M5)= (5,5-5)/2=0,25
T posicionamento (M6)=(6,6-6)/2=0,3

	Nome	Data							
Des.		07/10/2018	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação				Quantidade	2
Vist.								Massa (kg)	7.00
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:5		A3	Tratamento	Nenhum
Nome	Base Hexagonal Superior-Inferior							Material	Al5083
								Descrição	Fresa
								Desenho	20190119-005 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





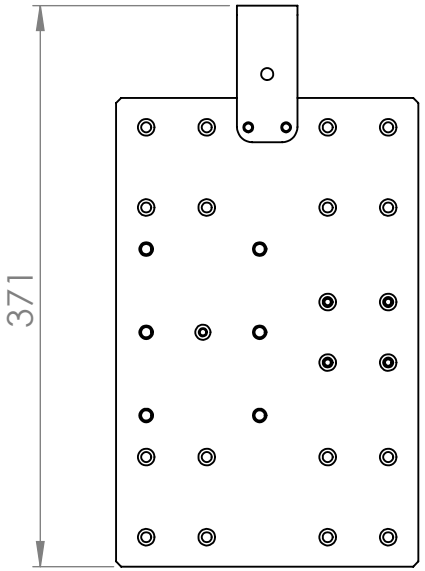


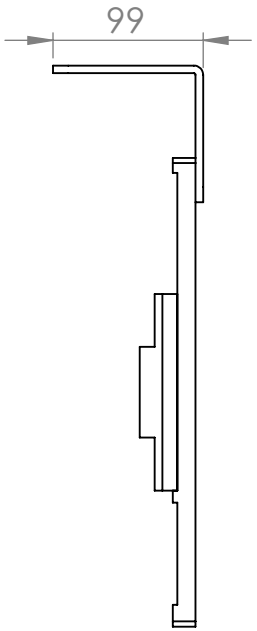
Ra 12,5

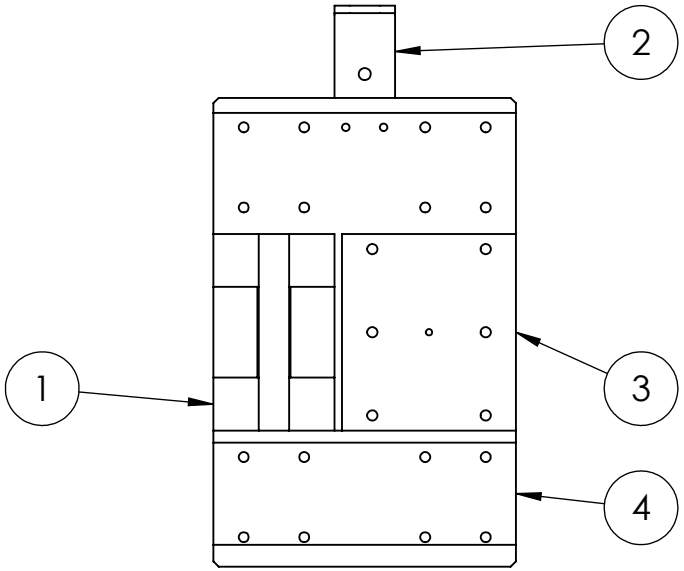
T posicionamento (M8)=(9-8)/2=0,5

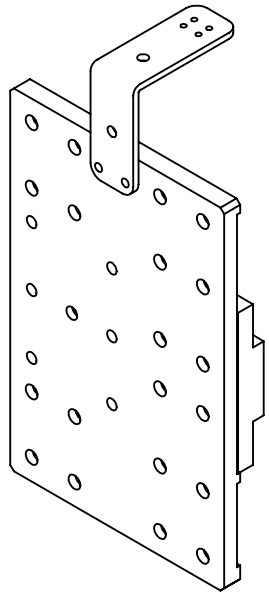
	Nome	Data						
Des.	zedel	19/10/2018	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO		Dissertação		Quantidade	24
Vist.							Massa (g)	36.53
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 2:1	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Porca_Cilindrica						Material	ASTM A36 Steel
							Descrição	Torno
							Desenho	20190119-006 1/1

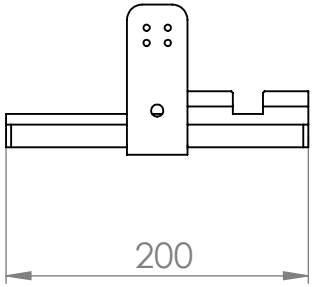
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.











Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Ligacao_braco	**20190119-008**	Al5083	Fresa		1	
2	Suporte calha	**20190119-011**	S235	Fresa		1	
3	Aperto_Barra_Metalica_Rosca	**20190119-009**	St 37	Laser		1	
4	Base_Barra_Metalica_Direita	**20190119-010**	St 55	Fresa		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	25/02/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

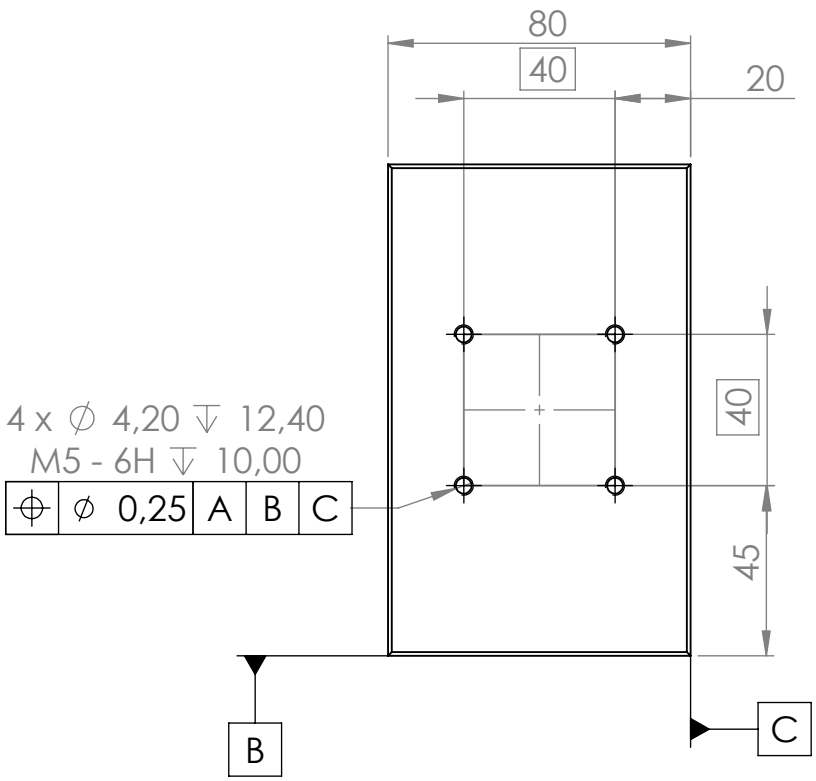
Nome: Dedodireita

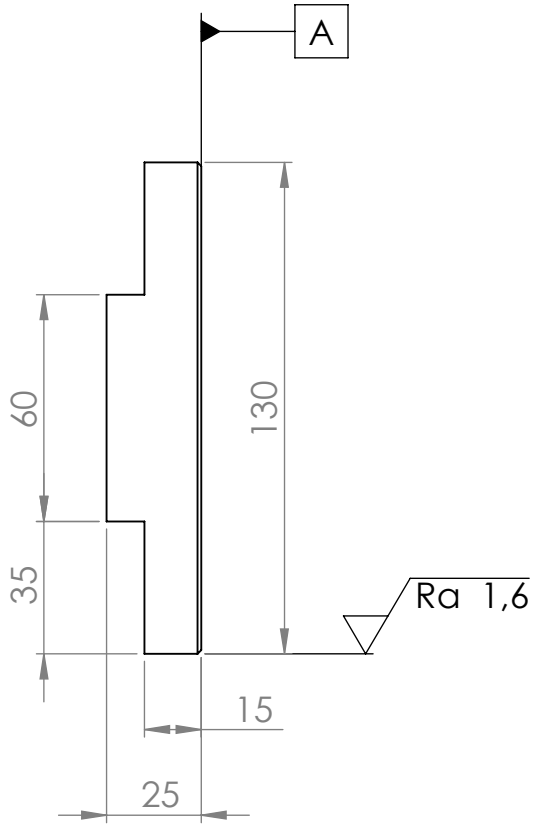
Quantidade	1
Massa (kg)	7.62
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-007

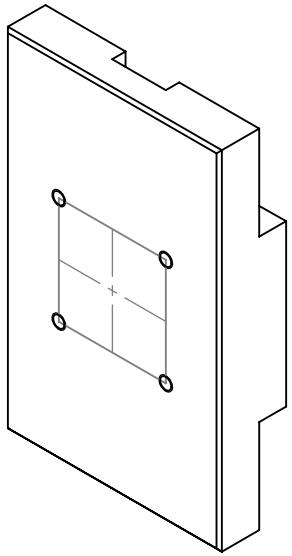
1/1

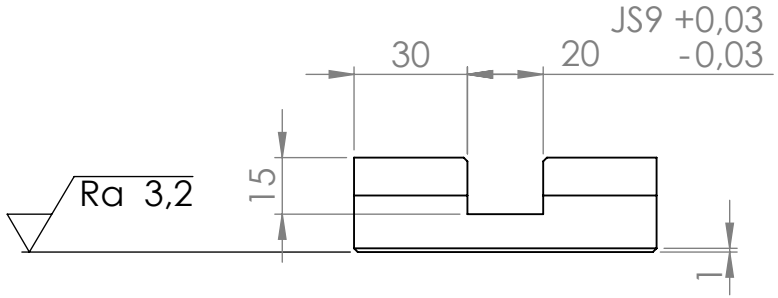
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

T posicionamento = (5,5-5)/2=0,25









Ra 12,5 (Ra 3,2 , Ra 1,6)

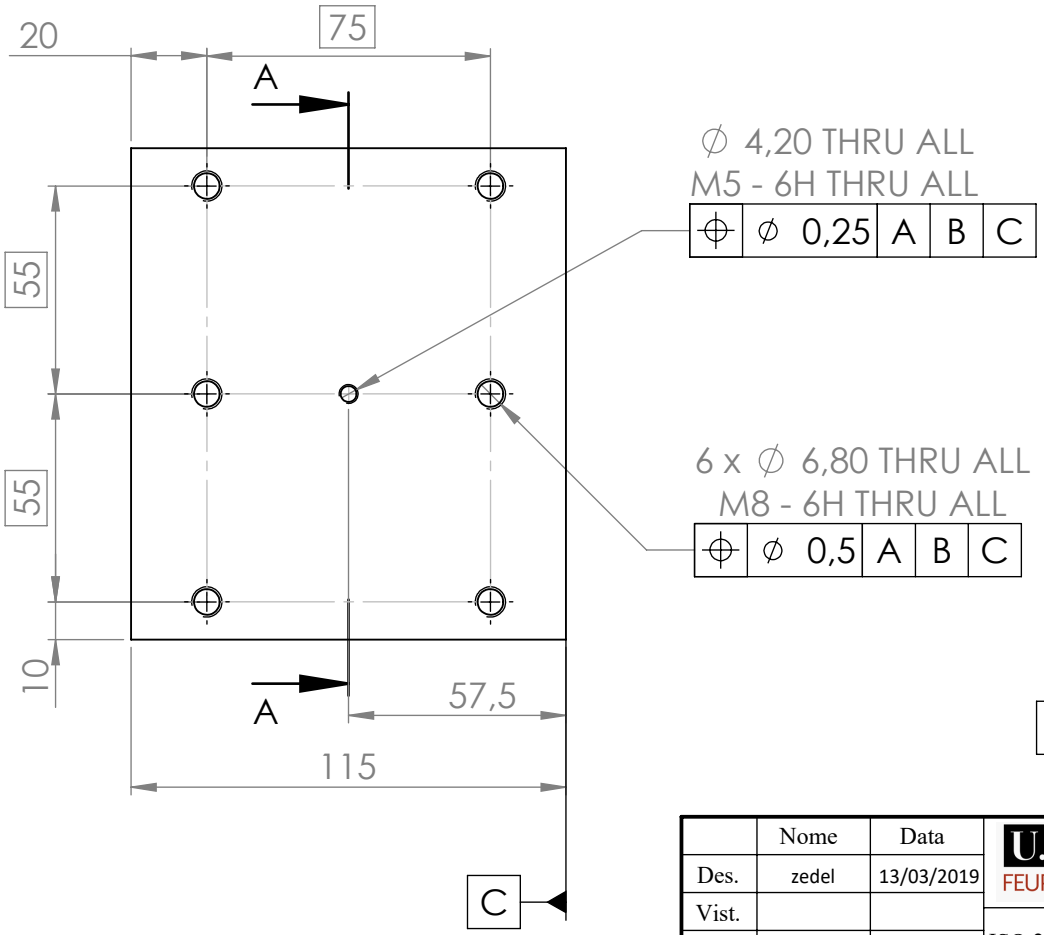
	Nome	Data						
Des.	zedel	25/02/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO			Dissertação	Quantidade	2
Vist.							Massa (g)	480.66
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Ligacao_braco						Material	Al5083
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-008 1/1

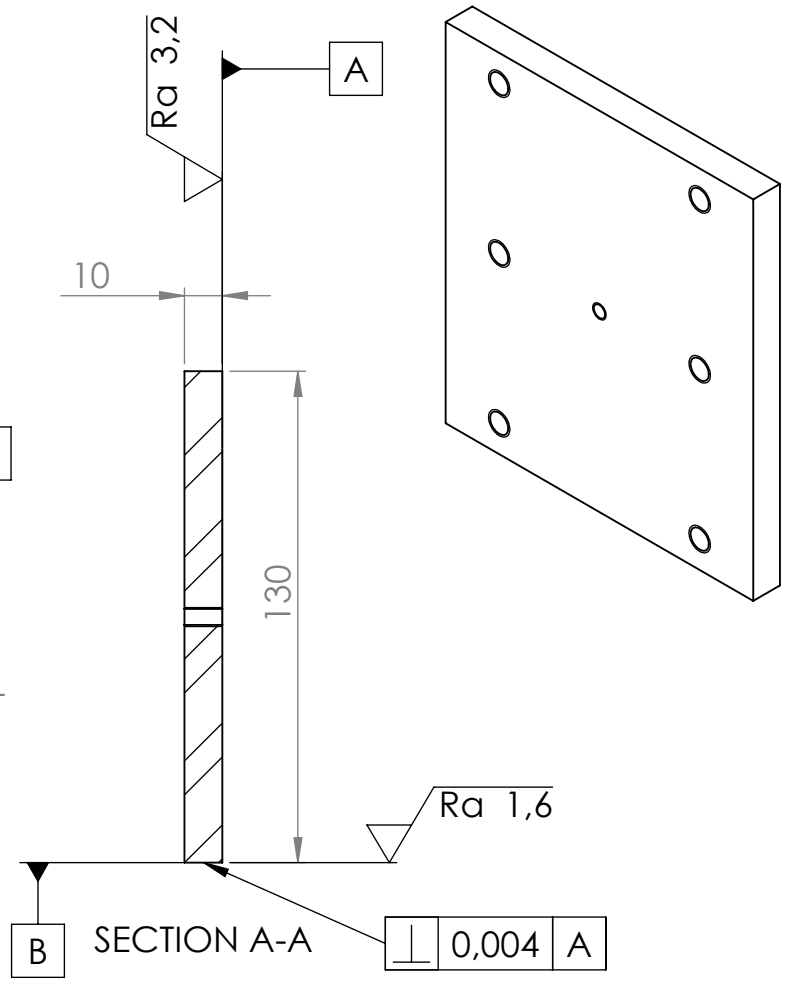
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

T posicionamento M5 = (5,5-5)/2=0,25

T posicionamento M8 = (9-8)/2=0,5

T perpendicularidade=0,4x0,010=0,004

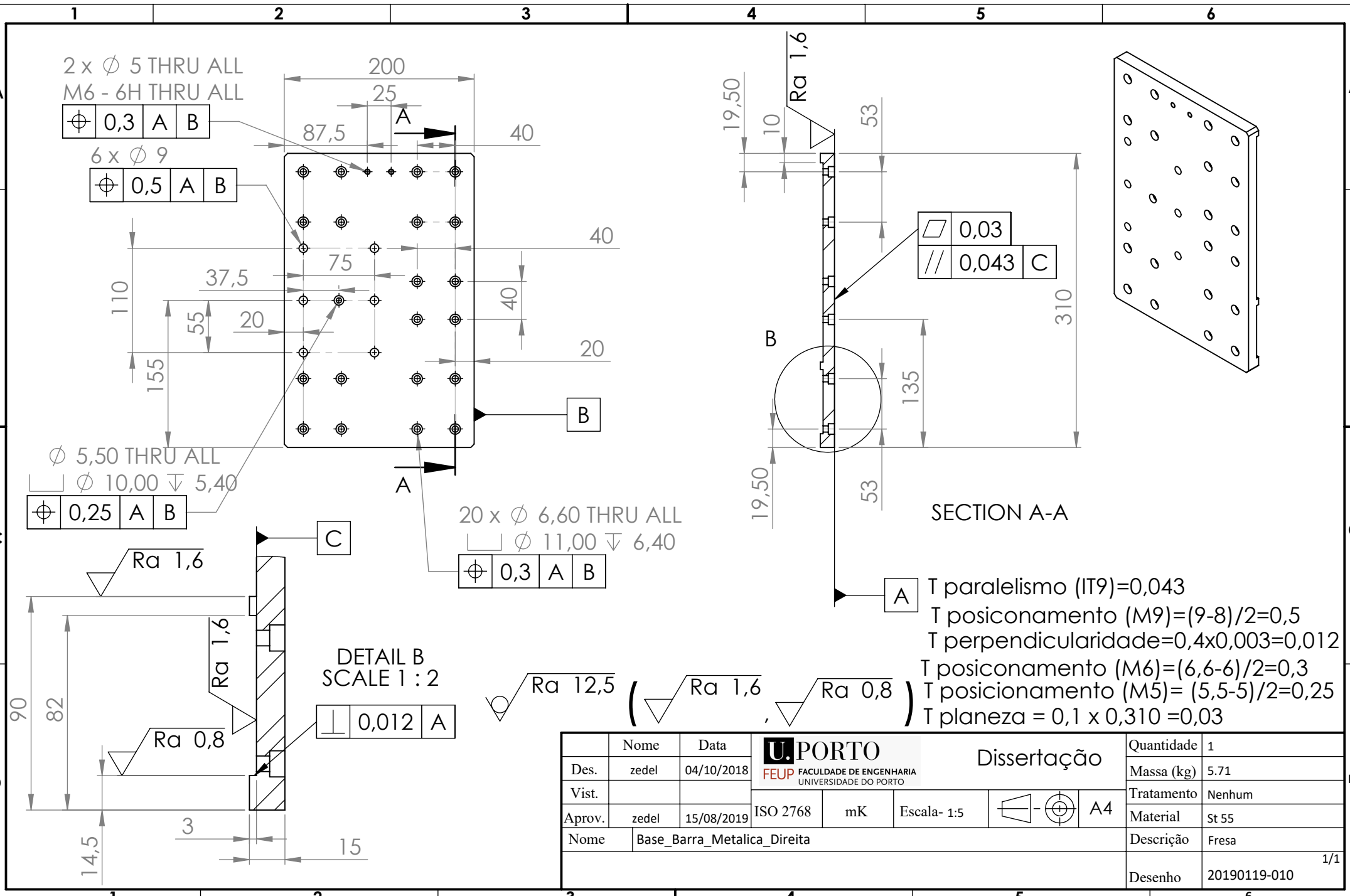




Ra 12,5 (Ra 3,2 , Ra 1,6)

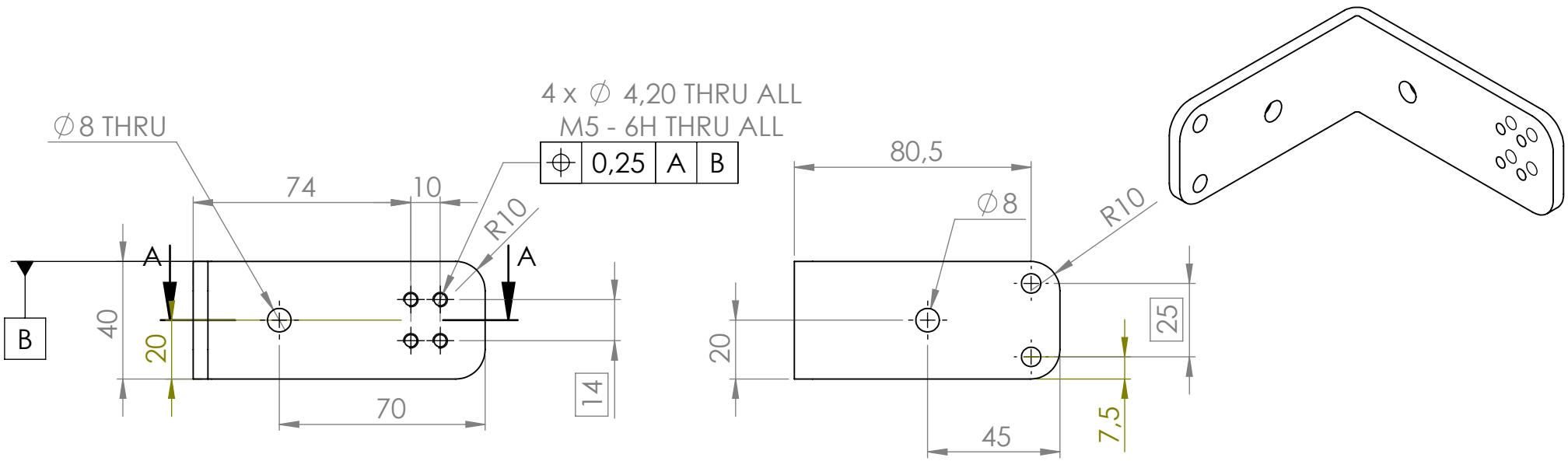
	Nome	Data						
Des.	zedel	13/03/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO		Dissertação		Quantidade	2
Vist.							Massa (kg)	1.16
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Aperto_Barra_Metalica_Rosca						Material	St 37
							Descrição	Laser
							Desenho	20190119-009 1/1

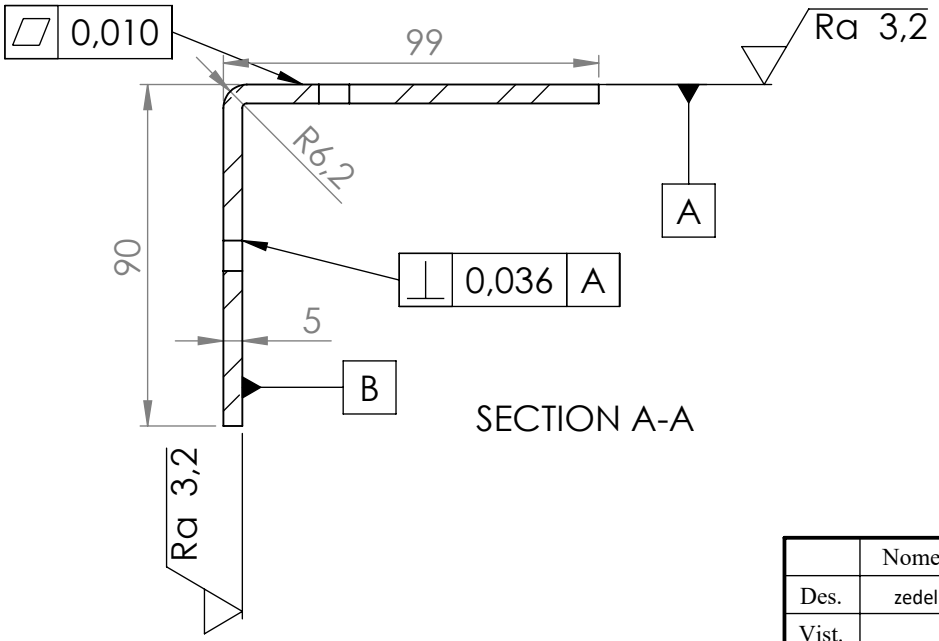
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



	Nome	Data						
Des.	zedel	04/10/2018	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	1
Vist.							Massa (kg)	5.71
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:5	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Base_Barra_Metalica_Direita						Material	St 55
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-010 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





SECTION A-A

Ra 12,5 (Ra 3,2)

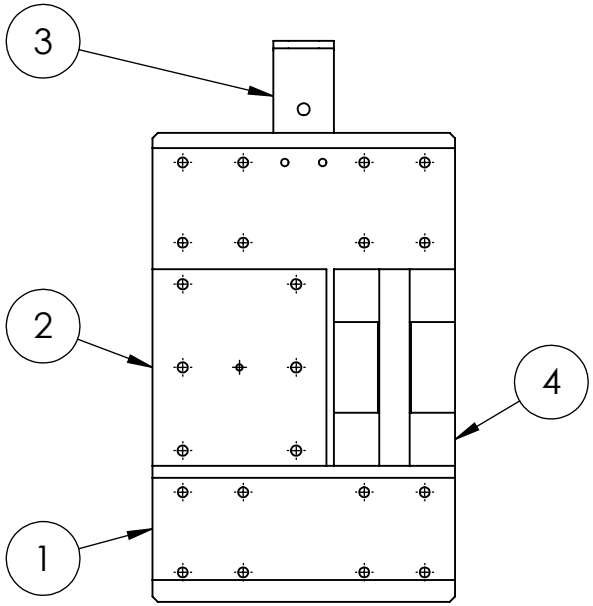
T perpendicularidade=0,4x0,09=0,036

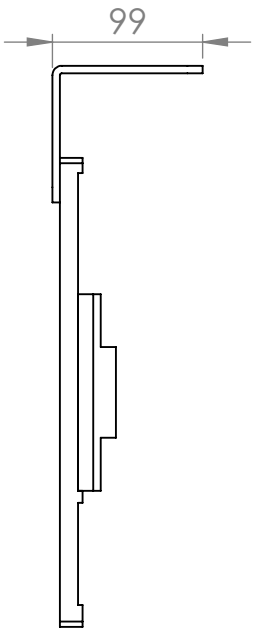
T planeza (IT9) =0,1x0,099=0,010

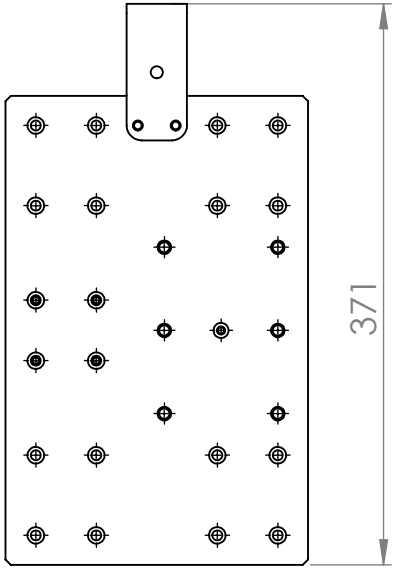
T posicionamento (M5)=(5,5-5)/2=0,25

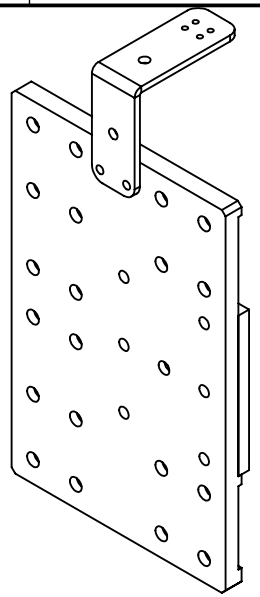
	Nome	Data						
Des.	zedel	21/06/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO		Dissertação		Quantidade	2
Vist.							Massa (g)	269.88
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Suporte calha						Material	S235
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-011 1/1

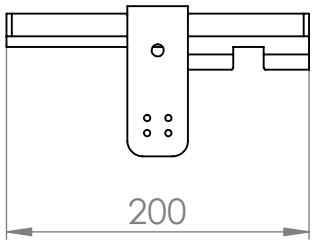
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.











Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Base_Barra_Metalica_Esquerda	**20190119-013**	St 55	Fresa		1	
2	Aperto_Barra_Metalica_Rosca	**20190119-009**	St 37	Laser		1	
3	Suporte calha	**20190119-011**	S235	Fresa		1	
4	Ligacao_braco	**20190119-008**	Al5083	Fresa		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	25/02/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

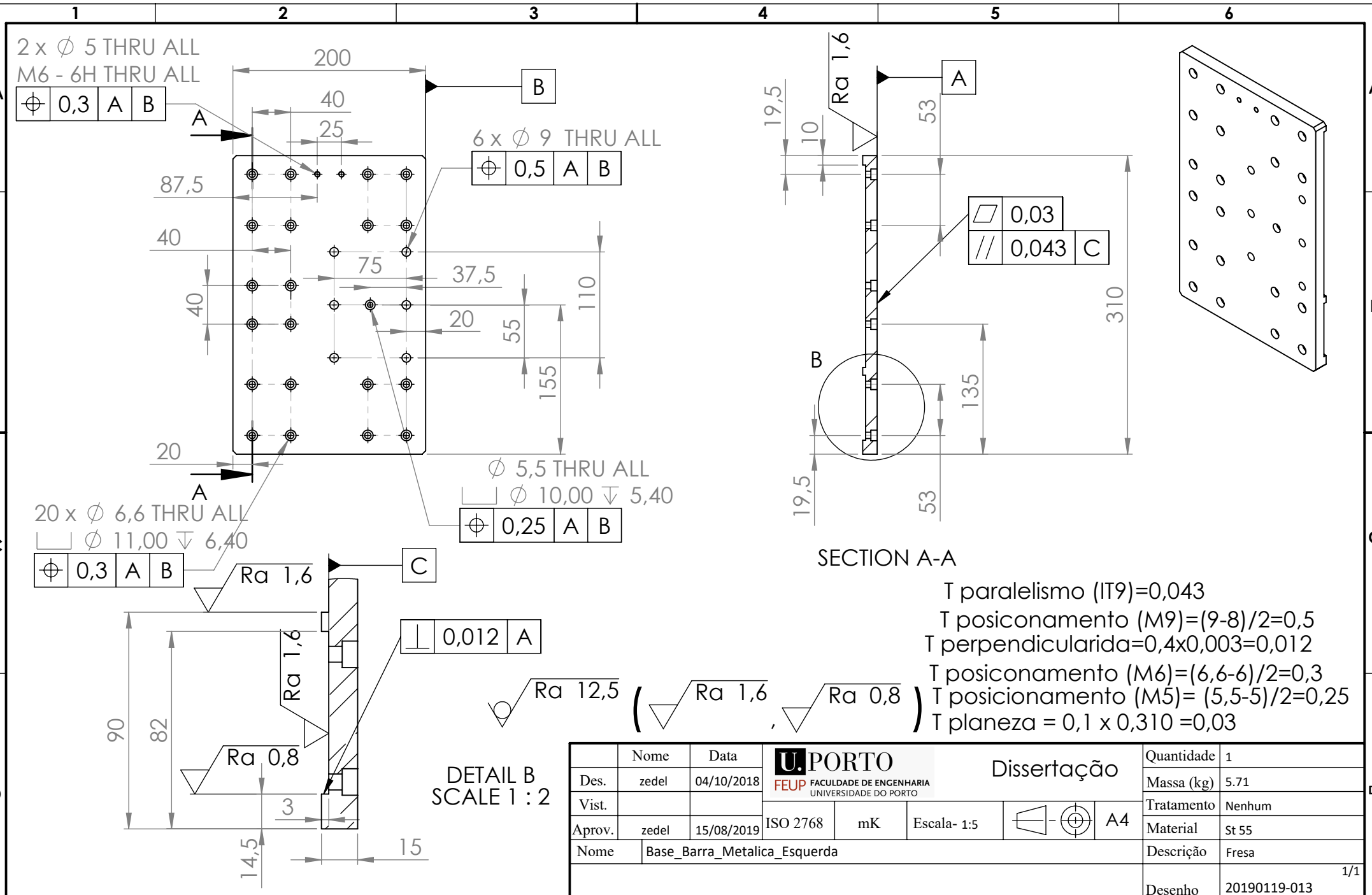
ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

Nome: Dedoesquerda

Quantidade	1
Massa (kg)	7.62
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-012

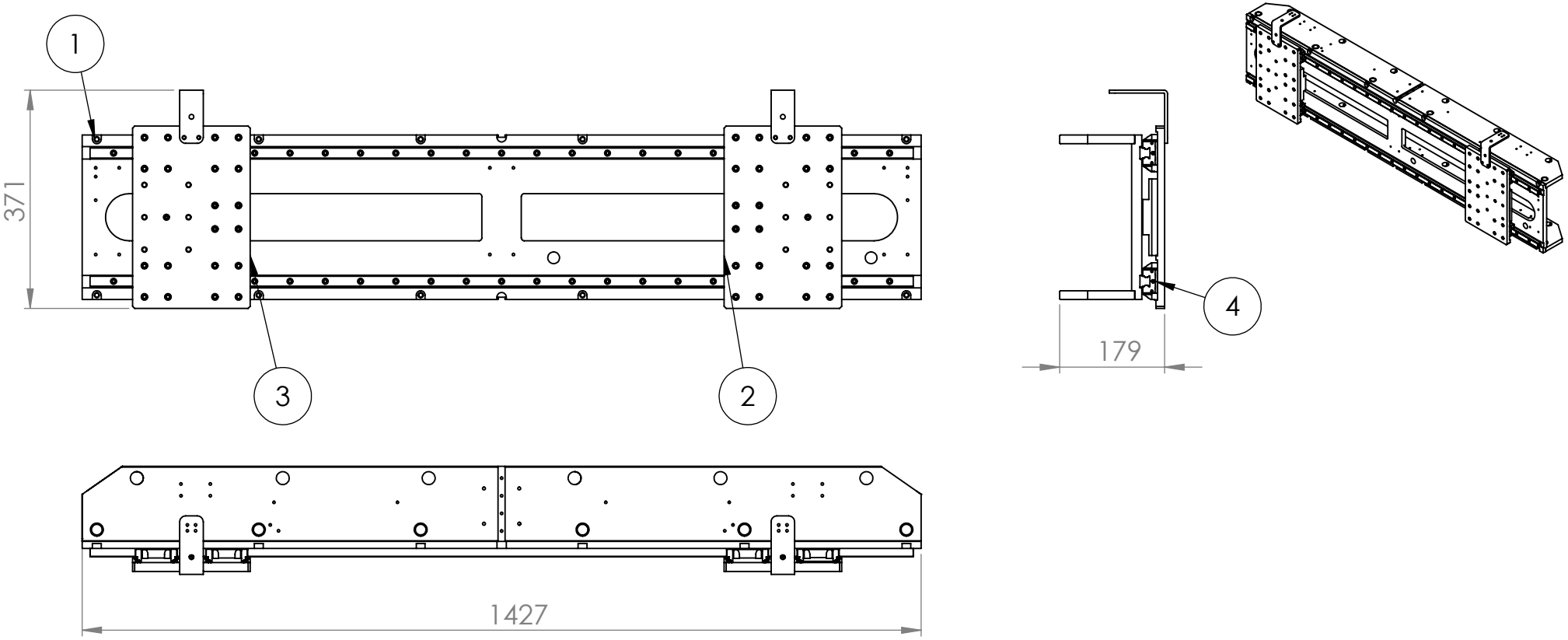
1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



	Nome	Data						
Des.	zedel	04/10/2018	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO			Dissertação	Quantidade	1
Vist.							Massa (kg)	5.71
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:5	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Base_Barra_Metalica_Esquerda						Material	St 55
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-013 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Corpo_Ferramenta_2	**20190119-004**	Vários	Oficina		1	
2	Dedoesquerda	**20190119-012**	Vários	Oficina		1	
3	Dedodireita	**20190119-007**	Vários	Oficina		1	
4	inafag_kwve20-b-v1-g2-l1_s16	**Schaeffler Technologies AG & Co. KG**	KWVE20-b-v1-g2-l1_s16	Compra		8	

	Nome	Data
Des.	zedel	25/02/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

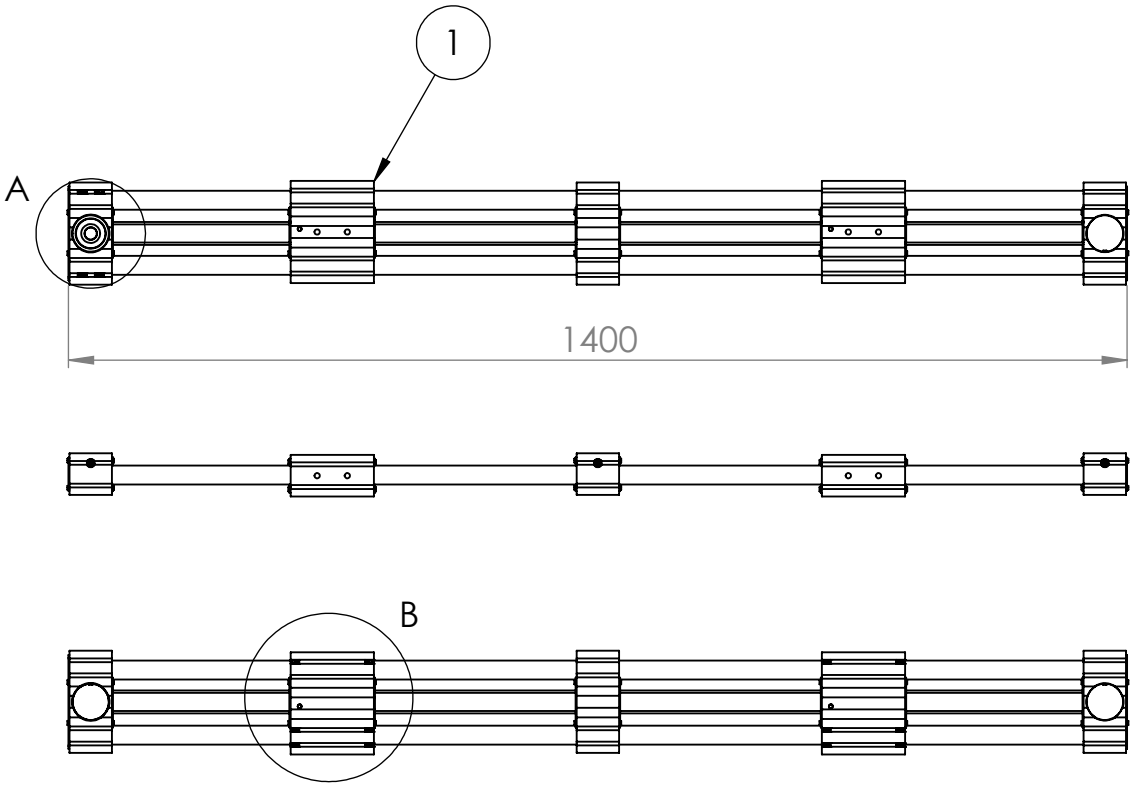
Dissertação

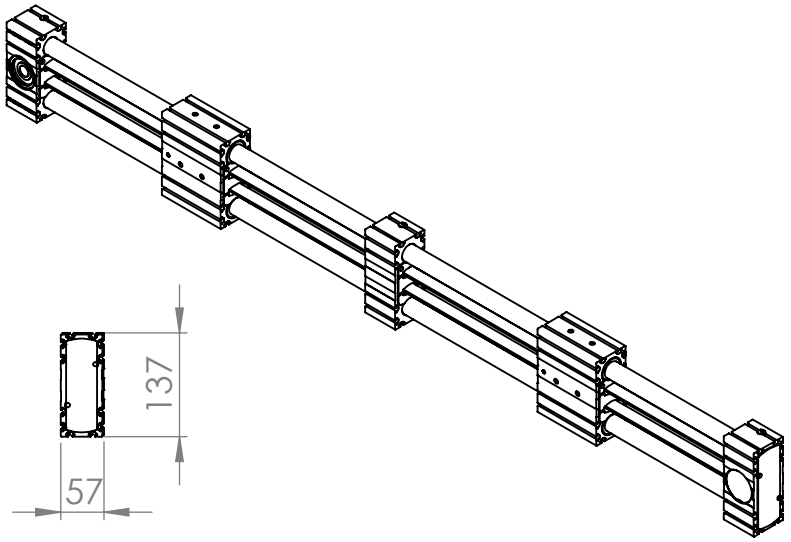
ISO 2768 | mK | Escala- 1:10 | A4

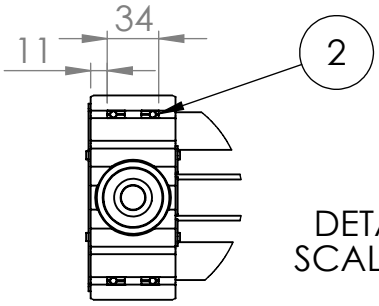
Nome	Corpo_Ferramenta_3
Quantidade	1
Massa (kg)	42.21
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-014

1/1

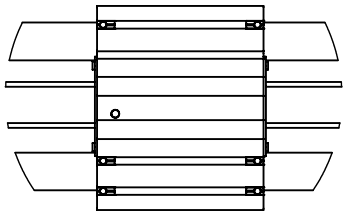
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







DETAIL A
SCALE 1 : 5



DETAIL B
SCALE 1 : 5

Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Eixo_eletromecânico	FESTO	ELGG-TB-55-450-20H-M-G	Compra		1	
2	NST_5_M5	FESTO	NST-5-M5	Compra		16	

	Nome	Data
Des.	zedel	26/02/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

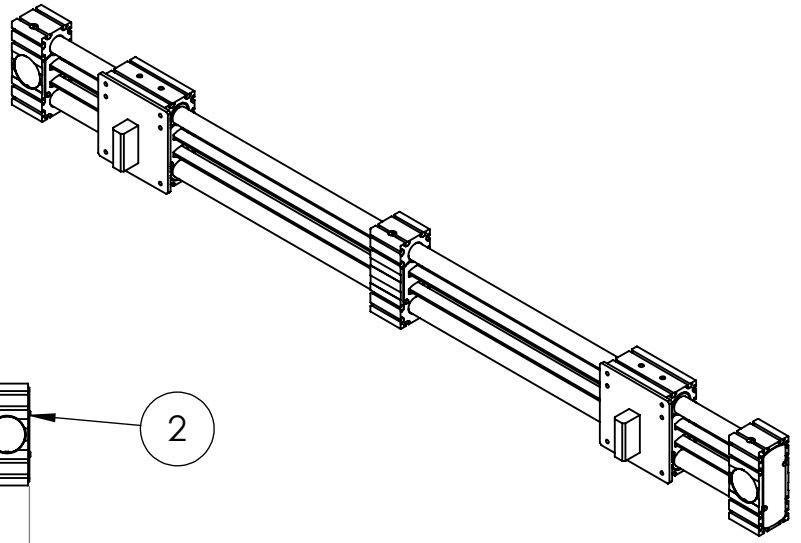
ISO 2768 | mK | Escala- 1:10 | A4

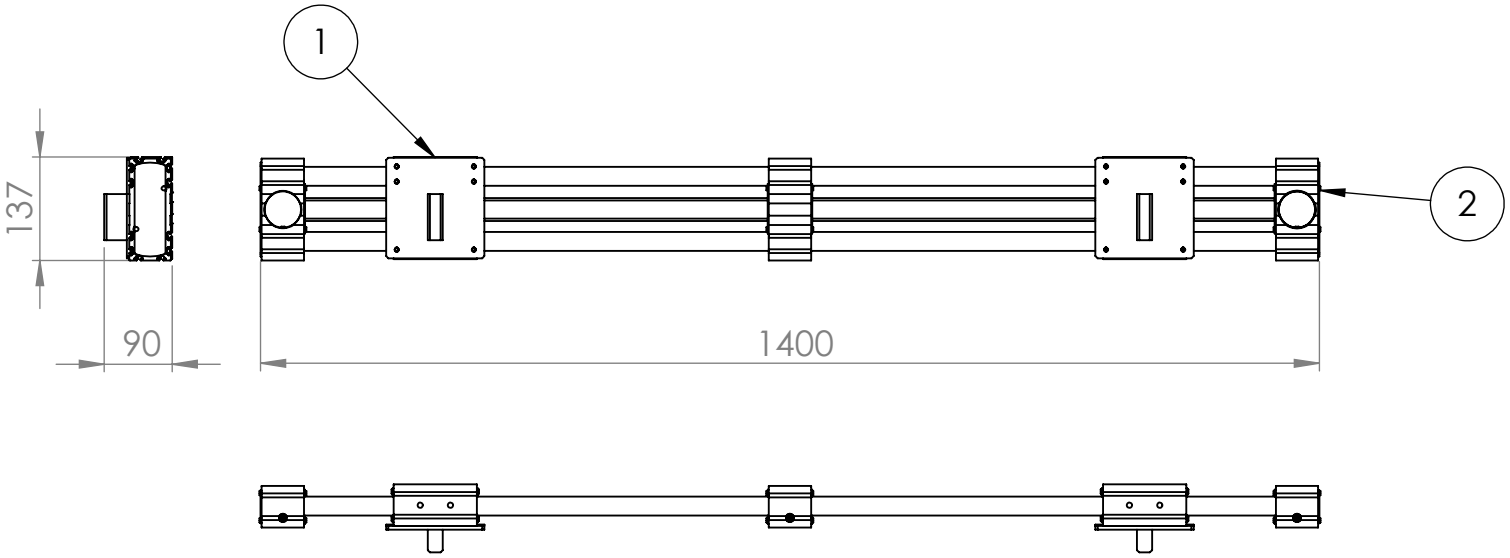
Nome: Eixo_com_fixacao

Quantidade	1
Massa (kg)	17.75
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-015

1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Ligacao_ao_Eixo	**20190119-017**	S235	Fresa		2	
2	Eixo_com_fixacao	**20190119-015**	Vários	Oficina		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	28/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

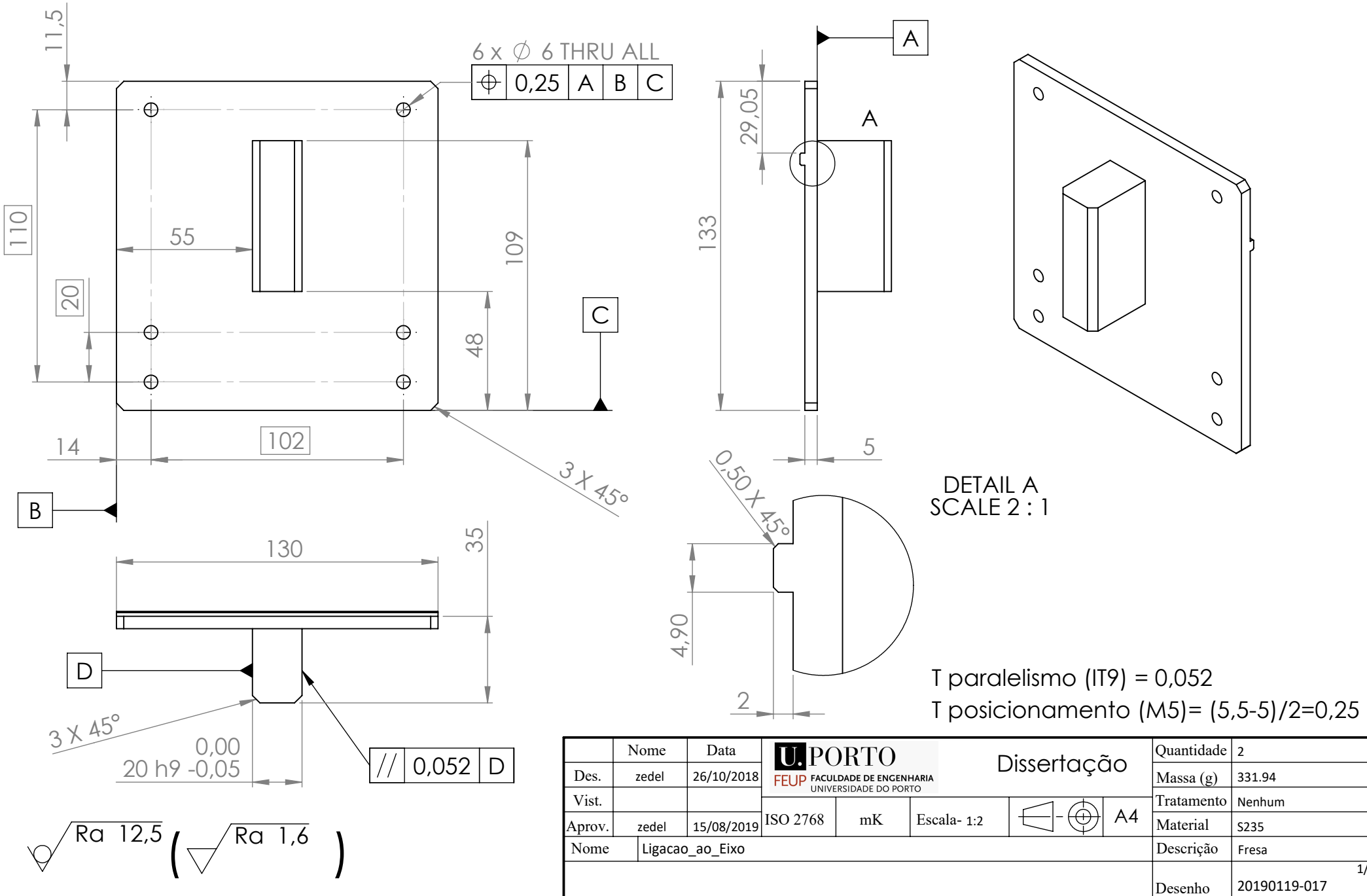
ISO 2768 | mK | Escala- 1:10 | A4

Nome	Conjunto_eixo_eletromecanico

Quantidade	1
Massa (kg)	18.41
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-016

1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



	Nome	Data
Des.	zedel	26/10/2018
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019
Nome	Ligacao_ao_Eixo	

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

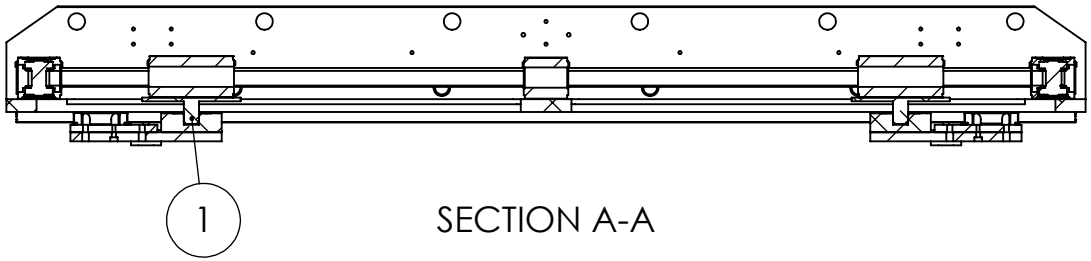
Dissertação

ISO 2768 | mK | Escala- 1:2 | A4

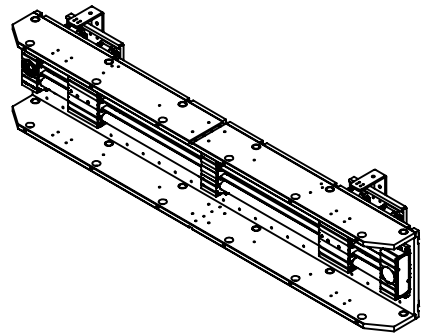
Quantidade	2
Massa (g)	331.94
Tratamento	Nenhum
Material	S235
Descrição	Fresa
Desenho	20190119-017

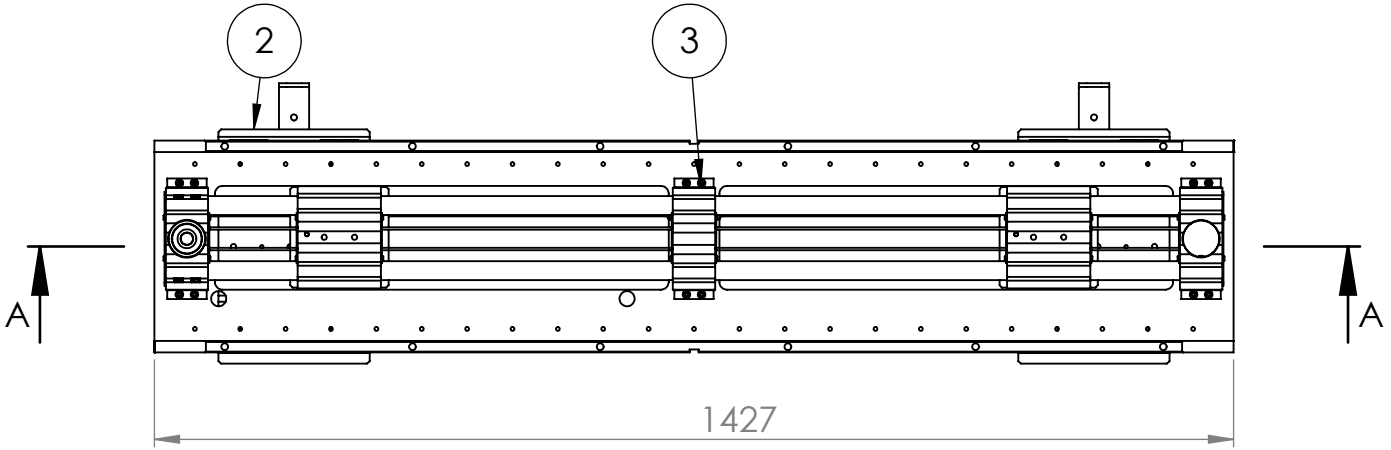
1/1

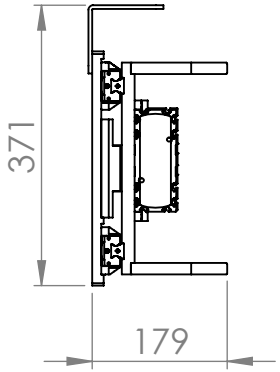
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



SECTION A-A







Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Conjunto_eixo_eletromecanico	**20190119-016**	Vários	Oficina		1	
2	Corpo_Ferramenta_3	**20190119-014**	Vários	Oficina		1	
3	MUE_45	**MUE-45**	FESTO	Compra		6	

	Nome	Data
Des.	zedel	28/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

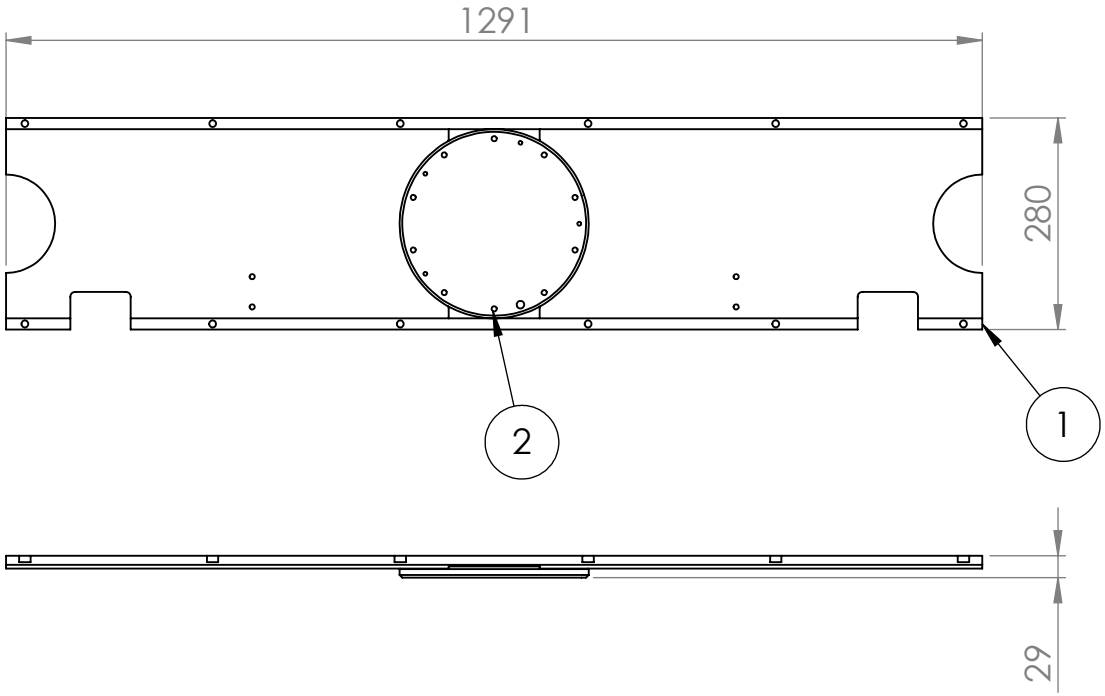
ISO 2768 | mK | Escala- 1:10 | A4

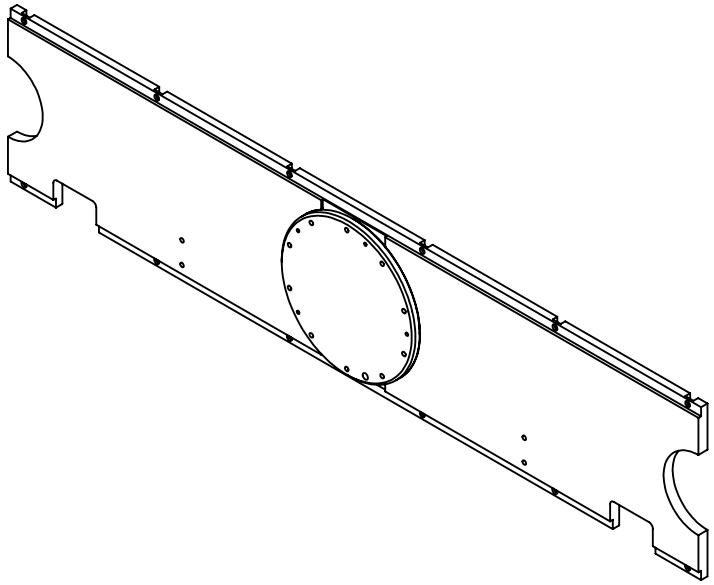
Nome: Corpo_Ferramenta_4

Quantidade	1
Massa (kg)	60.81
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-018

1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Chapa_Traseira	**20190119-020**	Al5083	Fresa		1	
2	Porca_Interior_Grande	**20190119-021**	St 37	Laser		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	28/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

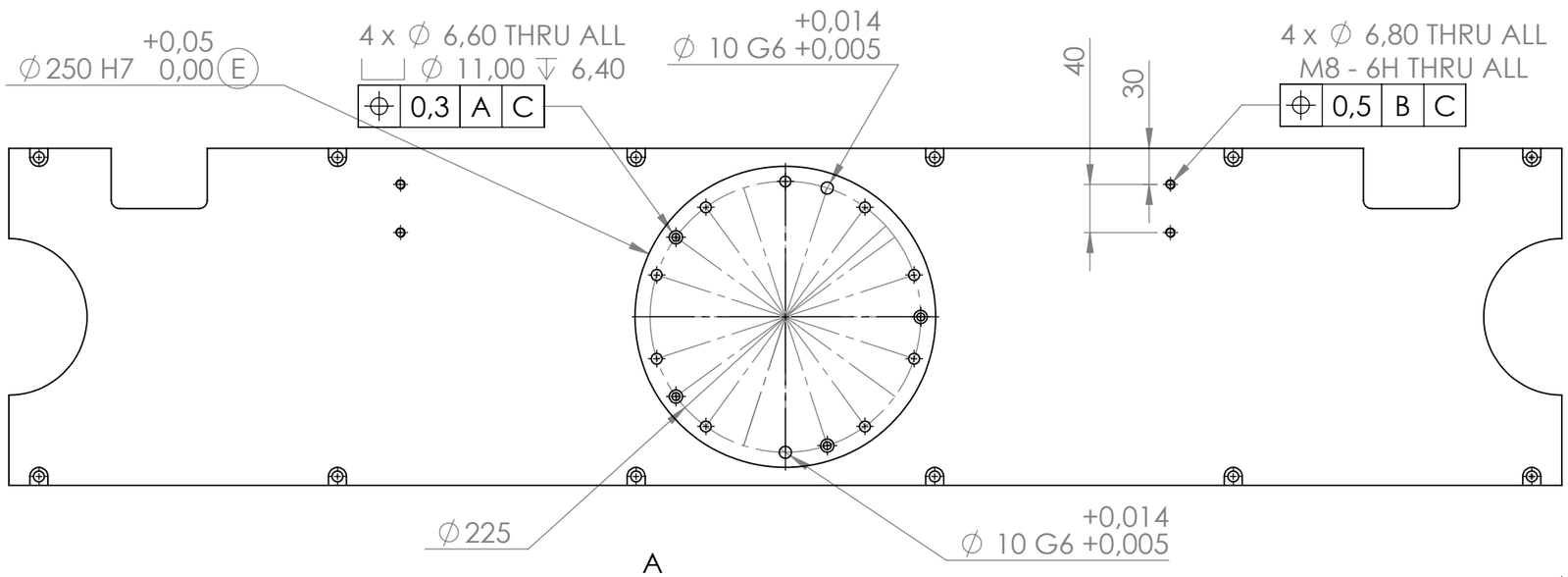
ISO 2768 | mK | Escala- 1:10 | A4

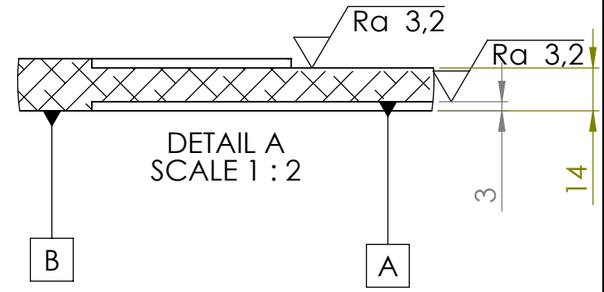
Nome	Corpo_Ferramenta_5

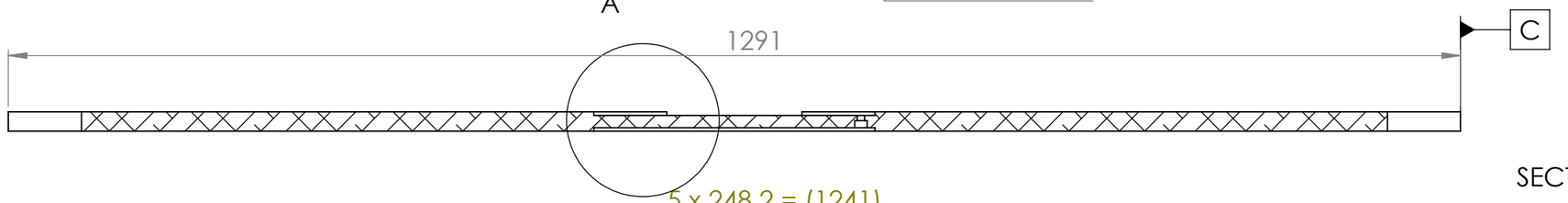
Quantidade	1
Massa (kg)	19.87
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-019

1/1

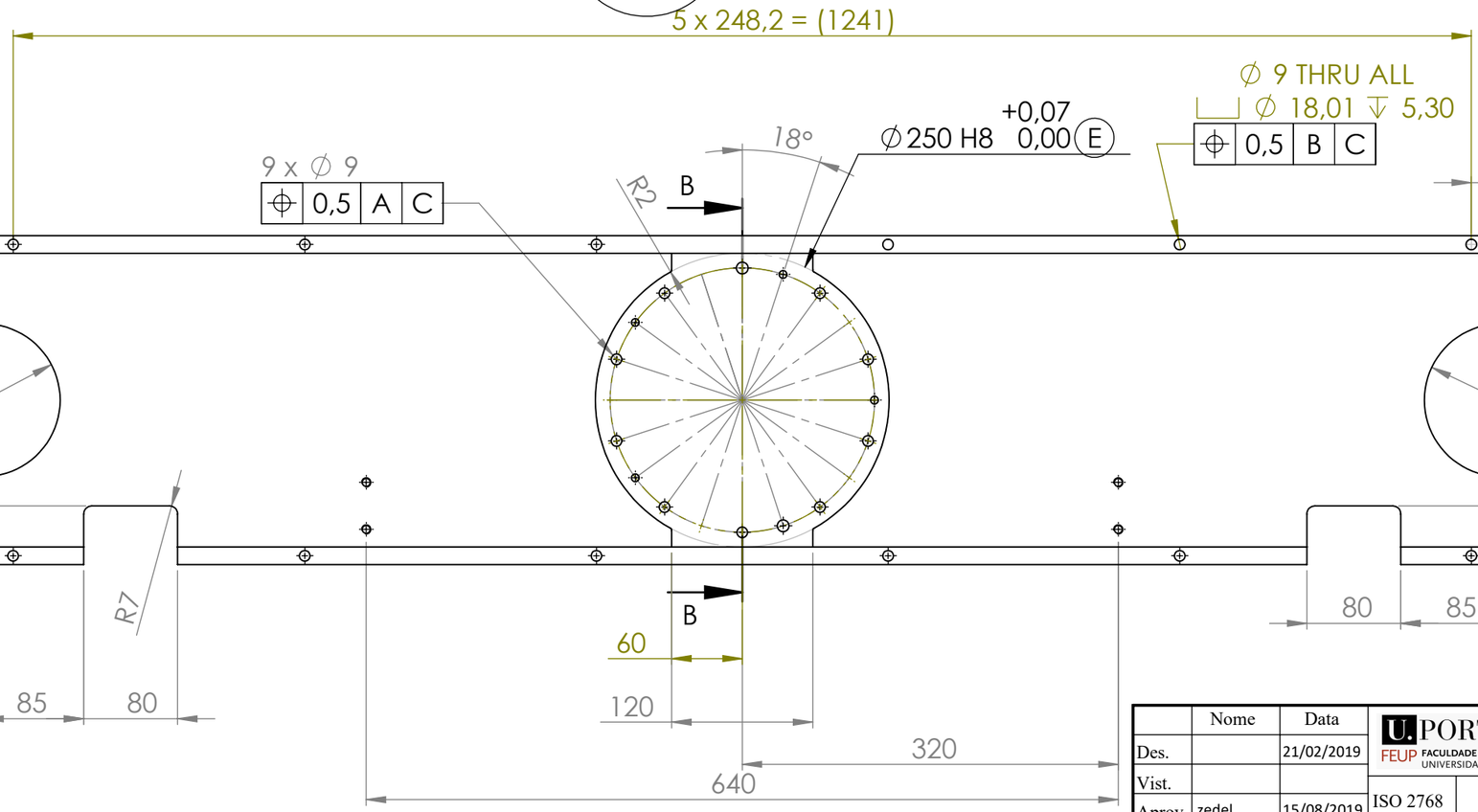
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

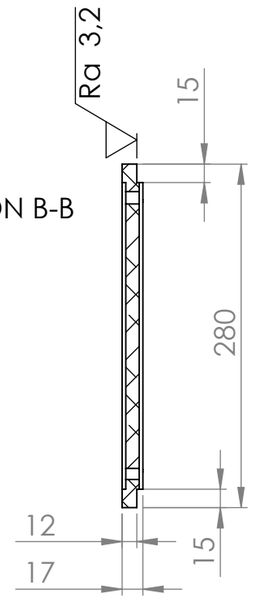






SECTION C-C



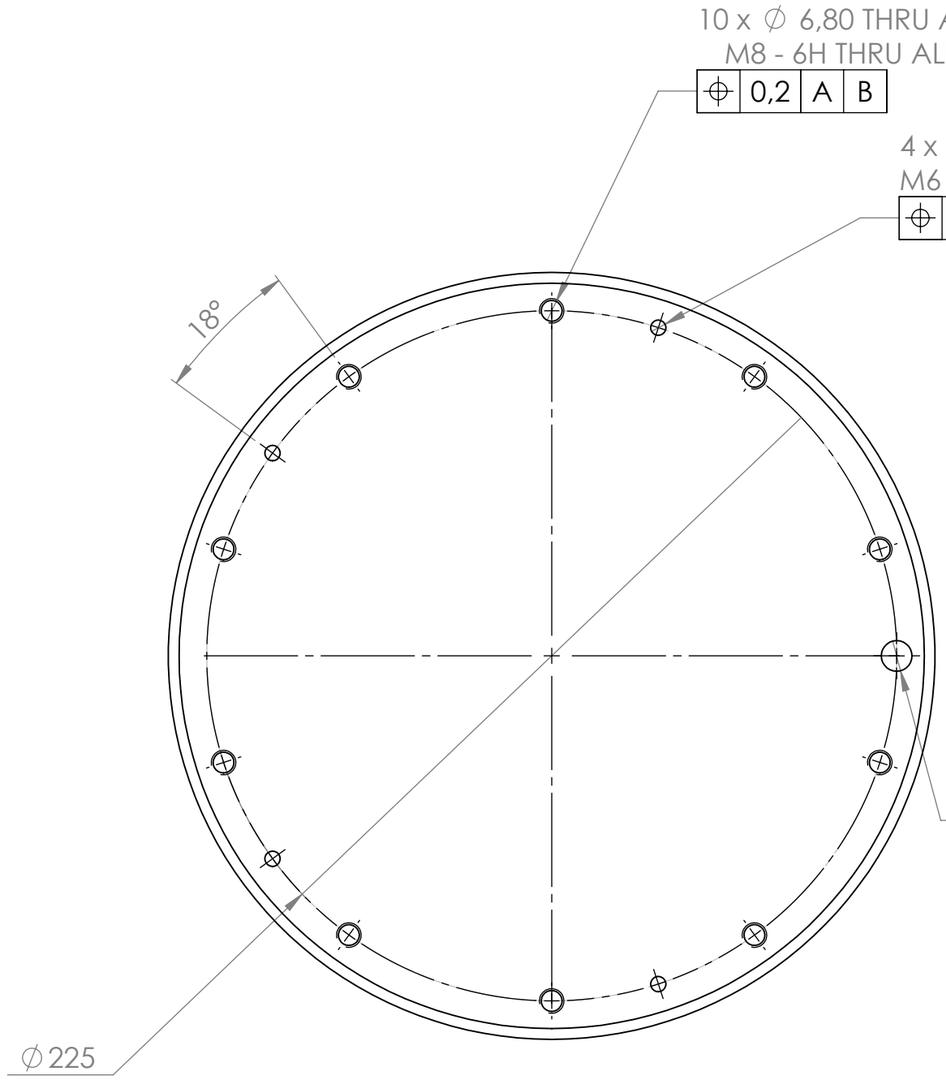


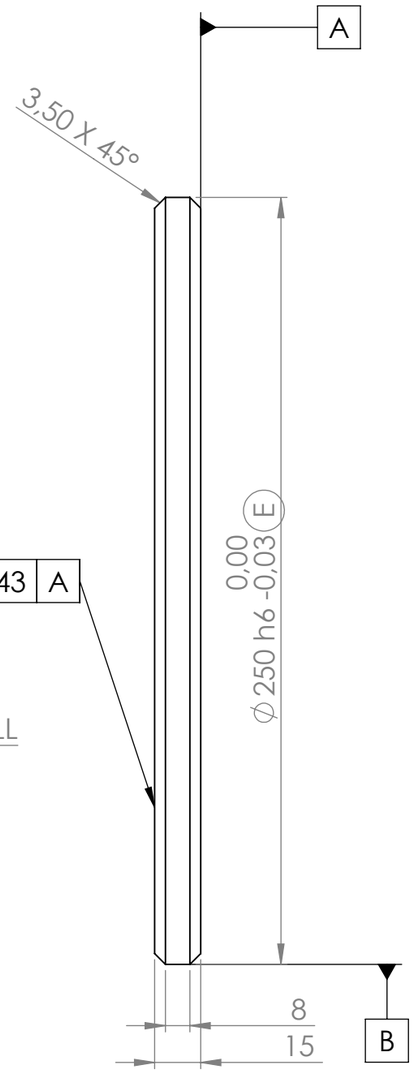
SECTION B-B

	Nome	Data					
Des.		21/02/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação		Quantidade	1
Vist.						Massa (kg)	14.22
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:5 A3	Tratamento	Nenhum
Nome	Chapa_Traseira					Material	Al5083
						Descrição	Fresa
						Desenho	20190119-020 1/1

Ra 12,5 (Ra 3,2)

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



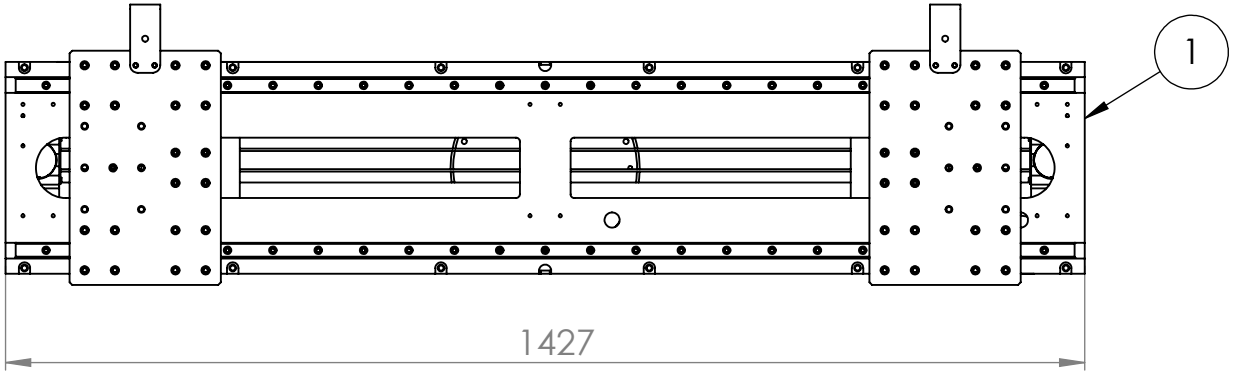


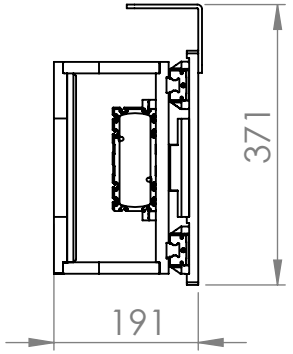
Ra 12,5

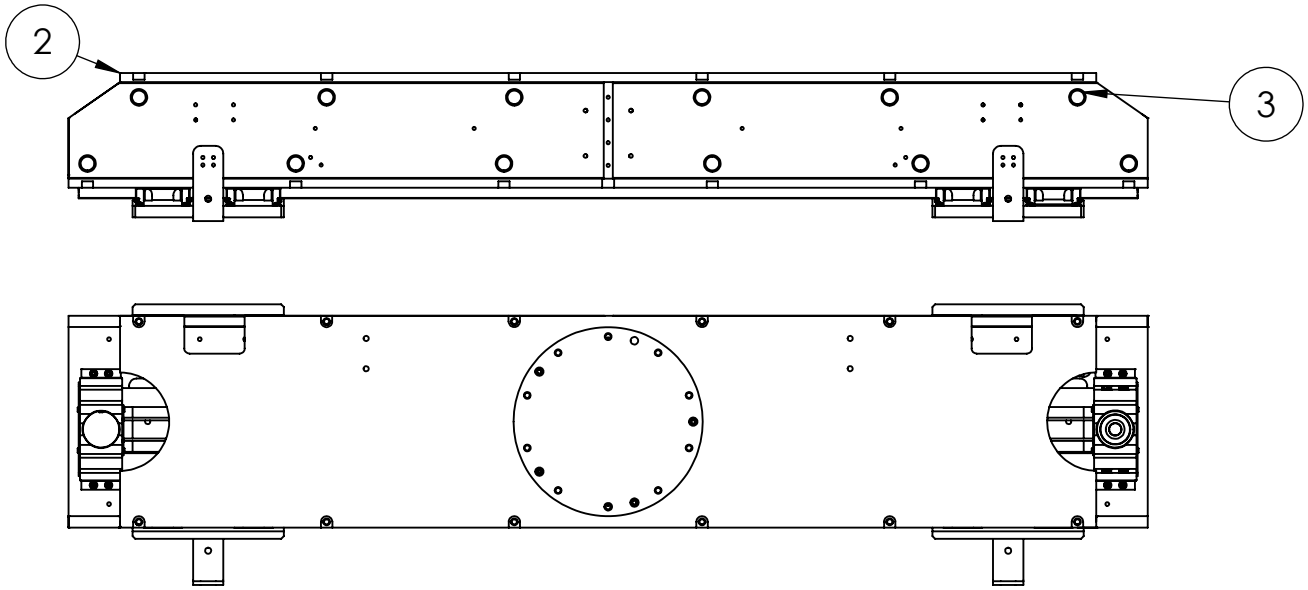
T paralelismo (IT9) = 0,043
T posicionamento (M6)= (6,6-6)/2=0,3
T posicionamento (M8)= (8,4-8)/2=0,4

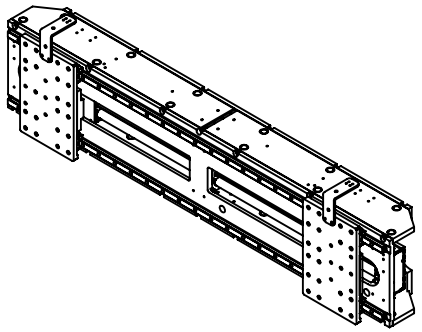
	Nome	Data							
Des.		22/10/2018	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				Dissertação	Quantidade	1
Vist.								Massa (kg)	5.64
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A3	Tratamento	Nenhum
Nome	Porca_Interior_Grande							Material	St 37
								Descrição	Laser
								Desenho	20190119-021 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.









Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Corpo_Ferramenta_4	**20190119-018**	Vários	Oficina		1	
2	Corpo_Ferramenta_5	**20190119-019**	Vários	Oficina		1	
3	Porca_Cilindrica	**20190119-006**	ASTM A36 Steel	Torno		12	

	Nome	Data
Des.	zedel	28/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

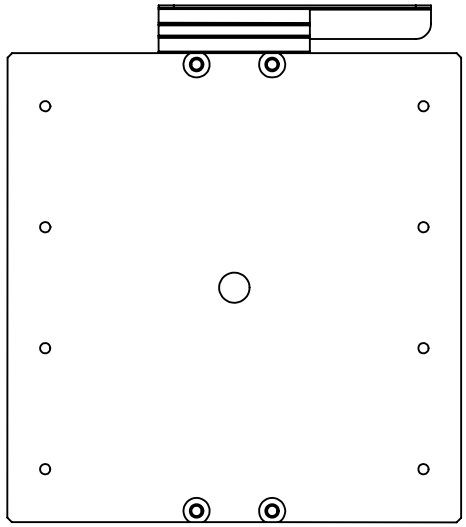
ISO 2768 | mK | Escala- 1:10 | A4

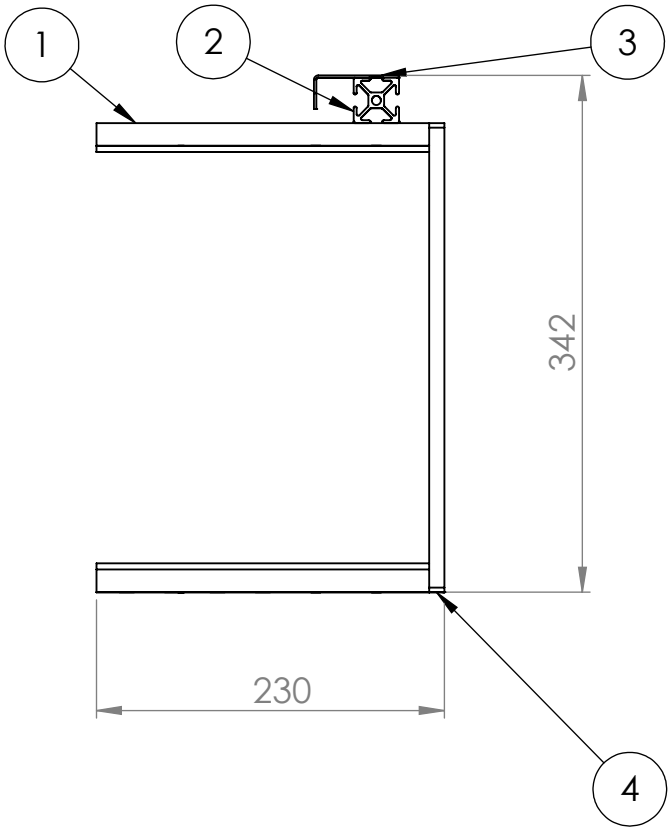
Nome	Corpo_Ferramenta

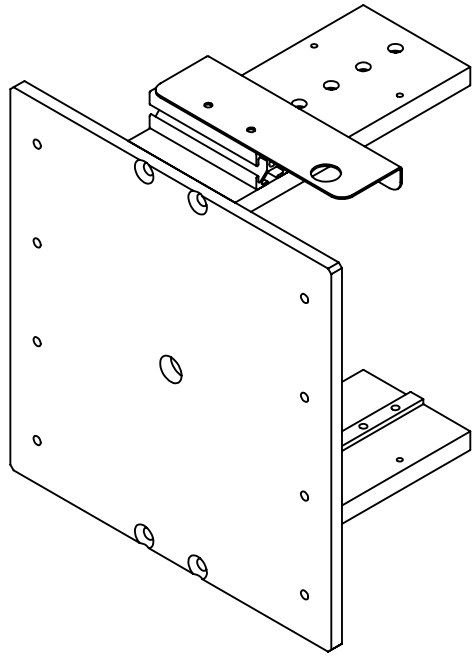
Quantidade	1
Massa (kg)	81.12
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-022

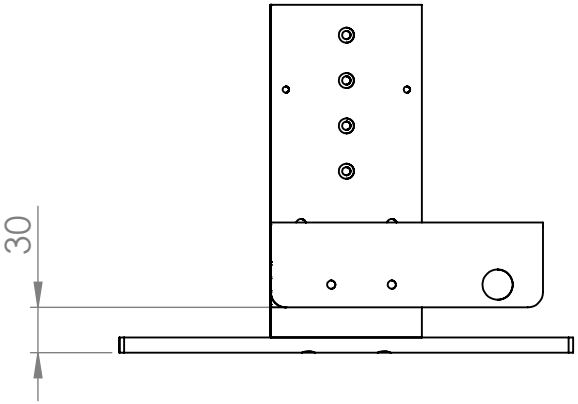
1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.









Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Base_Suporte_Central	**2019019-025**	Al5083	Fresa		2	
2	Perfil de aluminio	**30x30x100**	Aluminio	Compra		1	
3	Suporte_sensor_pos	**20190119-026**	Al5083	Quinagem		1	
4	Suporte_central_encosto	**20190119-024**	Al5083	Fresa		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	18/07/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

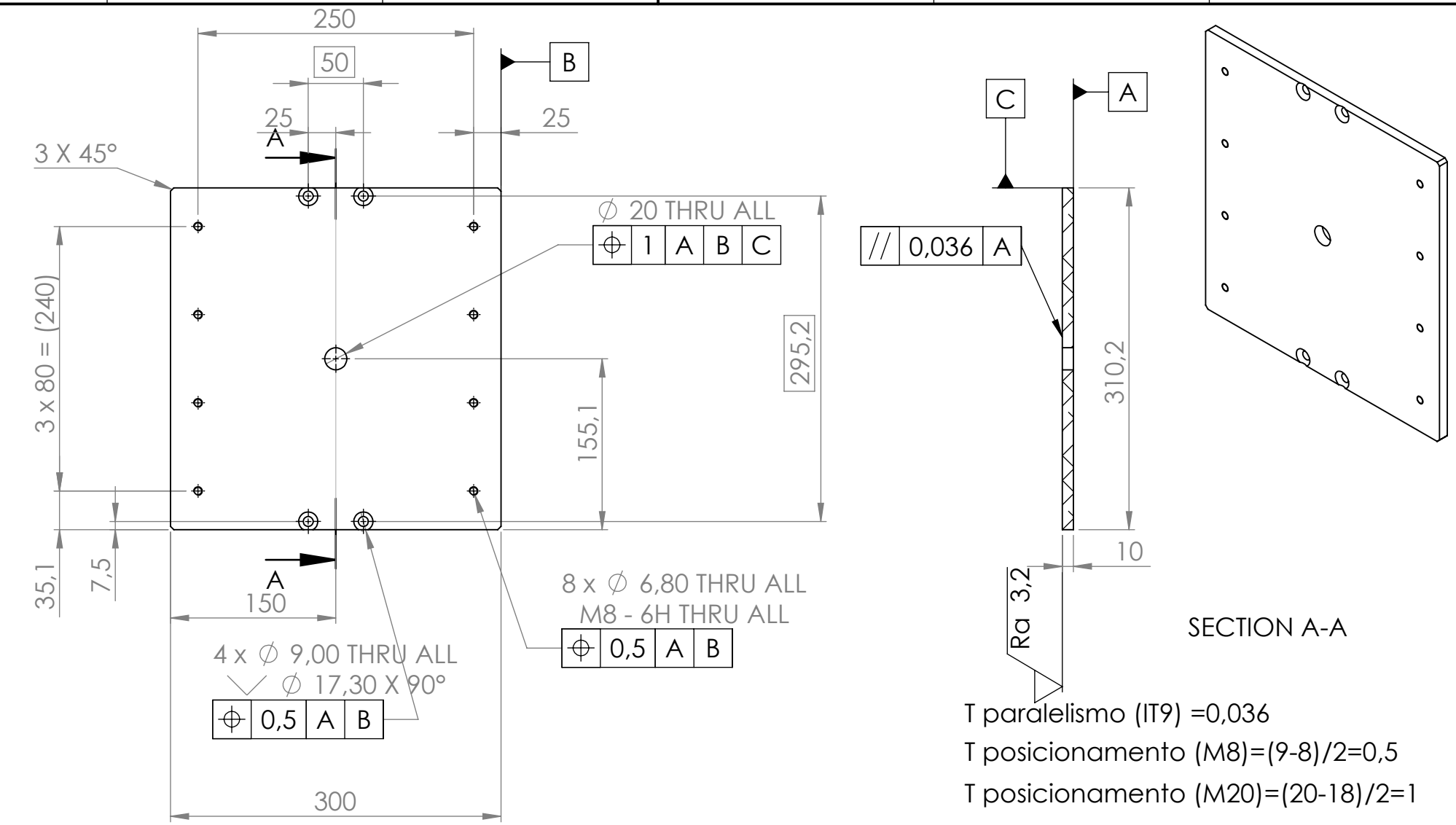
Dissertação

ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

Nome	Suporte_Encosto_frontal
Quantidade	
Massa (kg)	4.43
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-023

1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



	Nome	Data
Des.	zedel	27/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

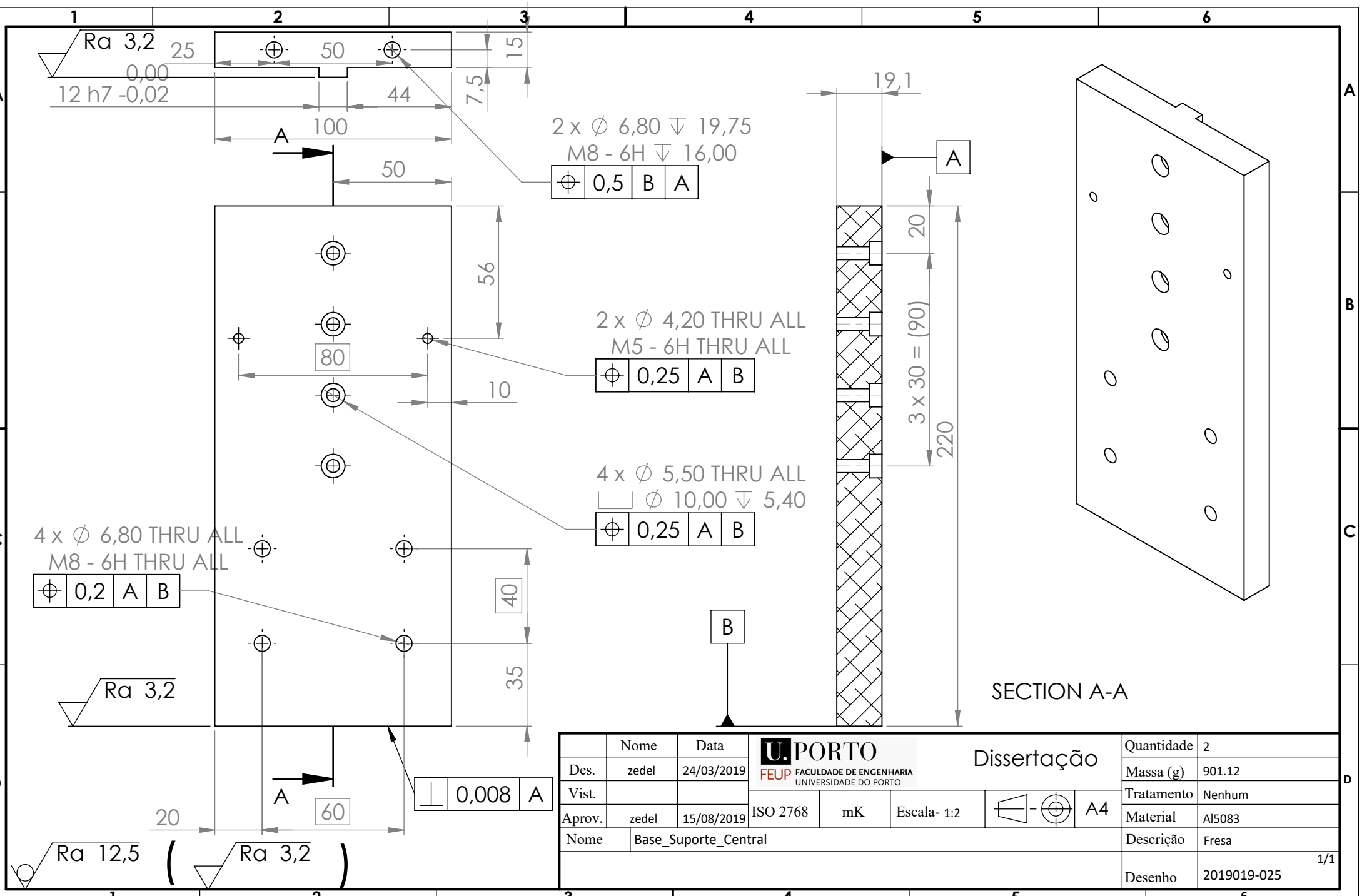
Quantidade	1
Massa (kg)	2.49
Tratamento	Nenhum
Material	Al5083
Descrição	Fresa
Desenho	20190119-024

Nome: Suporte_central_encosto

1/1

Ra 12,5 (Ra 3,2)

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



	Nome	Data
Des.	zedel	24/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

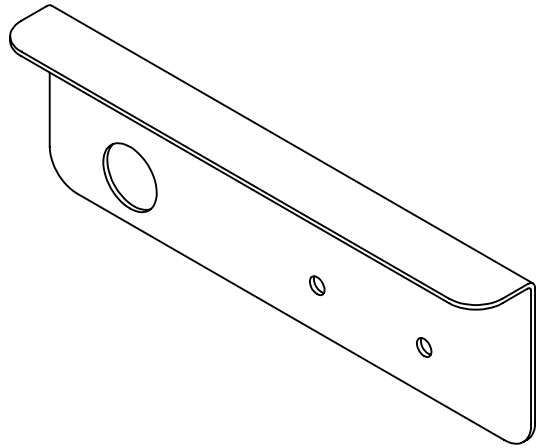
ISO 2768 | mK | Escala- 1:2 | A4

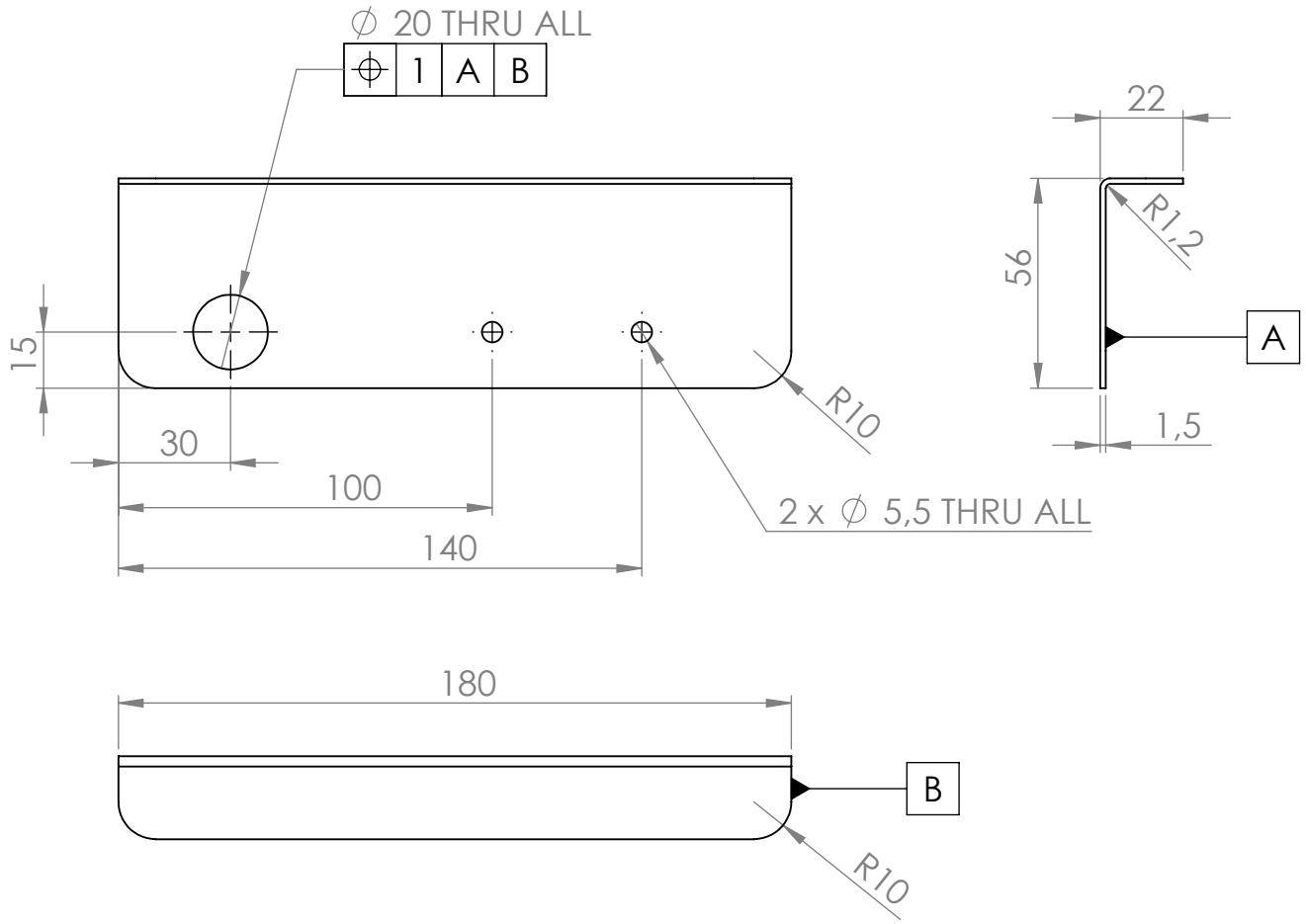
Nome	Base_Suporte_Central

Quantidade	2
Massa (g)	901.12
Tratamento	Nenhum
Material	Al5083
Descrição	Fresa
Desenho	2019019-025

1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



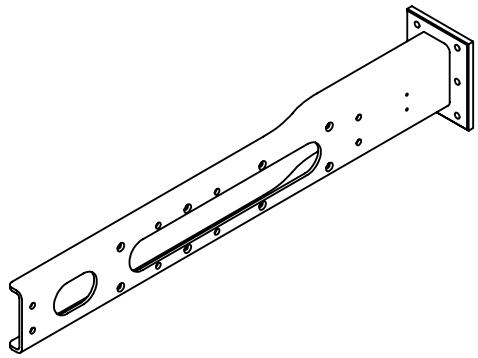


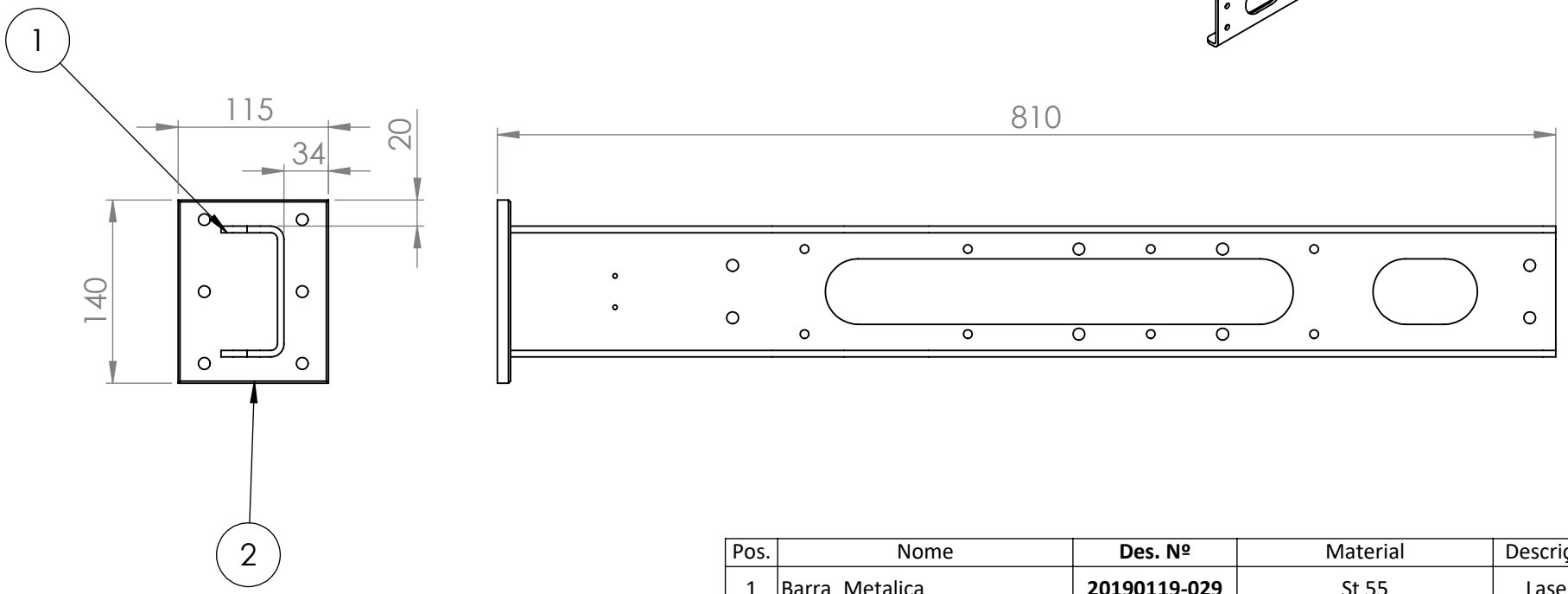
T posicionamento (M18)=(20-18)/2=1

Ra 12,5

	Nome	Data						
Des.	zedel	18/07/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	1
Vist.							Massa (g)	53.59
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Suporte_sensor_pos						Material	Al5083
							Descrição	Quinagem
							Desenho	20190119-026 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Barra_Metalica	**20190119-029**	St 55	Laser		1	
2	Aperto_Base_Furada_Lisa	**20190119-028**	St 55	Laser		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	03/05/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

Nome	Braco_ferramenta

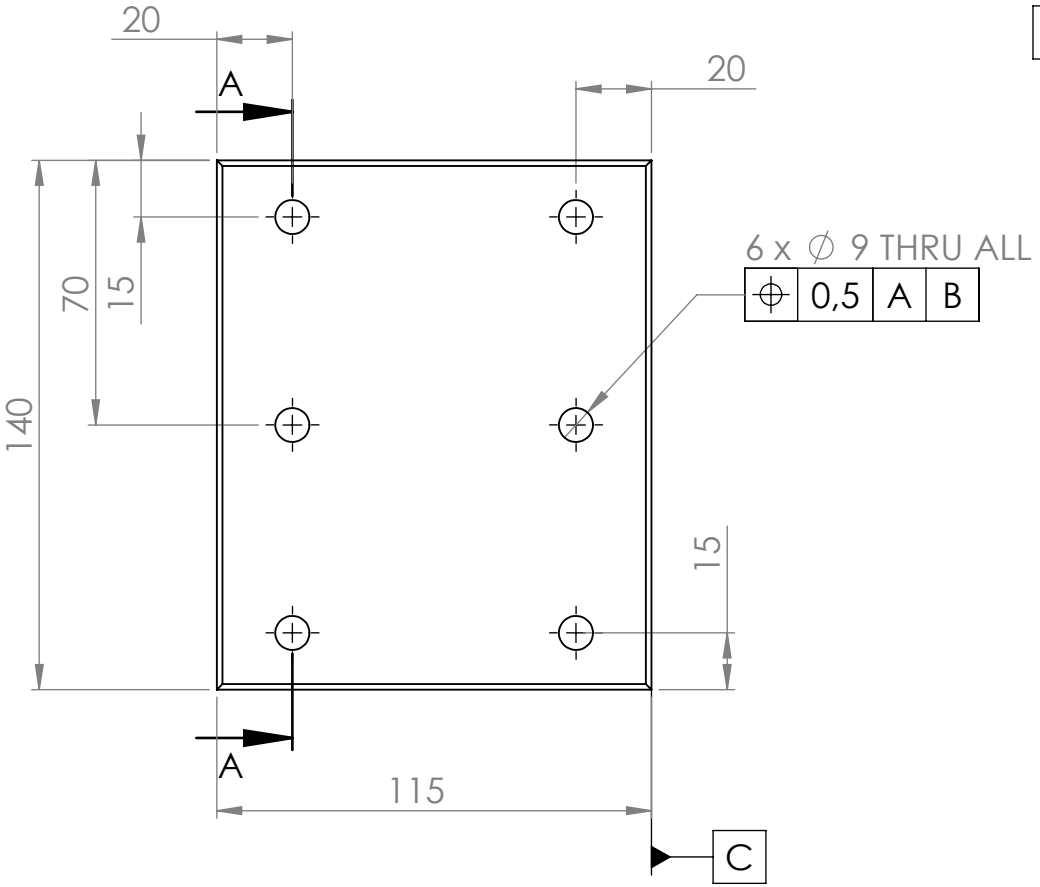
Quantidade	2
Massa (kg)	5.17
Tratamento	Nenhum
Material	St 55
Descrição	Soldadura
Desenho	20190119-027

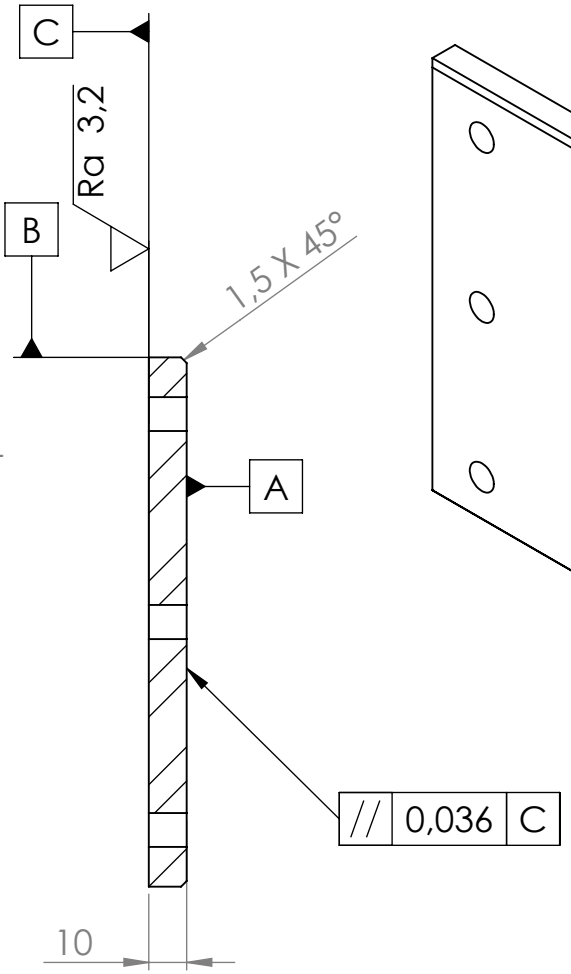
1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

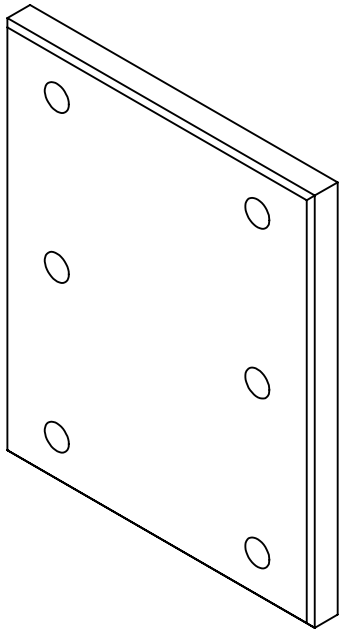
T posicionamento= (9-8)/2=0,5

T paralelismo (qualidade média IT9 (10))=0,036





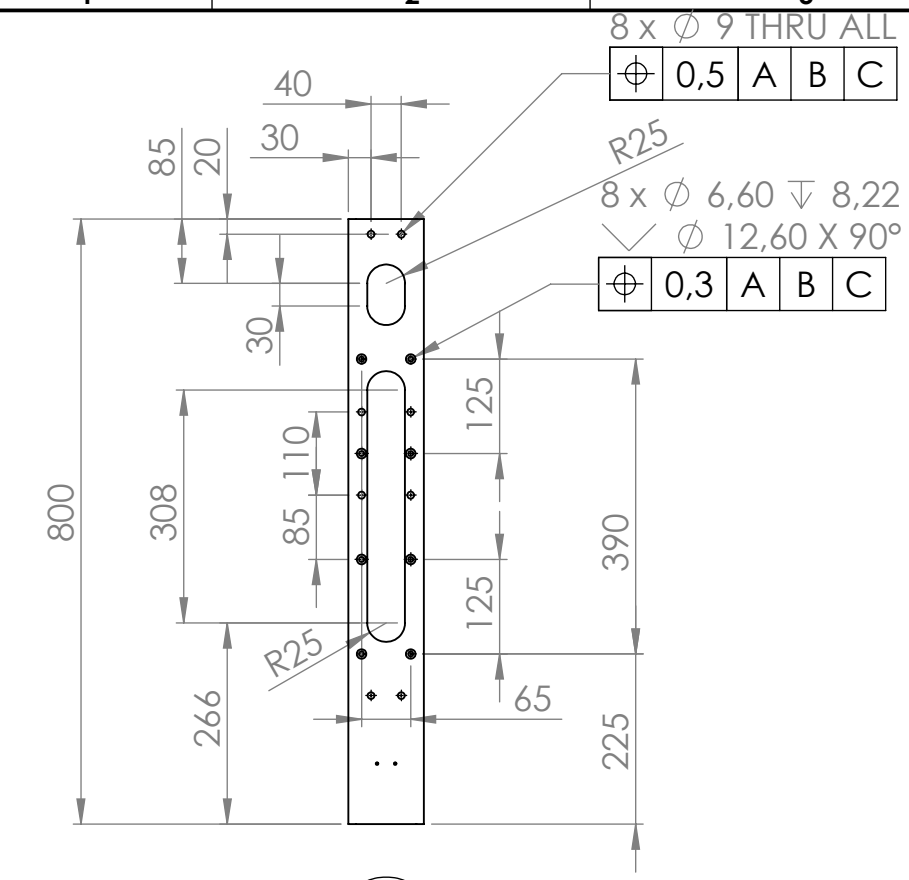
SECTION A-A

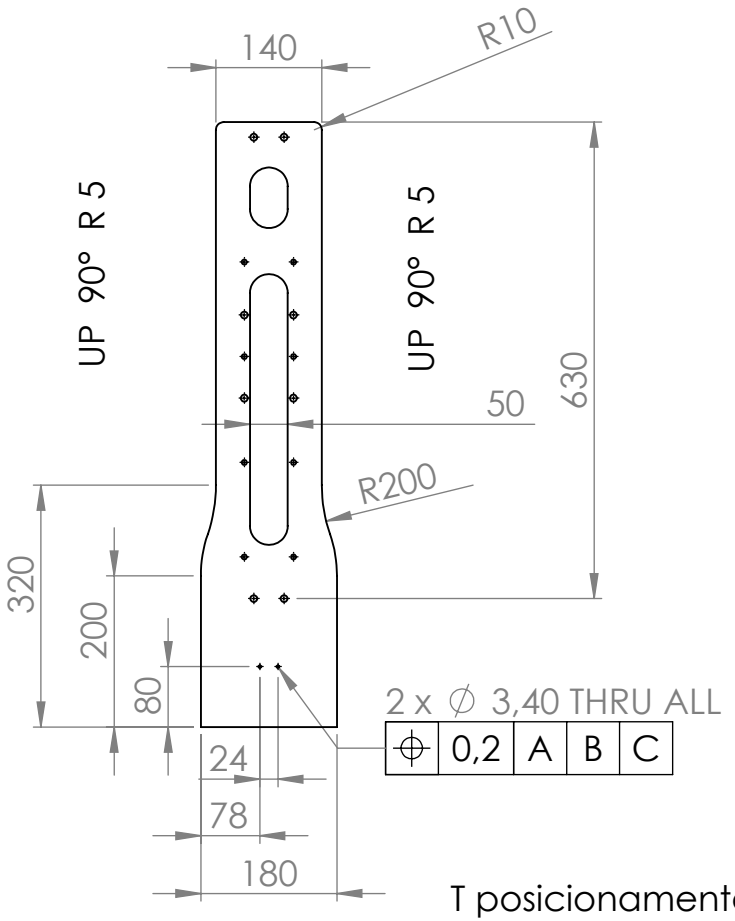


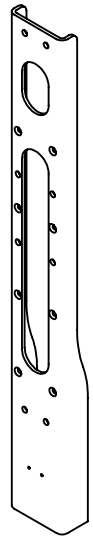
Ra 12,5 (Ra 3,2)

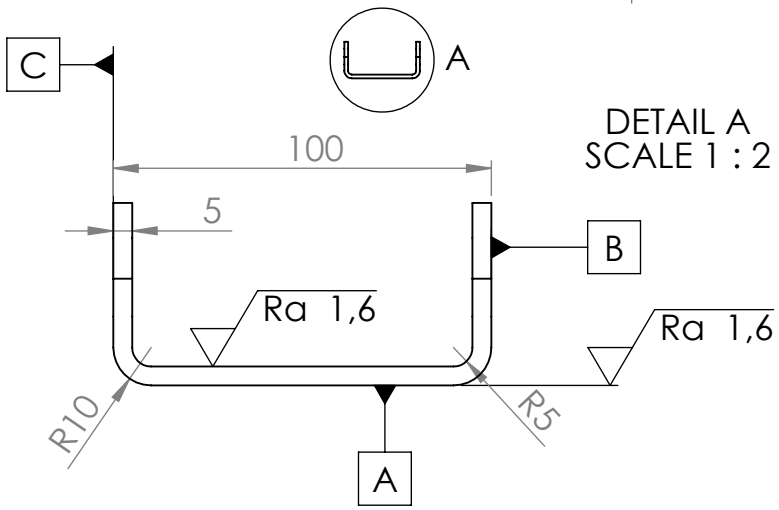
	Nome	Data						
Des.	zedel	13/03/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO		Dissertação		Quantidade	2
Vist.							Massa (kg)	1.23
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Aperto_Base_Furada_Lisa						Material	St 55
							Descrição	Laser
							Desenho	20190119-028 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.









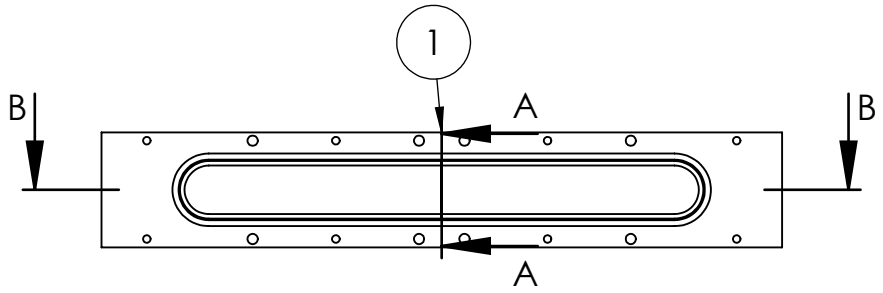
DETAIL A
SCALE 1 : 2

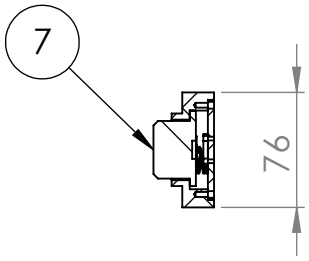
T posicionamento (M8)= (9-8)/2=0,5
T posicionamento (M6) = (6,6-6)/3=0,3
T posicionamento (M3) = (3,4-3)/2=0,2

Ra 12,5 (Ra 1,6)

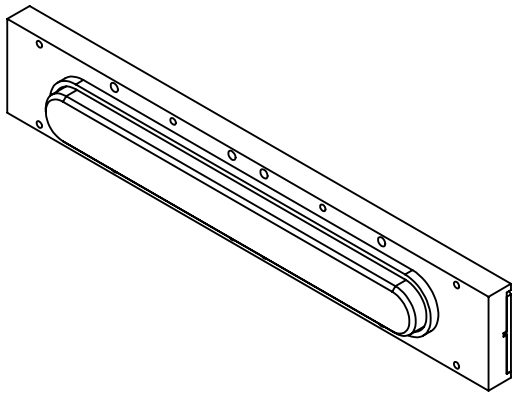
	Nome	Data						
Des.	zedel	12/03/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	2
Vist.							Massa (kg)	3.94
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:10	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Barra_Metalica						Material	St 55
							Descrição	Laser
							Desenho	20190119-029 1/1

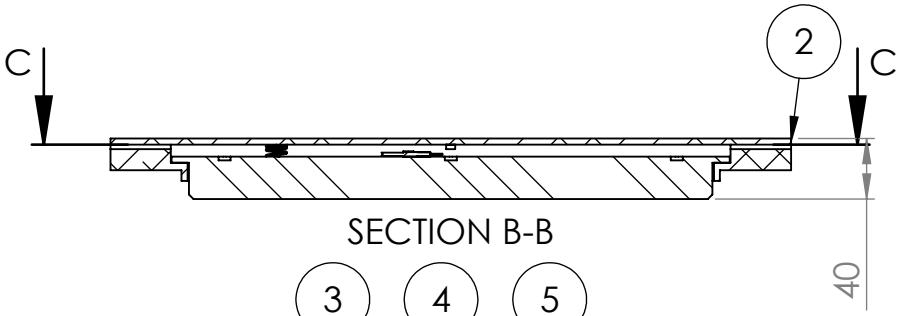
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



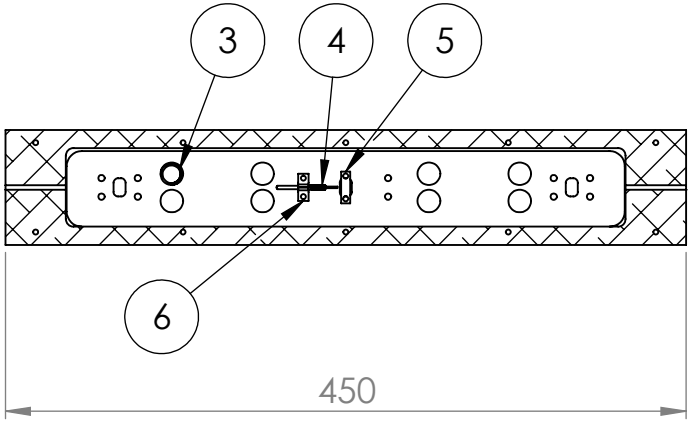


SECTION A-A





SECTION B-B



SECTION C-C

Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Ligacao_Barra_Batente	**20190119-032**	Al5083	Fresa		1	
2	Chapa_Batente	**20190119-031**	Al5083	Fresa		1	
3	Mola	**FANAMOL**	36394	Compra		1	
4	PE#1401145548	**SensoPart**	FL 20 (1)	Compra		1	
5	Encaixe_Sensor	**20190119-035**	Al5083	Fresa		1	
6	Calha_sensorfibra	**20190119-034**	Al5083	Quinagem		1	
7	Batente_movel	**20190119-033**	Poliamida	Laser		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	03/05/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

Nome	Conjunto_Sensor_mecanico

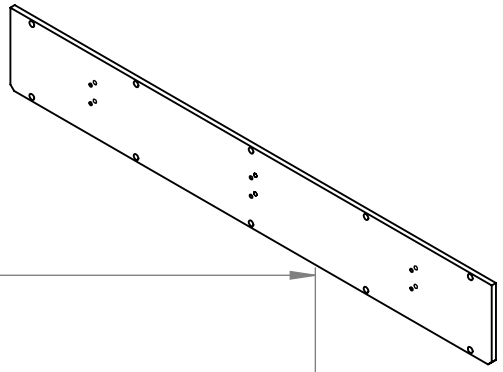
Quantidade	2
Massa (kg)	1.62
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-030

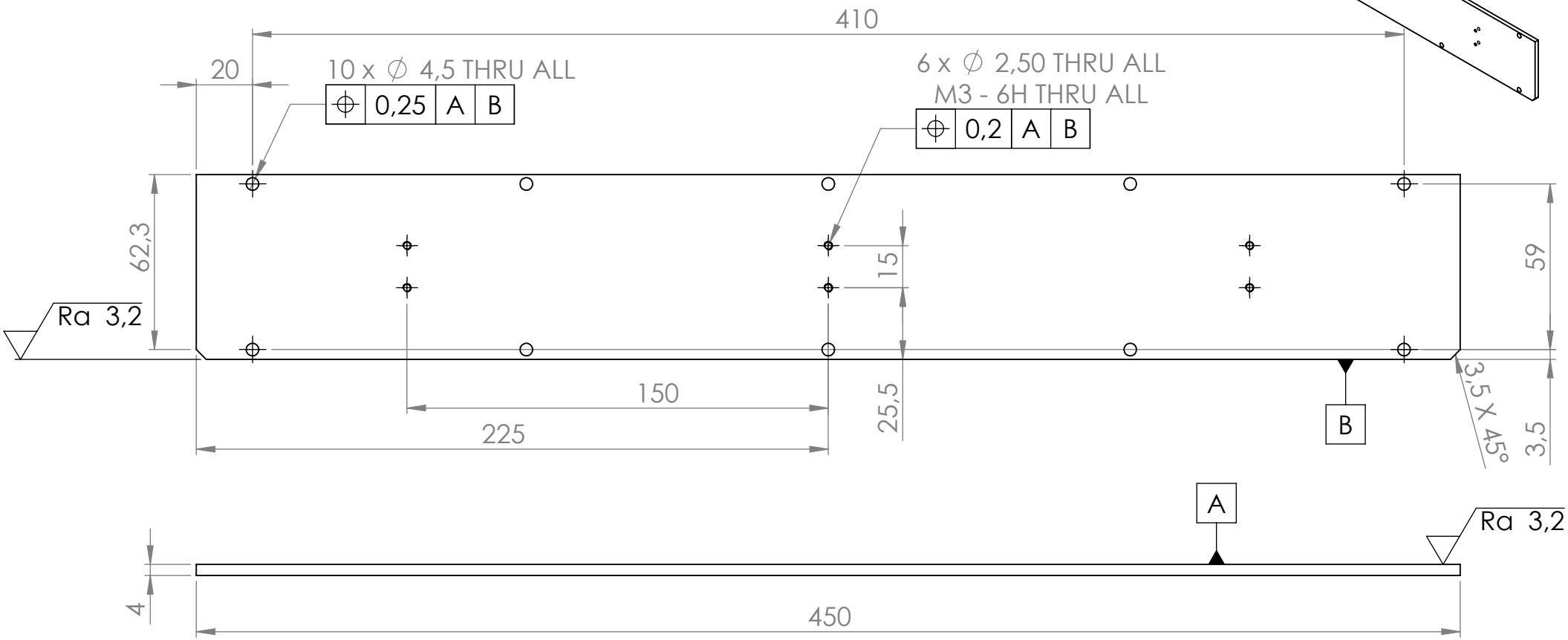
1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

T posicionamento (M3)=(3,4-3)/2=0,2

T posicionamento (M5)=(5,5-5)/2=0,25

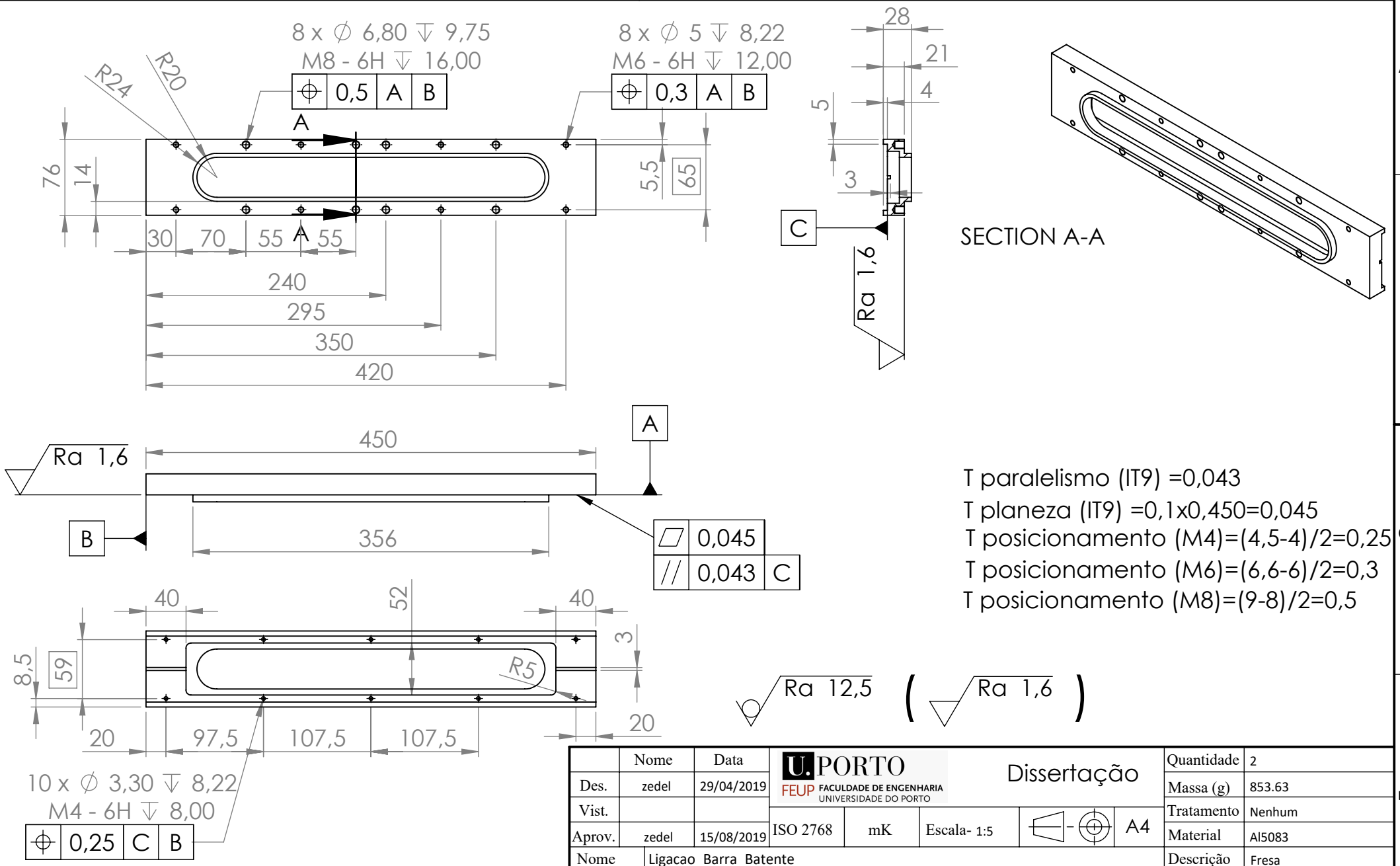




Ra 12,5 (Ra 3,2)

	Nome	Data						
Des.	zedel	30/04/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO		Dissertação		Quantidade	2
Vist.							Massa (g)	317.62
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Chapa_Batente						Material	Al5083
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-031 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



	Nome	Data
Des.	zedel	29/04/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

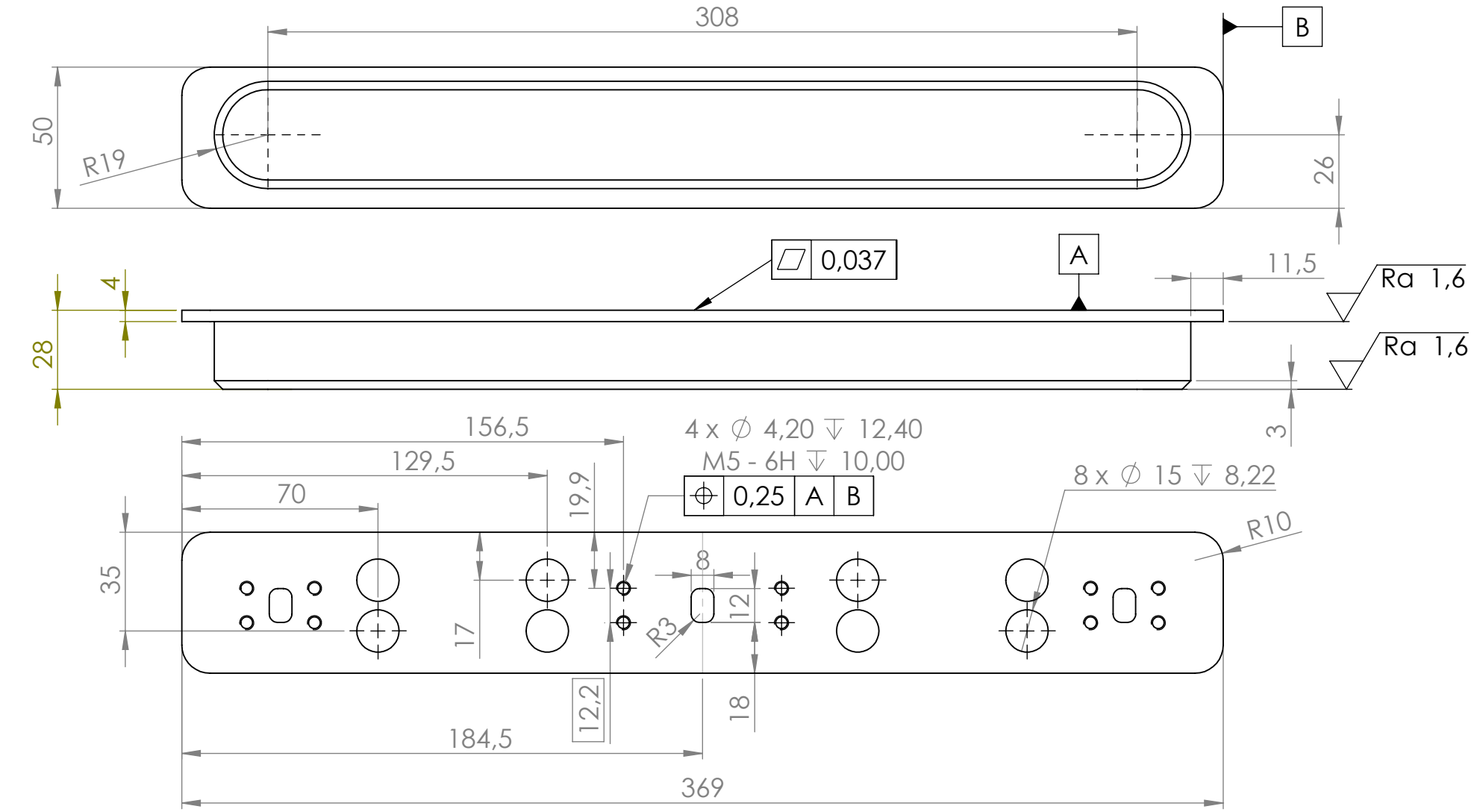
ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

Nome	Ligacao_Barra_Batente

Quantidade	2
Massa (g)	853.63
Tratamento	Nenhum
Material	Al5083
Descrição	Fresa
Desenho	20190119-032

1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



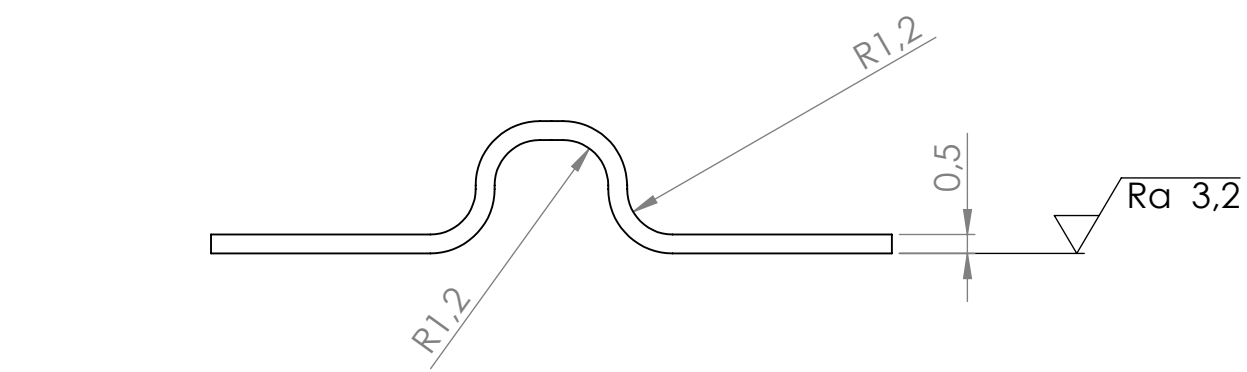
T planeza (IT9) =0,1x0,369=0,037

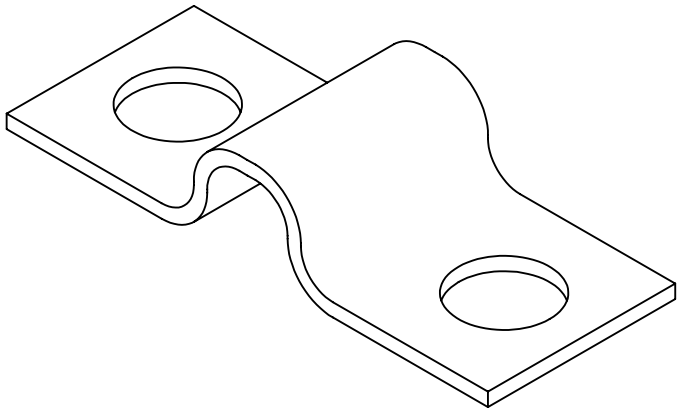
T posicionamento (M5)=(5,5-5)/2=0,25

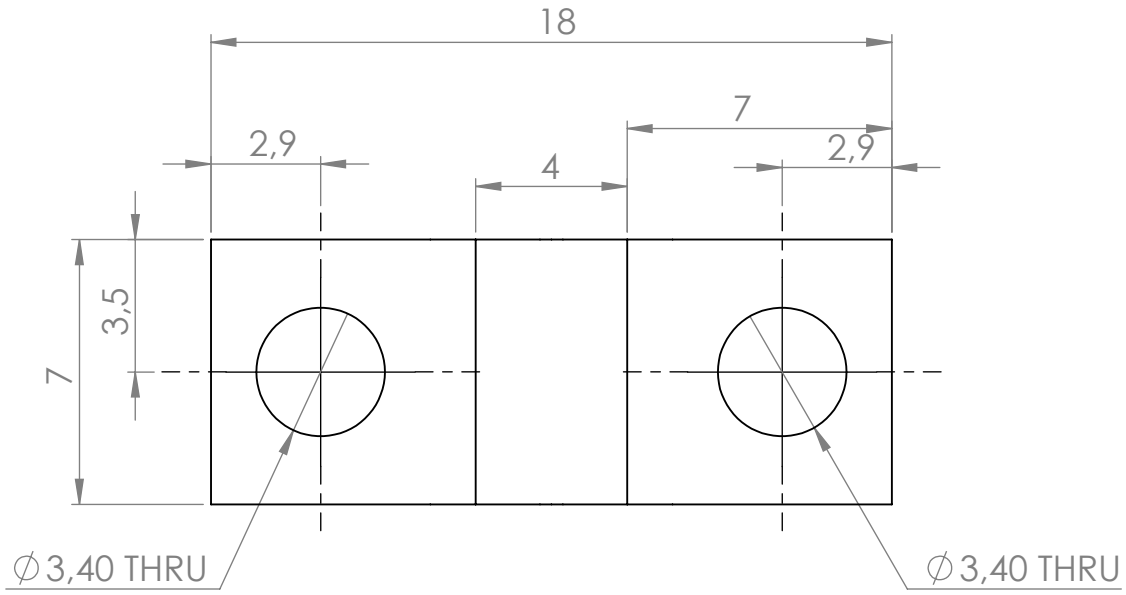
Ra 12,5 (Ra 1,6)

	Nome	Data						
Des.	zedel	02/05/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	2
Vist.							Massa (g)	443.22
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Batente_movel						Material	Poliamida
							Descrição	Laser
							Desenho	20190119-033 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



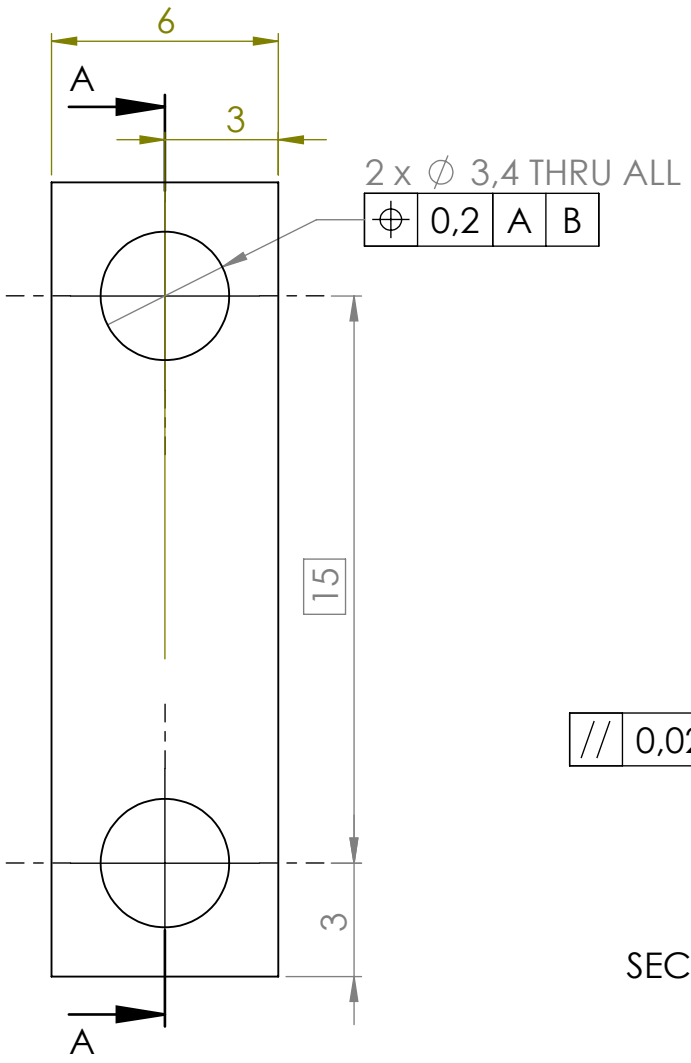


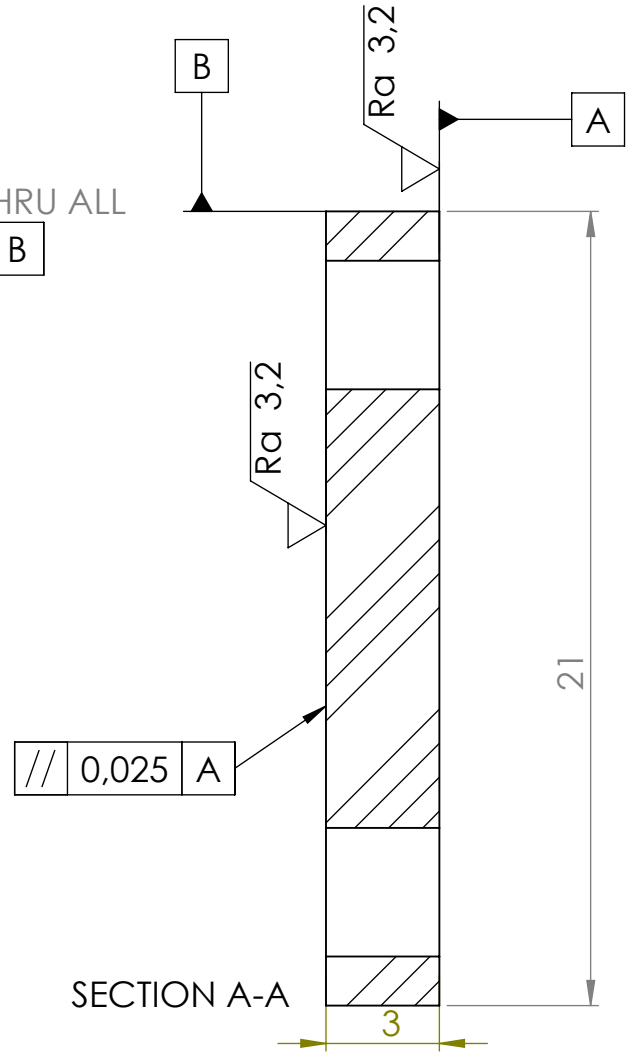


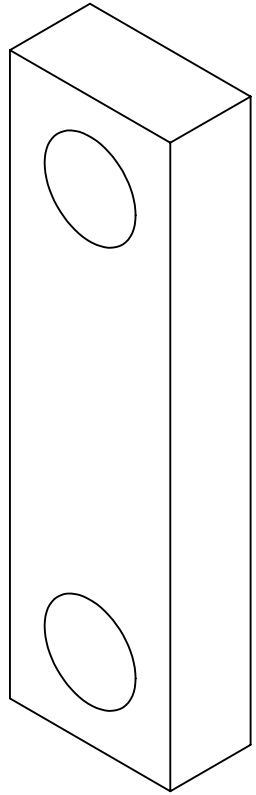
Ra 12,5 (Ra 3,2)

	Nome	Data						
Des.	zedel	10/05/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO		Dissertação		Quantidade	2
Vist.							Massa (g)	0.18
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 5:1	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Calha_sensorfibra						Material	Al5083
							Descrição	Quinagem
							Desenho	20190119-034 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.







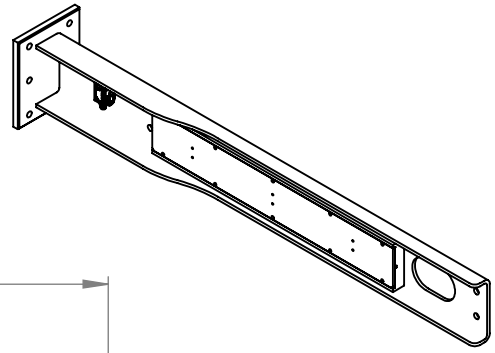
T paralelismo (IT9) =0,025

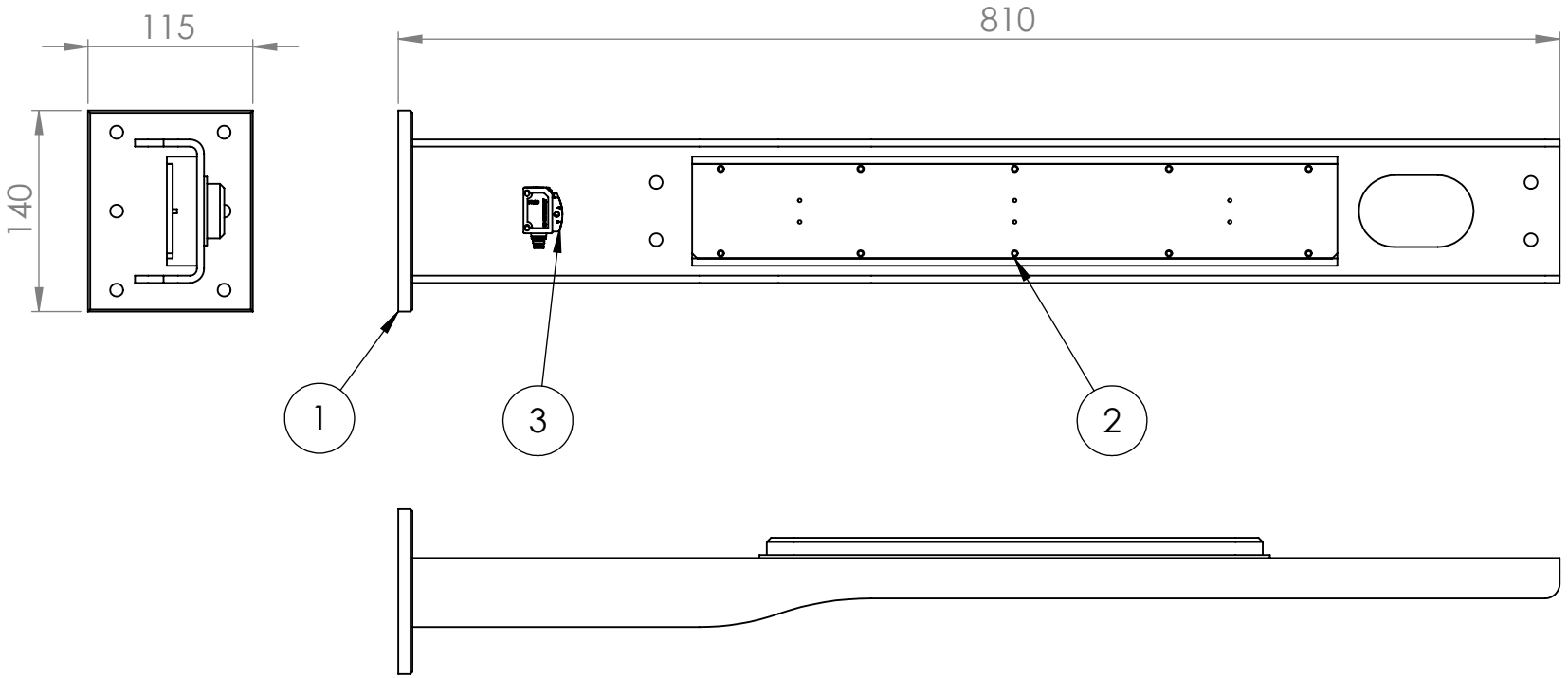
T posicionamento (M8)=(3,4-3)/2=0,2

Ra 12,5 (Ra 3,2)

	Nome	Data						
Des.	zedel	10/05/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	2
Vist.							Massa (g)	0.40
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 5:1	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Encaixe_Sensor						Material	Al5083
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-035 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Braco_ferramenta	**20190119-027**	St 55	Soldadura		1	
2	Conjunto_Sensor_mecanico	**20190119-030**	Vários	Oficina		1	
3	PE#1401145538	**SensoPart**	FL 20 (2)	Compra		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	03/05/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

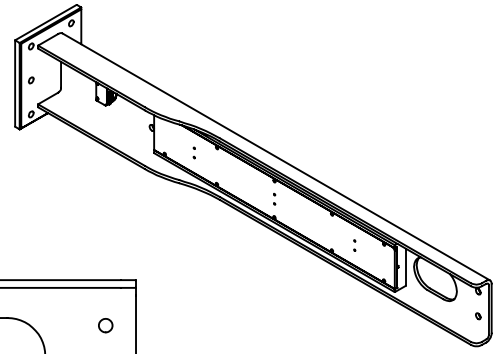
ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

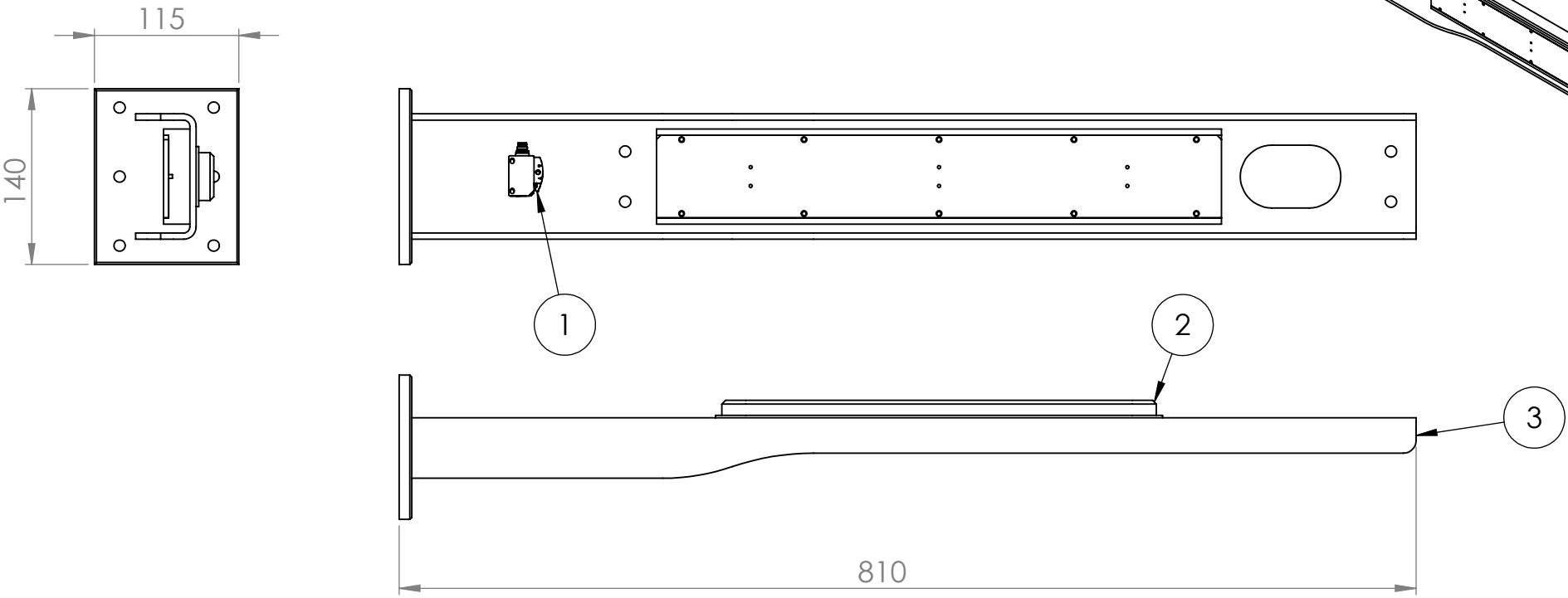
Nome	Conjunto_Braco_Direita

Quantidade	1
Massa (kg)	6.79
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-036

1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	PE#1401145538	**SensoPart**	FL 20 (2)	Compra		1	
2	Conjunto_Sensor_mecanico	**20190119-030**	Vários	Oficina		1	
3	Braco_ferramenta	**20190119-027**	St 55	Soldadura		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	03/05/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

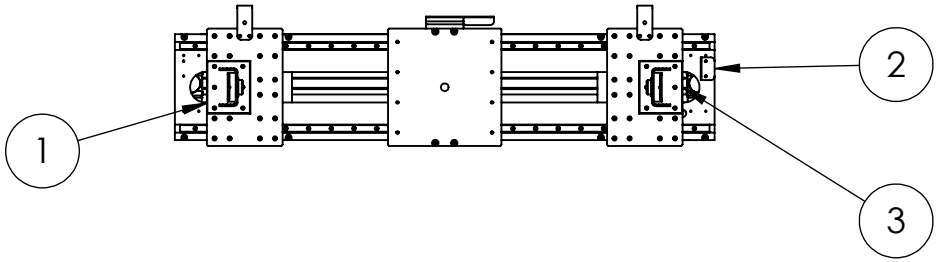
ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

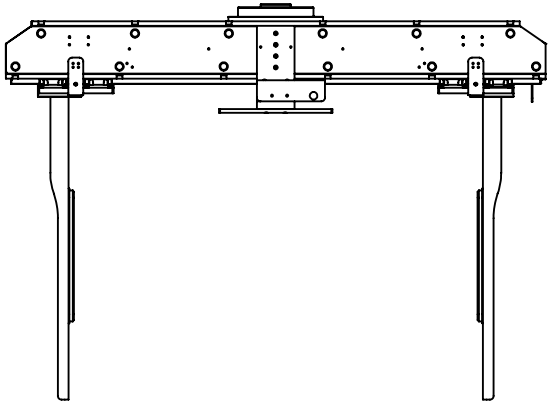
Nome	Conjunto_Braco_Esquerda

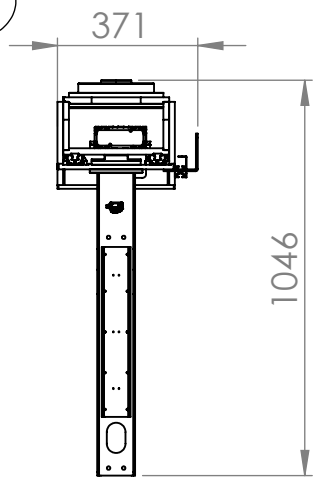
Quantidade	
Massa (kg)	6.79
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-037

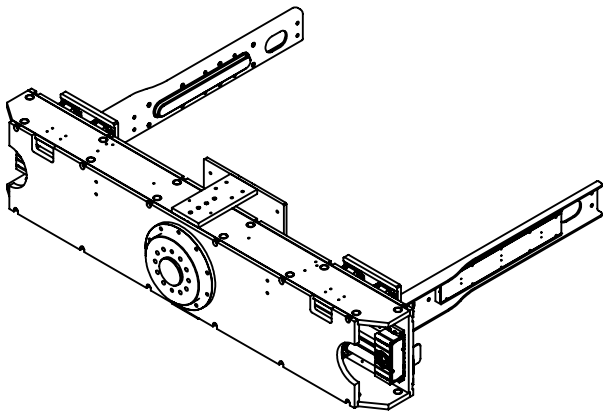
1/1

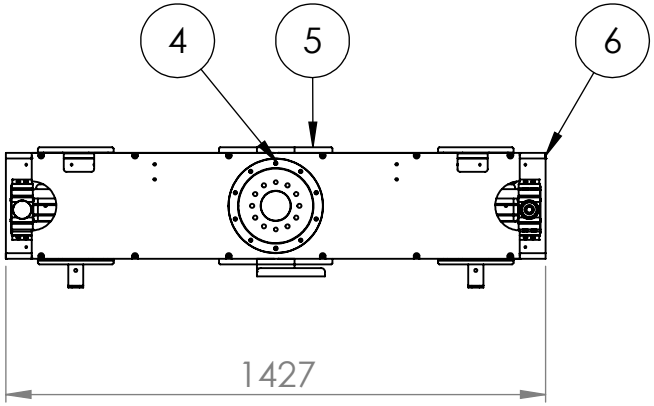
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.











Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Conjunto_Braco_Direita	**20190119-036**	Vários	Oficina		1	
2	Suporte_sensor_neg	**20190119-042**	Al5083	Fresa		1	
3	Conjunto_Braco_Esquerda	**20190119-037**	Vários	Oficina		1	
4	FlangeFANUC	**20190119-039**	ASTM A36 Steel	Oficina		1	
5	Suporte_Encosto_frontal	**20190119-023**	Vários	Oficina		1	
6	Corpo_Ferramenta	**20190119-022**	Vários	Oficina		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	14/08/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

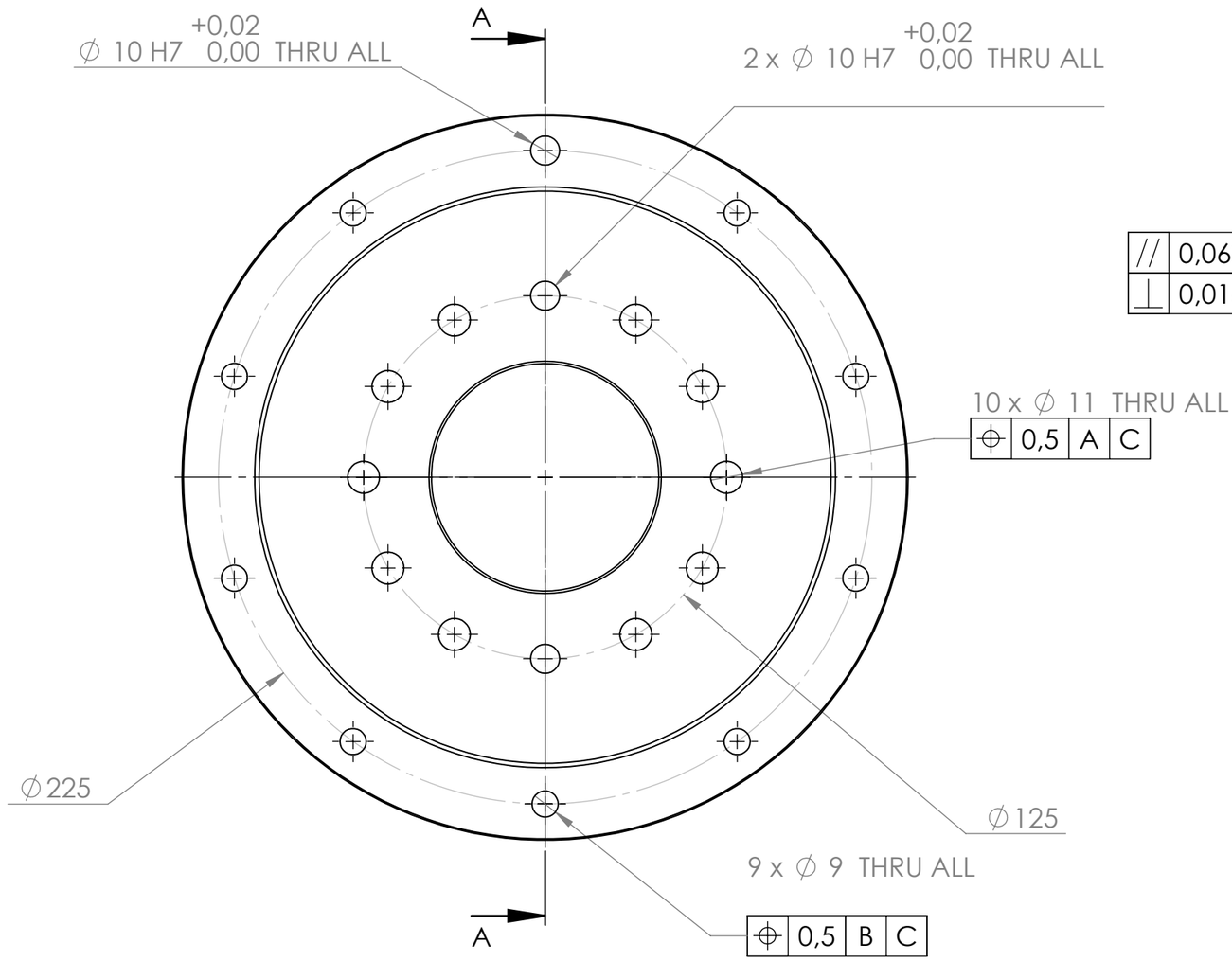
ISO 2768 | mK | Escala- 1:20 | A4

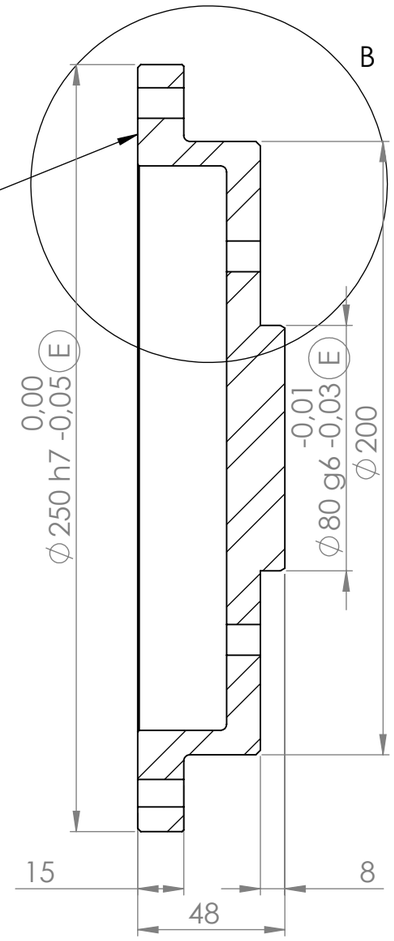
Nome	Ferramenta_1

Quantidade	
Massa (kg)	105.20
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-038

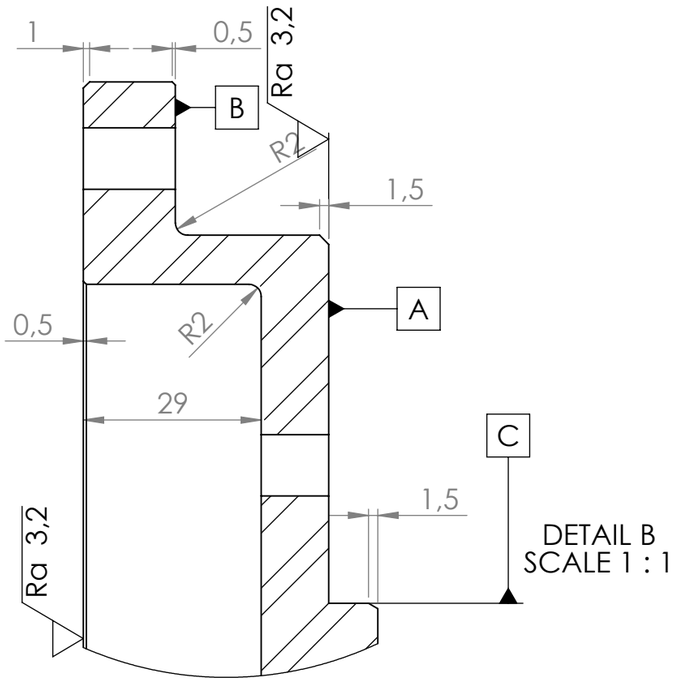
1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





SECTION A-A



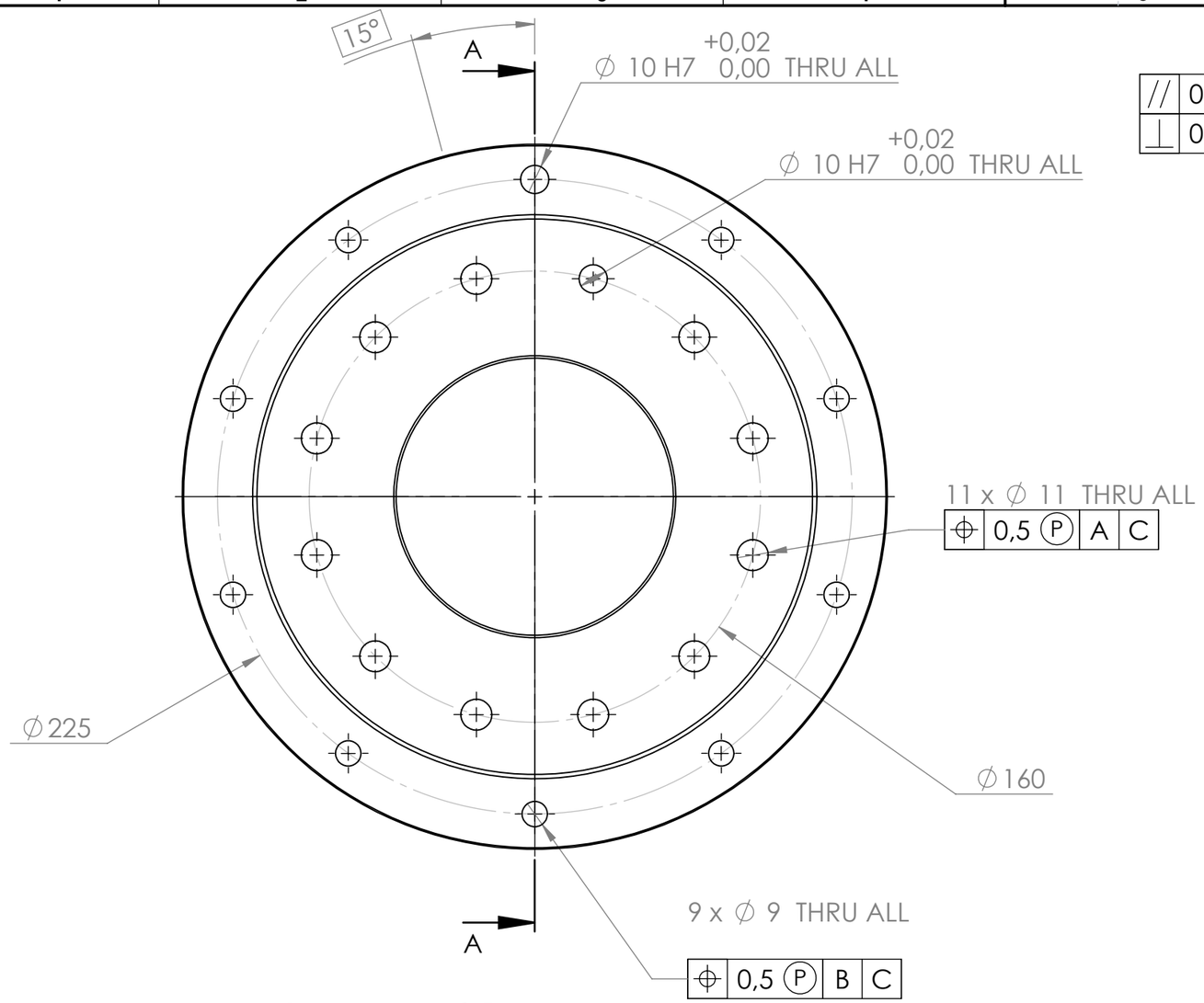
DETAIL B
SCALE 1 : 1

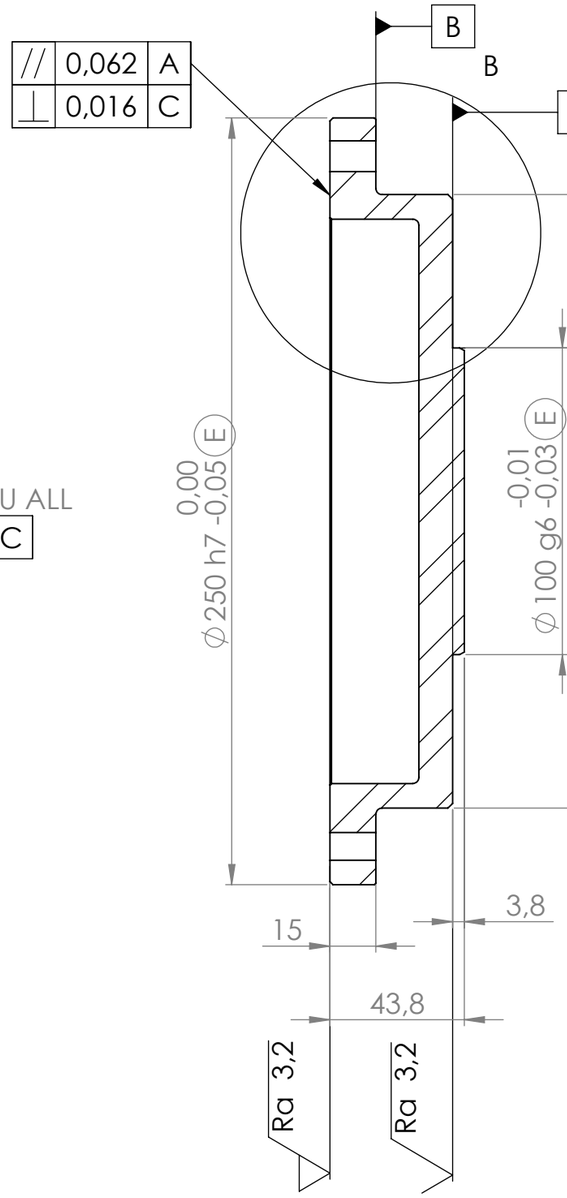
Ra 12,5 (Ra 3,2)

T perpendicularidade=0,4x0,040=0,016
T paralelismo (IT9) =0,062
T posicionamento (M8)=(9-8)/2=0,5
T posicionamento (M10)=(11-10)/2=0,5

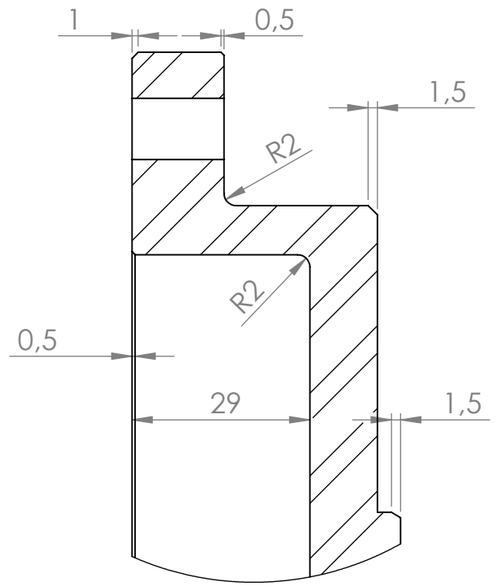
	Nome	Data						
Des.		24/03/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	1
Vist.							Massa (kg)	6.03
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A3	Tratamento	Nenhum
Nome	FlangeFANUC						Material	St 37
							Descrição	Oficina
							Desenho	20190119-039 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





SECTION A-A



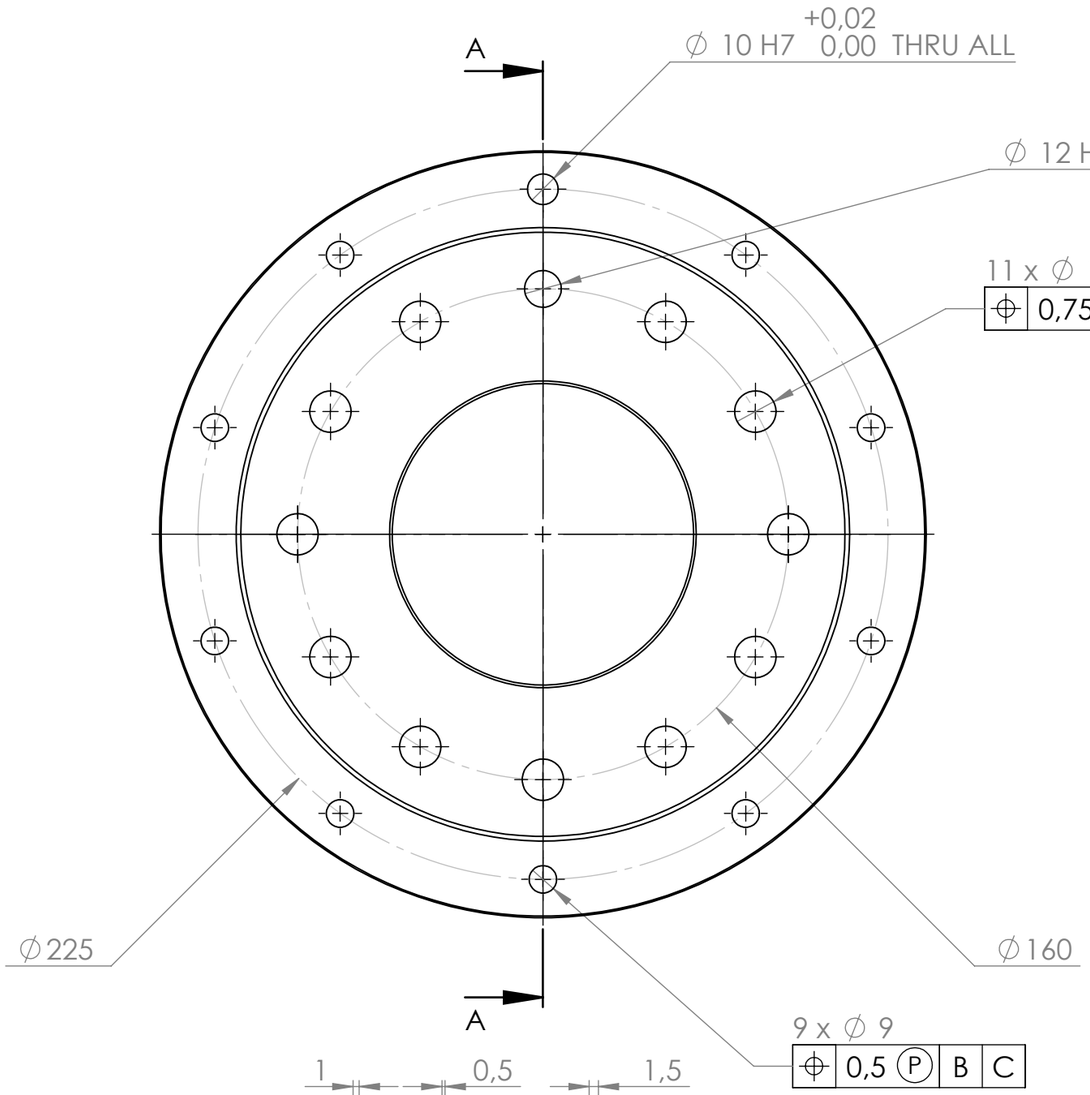
DETAIL B
SCALE 1 : 1

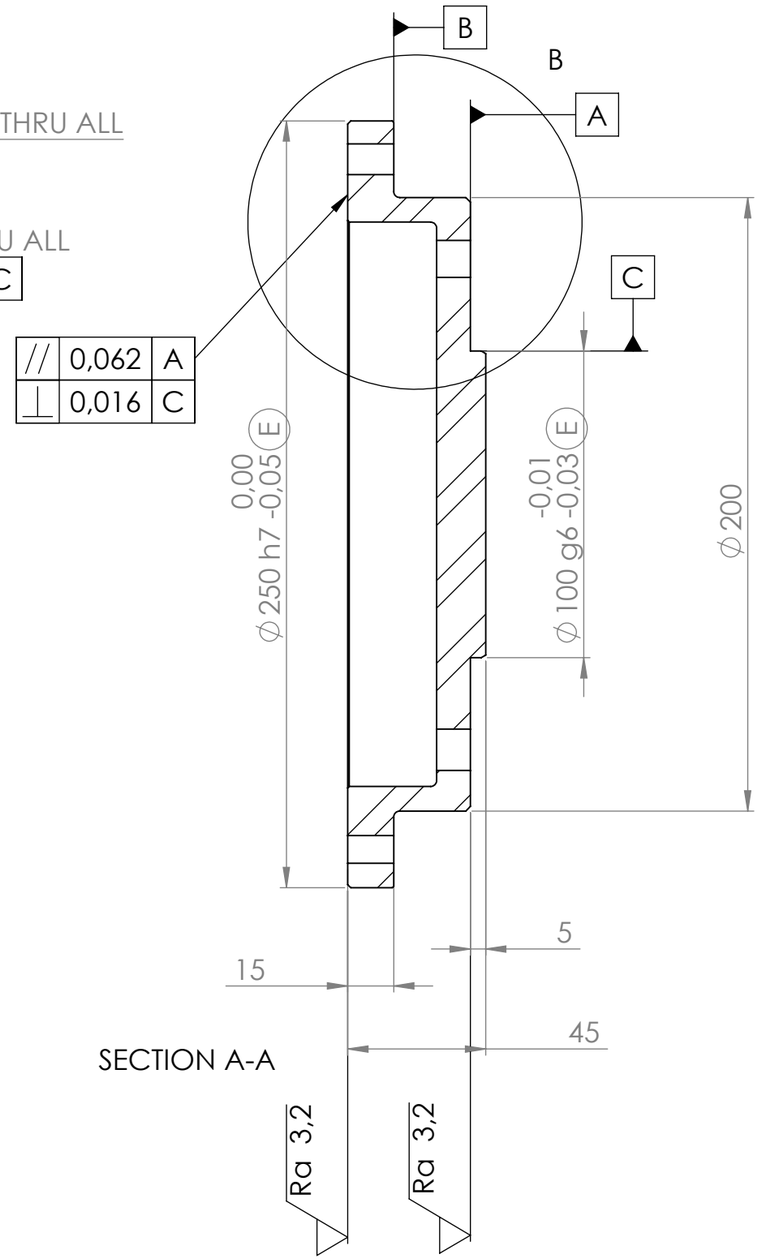
Ra 12,5 (Ra 3,2)

T perpendicularidade=0,4x0,040=0,016
T paralelismo (IT9) =0,062
T posicionamento (M8)=(9-8)/2=0,5
T posicionamento (M10)=(11-10)/2=0,5

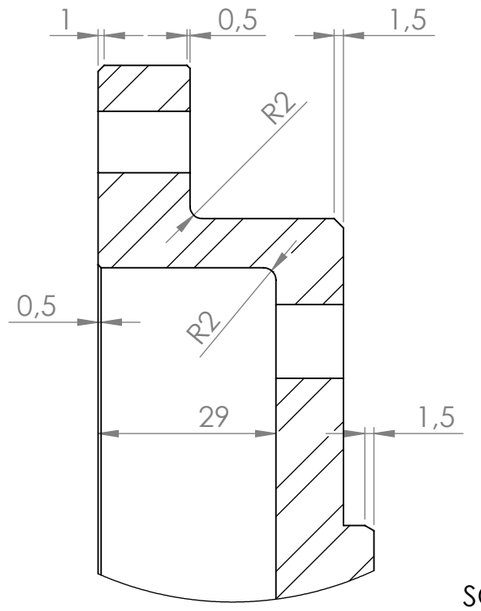
	Nome	Data						
Des.		24/03/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	1
Vist.							Massa (kg)	5.95
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A3	Tratamento	Nenhum
Nome	FlangeKUKA						Material	St 37
							Descrição	Torno
							Desenho	20190119-040 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





SECTION A-A



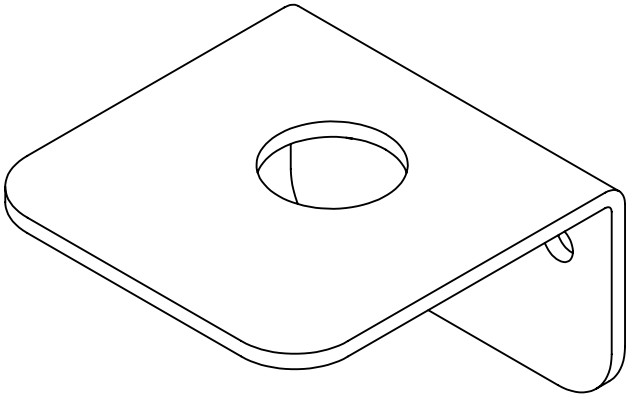
DETAIL B
SCALE 1 : 1

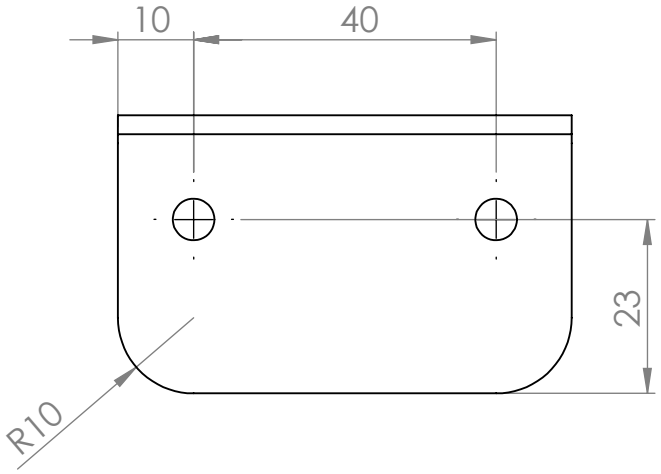
T perpendicularidade=0,4x0,040=0,016
T paralelismo (IT9) =0,062
T posicionamento (M8)=(9-8)/2=0,5
T posicionamento (M10)=(13,5-12)/=0,75

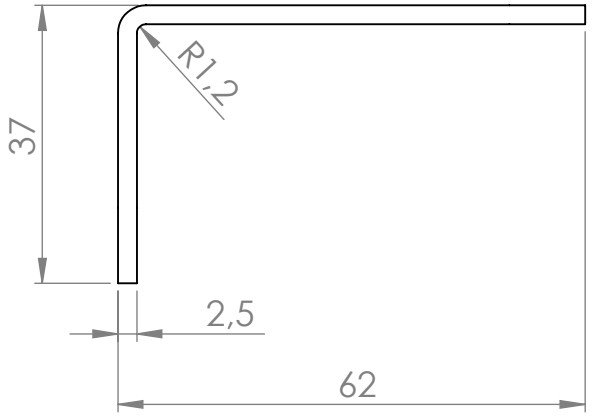
Ra 12,5 (Ra 3,2)

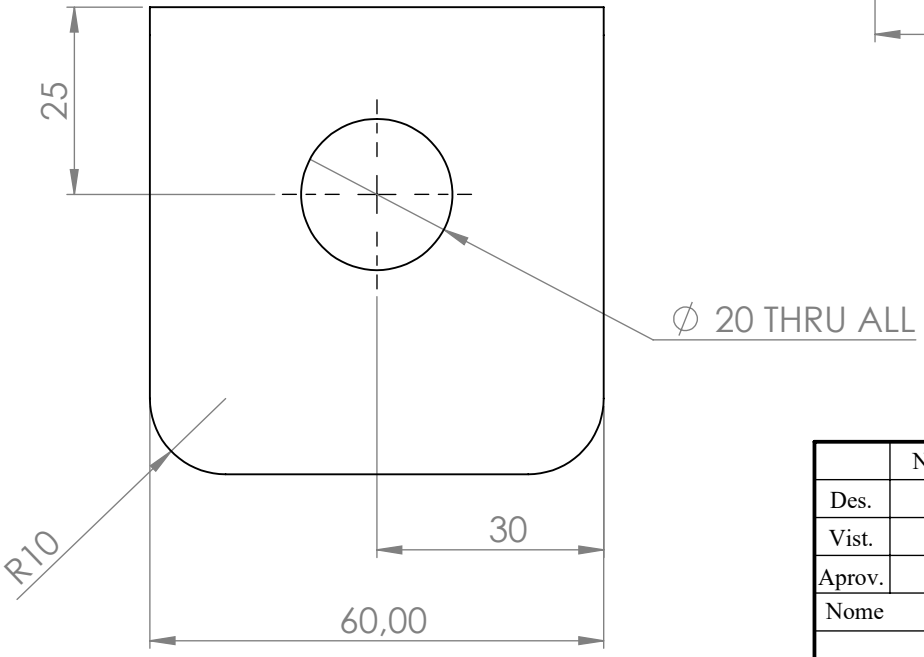
	Nome	Data						
Des.		24/03/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	1
Vist.							Massa (kg)	5.97
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A3	Tratamento	Nenhum
Nome	FlangeABB						Material	St 37
							Descrição	Oficina
							Desenho	20190119-041 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.





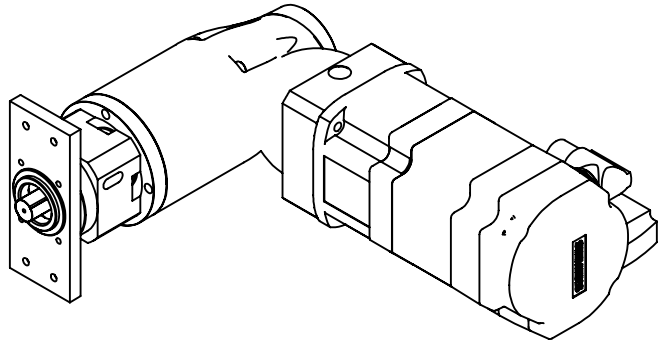


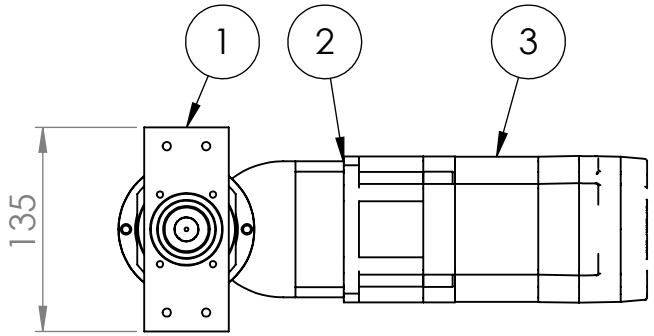


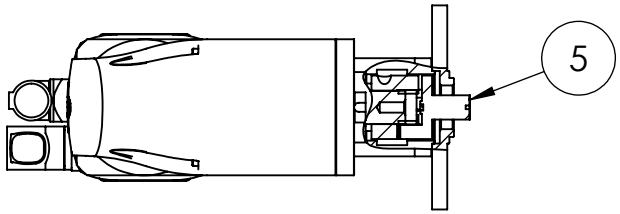
Ra 12,5

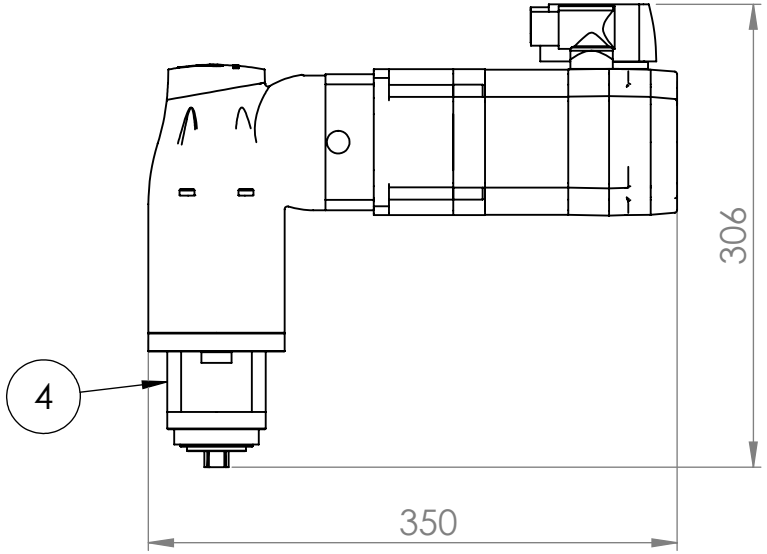
	Nome	Data						
Des.	zedel	18/07/2019	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	1
Vist.							Massa (g)	35.45
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:1	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Suporte_sensor_neg						Material	Al5083
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-042 1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.









Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Flange_Motor_Eixo	**20190119-044**	Al5083	Fresa		1	
2	Redutor	**ALFA-EQUINOTEC**	LPK090-MO2-10	Compra		1	
3	Motor	**Siemens**	1FK7042-2AC71-1RH0	Compra		1	
4	Flange_Motor	**20190119-045**	Al5083	Fresa		1	
5	Acoplamento_redutor	**R+W Couplings**	EK7/20/B/022/016	Compra		1	

	Nome	Data
Des.	zedel	14/03/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

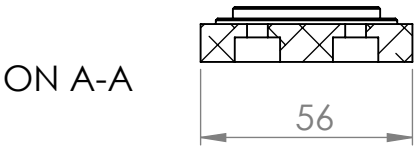
ISO 2768 | mK | Escala- 1:5 | A4

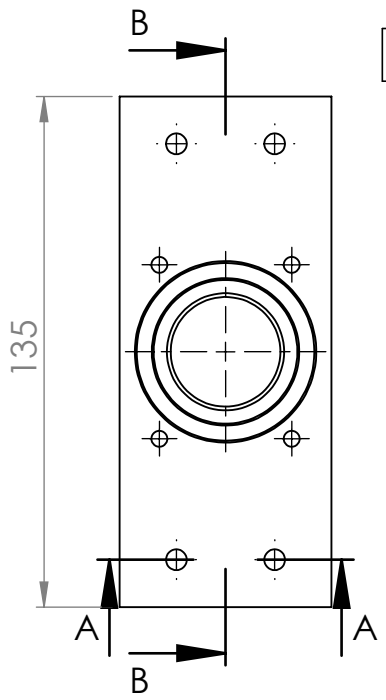
Nome: Servomotor

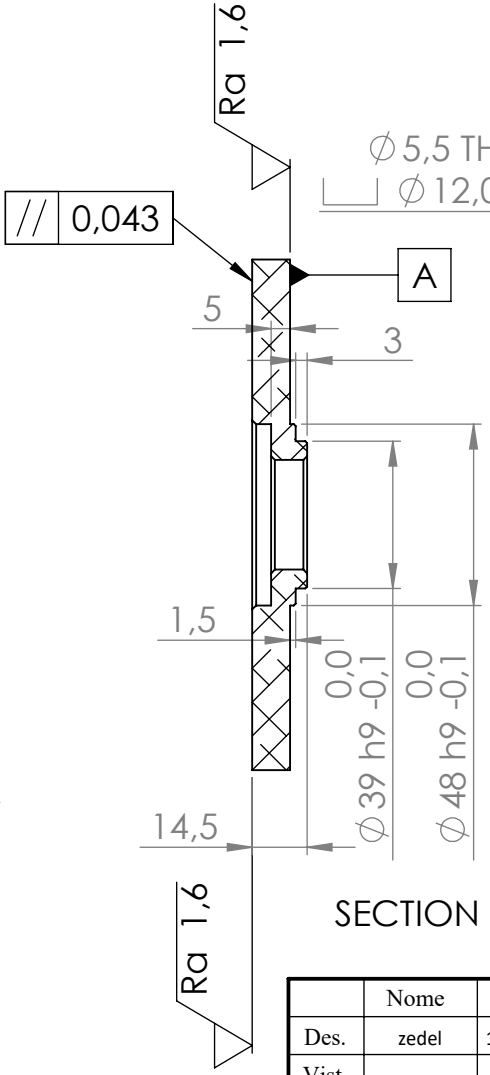
Quantidade	1
Massa (kg)	16.37
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-043

1/1

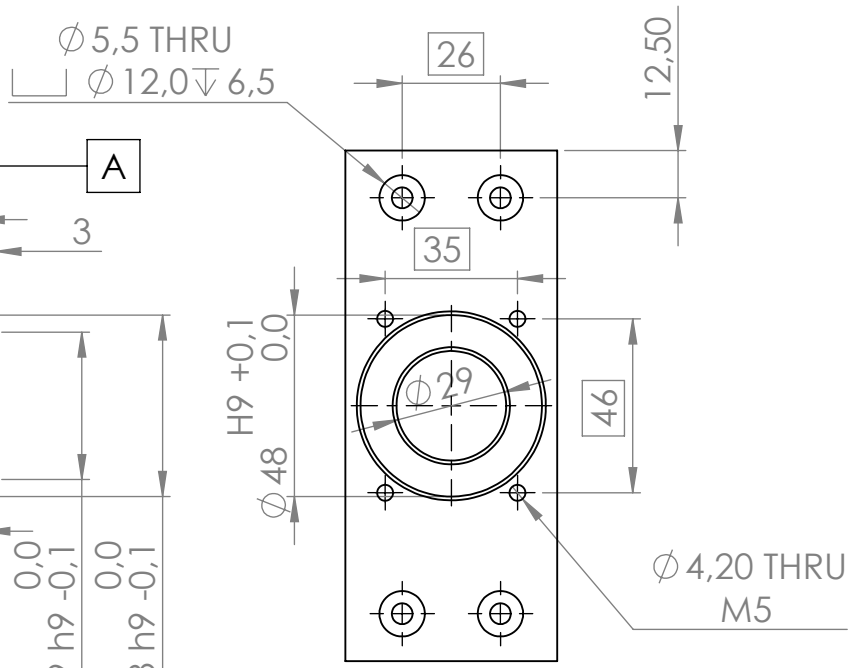
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

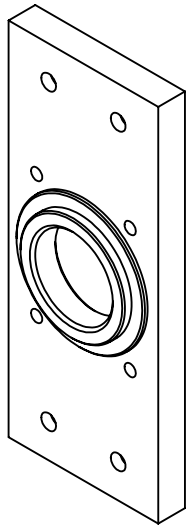






SECTION B-B

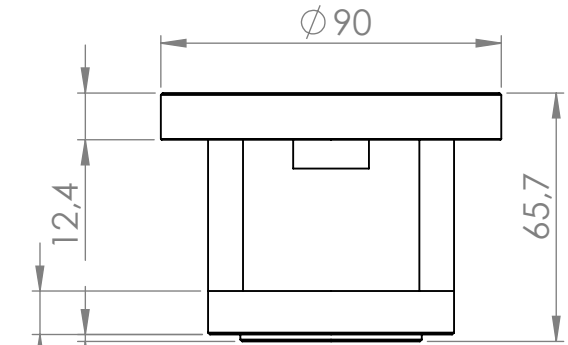


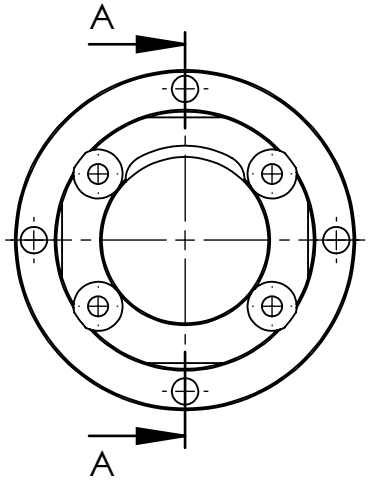


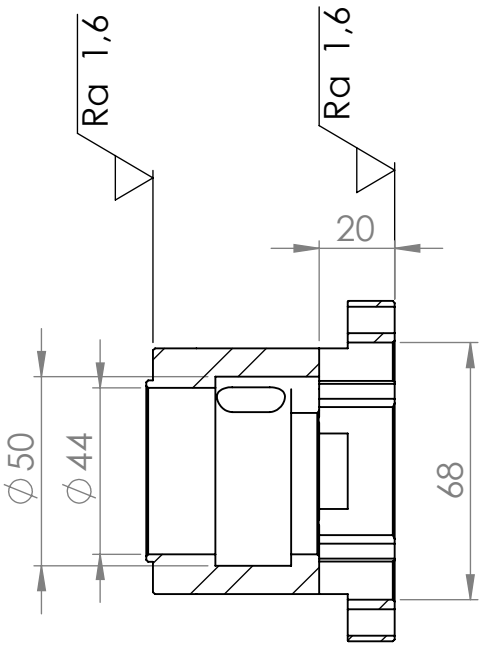
Ra 12,5 (Ra 1,6)

	Nome	Data						
Des.	zedel	12/03/2018	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO		Dissertação		Quantidade	1
Vist.							Massa (g)	168.87
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Flange_Motor_Eixo						Material	Al5083
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-044 1/1

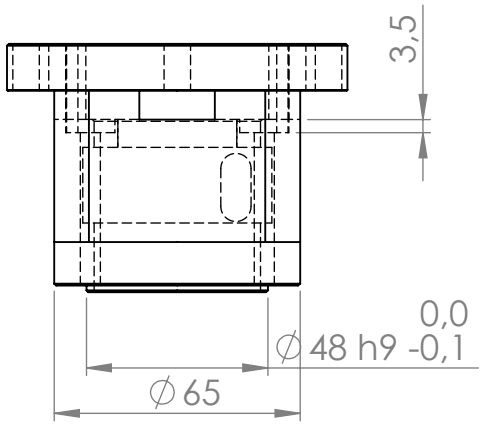
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

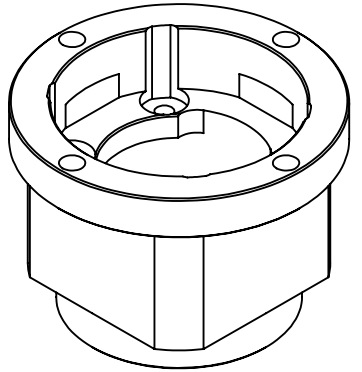


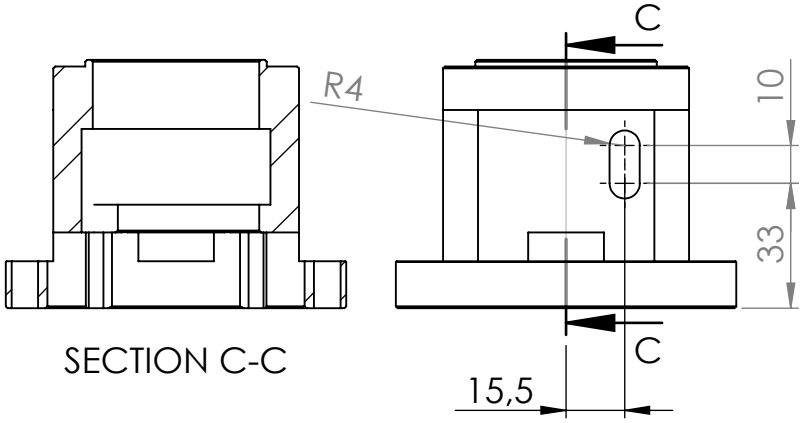




SECTION A-A





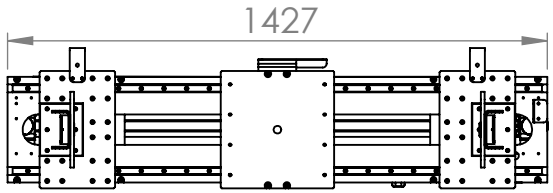


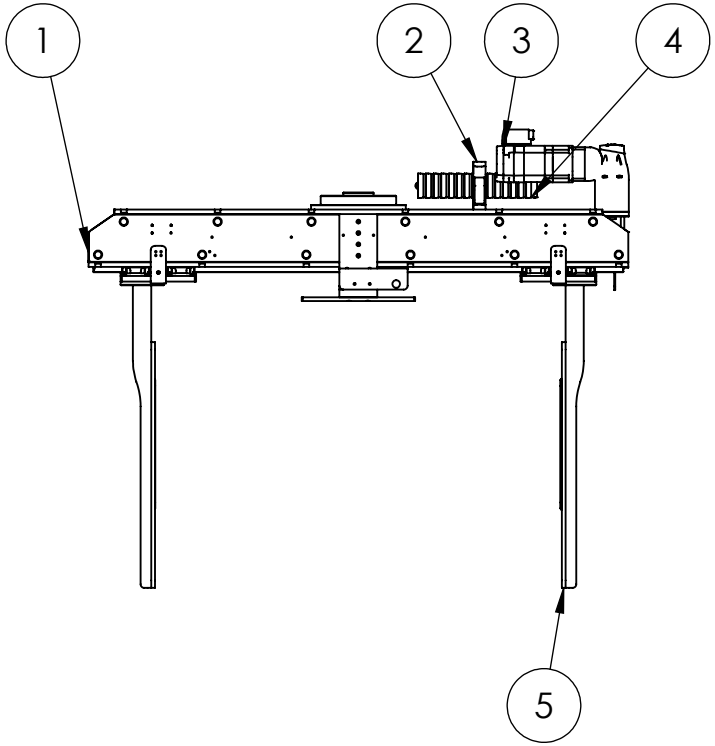
SECTION C-C

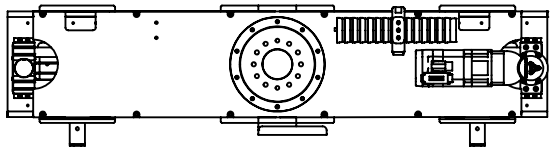
Ra 12,5 (Ra 1,6)

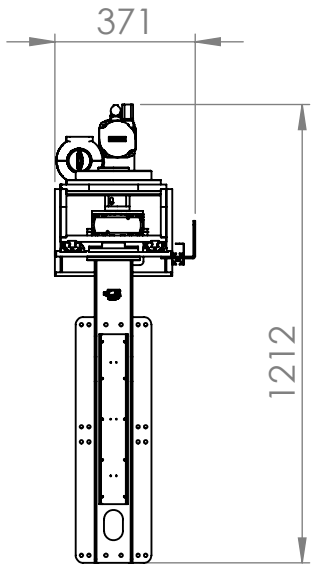
	Nome	Data						
Des.	zedel	12/03/2018	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO		Dissertação		Quantidade	1
Vist.							Massa (g)	942.94
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Flange_Motor						Material	Al5083
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-045 1/1

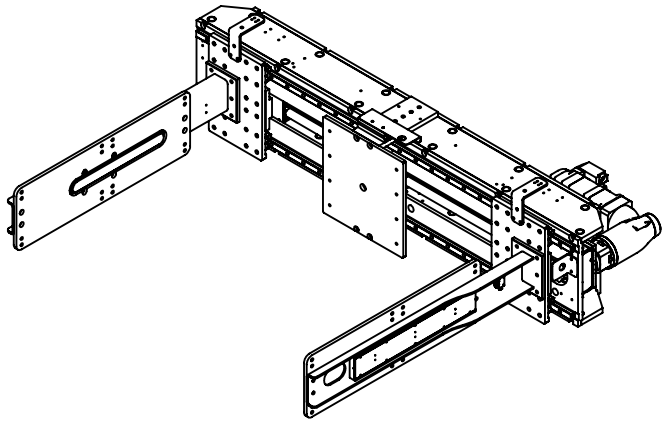
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.











Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Qty.	CL
1	Ferramenta_1	**20190119-038**	Vários	Oficina		1	
2	TR_60_02_4	**IGUS**	TRC.60.02	Compra		1	
3	Servomotor	**20190119-043**	Vários	Oficina		1	
4	Suportecabos	**IGUS**	TRC_60_087_0_2	Compra		1	
5	Chapa_Encosto_Lateral	**20190119-047**	Al5083	Fresa		2	

	Nome	Data
Des.	zedel	14/08/2019
Vist.		
Aprov.	zedel	15/08/2019

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação

ISO 2768 | mK | Escala- 1:20 | A4

Nome: Ferramenta_2

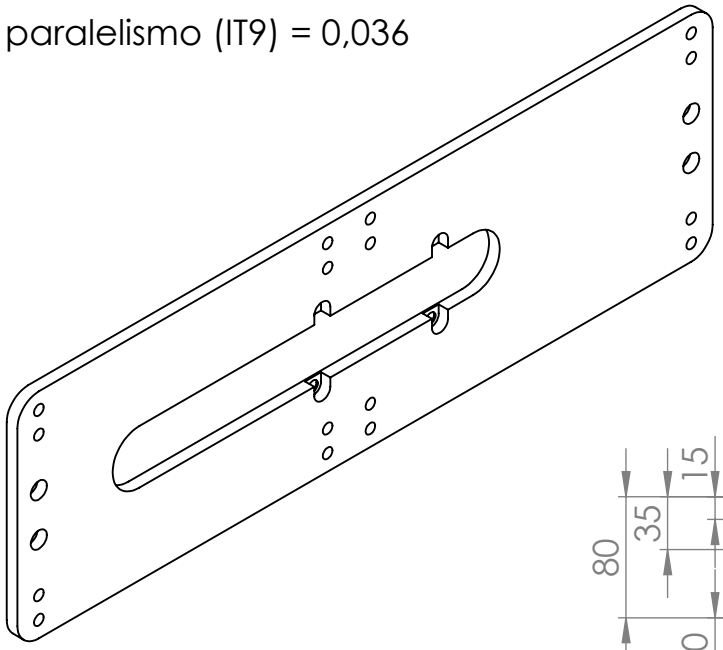
Quantidade	
Massa (kg)	128.01
Tratamento	Nenhum
Material	Vários
Descrição	Oficina
Desenho	20190119-046

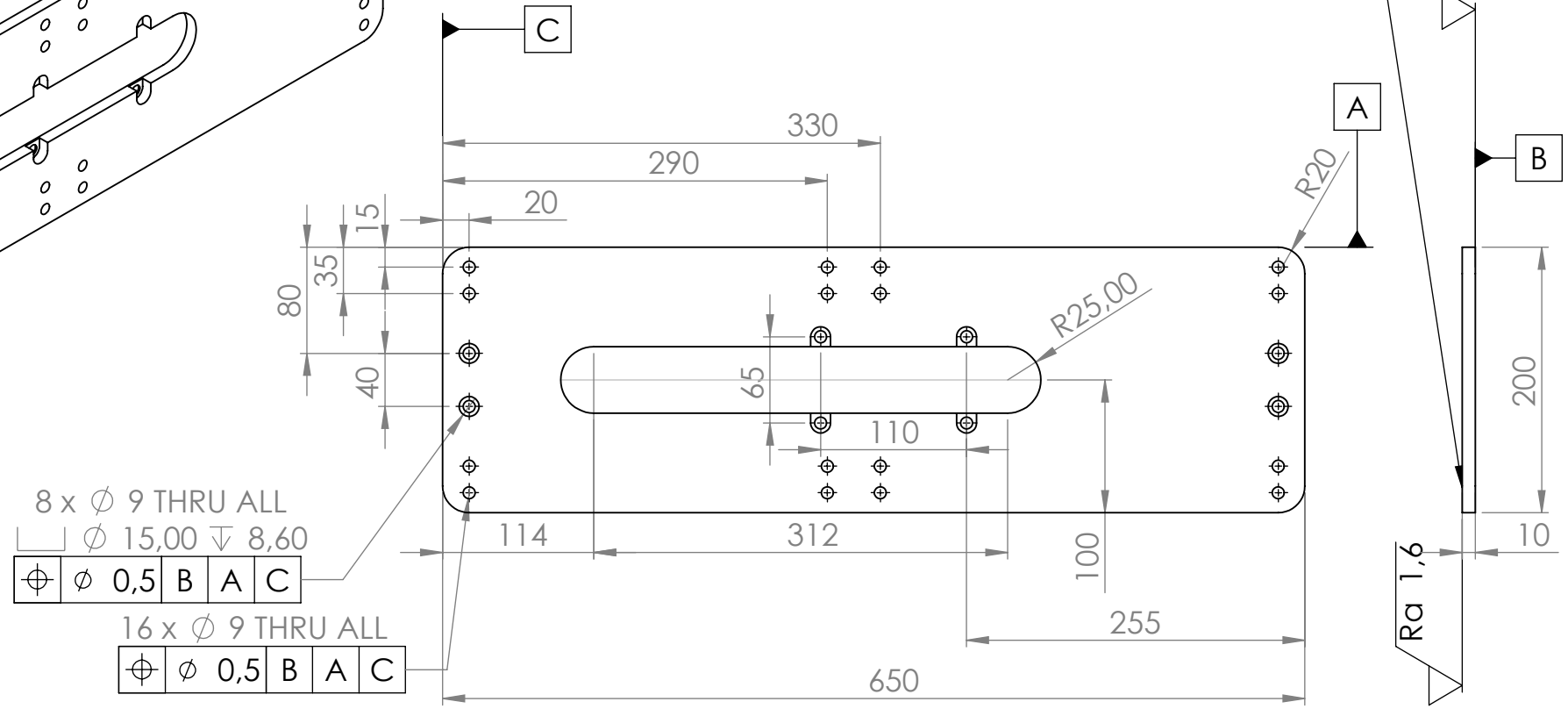
1/1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

T posicionamento = (9-8)/2=0,5

T paralelismo (IT9) = 0,036





Ra 12,5 (Ra 3,2 , Ra 1,6)

	Nome	Data						
Des.	zedel	16/10/2018	U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	Dissertação			Quantidade	2
Vist.							Massa (kg)	2.96
Aprov.	zedel	15/08/2019	ISO 2768	mK	Escala- 1:5	A4	Tratamento	Nenhum
Nome	Chapa_Encosto_Lateral						Material	Al5083
							Descrição	Fresa
							Desenho	20190119-047 1/1

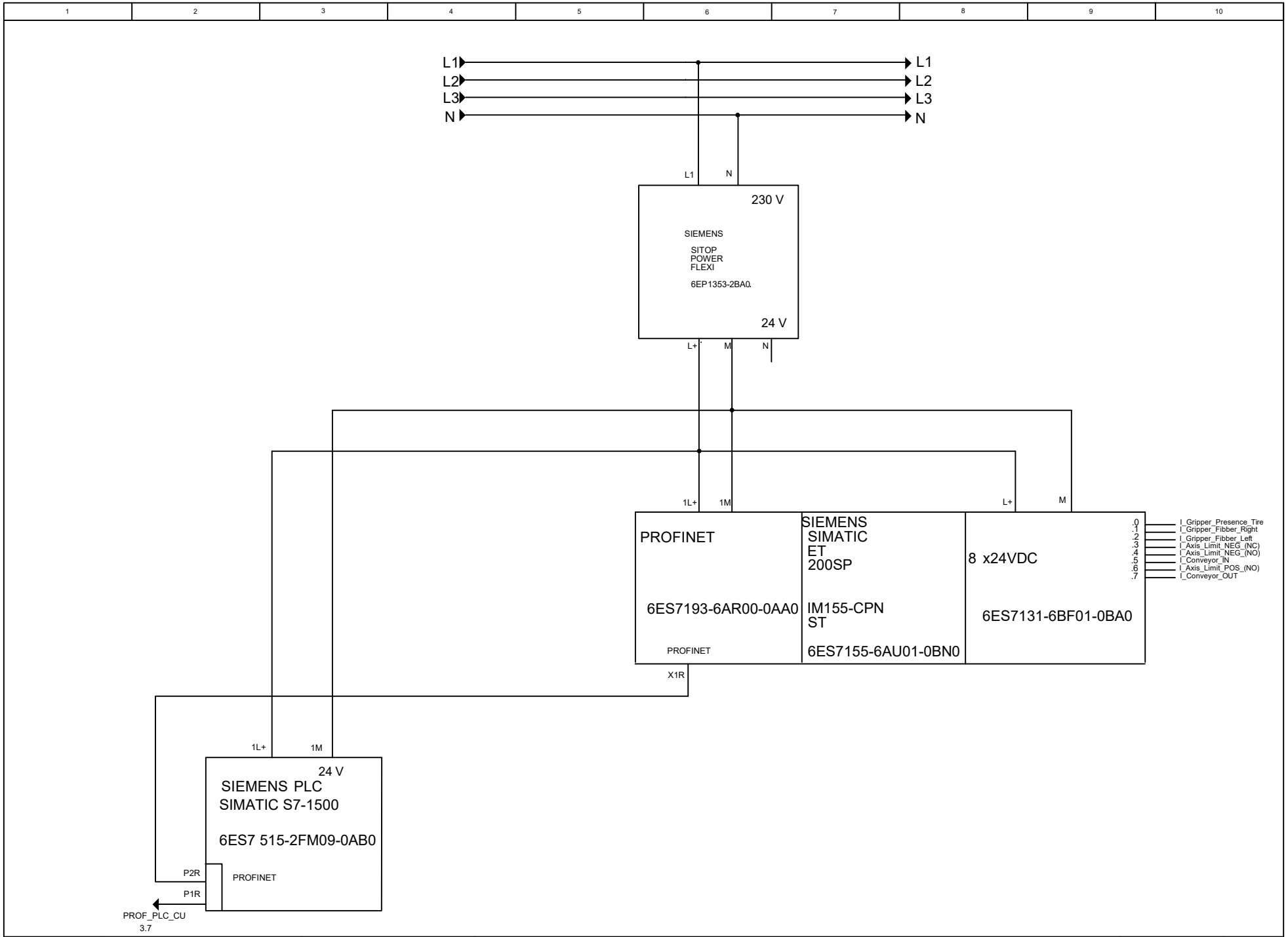
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Anexo C

Esquemas elétricos

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

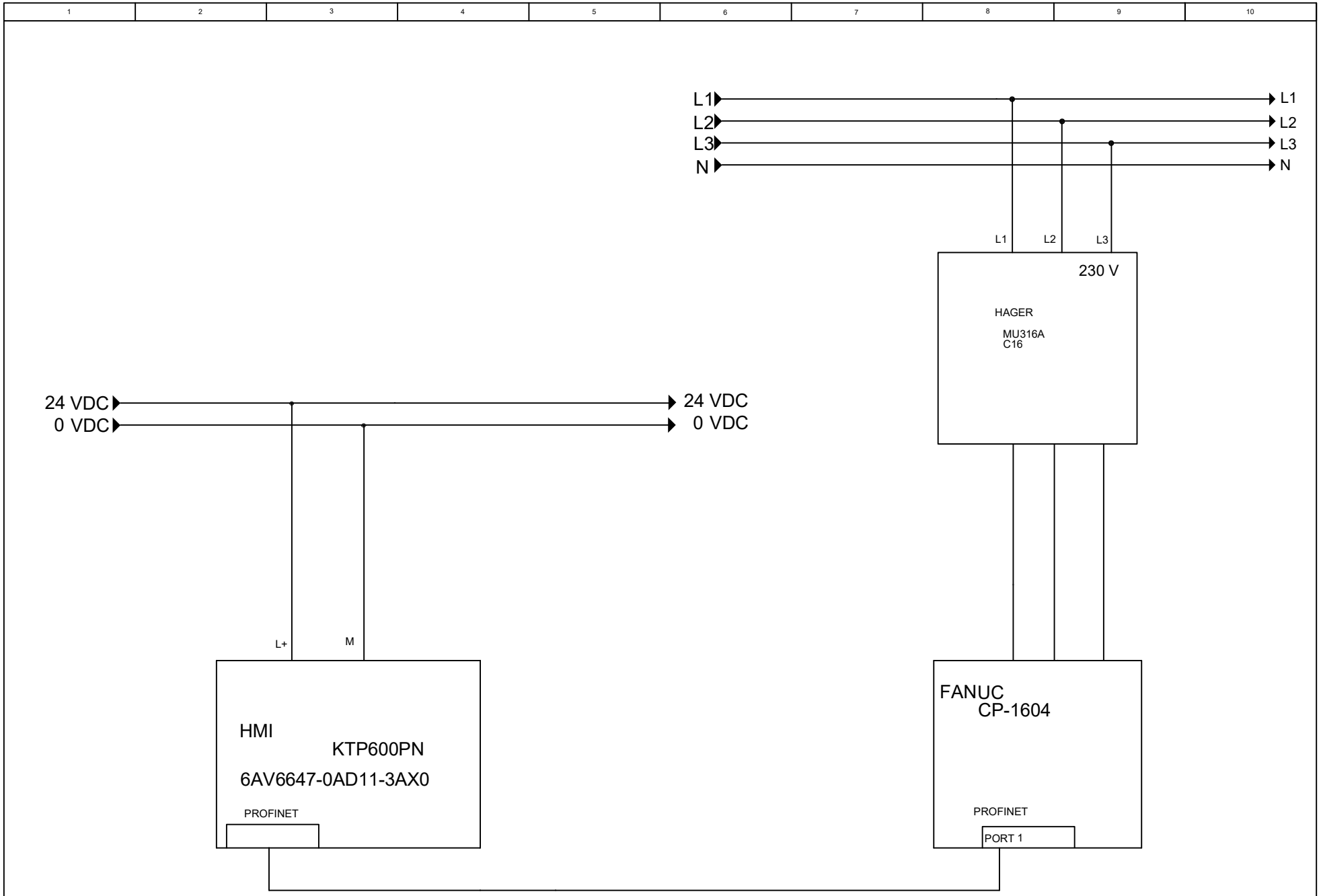


Desenho:	ELE-20190119-01		Manipulador de pneus em verde	Páginas total:	3
Data:	13/08/2019		PLC	Página:	1
Responsável:	José Mendes			Página anterior:	-
Autor:	José Mendes			Próxima página:	2

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

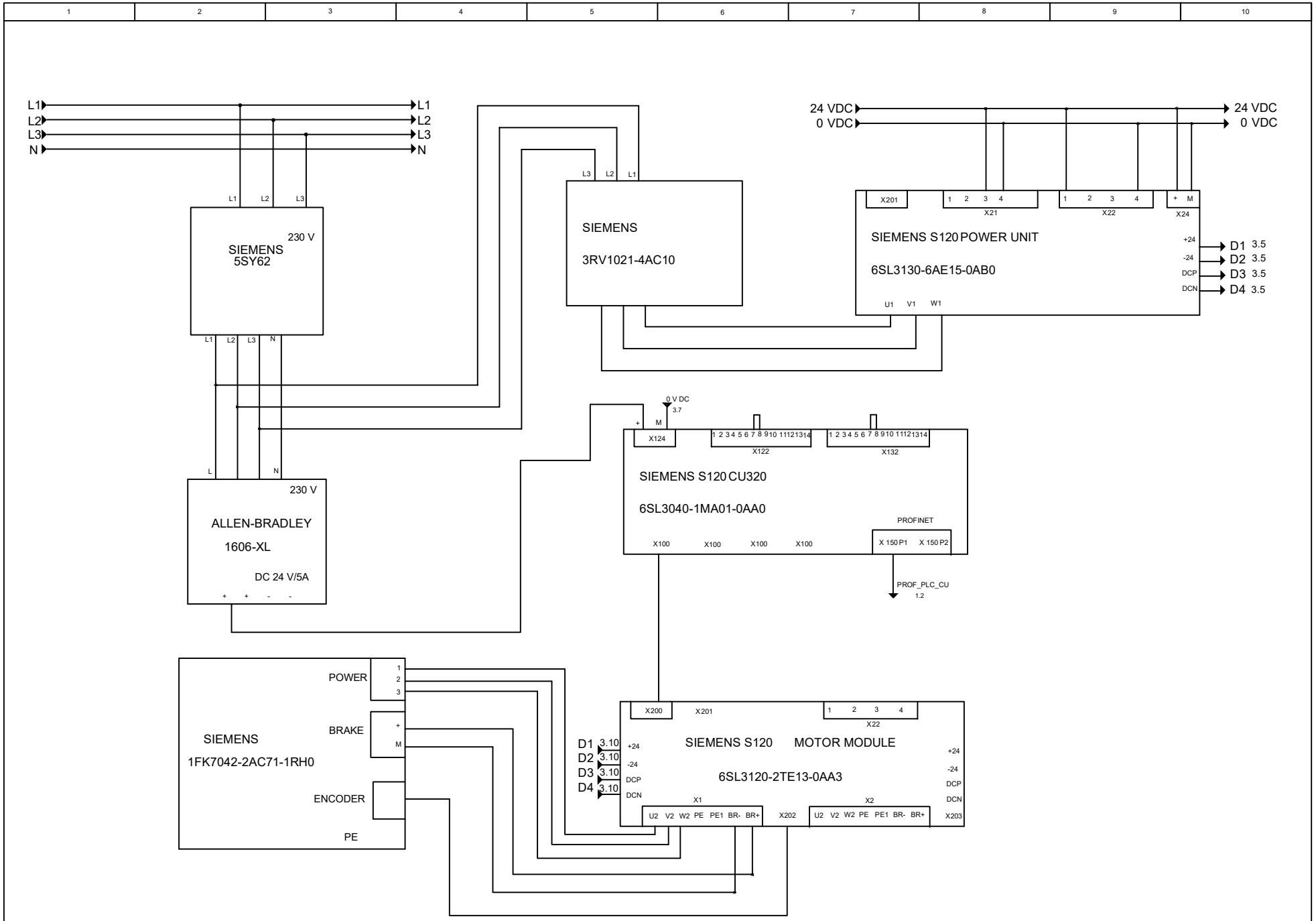
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Desenho:	ELE-20190119-02		Manipulador de pneus em verde	Páginas total:	3
Data:	13/08/2019			Página:	2
Responsável:	José Mendes		HMI e Robô	Página anterior:	1
Autor:	José Mendes			Próxima página:	3

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Desenho:	ELE-20190119-03		Manipulador de pneus em verde	Páginas total:	3
Data:	13/08/2019			Página:	3
Responsável:	José Mendes		Drives e Motor	Página anterior:	2
Autor:	José Mendes			Próxima página:	-

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

Anexo D

Grafcets

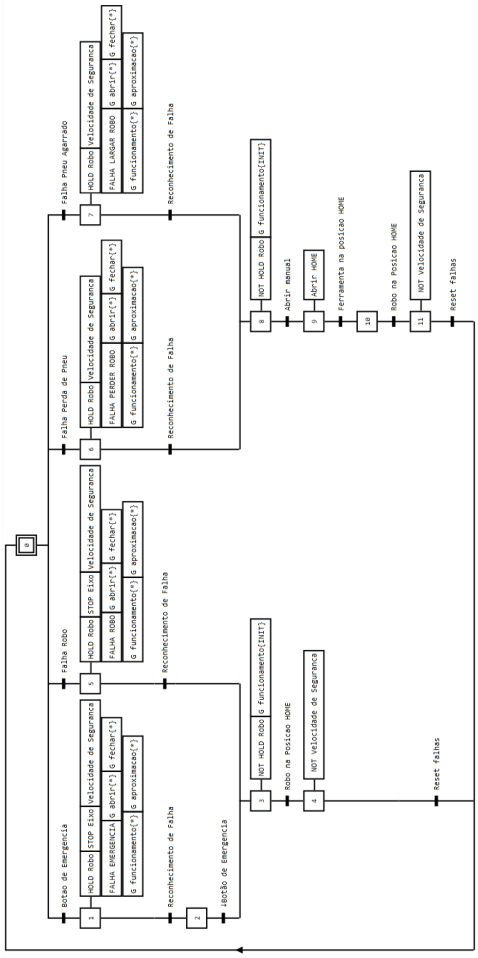


Figura D.1 - Grafcet Segurança Autómato.

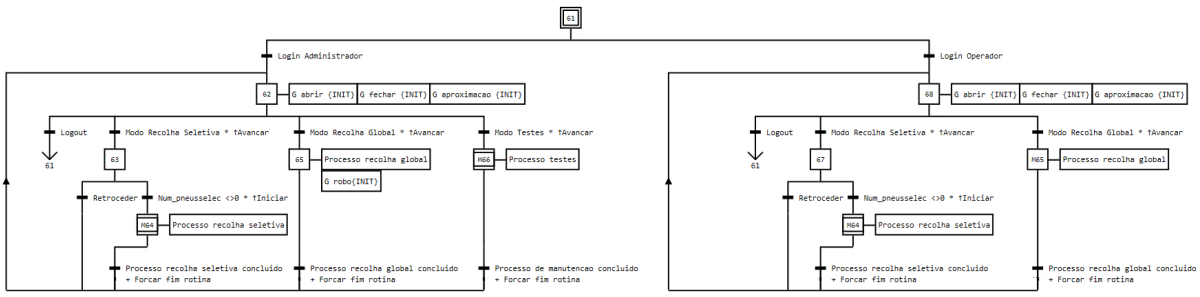


Figura D.2 - Grafcet Funcionamento Autómato.

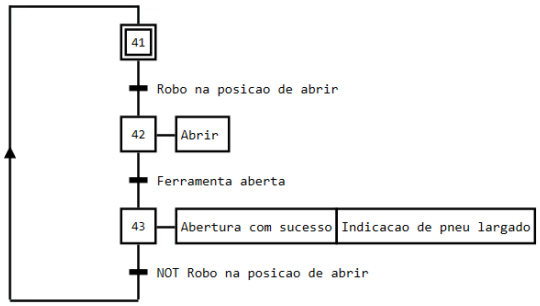


Figura D.3 - Grafcet Abrir Autómato.

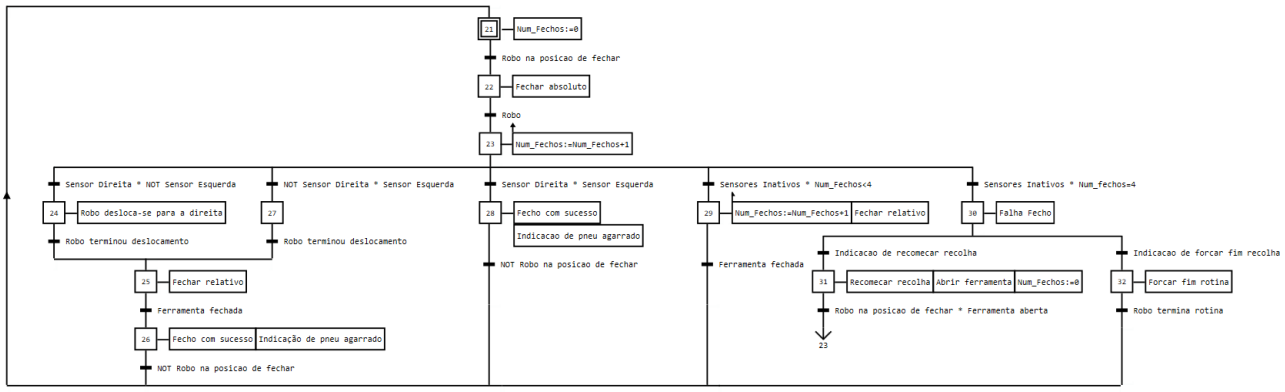


Figura D.4 - Grafcet Fechar Autómato.

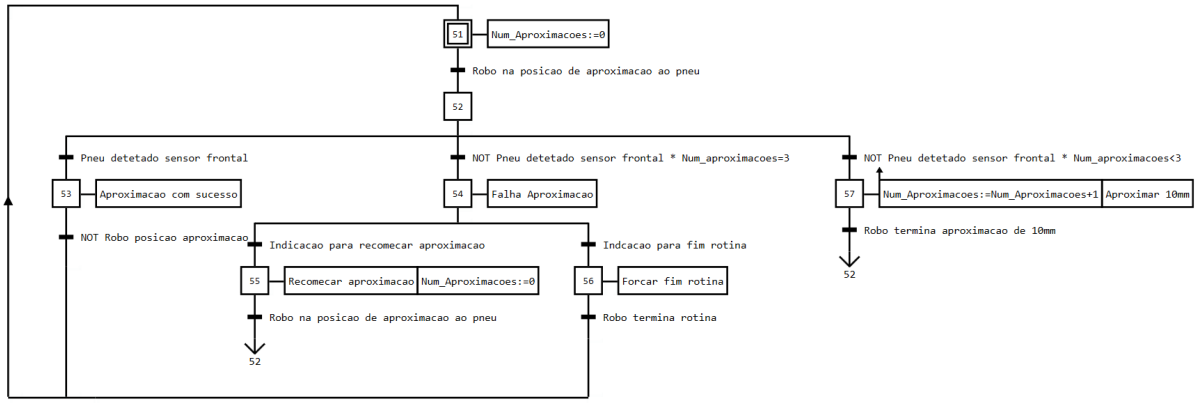


Figura D.5 - Grafcet Aproximação Autómato.

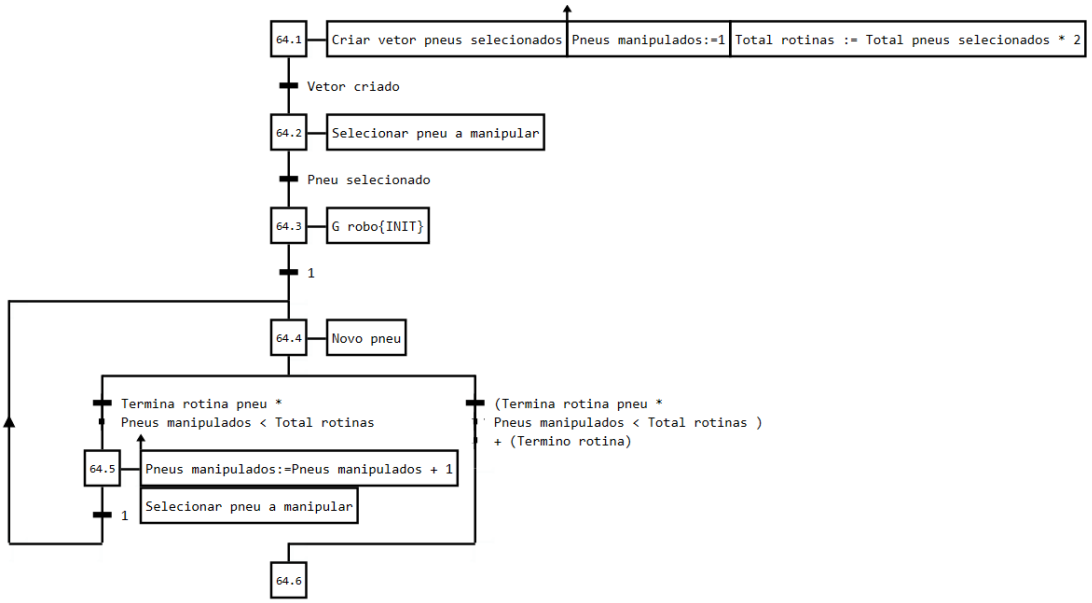


Figura D.6 - Grafcet Macroetapa 64 Autómato.

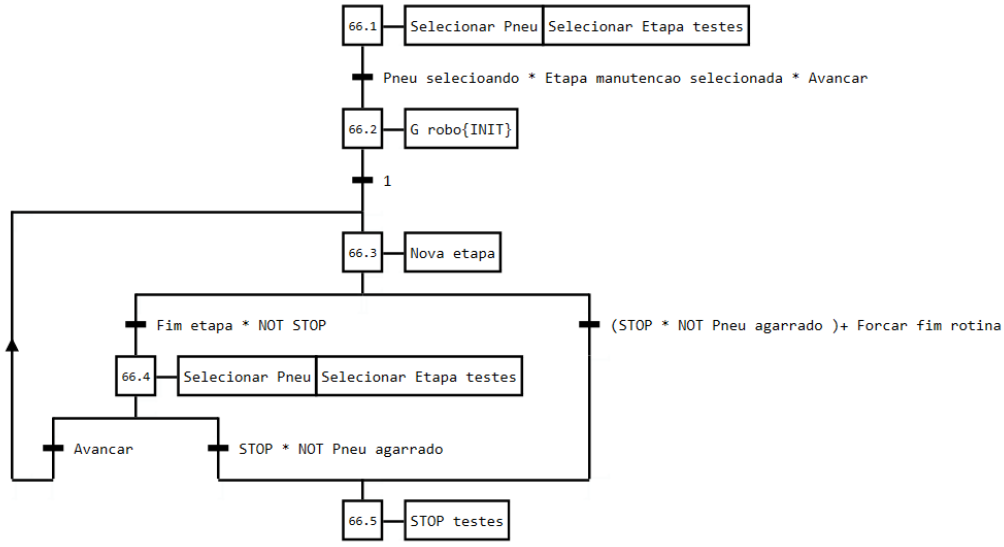


Figura D.7 - Grafcet Macroetapa 66 Autómato.

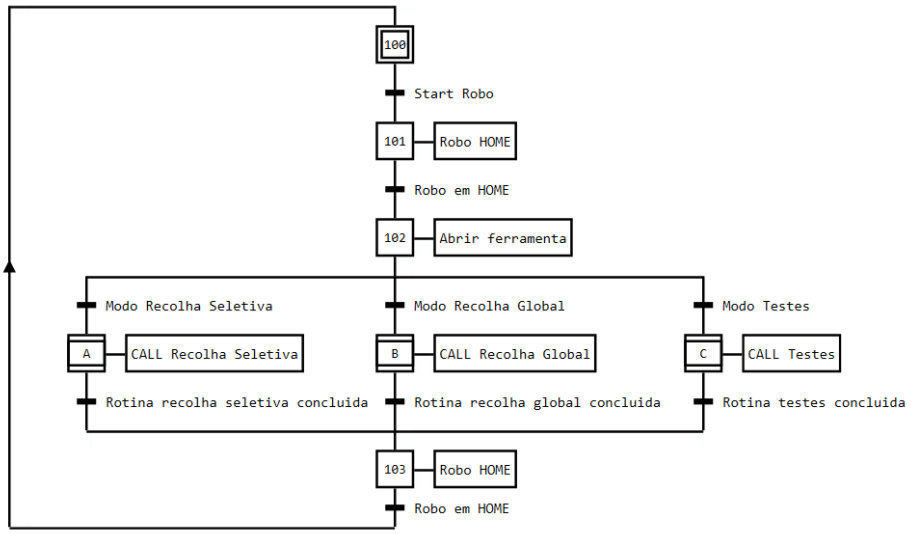


Figura D.8 - Grafcet Main Robô.

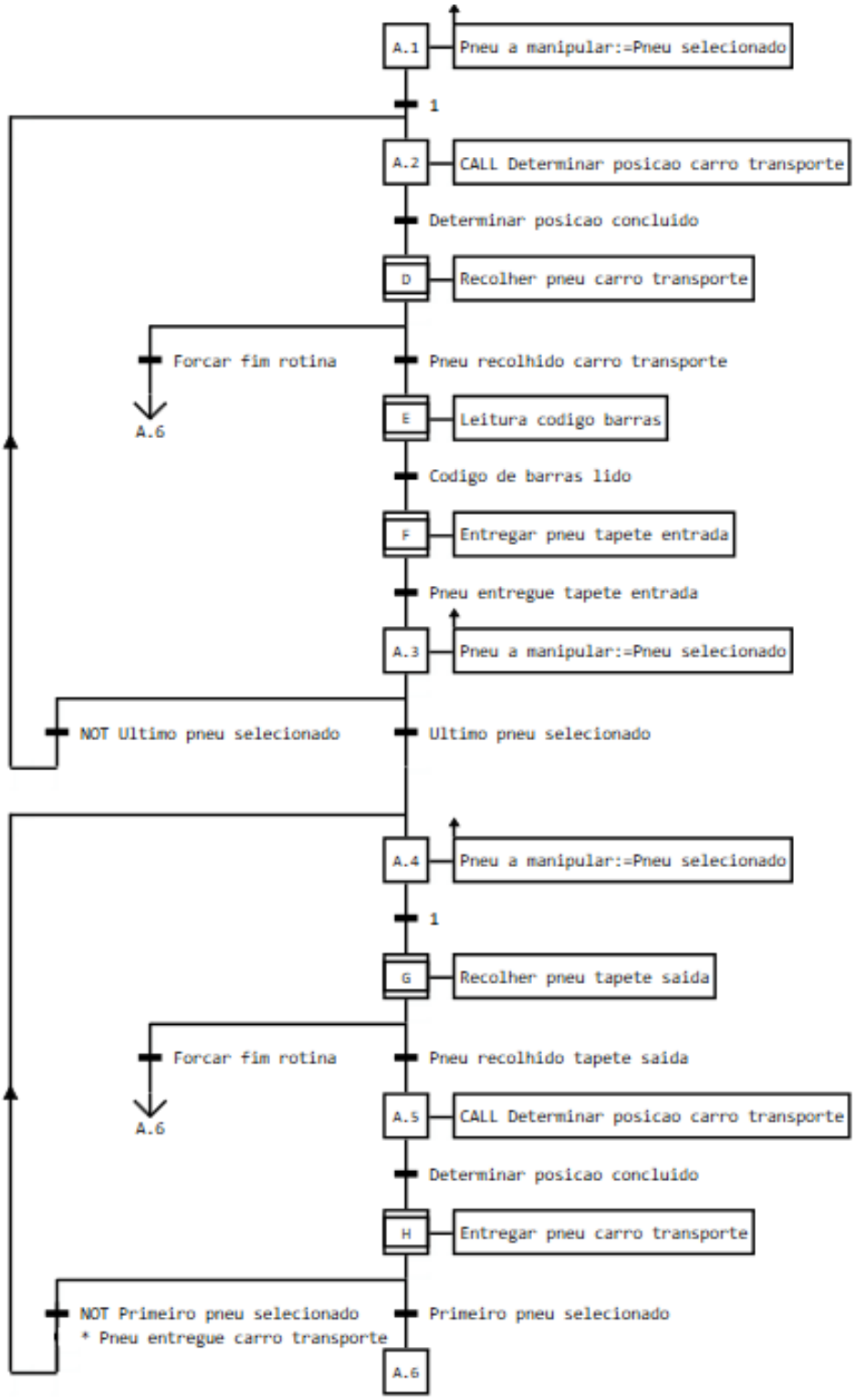


Figura D.9 - Grafcet Automático Recolha Seletiva Robô.

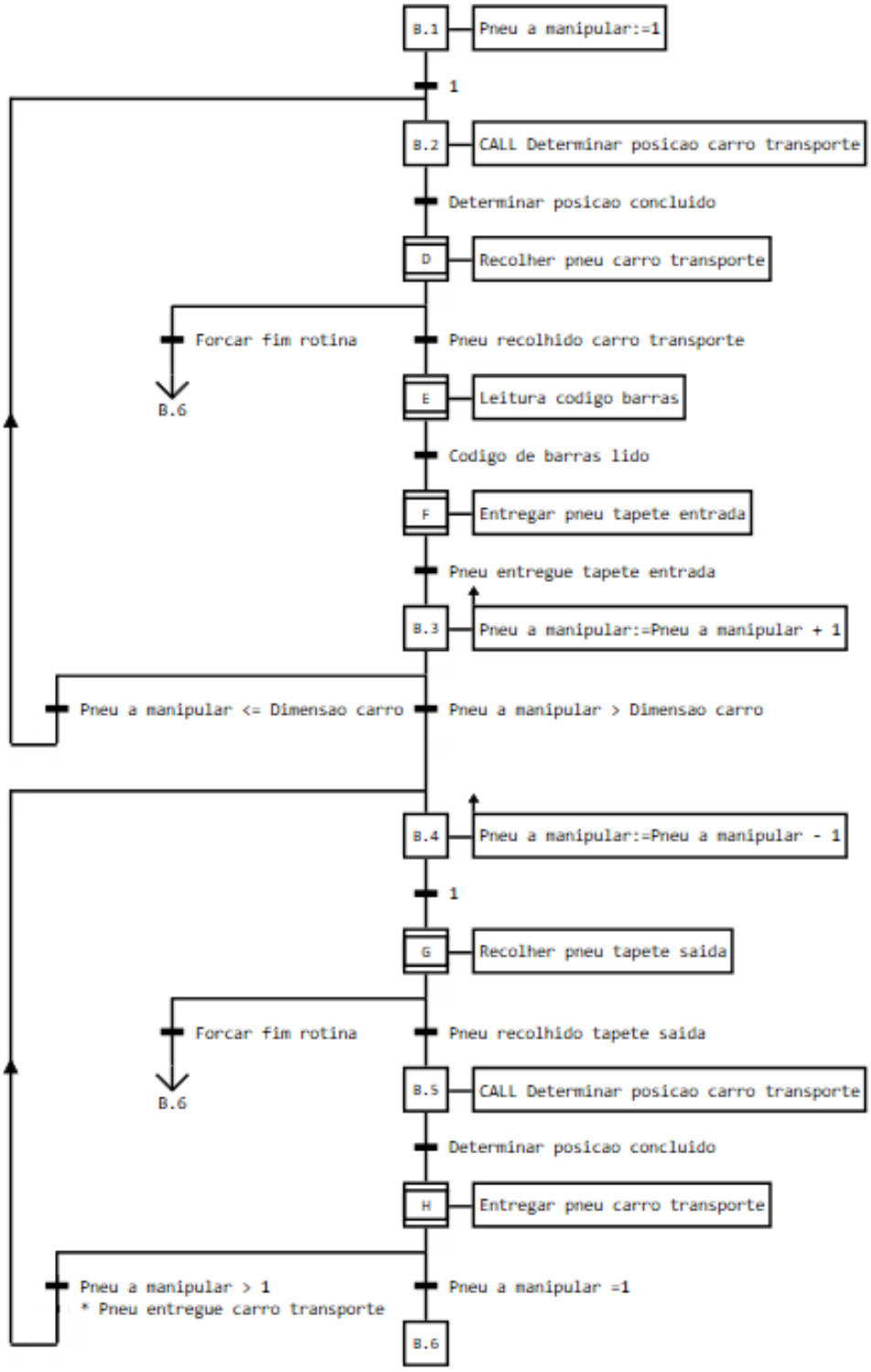


Figura D.10 - Grafcet Automático Recolha Global Robô.

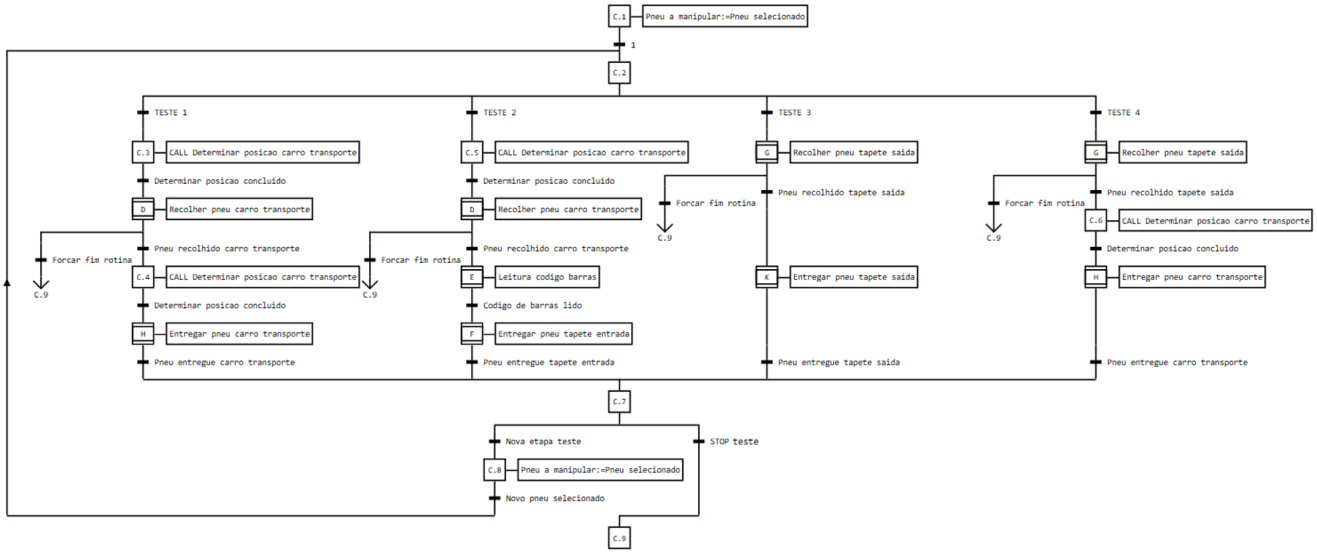


Figura D.11 - Grafcet Testes Robô.

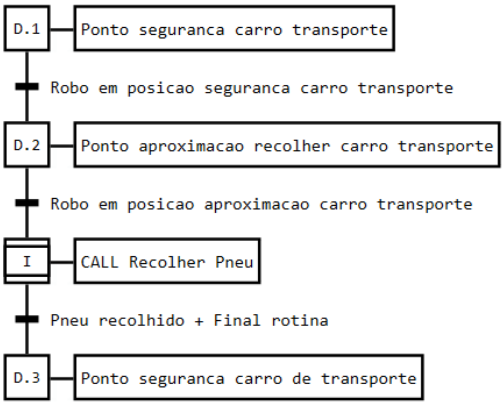


Figura D.12 - Grafcet Macroetapa D Recolher no Carro de Transporte.

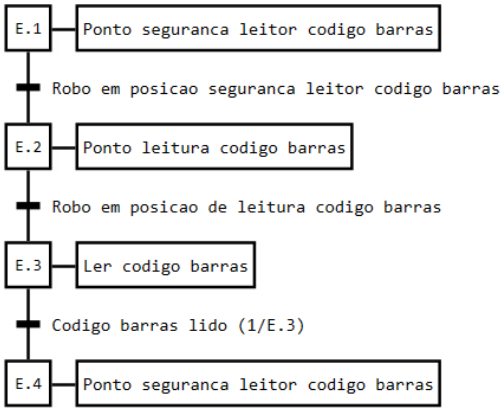


Figura D.13 - Grafcet Macroetapa E Ler Código de Barras.

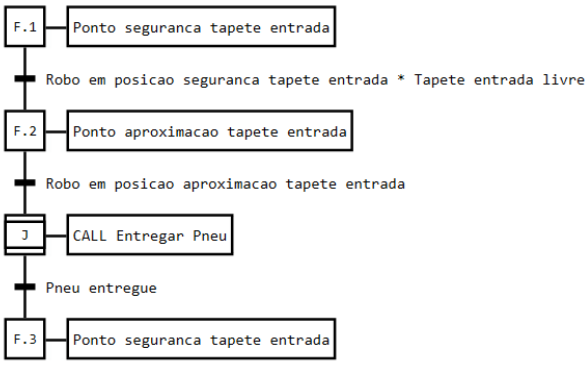


Figura D.14 - Grafcet Macroetapa F Entregar no Tapete Transportador Entrada.

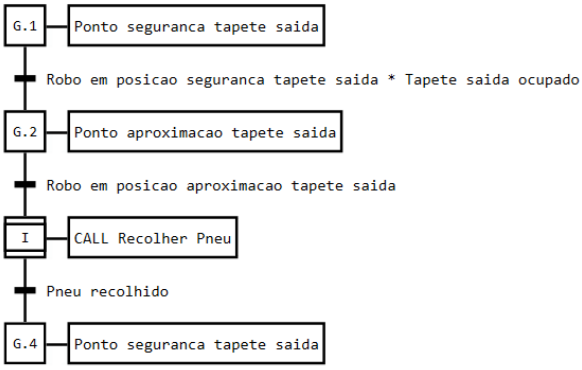


Figura D.15 - Grafcet Macroetapa G Recolher no Tapete Transportador Saída.

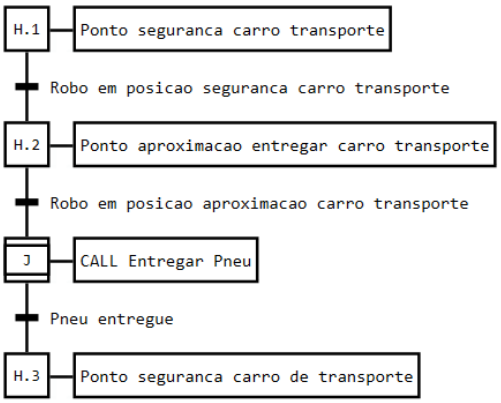


Figura D.16 - Grafcet Macroetapa H Entregar no Carro de Transporte.

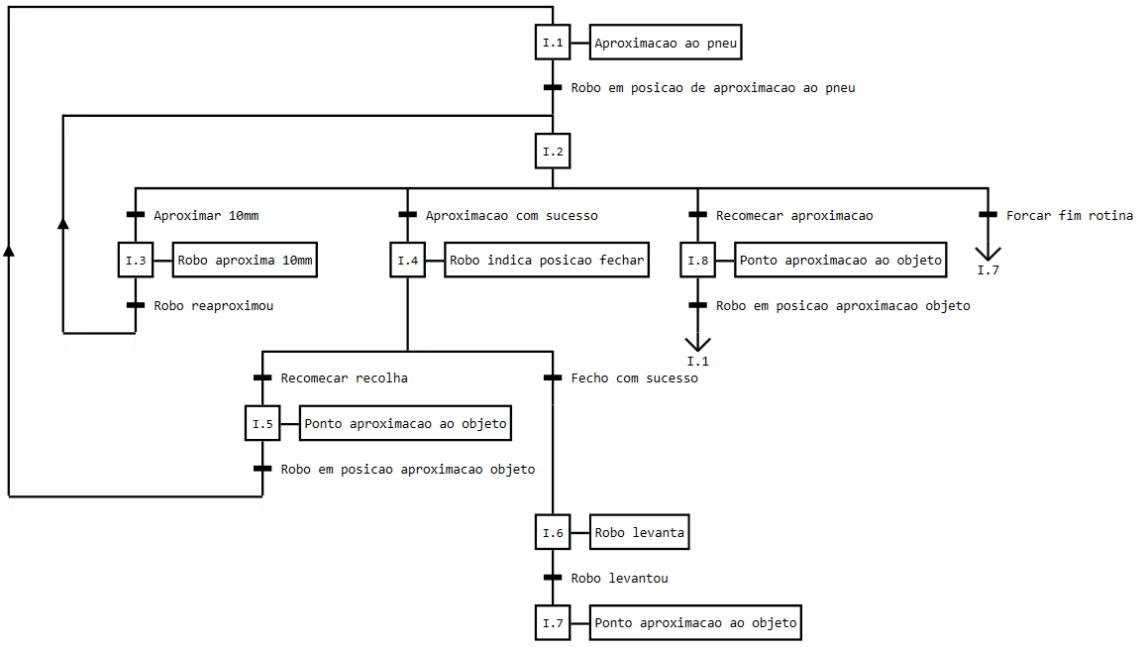


Figura D.17 - Grafcet Macroetapa I Recolher.

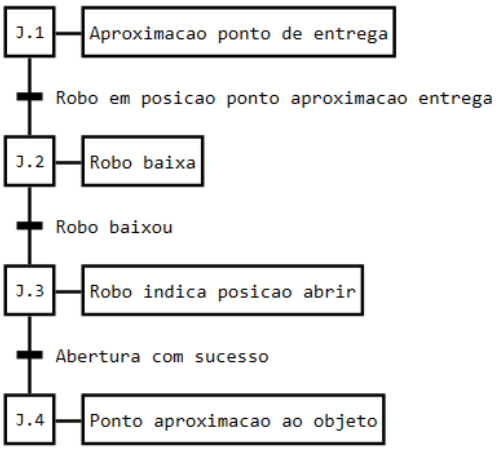


Figura D.18 - Grafcet Macroetapa J Entregar.

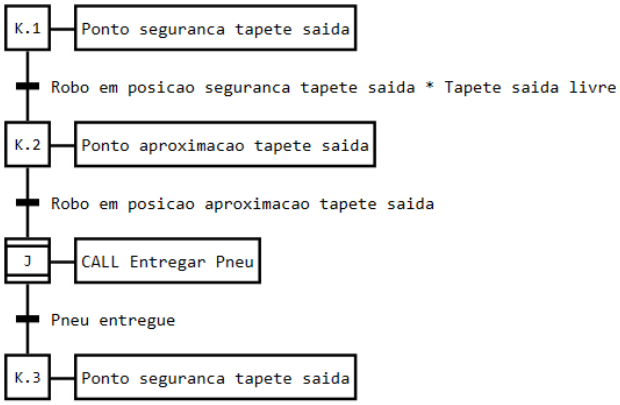


Figura D.19 - Grafcet Macroetapa K Entregar no Tapete Transportador Saída.