

Projeto de CNC multifunções de 4 eixos

Cláudio Daniel Leão Neves

Dissertação apresentada à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança
para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Industrial
ramo de especialização em
Engenharia Mecânica

Este trabalho foi efetuado sob orientação de:

Prof. Dr. Luís Miguel Cavaleiro Queijo

2017/2018

Agradecimentos

Ao longo do tempo tive o prazer de ter o contributo de várias pessoas que, direta ou indiretamente, fizeram com que a elaboração deste trabalho fosse possível. Gostaria de agradecer a essas pessoas pela orientação e disponibilidade.

Desde já, à minha família, especialmente a minha mãe por me apoiar nesta etapa da minha vida. Agradeço, também, à minha namorada por sempre me incentivar a nunca desistir.

Ao meu orientador Luís Miguel Cavaleiro Queijo por me propor este fantástico projeto, pelos inúmeros conhecimentos transmitidos e pelo acompanhamento ao longo do meu percurso académico.

Ao meu amigo Jorge Paulo, por todo o apoio e amizade demonstrada ao longo destes anos, assim como a todos os meus outros amigos que me acompanharam nestes últimos anos.

Resumo

O presente trabalho tem como finalidade aprimorar a estrutura de um centro de maquinagem CNC de 3 eixos dimensionado anteriormente num projeto de final de curso de licenciatura de Engenharia Mecânica e acrescentar-lhe um quarto eixo, de modo a tornar o equipamento mais versátil. Pretende-se que o centro de maquinagem em questão possua uma volumetria de trabalho superior aos centros existentes no mercado, ou seja, deve possuir uma volumetria de trabalho na ordem dos 4,0×2,0×1,5 m. O dimensionamento do centro de maquinagem foi elaborado para maquinar materiais macios, como alguns tipos de poliuretano e MDF.

Pretende-se que a CNC de 4 eixos além de maquinar materiais como o MDF, possa ser utilizada como um equipamento multifunções, como corte por plasma ou até mesmo impressão 3D.

O desenvolvimento do modelo final do centro de maquinagem de 4 eixos, consistiu num processo iterativo, sempre com intuito de encontrar um modelo que pudesse satisfazer as necessidades pretendidas.

A etapa seguinte consistiu em selecionar os diferentes componentes necessários para fabricar o centro de maquinagem, como perfis, guias lineares, fusos, pinhões, cremalheiras, motores *stepper*, entre outros. Para além dos componentes já existentes no mercado, foi necessário projetar componentes de ligação e suportes específicos para o desenvolvimento do centro de maquinagem, como por exemplo, os apoios para os motores *stepper*.

De modo a validar o modelo final do centro de maquinagem de 4 eixos, foram elaborados cálculos das velocidades dos diferentes sistemas de movimentação e simulações estáticas de diversos componentes considerados críticos, com intuito de verificar quais as deformações sofridas por estes, permitindo ainda verificar qual a exatidão do equipamento.

Palavras-chave: CNC, Maquinagem, *SolidWorks*®, 4 eixos, Multifunções.

Abstract

The following work aims to improve the structure of a CNC machining center of 3-axis previously designed in a final project of degree of Mechanical Engineering and to add a fourth axis to it, in order to make the equipment more versatile. It is intended that the machining center in question has a working volume higher than the existent centers on the market, ie it must have a working volume in the order of 4,0×2,0×1,5 m. The machining center is designed for machining soft materials, such as some types of polyurethane and MDF.

It is intended that the 4-axis CNC in addition to machining materials such as MDF, can be used as a multifunction device, such as plasma cutting or even 3D printing.

The development of the final model of the 4-axis machining center consisted of an iterative process, always with the aim of finding a model that could satisfy the desired needs.

The next step is to select the different components needed to manufacture the machining center, such as profiles, linear guides, spindles, pinions, racks, stepper motors, among others. In addition to the components already on the market, it was necessary to design specific connection and support components for the development of the machining center, such as stepper motor supports.

In order to validate the final model of the 4-axis machining center, speed calculations of the different moving systems and static simulations of several critical components were made, in order to verify the deformations suffered by them, allowing to check the accuracy of the equipment.

Keywords: CNC, Machining, *SolidWorks*®, 4 Axis, Multifunction.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Contextualização.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura do relatório.....	2
2	Conceitos Teóricos.....	5
2.1	Comando Numérico Computorizado – CNC.....	5
2.1.1	Sistema de eixos.....	6
2.2	Desenvolvimento de produto.....	7
2.3	Tecnologias CNC.....	8
2.3.1	Fresagem.....	9
2.3.2	Furação.....	10
2.3.3	Corte por plasma.....	11
2.3.4	Corte CNC <i>Knife</i>	12
2.3.5	Corte por laser.....	14
2.3.6	Prototipagem rápida – Fabrico aditivo.....	15
2.3.6.1	Modelação por extrusão de plástico (FDM).....	16
2.4	Constituintes mecânicos.....	17
2.4.1	Estrutura de máquinas-ferramentas.....	18
2.4.2	Considerações estáticas.....	18
2.4.3	Considerações dinâmicas.....	19
2.4.4	Guias lineares.....	19
2.4.5	Elementos conversores de movimento.....	20
2.4.6	Acoplamentos.....	22
3	Conceção e desenvolvimento de um centro de maquinagem CNC.....	25
3.1	Evolução do centro de maquinagem CNC.....	25
3.1.1	Modelo 1.....	25
3.1.2	Modelo 2.....	27
3.1.3	Modelo 3.....	31
3.1.4	Modelo 4.....	32
3.1.4.1	Estudo da rigidez da estrutura que aloja o <i>spindle</i>	34
4	Dimensionamento do modelo final.....	37

4.1	Seleção dos elementos para o centro de maquinagem de 4 eixos.....	38
4.1.1	Tubos laminados a frio e elementos de fixação	38
4.1.2	Perfis e elementos de fixação	40
4.2	Seleção das guias lineares e patins de deslizamento.....	43
4.3	Seleção dos fusos de esferas	44
4.4	Mecanismo de movimentação através do sistema pinhão-cremalheira	47
4.5	Quarto eixo do centro de maquinagem	51
4.6	Seleção dos motores <i>stepper</i>	52
4.6.1	Dimensionamento do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação linear do eixo X 54	
4.6.2	Dimensionamento do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação linear do eixo Y 55	
4.6.3	Dimensionamento do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação linear do pórtico no eixo Z.....	57
4.6.4	Dimensionamento do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação linear do <i>spindle</i> no eixo Z.....	60
4.6.5	Dimensionamento do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação da mesa de trabalho no eixo Z.....	62
4.6.6	Dimensionamento do motor <i>stepper</i> do quarto eixo	65
4.7	Verificação de alguns elementos críticos do CNC de 4 eixos	69
4.7.1	Bracket	69
4.7.2	Estrutura responsável pela movimentação do pórtico no eixo X.....	70
4.7.3	Suporte da mesa de trabalho.....	71
4.7.4	Placa responsável pelo movimento do pórtico no eixo Y	72
4.7.5	Placa responsável pela sustentação do sistema de movimentação no eixo Y	73
4.7.6	Apoios dos motores <i>stepper</i>	74
4.7.6.1	Apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação do eixo Y.....	74
4.7.6.2	Apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação do pórtico no eixo Z	75
4.7.6.3	Apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação da estrutura que aloja o <i>spindle</i>	76
4.7.6.4	Apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação da mesa de trabalho.	76
4.8	Verificação da exatidão do CNC de 4 eixos	77
5	Conclusões e trabalhos futuros.....	79
5.1	Conclusões	79
5.2	Trabalhos futuros	81
A	Anexos.....	V

A.1	Dimensionamento dos motores <i>stepper</i>	V
A.1.1	Motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação linear do eixo X.....	V
A.1.2	Motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação linear do eixo Y.....	VI
A.1.3	Motor <i>stepper</i> do sistema do sistema de movimentação linear do pórtico no eixo Z VIII	
A.1.4	Motor <i>stepper</i> do sistema do sistema de movimentação linear do <i>spindle</i> no eixo Z XI	
A.1.5	Motor <i>stepper</i> do sistema do sistema de movimentação da mesa de trabalho no eixo Z	XIV
A.1.6	Motor <i>stepper</i> do quarto eixo	XVIII
A.2	Desenhos	XXIII

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificação dos elementos de movimento (Stoeterau, 2004).....	21
Tabela 2 - Classificação dos vários tipos de fusos (Stoeterau, 2004).	21
Tabela 3 - Características mecânicas do aço laminado a frio.	39
Tabela 4 - Características mecânicas dos perfis.....	41
Tabela 5 - Resultados do tempo e deslocação mínima dos fusos, de acordo com o passo.	45
Tabela 6 - Fator de forma (q), de engrenamento externo.....	49
Tabela 7 - Fator de Serviço (φ).	49
Tabela 8 - Resumo dos deslocamentos dos componentes.....	78

Lista de Figuras

Figura 1 - Definição dos eixos X, Y e Z (A. C. A. F. J. P. Davim, 2009).	6
Figura 2 - Definição dos eixos XYZ, com os movimentos de rotação e translação (A. C. A. F. J. P. Davim, 2009)	6
Figura 3 - Operações de fresagem (A. C. A. F. J. P. Davim, 2009).....	9
Figura 4 - Operação de furação (A. C. A. F. J. P. Davim, 2009).	10
Figura 5 - Formação do plasma (ACD CHAPAS, n.d.).....	11
Figura 6 - Máquina CNC de corte por plasma (Numerik, n.d.).	12
Figura 7 - Representação das diferentes ferramentas possíveis de utilizar no corte CNC knife (MultiCam, 2011).....	13
Figura 8 - Representação do corte através da ferramenta <i>oscillating knife</i> (Omnitech, 2018). 13	
Figura 9 - Corte por laser (LCS Laser Systems, n.d.).	14
Figura 10 - Esquema da importância da prototipagem rápida na produção de novos produtos (Alves et al., 2011).	15
Figura 11 - Representação do esquema do processo de FDM (Castro, 2013).	17
Figura 12 - Sistema de guiamento linear (Igus, 2018).	20
Figura 13 - Exemplo de acoplamento rígido (Stoeterau, 2004).	22
Figura 14 - Representação do modelo 1.....	26
Figura 15 - Patim de deslizamento do eixo x.	27
Figura 16 - Estrutura base do centro de maquinagem.....	28
Figura 17 - Perfil Bosch Rexroth AG.....	28
Figura 18 - Modelo 2, segundo modelo estudado.	29
Figura 19 – Representação dos parâmetros da malha aplicada.....	30
Figura 20 -Primeira simulação do deslocamento do perfil responsável pelo sistema de movimentação do eixo Y.....	30
Figura 21 - Modelo 3, terceiro modelo estudado.	31
Figura 22- Segunda simulação do deslocamento do perfil responsável pelo sistema de movimentação do eixo Y.....	32
Figura 23 - Modelo 4, modelo final do centro de maquinagem.	33
Figura 24 - Representação do sistema de elevação da mesa de trabalho.	33
Figura 25 - Representação do diagrama de esforços da estrutura que aloja o <i>spindle</i>	35
Figura 26 - Simulação da estrutura que aloja o <i>spindle</i> , com forças aplicadas segundo o eixo X.....	35
Figura 27 - Simulação da estrutura que aloja o <i>spindle</i> , com forças aplicadas segundo o eixo Y	36

Figura 28 - Modelo final do centro de maquinagem de 4 eixos.....	37
Figura 29 - Perfil de secção retangular 100x40 mm.	39
Figura 30 - Representação da estrutura lateral da CNC de 4 eixos.....	40
Figura 31 - Esquadro de fixação 100x100x5 mm.	40
Figura 32 - Perfil 45x180, com referência 201072.	41
Figura 33 - Esquadro de fixação 40x30, com referência 3842536729.....	42
Figura 34 - Parafuso em T M6x25, com a referência 3842523922.....	42
Figura 35 - Porca em T M6, com a referência 3842501753.	43
Figura 36 - Perfil 22,5x180, com a referência 3842993699.....	43
Figura 37 - Modelo da guia linear e patim de deslizamento com as referências TS-01-20 e TW-02-20.....	44
Figura 38 - Fuso de rosca trapezoidal, com referência 4R2055B-3000-C5.....	46
Figura 39 - Porca de rosca trapezoidal, com referência FSIN2005B-4.OP.	46
Figura 40 - Apresentação da chumaceira selecionado, com referência ES204.....	47
Figura 41 - Representação do mecanismo pinhão-cremalheira do eixo X.....	48
Figura 42 - Representação do mecanismo do 4º eixo.	52
Figura 43 - Relação binário/velocidade do motor Nema 34 ST34-5.	55
Figura 44 - Relação binário/velocidade do motor Nema 34 ST34-4.	57
Figura 45 - Relação binário/velocidade do motor Nema 34 ST34-2.	59
Figura 46 - Relação binário/velocidade do motor Nema 23 ST23-8.	65
Figura 47 - Relação binário/velocidade do motor Nema 23 ST23-6.	68
Figura 48 - Simulação referente ao Bracket.....	70
Figura 49 – Simulação referente à estrutura responsável pela movimentação do pórtico no eixo X.....	71
Figura 50 - Simulação do suporte da mesa de trabalho.....	72
Figura 51 - Simulação referente à placa responsável pelo movimento do pórtico no eixo Y..	73
Figura 52 - Placa responsável pela sustentação do sistema de movimentação no eixo Y	74
Figura 53 - Simulação referente ao apoio do motor stepper do sistema de movimentação do eixo Y.....	75
Figura 54 - Simulação referente ao apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação do pórtico no eixo Z.	75
Figura 55 - Simulação referente ao apoio do motor stepper do sistema de movimentação da estrutura que aloja o <i>spindle</i>	76
Figura 56 - Simulação do apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação da mesa de trabalho.....	77

Lista de Abreviações

CAD - *Computer-aided design*

CAM - *Computer-aided manufacturing*

CNC - *Controlo Numérico Computorizado*

LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

MDF - *Medium Density Fiberboard*

AISI – *American Iron and Steel Institute*

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

Os processos de fabrico, em especial ligados à maquinagem por arranque de apara, têm vindo a desenvolver-se intensamente ao longo das últimas cinco décadas, com intuito de aumentar a produtividade (J. P. Davim, 2009)

A utilização da técnica controlo numérico computadorizado (CNC) é relativamente recente (cerca de 50 anos). Segundo o autor é possível definir o CNC como “todo o dispositivo capaz de dirigir os movimentos de posicionamento de um órgão mecânico, em que os comandos relativos a esse movimento são elaborados de forma totalmente automática a partir de informações numéricas ou alfanuméricas definidas manualmente ou através de um programa”(Relvas, 2000).

O CNC poderá ser utilizado em diversas aplicações, das quais podem destacar-se máquinas-ferramentas como, fresadoras, tornos, centros de maquinagem ou máquinas de electroerosão. No entanto este pode ser empregue fora deste âmbito, como por exemplo em linhas de montagem, manipulação de materiais, inspeção e medida (Araújo, 2012).

No final dos anos setenta princípio dos anos oitenta surgem no mercado os primeiros sistema CAD/CAM (*Computer-aided design/ Computer-aided manufacturing*) (João Paulo Davim, 2008).

Os sistemas CAD/CAM estão especialmente vocacionados para a programação de peças de geometria complexa. Estes programas permitem interpretar a geometria das peças desenhadas pelo CAD. Os programas CAM permitem simular as operações de maquinagem, podendo assim verificar se são necessárias correções (J. Paulo Davim & Correia, 2006).

As máquinas-ferramentas CNC vieram permitir o fabrico de peças geométricas mais complexas e de variadas formas, isto com uma maior facilidade e melhores acabamentos, sendo os centros de maquinagem de 3 eixos os mais comuns. Assim, quanto mais eixos tiver o CNC, maior será a complexidade da geometria dos componentes mecânicos produzidos (Chocalheiro, 2012).

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivos dimensionar um CNC multifunções de 4 eixos, baseado num projeto de final de curso de licenciatura de Engenharia Mecânica. Como objetivo secundário, pretende-se, se possível, construir o centro de maquinagem de 4 eixos. O centro de maquinagem em questão deve possuir uma volumetria de trabalho na ordem dos 4,0×2,0×1,5 m. O dimensionamento do centro de maquinagem foi desenvolvido de forma a permitir maquinar materiais macios, como alguns tipos de poliuretano e MDF.

Apesar de a CNC de 4 eixos ter como finalidade maquinar materiais como o MDF, pretende-se que esta possa ser utilizada como um equipamento multifunções, com corte por plasma/laser ou até mesmo impressão 3D.

O desenvolvimento do modelo final do centro de maquinagem de 4 eixos, consistiu num processo iterativo, sempre com intuito de encontrar um modelo que pudesse satisfazer as necessidades pretendidas.

Assim, pretende-se que o equipamento em questão possua uma volumetria de trabalho superior aos centros existentes no mercado e com um preço inferior.

1.3 Estrutura do relatório

Este relatório encontra-se organizado em 5 capítulos, incluindo a introdução, a conclusão e anexos.

O **capítulo 2** apresenta uma breve abordagem acerca do CNC, da furação, corte por plasma, corte CNC knife, fabrico aditivo, assim como alguns componentes mecânicos utilizados no centro de maquinagem.

O **capítulo 3** demonstra a evolução dos modelos estudados.

O **capítulo 4** exhibe o dimensionamento da estrutura seleccionada e as respetivas simulações dos componentes considerados críticos.

No **capítulo 5** encontra-se a conclusão e os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Conceitos Teóricos

2.1 Comando Numérico Computorizado – CNC

O CNC é um processo que surgiu nos meados do século XX. Foi desenvolvido inicialmente em 1942 nos Estados Unidos da América com o objetivo, de satisfazer as necessidades da indústria aeronáutica.

O controlo numérico computadorizado é uma técnica que compreende o funcionamento de uma máquina a partir de um programa sem intervenção direta do operador durante a sua execução (J P. Davim, 2009).

O desenvolvimento da área informática contribui para o desenvolvimento das máquinas-ferramentas CNC através dos *softwares* de CAD/CAM. Os programas utilizados nas máquinas de controlo numérico podem ser gerados manualmente (programação manual) ou assistidos através de *softwares* CAD/CAM.

Apesar do controlo numérico estar diretamente associado com as máquinas que trabalham por arranque de apara, como fresadoras e tornos CNC, esta técnica está presente em máquinas de corte por laser, electroerosão, puncionagem, em máquinas de montagem, quinadoras, prensas, entre outros (J. P. Davim, 2009).

2.1.1 Sistema de eixos

Para se efetuar o deslocamento de uma ferramenta num CNC, é necessário definir uma trajetória plana ou no espaço, atribuindo as coordenadas dos pontos a percorrer. Assim sendo, é necessário definir a posição da ferramenta no espaço relativamente à peça. Para isto, é utilizado um sistema de coordenadas X, Y e Z, como se pode verificar na Figura 1.

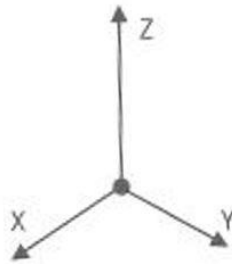


Figura 1 - Definição dos eixos X, Y e Z (J. P. Davim, 2009).

A direção do eixo Y é a 90° do eixo X no sentido trigonométrico e o eixo Z, por norma é o que está alinhado com a árvore da máquina.

Além das movimentações no sistema de coordenadas X, Y e Z, existem os movimentos de rotação em torno destes eixos e movimentos de translação adicionais. As rotações são indicadas pelas letras endereço A, B e C na Figura 2. O sentido positivo dos eixos A, B e C é como um parafuso de passo à direita, sendo que a progressão em rotação é no sentido positivo dos eixos X, Y e Z (J. P. Davim, 2009).

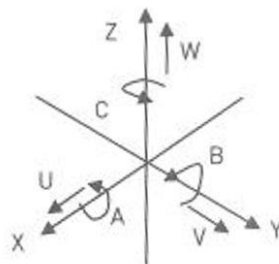


Figura 2 - Definição dos eixos XYZ, com os movimentos de rotação e translação (A. C. A. F. J. P. Davim, 2009) .

Os movimentos de translação adicionais, relativamente aos eixos principais X, Y e Z, são representados pelas letras endereço U, V e W como se pode observar na Figura 2. Estas designações são utilizadas em máquinas que apresentam grandes cursos de trabalho para posicionamento da árvore ou da peça (J. P. Davim, 2009).

2.2 Desenvolvimento de produto

Um processo de desenvolvimento de produto consiste na sequência de etapas ou atividades necessárias para uma empresa conceber, projetar e comercializar um produto. Para produzir um produto os fabricantes necessitam de definir e seguir um processo de desenvolvimento preciso e detalhado.

O *input* do processo de desenvolvimento de um produto é um relatório formal onde consta toda a informação necessária a esse mesmo processo. O *output* desse processo corresponde ao lançamento do produto final. Portanto, o *input* identifica o mercado-alvo, fornece uma descrição básica do produto e especifica os objetivos comerciais. O lançamento do produto ocorre apenas quando o produto estiver finalizado, sendo lançado para o mercado.

O desenvolvimento de um produto pode ser abordado como a criação inicial de um amplo conjunto de conceitos de produtos alternativos aos existentes e posteriormente o aperfeiçoamento de alternativas e ao aumento das especificações do produto, até que o produto possa ser produzido de forma fiável e repetida pelo sistema de produção.

Assim, o processo de desenvolvimento de produto é organizado em cinco fases, tais como: desenvolvimento de conceitos, projeto, *design* detalhado, testes e afinações e produção *ramp-up*.

No desenvolvimento de conceitos são identificadas as necessidades do mercado-alvo, os conceitos dos produtos alternativos são gerados e avaliados, sendo selecionado um conceito único para desenvolvimento posterior.

A fase de projeto inclui a definição da arquitetura do produto e a divisão do produto em subsistemas e componentes. Nesta fase abrange também os esquemas de montagem final para o sistema de produção.

O processo de *design* detalhado envolve as especificações da geometria, materiais, tolerâncias de todas as peças, assim como a identificação de todas as peças padrão que poderão ser adquiridas aos fornecedores. O *output* desta fase corresponde ao controlo da documentação do

produto – os desenhos de definição ou ficheiros que descrevem a geometria de cada peça, ferramentas necessárias para a sua produção, as especificações das peças compradas e os planos de processo para o fabrico e montagem do produto.

Os testes e afinações são essenciais para avaliar as várias versões dos protótipos. Inicialmente são produzidos protótipos *Alpha* para verificar a funcionalidade do produto conforme o projeto e se o produto satisfaz ou não as necessidades do cliente. Posteriormente são produzidos protótipos *Beta* com o objetivo de certificar se o produto tem um bom desempenho e fiabilidade.

Por fim, passa-se a produção *ramp-up*, onde o produto é fabricado usando um sistema de produção definido previamente, (Ulrich & Eppinger, 1995).

2.3 Tecnologias CNC

Atualmente devido às exigências da produtividade, qualidade e também da flexibilidade na indústria torna-se quase obrigatória a utilização de máquinas ferramenta automatizadas por controlo numérico computadorizado. Através do uso desta tecnologia torna-se possível produzir componentes com elevado rigor dimensional, a elevadas velocidades de maquinagem, possibilitando ainda rápidas adaptações aos processos, atingindo as exigências do mercado (Costa, 2016).

Nas indústrias, a escolha dos processos de fabrico deve ser levada em consideração, uma vez que é essencial ter em conta diversos parâmetros tais como, o processo mais económico, o tipo de acabamento pretendido, as tolerâncias geométricas e dimensionais, entre outros fatores que poderão influenciar a eficiência e a rentabilidade do projeto (Silva, 2017).

É comum associar o termo CNC aos centros de maquinagem convencional com arranque de aparas, como fresadoras CNC, *routers* CNC ou até mesmo tornos CNC. No entanto, existem outros de tipos de máquinas controladas por CNC como, impressoras 3D, máquinas de corte (laser, plasma, jato de água) e soldadura.

O centro de maquinagem que se pretende conceber possui um pórtico móvel, conseguindo obter uma área de trabalho maior em relação às fresadoras CNC convencionais. Os CNC de pórtico móvel de grandes dimensões normalmente permitem maquinar materiais macios como madeiras. Como são máquinas com uma relação área de trabalho/massa, muito superior às fresadoras convencionais, a sua rigidez é menor, portanto apenas conseguem maquinar materiais macios. Pretende-se tornar o centro de maquinagem convencional num CNC

multifunções, isto é, substituindo o tradicional *spindle* por exemplo por uma tocha plasma, ou até um laser.

Nas subsecções seguintes são abordados os processos de fresagem, furação, corte por plasma, corte por laser, prototipagem rápida – fabrico aditivo e corte CNC *knife*, sendo representativo das possíveis operações realizadas pelo centro CNC em questão.

2.3.1 Fresagem

A fresagem é um processo de maquinagem convencional por arranque de aparas em que o material é removido por uma ferramenta rotativa de aresta múltipla, a fresa. Neste processo a ação de corte é conseguida pela rotação da ferramenta enquanto que a peça a maquinar se encontra fixa na mesa e o avanço é conseguido movendo a mesa sob a ferramenta de corte (Trent & Wright, 2000).

Este processo pode ocorrer de dois modos, de forma cilíndrica e frontal. A fresagem cilíndrica destaca-se pelo facto do eixo da ferramenta se encontrar paralelamente relativamente à superfície de trabalho da peça onde a operação corte é concretizada pela zona periférica da ferramenta. Na fresagem frontal ou de topo o eixo da ferramenta encontra-se perpendicular à superfície a maquinar. (J. P. Davim, 2009). Estes processos de maquinagem podem ser observados na Figura 3.

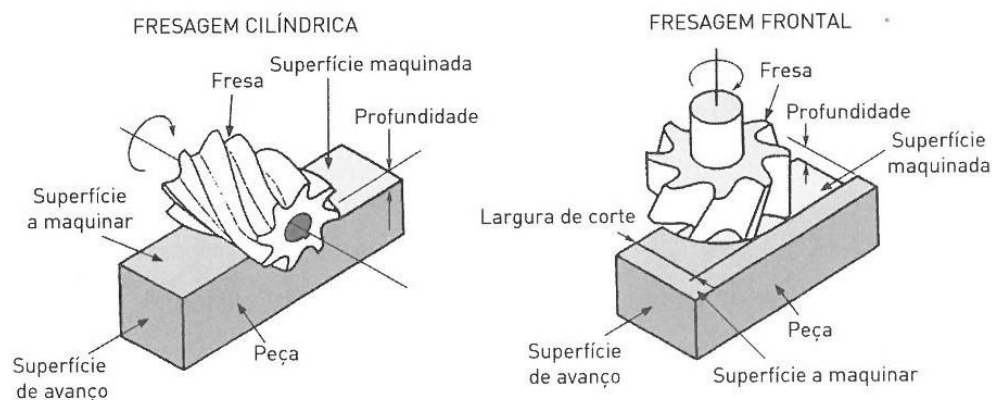


Figura 3 - Operações de fresagem (J. P. Davim, 2009).

A operação de fresagem é usada para maquinar superfícies planas (facejamento), porém existem várias operações de fresagem em relação ao efeito sobre a peça, ou do ponto de vista da

trajetória da ferramenta, tais como, facejamento, fresagem de canais/ranhuradas, cortes, entre outros.

É essencial para garantir uma correta operação de fresagem, definir os parâmetros de maquinagem. Estes parâmetros são: a velocidade de corte (V_c), o número de rotações por minuto da ferramenta (n), a velocidade de avanço (V_f) e a penetração (a_e). A velocidade de corte (V_c), em m/min, indica a velocidade superficial na qual a aresta de corte trabalha a peça. O número de rotações por minuto, em rpm é calculado em função da velocidade de corte recomendada para uma determinada operação. A velocidade de avanço (V_f), em mm/min, indica o avanço da ferramenta em relação à peça, a penetração (a_e), em mm, trata-se da quantidade que a ferramenta penetra na peça (Baptista, 2010).

2.3.2 Furação

A furação é um processo de maquinagem com finalidade de abrir ou alargar furos num determinado material. Os movimentos existentes na furação são o movimento principal (rotação da ferramenta em rpm) e os movimentos auxiliares (avanço e penetração). Os principais movimentos deste processo encontram-se representados na Figura 4 .

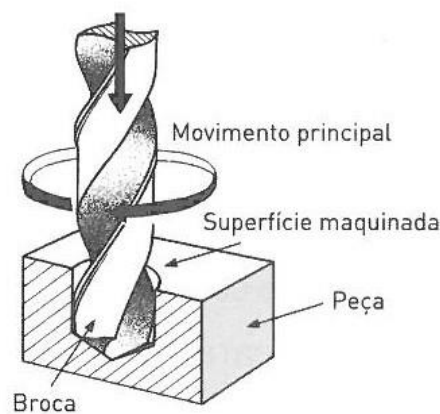


Figura 4 - Operação de furação (A. C. A. F. J. P. Davim, 2009).

Em regra geral, a peça encontra-se fixa e a ferramenta roda em torno de si própria e executa movimento ascendentes e descendentes.

2.3.3 Corte por plasma

No mundo da física os três estados de matéria são respectivamente, o estado sólido, líquido e gasoso. É possível transitar de um estado para o outro pela ordem mencionada anteriormente, aplicando energia na forma de calor. Assim, caso seja aplicado energia sob a forma de calor a um gás, este ioniza passando ao quarto estado de matéria, o plasma, representado na Figura 5.

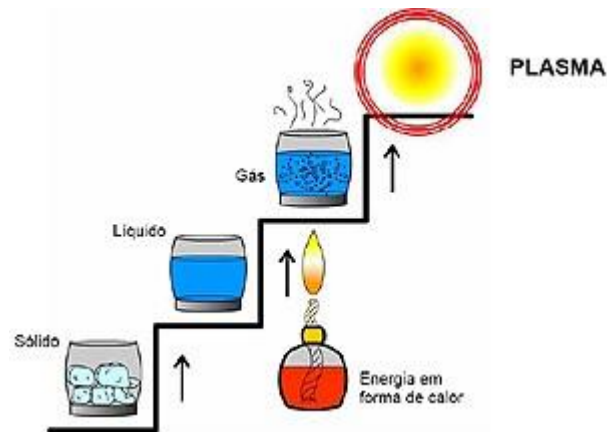


Figura 5 - Formação do plasma (ACD CHAPAS, n.d.).

O corte por plasma consiste na utilização de um arco elétrico formado entre o bico de constrição do aparelho ou entre o eletrodo e a própria peça e do arco elétrico conjugado com um gás (oxigênio ou inerte) que é lançado a grandes velocidades para a superfície (Tavares, 2011).

Esta tecnologia permite cortar materiais condutores, como aço inoxidável, aço carbono, entre outros. O arco de plasma pode mudar de acordo com o tipo de gás que é usado, com o diâmetro do bico da tocha, com a quantidade de vazão do plasma e com a tensão do arco elétrico, (Tavares, 2011).

Além da possibilidade de cortar os materiais manuseando a tocha manualmente, também é possível utilizando sistemas em pórtico CNC, entre outros dispositivos de automação, tornando o processo mais versátil. Na Figura 6 é apresentada uma máquina CNC para corte por plasma.



Figura 6 - Máquina CNC de corte por plasma (Numerik, n.d.).

Existem diversas empresas que já empregam o corte por plasma utilizando mesas CNC, proporcionando uma boa combinação entre a qualidade de corte, produtividade e custo.

2.3.4 Corte CNC *Knife*

O corte CNC *Knife* é um processo que permite o corte de materiais flexíveis e semirrígidos, como materiais de isolamento, espumas, plásticos, entre outros (Multicam CNC Routing Machinery, 2018). Neste processo a ação de corte é conseguida pelo movimento oscilatório da ferramenta (*Oscillating Knife*) enquanto que a peça a cortar se encontra fixa na mesa e o avanço é conseguido movendo a ferramenta de corte sob a mesa. Nesta tecnologia podem ser utilizadas diversas ferramentas tais como *oscillating knife*, *creasing wheel*, *kiss cut knife* e *drag knife*, na Figura 7 são representadas as ferramentas mencionadas anteriormente (MultiCam, 2011).



Figura 7 - Representação das diferentes ferramentas possíveis de utilizar no corte CNC knife (MultiCam, 2011).

A ferramenta *crease wheel* é utilizada no processo de embalagens, pois permite criar um vinco perfeito para dobrar o material para fazer caixas. A *oscillating knife* é ideal para trabalhos de corte em formas complexas, pois esta possui uma borda fina e pontiaguda. Na Figura 8 é apresentada uma mesa de corte CNC a fazer o corte com esta ferramenta.

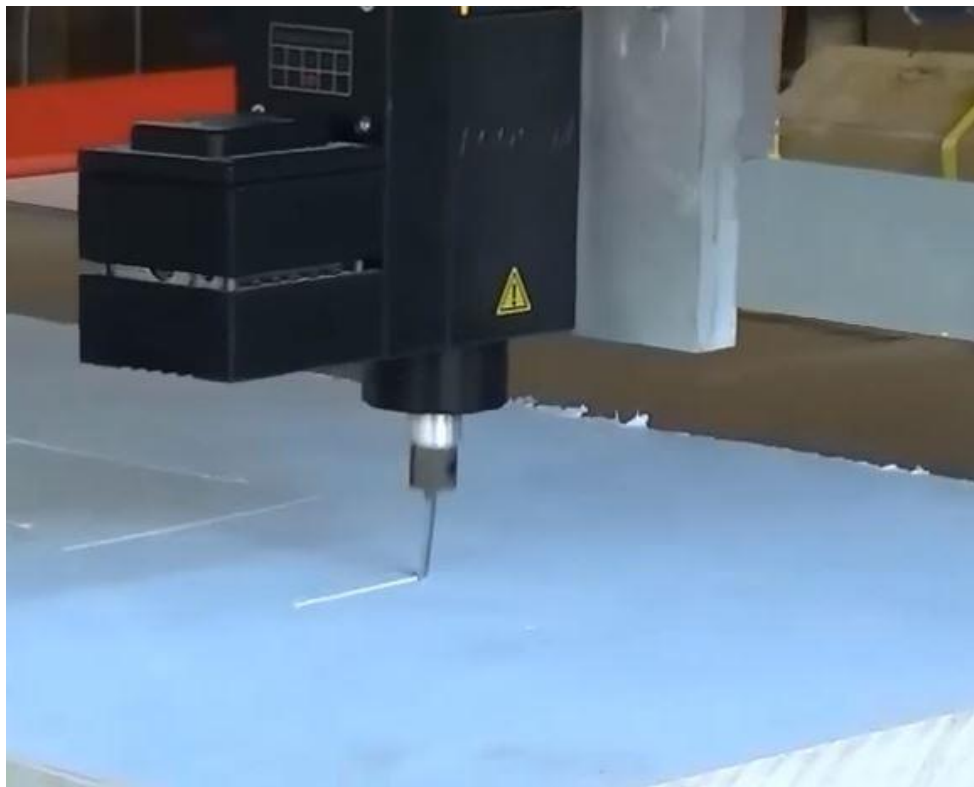


Figura 8 - Representação do corte através da ferramenta *oscillating knife* (Omnitech, 2018).

A *rotary knife* é empregue para cortar formas que não sejam demasiadas complexas, como materiais espumas espessas, mas não muito densas. A ferramenta *kiss cut knife* é carregada por

uma mola, sendo assim possível executar um corte controlando a profundidade. Finalmente a *drag knife* permite fazer cortar bordas retas rapidamente, sendo usado para cortar materiais com baixa densidade, como cartão e vinil (MultiCam, 2011).

2.3.5 Corte por laser

O laser (acrônimo para *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), que significa “Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação” consiste num feixe de luz de alta potencia e coerência transversal, focalizado e posicionado com velocidade de varredura controlada (Estrela, 2009).

O corte produzido pelo laser é considerado um processo térmico, uma vez que toda a luz emitida pelo laser atinge uma determinada superfície, sendo uma parte dela absorvida, aumentando a temperatura do material. Quando atingida a luz concentrada suficiente no material a cortar, a temperatura aumenta provocando a fusão, vaporização e decomposição (Gonçalves, 2010). É possível visualizar o processo de corte por laser uma chapa de aço na Figura 9.

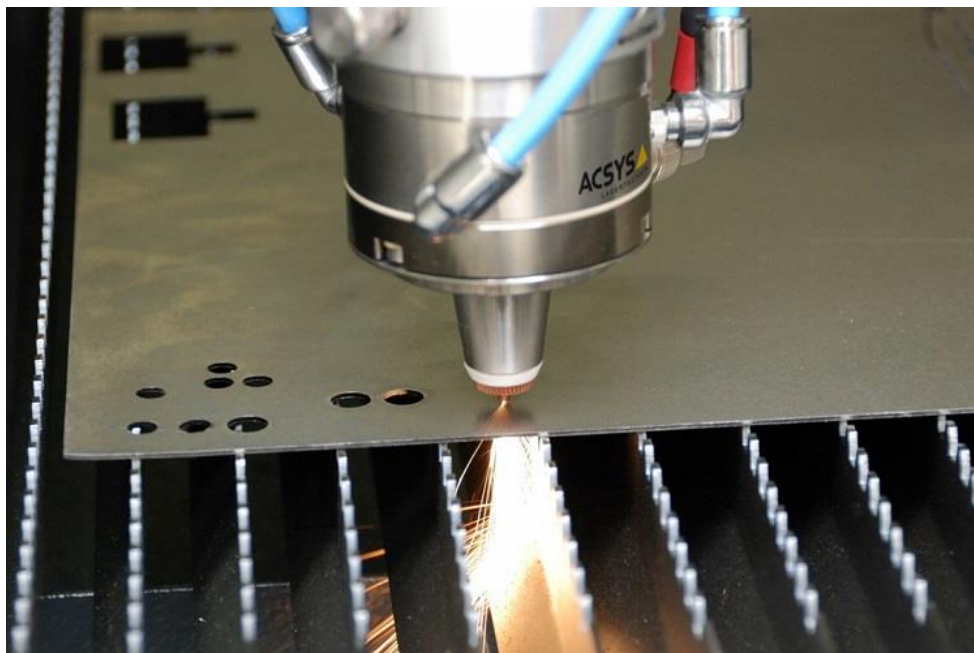


Figura 9 - Corte por laser (LCS Laser Systems, n.d.).

Os lasers mais comuns na indústria são o laser Nd:YAG e o laser de CO₂. O presente relatório irá incidir sobre o laser de CO₂. Este permite operações como corte, perfuração e gravação, em diversos materiais, tais como papel, cartão, madeira, têxteis, plásticos, metais, etc.

2.3.6 Prototipagem rápida – Fabrico aditivo

A prototipagem rápida tem vindo a ganhar cada vez mais importância na indústria, sendo vista como uma ferramenta de apoio à criação de novos produtos. Esta permite criar protótipos funcionais que por sua vez, permitem detetar erros de projeto e corrigi-los, quando os custos de alterações de projeto ainda são baixos (Alves, Braga, Simão, Neto, & Duarte, 2011). A vantagem da utilização da prototipagem rápida no desenvolvimento de novos produtos pode ser observada na Figura 10.

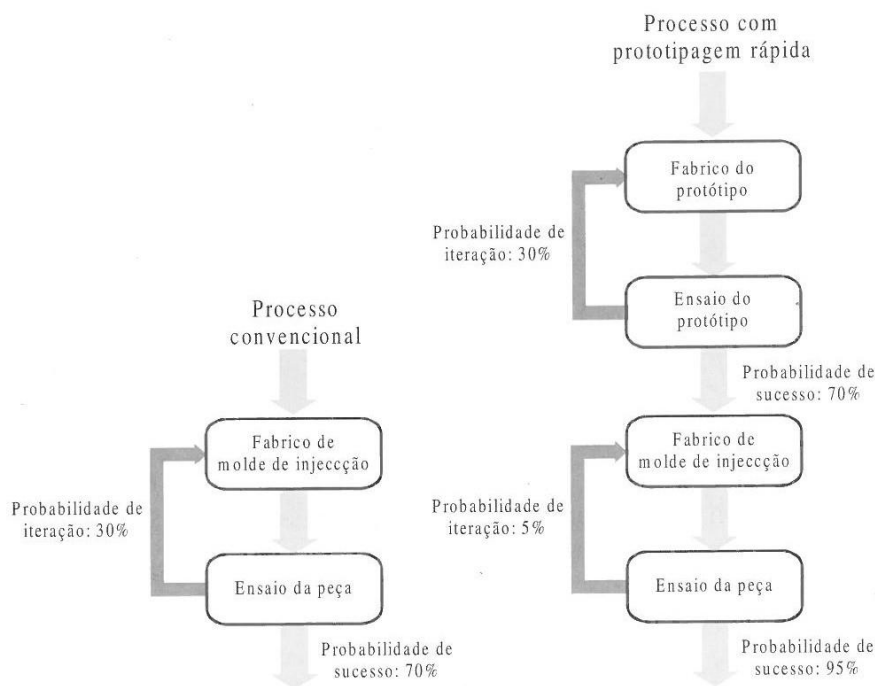


Figura 10 - Esquema da importância da prototipagem rápida na produção de novos produtos (Alves et al., 2011).

Através do esquema representado na Figura 10, é possível verificar que utilizando o processo de prototipagem rápida no desenvolvimento de um novo produto a probabilidade de sucesso é

cerca de 95%, enquanto que pelo processo convencional a probabilidade de sucesso é menor apresentando um valor de 70%.

A prototipagem através do fabrico aditivo tem vindo a desempenhar um papel fundamental na fase conceptual do projeto permitindo que o processo se torne mais rápido e económico. Os processos de fabrico aditivo são classificados em sete categorias. Estes processos diferem um dos outros em termos das técnicas utilizadas na deposição das camadas e na forma como as camadas depositadas são unidas. Estas tecnologia variam entre si em diversos parâmetros como, a velocidade de fabrico, espessura das camadas, volume de construção, diâmetro do filamento, resolução, gama de materiais, exatidão e custos (Abreu, 2015).

Existem diversas tecnologias associadas ao fabrico aditivo, tais como, estereolitografia (SLA), fabrico de objetos por camadas (LOM), modelação por extrusão de plástico (FDM), entre outras. Neste relatório será apenas abordado a tecnologia FDM devido desta possuir elevadas propriedades mecânicas em protótipos construídos em termoplásticos.

2.3.6.1 Modelação por extrusão de plástico (FDM)

O processo de FDM, produz os modelos pela adição de material em camadas, formadas pela extrusão de um material termoplástico através de um microfieira. O material termoplástico possui a forma de um fio, sendo enrolado numa bobine. A cabeça extrusora deposita o material em camadas finas, unindo-se a camada depositada à camada anterior durante a solidificação como se pode verificar na Figura 11 (Alves et al., 2011).

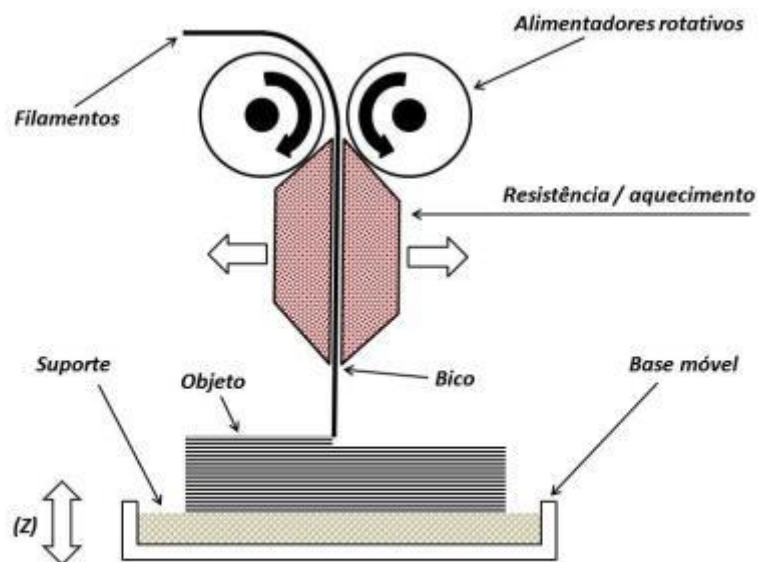


Figura 11 - Representação do esquema do processo de FDM (Castro, 2013).

Esta tecnologia permite a produção de modelos com elevada exatidão, assim como a utilização de uma grande variedade de termoplásticos. O ABS de alta resistência é um dos termoplásticos mais utilizados nesta tecnologia uma vez que, devido à sua resistência ao impacto, tenacidade, estabilidade a diferentes temperaturas, permite a realização de protótipos funcionais (Alves et al., 2011).

2.4 Constituintes mecânicos

As máquinas-ferramentas CNC possuem constituintes mecânicos, que proporcionem a máquina uma grande robustez, permitindo assim reduzir possíveis vibrações e aumentar a rigidez.

Nas secções seguintes são abordados alguns dos constituintes mecânicos presentes nas máquinas-ferramentas CNC

2.4.1 Estrutura de máquinas-ferramentas

As estruturas de máquinas-ferramentas, também conhecidas como bases de máquinas, têm como função servir de estrutura para a montagem de todos os elementos que constituirão a máquina. Os elementos podem ser as guias lineares, acionamentos, sistemas de medição e controle, sistemas hidráulicos ou pneumáticos, entre outros.

O projeto da estruturação de uma máquina-ferramenta deve ter em conta diversos fatores como a rigidez estática, rigidez dinâmica, estabilidade térmica e química, facilidade em termos da sua manipulação, acessibilidade aos componentes internos e custo (Stoeterau, 2004). Apesar de todos os fatores referidos serem importantes, cada um por motivos diferentes, a rigidez é a que se revela mais importante.

2.4.2 Considerações estáticas

A rigidez estática é caracterizada pelas deformações resultantes dos esforços aplicados sobre a máquina-ferramenta sendo as mais importantes, aquelas causadas por carregamentos fletores e torsionais. Esses carregamentos são importantes, porque deles geralmente resultam desalinhamentos e deslocamentos dos elementos, como as guias lineares, originando possíveis erros de exatidão (Stoeterau, 2004).

As deformações geradas podem ter origem no peso das partes móveis, no peso das peças de trabalho, nas forças provocadas pela maquinagem e dos gradientes térmicos.

Porém ainda é possível encontrar deformações oriundas de erros de montagens de partes da máquina, em regra geral devido a aperto excessivos dos parafusos, nivelamento incorreto, entre outros (Stoeterau, 2004).

Portanto o problema da rigidez estrutural pode variar com a escolha de uma determinada geometria da estrutura. É possível ainda atenuar a rigidez estrutural adicionando reforços à estrutura.

2.4.3 Considerações dinâmicas

Durante o funcionamento de máquinas-ferramentas são encontradas geralmente vibrações. Estas podem dar origem a ondulações nas superfícies maquinadas, sendo consequência da variação da secção de maquinagem, que gera variações na força de corte, as quais prejudicam a vida da ferramenta e da máquina (Stoeterau, 2004).

Ao longo do processo de maquinagem convencional, as vibrações encontradas podem ter origem do sistema máquina, do sistema de engrenagens, rolamentos, suportes de ferramentas subdimensionados, entre outros.

Posto isto, a vibração entre a ferramenta e a peça influencia o processo de maquinagem provocando a variação da força de maquinagem, a qual atua sobre o sistema de vibração da máquina, realimentando a vibrações entre a ferramenta e a peça o que poderá originar ao colapso do processo (Stoeterau, 2004).

A escolha das condições de corte para uma operação de maquinagem é limitada por vários fatores. Portanto as seleções das condições de corte ótimas relacionam-se com o acabamento superficial, a vida da ferramenta e o desempenho da máquina. O estudo das vibrações vem assim auxiliar a criação de regras com o intuito de escolher quais as condições de maquinagem que podem ser empregues.

O problema da rigidez dinâmica pode ser atenuado com a escolha dos materiais que constituirão a estrutura da máquina-ferramenta, com uso de dissipadores de energia e isoladores de vibrações (Stoeterau, 2004).

2.4.4 Guias lineares

As máquinas-ferramentas sempre necessitaram de elementos que possibilitassem a absorção de carregamentos e o movimento dentro de um padrão linear (Stoeterau, 2004).

As guias lineares são superfícies, ranhuras, barras prismáticas, ou cilíndricas que oferecem maior estabilidade do deslocamento, permitindo assim uma maior exatidão do posicionamento de alguma parte, ou peça, de uma máquina ou mecanismo. O uso das guias lineares permitem um posicionamento e movimento com alta exatidão e a alta velocidade (Ômicrom, 2015). As guias lineares e os patins de deslizamento de esferas são representados na Figura 12.



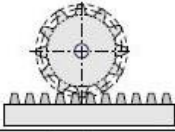
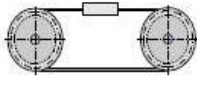
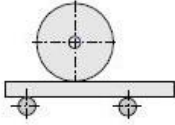
Figura 12 - Sistema de guiamento linear (Iigus, 2018).

Este tipo de equipamento é utilizado em máquinas-ferramentas e robôs industriais que requerem guias longitudinais com rolamentos em várias classes de exatidão, com capacidade de carga extremamente elevada e uma grande rigidez.

2.4.5 Elementos conversores de movimento

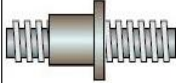
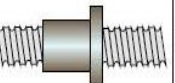
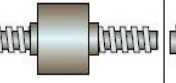
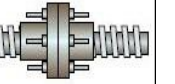
Grande parte dos acionamentos em máquinas-ferramentas são de ação rotativa, no entanto os deslocamentos sofridos quer pela peça, quer pela ferramenta são de deslocamento linear. Assim sendo, torna-se necessário converter o movimento rotativo num movimento linear. A conversão rotativo/linear é concretizado por elementos de máquinas específicos, entre as quais se podem destacar o sistema pinhão/cremalheira, fusos, polias, rodas de atrito, entre outros. Na Tabela 1 são representadas as características dos elementos de máquinas como o sistema pinhão/cremalheira, polias e rodas de atrito (Stoeterau, 2004).

Tabela 1 - Classificação dos elementos de movimento (Stoeterau, 2004).

Tipo	Pinhão / Cremalheiras	Polias	Rodas de atrito
Requisitos			
Custo	baixo	baixo	alto
Vibrações	alto	baixo	baixo
Exatidão no posicionamento	baixa	média	Muito alta
Capacidade de transmissão de forças/torque	alta	baixa	Muito baixa
Facilidade de manutenção	alta	alta	baixa
Atrito	baixo	baixo	alto
Vida útil	média	alta	baixa

Por sua vez os fusos podem ser classificados quanto a forma de atrito entre a porca e o parafuso, em fusos de escorregamento, de elemento rolantes, epicicloidais ou hidrostáticos (Stoeterau, 2004), como representado na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos vários tipos de fusos (Stoeterau, 2004).

Tipo	Fusos			
	Trapezoidais	Esferas recirculantes	Epicicloidais	Hidrostáticas
Requisitos				
Custo	baixo	médio	alto	Muito alto
Vibrações	médio	baixa	baixa	baixa
Exatidão no posicionamento	baixa	alta	alta	alta
Capacidade de transmissão de forças/torque	alta	alta	alta	alta
Facilidade de manutenção	média	média	baixa	baixa
Atrito	alto	baixo	baixo	Muito baixo
Vida útil	média	alta	alta	Muito alta

O fuso de esferas é um sistema de acionamento de alta eficiência, no qual a esfera realiza um movimento helicoidal com baixo atrito, entre o eixo do fuso e a porca.

Em comparação com o fuso trapezoidal, o fuso de esferas necessita de um terço do binário de transmissão, tornando-o mais adequado para economizar a energia de trabalho (MENDES, 2017).

Atualmente as máquinas controladas numericamente não permitem que existam folgas ou atritos excessivos nas porcas dos fusos, o que leva a que este tipo de fusos seja bastante utilizado para aplicações como máquinas-ferramentas CNC.

2.4.6 Acoplamentos

Um dos desafios no projeto de uma máquina-ferramenta de exatidão, é garantir o correto alinhamento entre um determinado eixo e o acionamento. Por mais que se utilizem técnicas de ajuste, existirá sempre a necessidade de se compensar esses desalinhamentos através do uso de acoplamentos.

Portanto, os acoplamentos tem como funções de unir eixos, transmitir movimentos e compensar desalinhamentos entre o eixo motor e o atuador (Stoeterau, 2004). Na Figura 13 é representado um exemplo de um acoplamento.



Figura 13 - Exemplo de acoplamento rígido (Stoeterau, 2004).

De acordo com finalidade pretendida, podem-se usar três tipos de acoplamentos, rígidos, elásticos e móveis.

Os acoplamentos rígidos permitem unir veios de tal forma, que funcionem como uma única peça, alinhando os dois veios de uma forma precisa (Dunbelt, 2017).

Os acoplamentos elásticos são elementos fundamentais numa transmissão de potência. Estes permitem absorver ou atenuar as irregularidades de rotação, atenuar choques e picos de binário, absorver vibrações e compensar pequenos desalinhamentos de veios (Dunbelt, 2017).

Através dos acoplamentos móveis é possível existir jogo axial dos veios. Estes transmitem movimento somente quando acionados através de um comando (Dunbelt, 2017).

Capítulo 3

Conceção e desenvolvimento de um centro de maquinagem CNC

No presente capítulo são apresentadas as etapas da evolução/desenvolvimento que o centro de maquinagem CNC sofreu ao longo da sua conceção.

3.1 Evolução do centro de maquinagem CNC

Nesta secção são apresentadas as várias etapas da conceção do centro de maquinagem CNC, recorrendo ao *software SolidWorks®*. São avaliadas as vantagens e desvantagens de cada etapa do desenvolvimento da estrutura de forma a convergir no modelo mais vantajoso.

3.1.1 Modelo 1

A primeira estrutura apresentada exhibe um sistema de movimentação em pórtico. Este modelo foi dimensionado anteriormente num projeto de licenciatura de Engenharia Mecânica com o nome “Conceção e desenvolvimento de um equipamento CNC de 3 eixos”, podendo ser consultado na biblioteca da Estig no IPB (Neves, 2017). O centro de maquinagem em questão é representado na Figura 14.

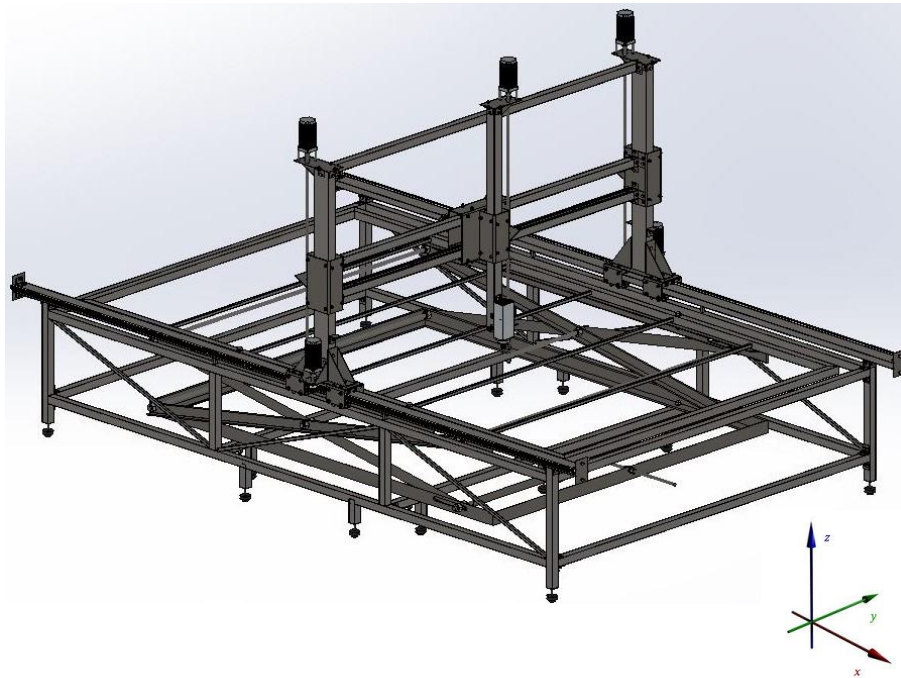


Figura 14 - Representação do modelo 1.

Este modelo foi dimensionado com intuito de se obter um centro de maquinagem de grandes dimensões incluindo a vertente de menor custo possível. Posto isto, os sistemas de movimentação foram concebidos de maneira a que pudessem ser construídos no laboratório de Tecnologia Mecânica da ESTIG. No entanto os patins de movimentação dimensionados representados na Figura 15, apresentam possíveis limitações que poderiam ser mais evidentes na fase de construção, podendo levar a um movimento com pouca exatidão e afetar a velocidade de movimentação dos pórticos, devido possíveis desalinhamentos e empenos dos mesmos.

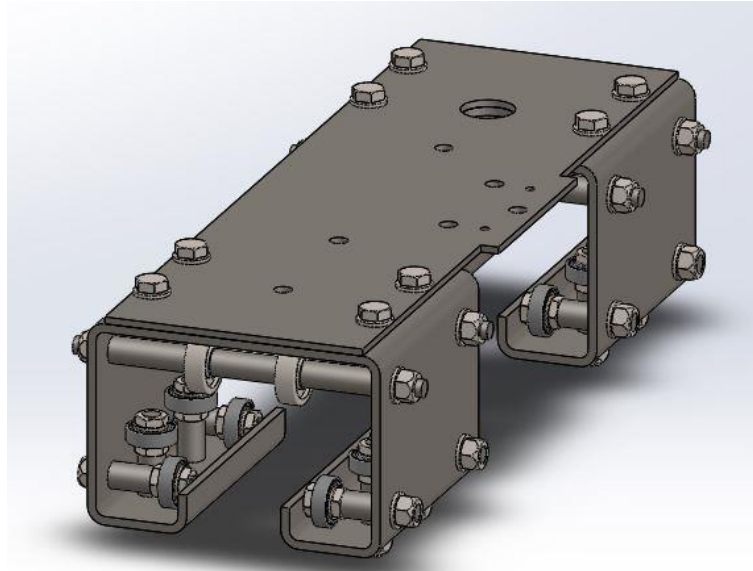


Figura 15 - Patim de deslizamento do eixo x.

Outras possíveis fontes de erro no deslocamento do pórtico, poderiam ter origem nas guias lineares, que neste caso seriam perfis tubulares de secção retangular laminados a frio. Estas guias não seriam as mais adequadas para um centro de maquinagem de exatidão, pois possuiriam alguns empenos resultantes do fabrico e do transporte dos mesmos.

3.1.2 Modelo 2

Nesta etapa, pretende-se otimizar o centro de maquinagem CNC de 3 eixos dimensionado anteriormente e transformá-lo num centro de maquinagem com um quarto eixo, bem como obter uma estrutura que ofereça maior estabilidade e maior exatidão. O modelo 2, está dividido em partes menores com arranjos geométricos simples para facilitar a maquinagem de todas as partes, bem como facilitar a montagem e o transporte da máquina. Neste modelo a utilização dos tubos laminados em aço para os sistemas de movimentação foram preteridos em relação aos perfis de alumínio normalizados devido à facilidade de montagem, flexibilidade na conjugação de vários módulos e disponibilidade no mercado de várias soluções. Posto isto, do modelo 1 foi reutilizado a estrutura base do centro de maquinagem representada na Figura 16.

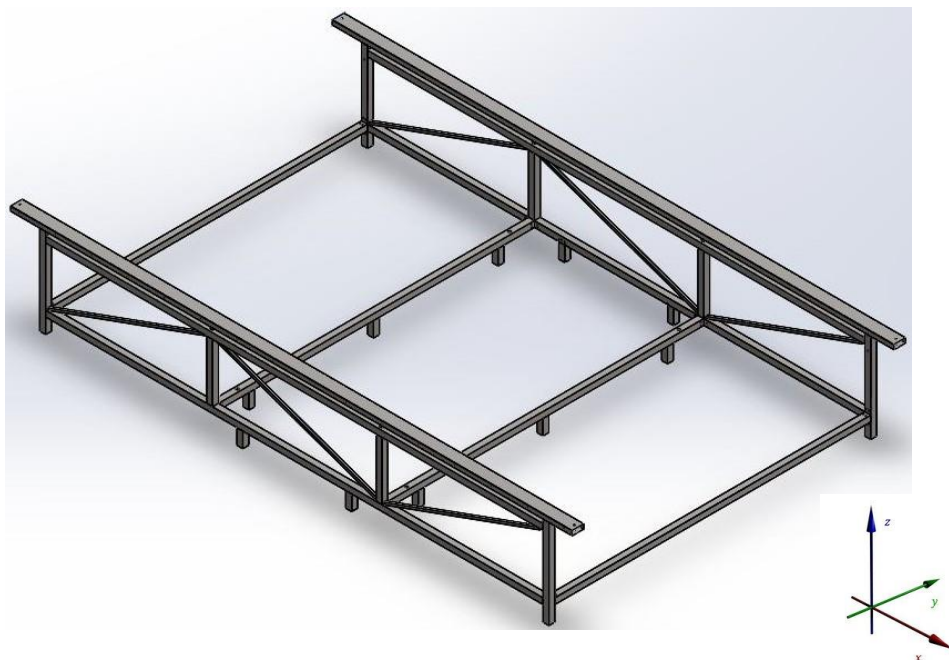


Figura 16 - Estrutura base do centro de maquinagem.

A estrutura base foi concebida recorrendo a diversos tubos de secção quadrada e retangulares com diferentes dimensões, sendo o material destes tubos o aço laminado a frio da série AISI 1020.

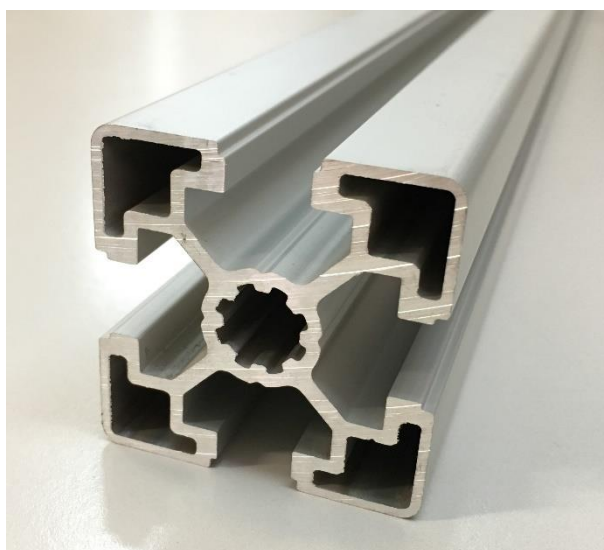


Figura 17 - Perfil Bosch Rexroth AG.

Neste modelo foram utilizados perfis de alumínio EN AW - 6060 representados na Figura 17 para a construção da estrutura de suporte dos sistemas de movimentação dos eixos X, Y e Z.

Ao invés do modelo 1 em que eram utilizados guias lineares e patins de deslizamento rudimentares, este modelo emprega guias lineares e patins de deslizamento existentes no mercado, sendo que estes permitem um posicionamento e movimento com alta exatidão e a alta velocidade.

Posto isto, na Figura 18 é apresentado o segundo modelo estudado com as características mencionadas anteriormente.

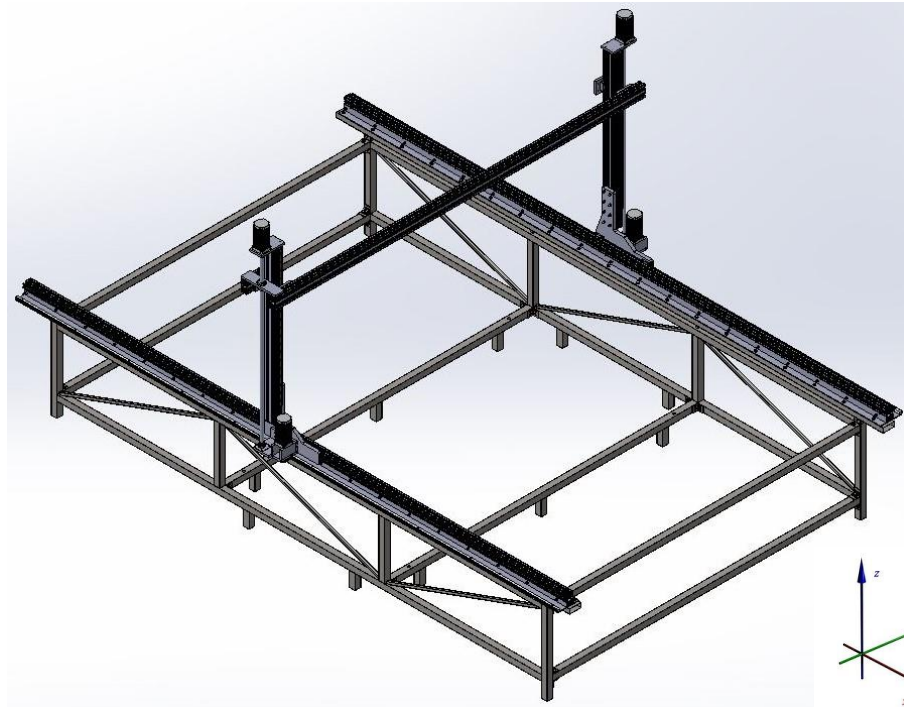


Figura 18 - Modelo 2, segundo modelo estudado.

Na Figura 18 é apresentada uma estrutura em pórtico, onde o movimento dos três eixos lineares (X, Y e Z) é garantido por sistemas de guias lineares da empresa *IGUS*. O movimento do pórtico segundo o eixo X e Y é garantido por um sistema pinhão-cremalheira acionado por motores *stepper*. O deslocamento do pórtico do eixo Z é assegurado por dois fusos de esferas, sendo estes acionados também por motores *stepper*.

O presente modelo apresenta algumas fragilidades estruturais, tais como o perfil que sustenta o sistema de movimentação do eixo Y. Posto isto, é realizado uma simulação estática recorrendo ao *software SolidWorks®*, com intuito de verificar o deslocamento máximo do perfil.

Para efetuar a simulação de um componente, é necessário aplicar uma malha previamente. A Figura 19 é facultada pelo *SolidWorks®*, possuindo todas as informações da malha aplicada.

Esta figura é referente à simulação do perfil que assegura o sistema de movimentação do eixo Y.

Mesh Details	
Study name	Static 1 (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Element size	20 mm
Tolerance	1 mm
Mesh quality	High
Total nodes	358413
Total elements	212178
Maximum Aspect Ratio	442.91
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	6.89
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	37.9
% of distorted elements (Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:05:29
Computer name	CLAUDIONEVES

Figura 19 – Representação dos parâmetros da malha aplicada.

Na simulação referente à Figura 20, o perfil com dimensões 50×100×3100 mm é encastrado nas extremidades, sendo aplicada uma força a meio vão de 400 N, alusivo ao peso do sistema de movimentação no eixo Z onde será fixado o *spindle*. O tamanho dos elementos da malha é de 20 mm.

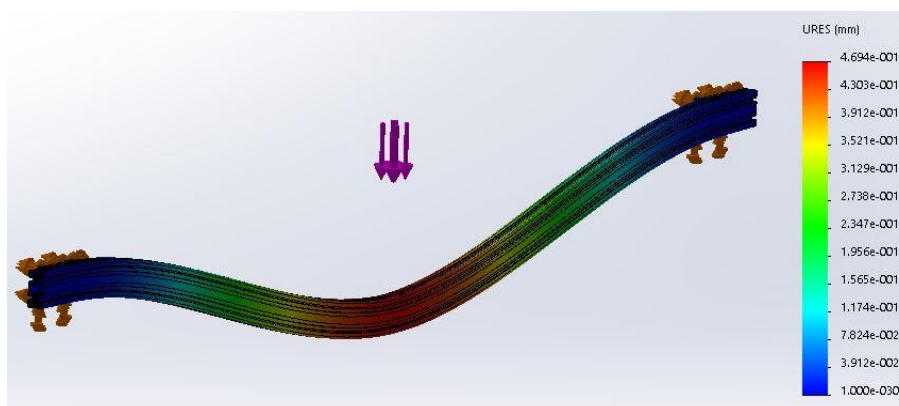


Figura 20 -Primeira simulação do deslocamento do perfil responsável pelo sistema de movimentação do eixo Y.

Posto isto, o deslocamento máximo do perfil em questão é de 0,469 mm. O valor dos deslocamentos numa dada estrutura é inversamente proporcional à exatidão desse mesmo equipamento.

3.1.3 Modelo 3

O terceiro modelo em estudo baseia-se num *upgrade* do segundo modelo. Neste modelo pretende-se reforçar a estrutura do pórtico do centro de maquinagem, substituindo os perfis de alumínio do modelo anterior, por uns perfis do mesmo material, mas com secção retangular superior com objetivo de aumentar a resistência e por sua vez diminuir os deslocamentos.

Assim, na Figura 21 é apresentada a proposta do terceiro modelo estudado.

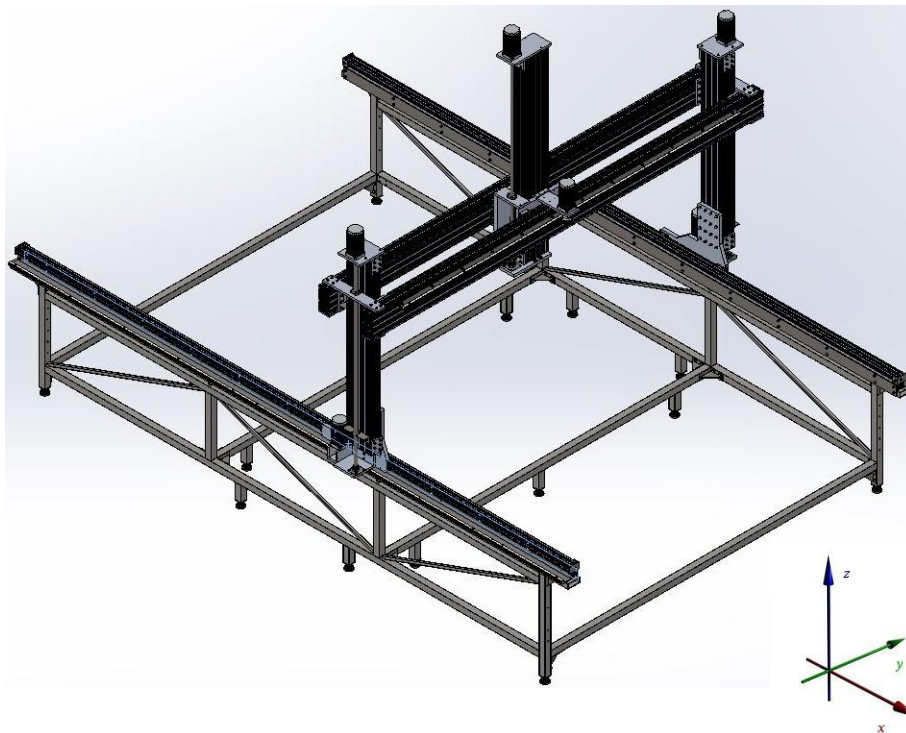


Figura 21 - Modelo 3, terceiro modelo estudado.

Neste modelo optou-se por apoiar duplamente o sistema de movimentação do *spindle* no eixo Z com dois perfis com dimensões de 180×90×3100 mm. Assim, o sistema de movimentação desloca-se no eixo Y entre os dois perfis, recorrendo a guias lineares. Posto isto, foi realizada uma simulação para analisar o deslocamento máximo desta estrutura, sendo apresentado o resultado na Figura 22.

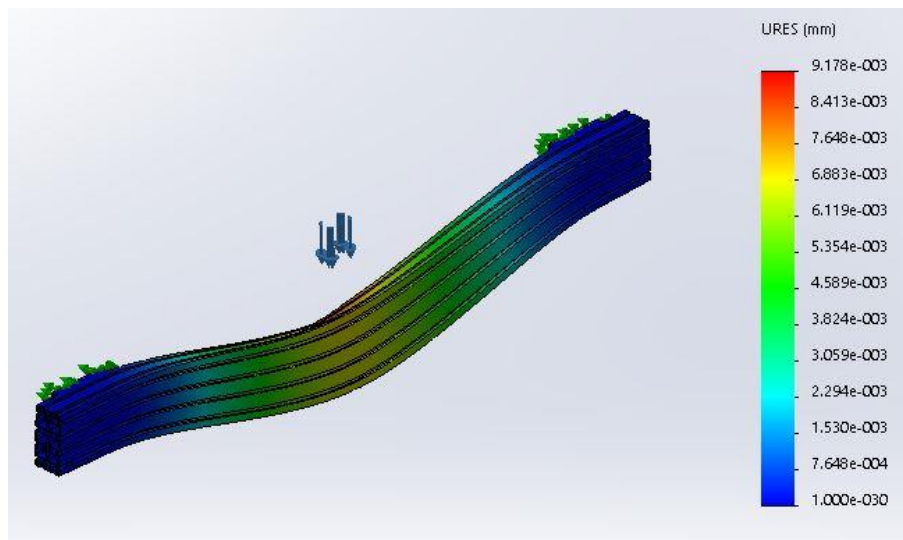


Figura 22- Segunda simulação do deslocamento do perfil responsável pelo sistema de movimentação do eixo Y.

Na presente simulação é aplicada uma força a meio vão de 200 N, representante da metade do valor do peso do sistema de movimentação no eixo Z, sendo o perfil encastrado nas extremidades. O tamanho dos elementos da malha é de 20 mm, e obteve-se um deslocamento máximo a meio vão do perfil de 0,009 mm. Este é um resultado que é mais favorável em relação ao valor obtido na simulação do segundo modelo, uma vez que este apresenta um deslocamento menor, logo maior exatidão.

3.1.4 Modelo 4

Assim, optou-se por uma estrutura semelhante ao terceiro modelo. A estrutura final encontra-se representada na Figura 23.

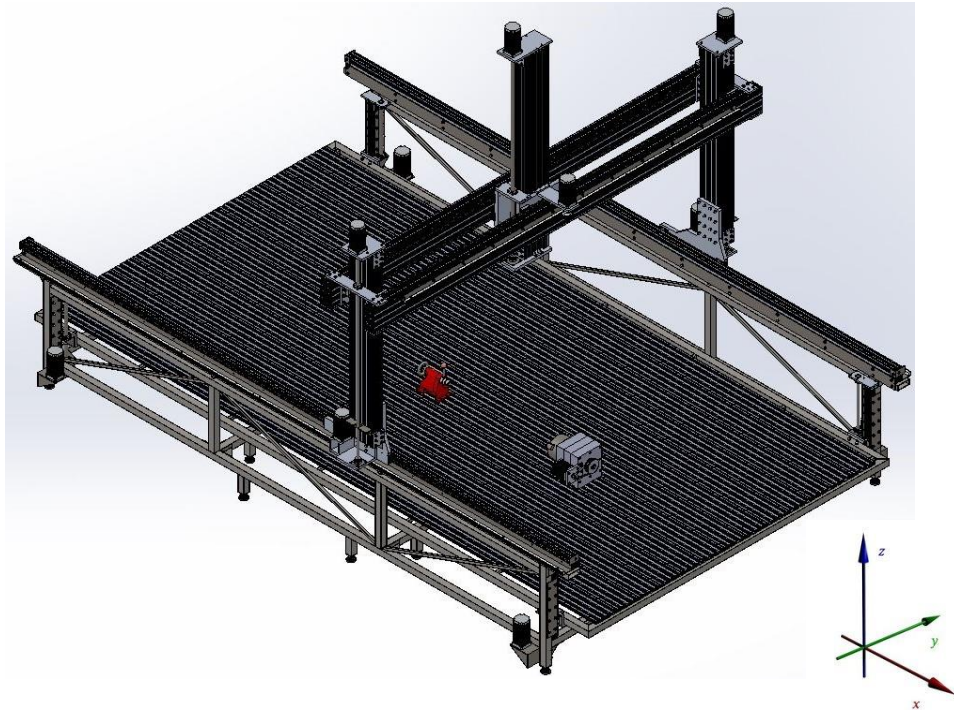


Figura 23 - Modelo 4, modelo final do centro de maquinagem.

No modelo exibido na Figura 23, estão representados todos os componentes dos sistemas de movimentação. O presente modelo possui um sistema elevatório da mesa de trabalho. A elevação da mesa é garantida por quatro motores *stepper*, sendo que o ajuste da mesa deve ser feito de acordo com a volumetria de material a maquinar e o ajuste da posição da mesma deve ser feito antes de iniciar as operações de maquinagem. Na Figura 24 é representado o sistema de elevação da mesa de trabalho.

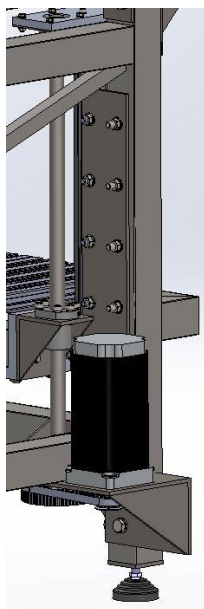


Figura 24 - Representação do sistema de elevação da mesa de trabalho.

Este centro de maquinagem além dos 3 eixos convencionais (X, Y e Z), dispõe de um quarto eixo fixado na mesa de trabalho e respetivamente de um contraponto

O dimensionamento detalhado desse modelo encontra-se no Capítulo 4.

3.1.4.1 Estudo da rigidez da estrutura que aloja o *spindle*

Os centros de maquinagem presentes no mercado possuem a capacidade de maquinar inúmeros materiais. O centro de maquinagem referente ao modelo 4 foi dimensionado para maquinar materiais macios como o poliuretano, MDF, ou outros materiais com características semelhantes a estes. Assim, o estudo da rigidez da estrutura que aloja o *spindle* irá incidir nas forças de maquinagem do material MDF.

O MDF (*medium density fiberboard*) é um material que resulta de um aglomerado de fibras de madeira com resinas sintéticas. Este possui densidades que variam entre 450 e 800 kg/m³ (Halvarsson, Edlund, & Norgen, 2008), a resistência à flexão é cerca de 40 MPa (Teng, Ding, Wang, Guo, & Cao, 2014), e as forças de corte rondam aproximadamente os 90 N (Javorek, Pastierovic, & Lalik, 2013).

Portanto, os principais objetivos das simulações realizadas à estrutura que suporta o *spindle* foram verificar a rigidez e analisar se os deslocamentos máximos comprometem de alguma forma o desempenho do centro de maquinagem. As simulações foram realizadas recorrendo ao *software SolidWorks®*, sendo que foram efetuadas em duas simulações: a primeira referente às forças de maquinagem segundo o eixo X; a segunda diz respeito às forças de maquinagem segundo o eixo Y.

Na Figura 25 é apresentada um diagrama onde são representadas as forças de maquinagem referente ao material MDF.

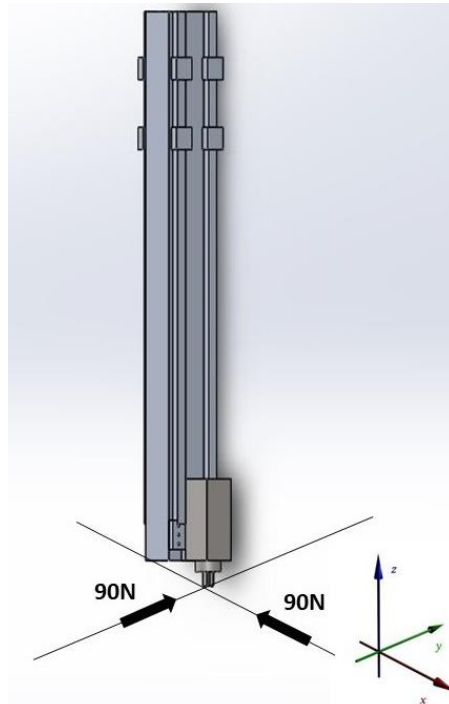


Figura 25 - Representação do diagrama de esforços da estrutura que aloja o *spindle*.

Em ambas as simulações, o perfil que aloja o *spindle*, é encastrado em 8 regiões correspondente aos patins de deslizamento.

A primeira simulação é apresentada na Figura 26.

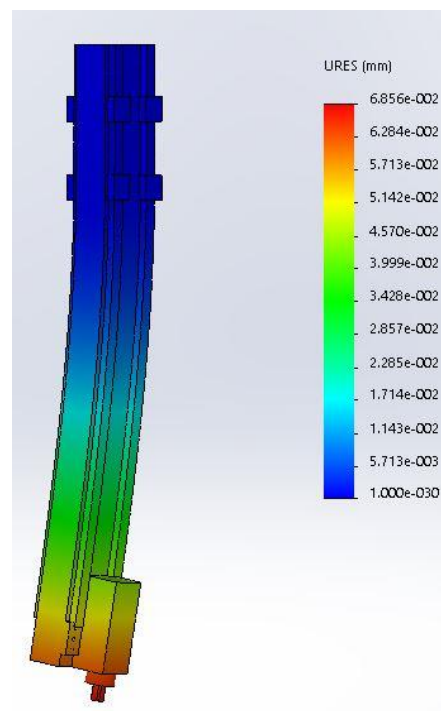


Figura 26 - Simulação da estrutura que aloja o *spindle*, com forças aplicadas segundo o eixo X.

Portanto, como referido anteriormente o perfil é encastrado próximo de uma das extremidades e a força é aplicada na ferramenta do *spindle*. Na simulação foi aplicada uma malha com elementos de 10 mm, sendo que se verificou que o deslocamento máximo neste caso é de aproximadamente 0,07 mm.

Na Figura 27, é representada a segunda simulação.

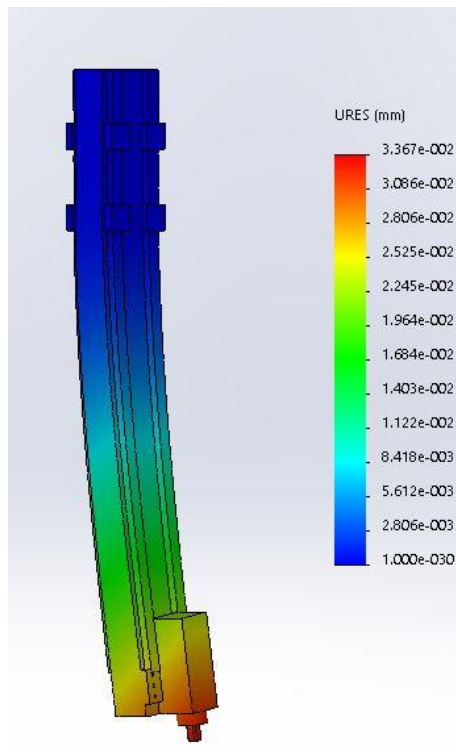


Figura 27 - Simulação da estrutura que aloja o spindle, com forças aplicadas segundo o eixo Y

Nesta simulação as condições fronteiras e a malha aplicada à estrutura são idênticas a primeira simulação. Assim, verificou-se que o deslocamento máximo neste estudo foi de aproximadamente 0,03 mm.

Capítulo 4

Dimensionamento do modelo final

Neste capítulo é denotado o dimensionamento e seleção dos componentes do modelo final do centro de maquinagem de 4 eixos, representado na Figura 28, assim como os cálculos dos esforços a que a estrutura está sujeita e ainda as velocidades a que os sistemas de movimentação linear podem operar.

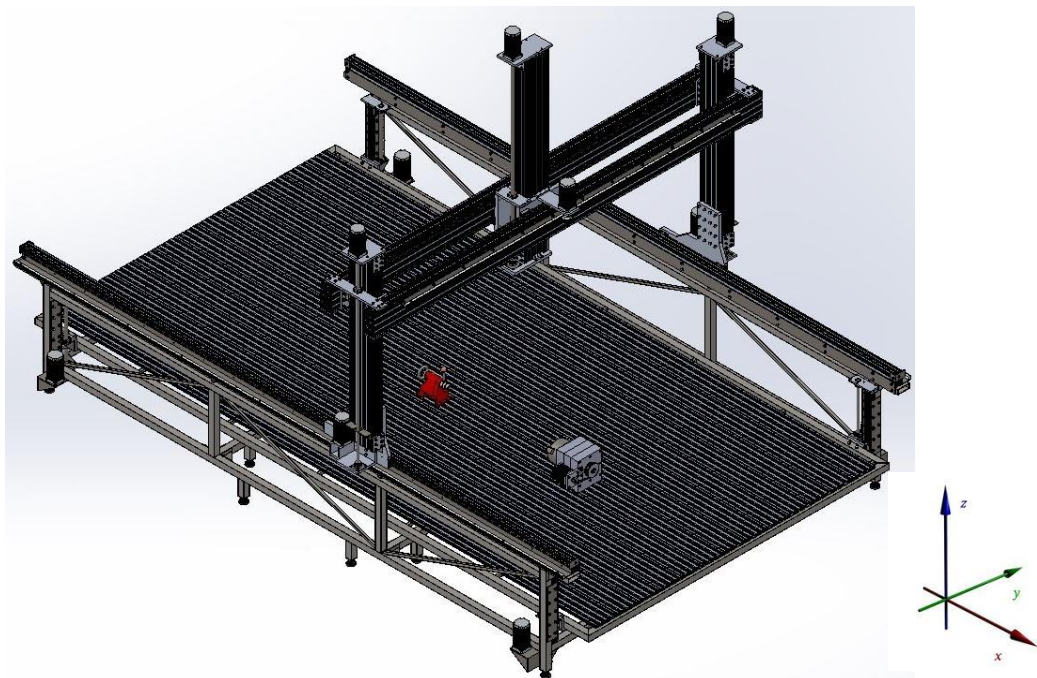


Figura 28 - Modelo final do centro de maquinagem de 4 eixos.

Ao longo deste capítulo são ainda apresentados os cálculos dos esforços a que a estrutura está sujeita e cálculos necessários ao dimensionamento do CNC e as velocidades a que os sistemas de movimentação linear podem operar. Os desenhos cotados dos componentes, os desenhos de subconjuntos e o de conjunto podem ser consultados nos Anexos.

Neste centro de maquinagem o movimento do eixo linear X, é dado por guias lineares que se encontram acopladas à estrutura base do centro de maquinagem, sendo o movimento acionado por um mecanismo pinhão-cremalheira.

O movimento do eixo Y, é concedido pelas duas guias que se encontram na horizontal do pórtico, sendo estas acionadas também através de um mecanismo pinhão-cremalheira.

O movimento no eixo Z deste centro de maquinagem é dividido em três partes, sendo o acionamento do deslocamento vertical garantido através de fusos. As duas primeiras dizem respeito ao movimento vertical da mesa de trabalho e do movimento do pórtico. O ajuste destas devem ser feitas anteriormente ao processo de maquinagem e deve ser feito de acordo com a volumetria de trabalho. A terceira parte, diz respeito ao movimento vertical da estrutura onde é alojado o *spindle*.

No presente centro de maquinagem é ainda incorporado um sistema que permite acrescentar um quarto eixo, aos eixos lineares X, Y e Z existentes, sendo este um eixo rotativo.

4.1 Seleção dos elementos para o centro de maquinagem de 4 eixos

O centro de maquinagem em questão, é constituído por diversos perfis, tubos, elementos de fixação, guias de movimentação linear, patins de deslizamento, pinhões, cremalheiras, fusos, entres outros. Nas seguintes secções são apresentados todos os componentes empregues no dimensionamento do CNC, assim como as referências das empresas que comercializam os componentes.

4.1.1 Tubos laminados a frio e elementos de fixação

Os tubos utilizados na construção da estrutura base do centro de maquinagem, foram seleccionados recorrendo ao catálogo da empresa *Portugal Alves* (Portugal Alves, 2017). As propriedades mecânicas dos tubos utilizados na construção da CNC de 4 eixos foram consultadas no catálogo da empresa *Gavex* (GAVEX Produtos Siderúrgicos S.A., 2014) e apresenta das características presentes da Figura 19.

Tabela 3 - Características mecânicas do aço laminado a frio.

Limite Elástico Re	Min. 140 MPa
Resistência à Tração Rm	Min. 270 MPa

Durante a concepção da estrutura foram selecionados diversos tubos de secção quadrada e retangular com diferentes dimensões e espessura. O perfil apresentado na Figura 29 possui uma secção retangular de 100×40 mm, com 5 mm de espessura, sendo o material deste elemento um aço laminado a frio da série AISI 1020. Os restantes tubos empregues na construção da estrutura base do centro de maquinagem, podem ser consultados nos Anexos

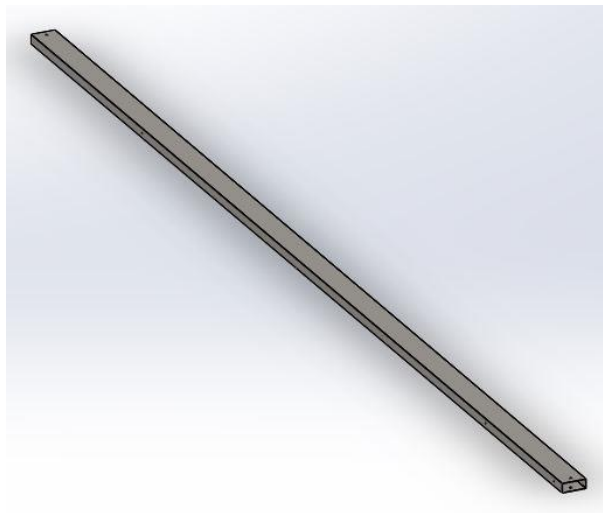


Figura 29 - Perfil de secção retangular 100x40 mm.

A estrutura base do CNC de 4 eixos é formada por diversos perfis. As duas estruturas laterais da estrutura base são soldadas como se pode se verificar na Figura 30, sendo que estas são unidas através de tubos na perpendicular com esquadros de fixação.

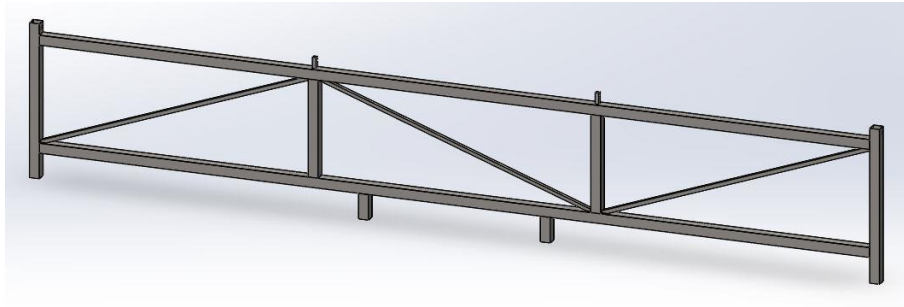


Figura 30 - Representação da estrutura lateral da CNC de 4 eixos.

Os esquadros de fixação são produzidos através de chapas de 5 mm de espessura, sendo o material da série AISI 1035 e selecionadas na empresa *Portugal Alves*. Na Figura 31 é apresentado uma representação do esquadro de fixação.

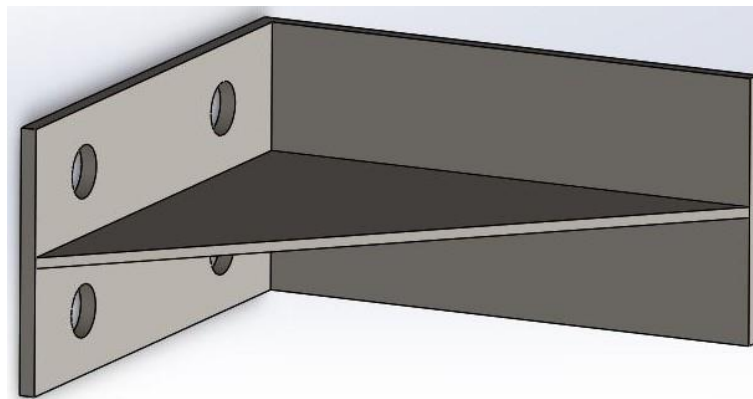


Figura 31 - Esquadro de fixação 100x100x5 mm.

O esquadro apresentado possui dimensões de 100×100×5 mm. Para produzir o esquadro de fixação é necessário cortar a chapa de 5 mm com as dimensões pretendidas, passando por um processo de furação, quinagem e soldadura. Os restantes esquadros de fixação poderão ser consultados no Anexos.

4.1.2 Perfis e elementos de fixação

Os diversos perfis, foram escolhidos recorrendo ao catálogo da empresa *Makprofile -Soluções Industriais, Lda* (Makprofile, 2018). O material que o fabricante utiliza na construção dos perfis apresenta as características presentes na Tabela 4.

Tabela 4 - Características mecânicas dos perfis.

Resistência de tração Rm	Min. 240 MPa
Limite de elasticidade Rp 0,2	Min. 190 MPa

Um dos perfis utilizados na concepção dos pórticos do centro de maquinagem de 4 eixos, é apresentado na Figura 32, possuindo uma geometria de 45×180 mm com referência 201072.

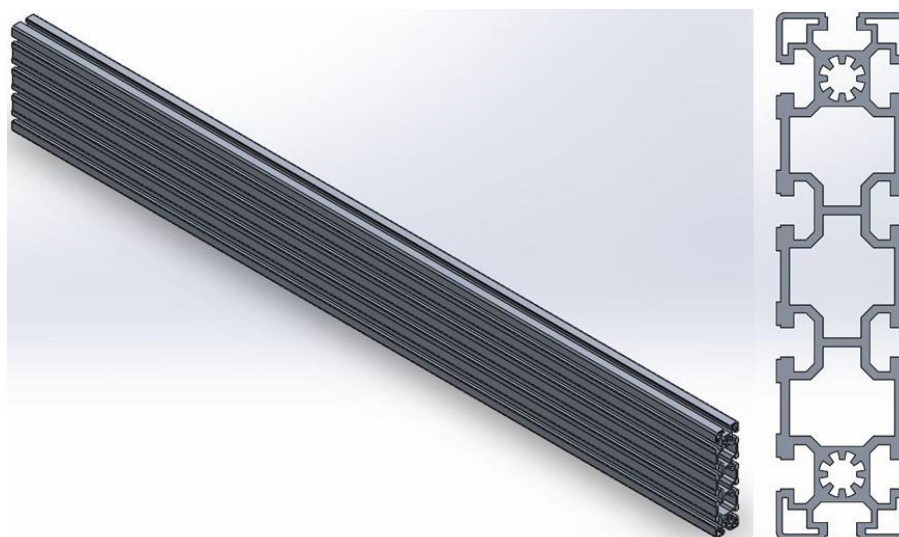


Figura 32 - Perfil 45x180, com referência 201072.

Os elementos de fixação como esquadros, e alguns elementos de ligação, como parafusos, porcas entre outros foram selecionados através do catálogo *online* da empresa *Rexroth Bosch Group* (Bosch Rexroth, n.d.). Os esquadros de fixação utilizados para ligação entre os diferentes elementos, é ilustrado na Figura 33, e possui as dimensões 40×30 mm, tendo a referência, 3842536729.

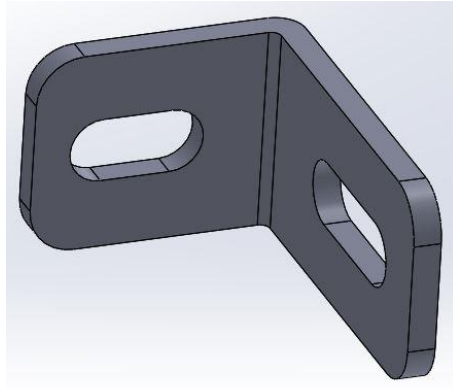


Figura 33 - Esquadro de fixação 40x30, com referência 3842536729.

Foram ainda utilizados diversos tamanhos de parafusos em T, no entanto na Figura 34 é possível visualizar um exemplo de um parafuso M6 com 25 mm de comprimento, com a referência 3842523822, sendo fabricado em aço galvanizado.

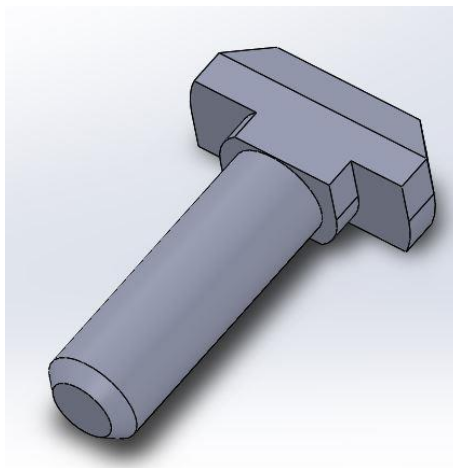


Figura 34 - Parafuso em T M6x25, com a referência 3842523922.

Algumas das porcas utilizadas na fixação de elementos como as guias lineares, foram as porcas em T da empresa *Rexroth Bosch Group* como se verifica na Figura 35, possuindo a referência 3842501753, sendo fabricado em aço galvanizado.

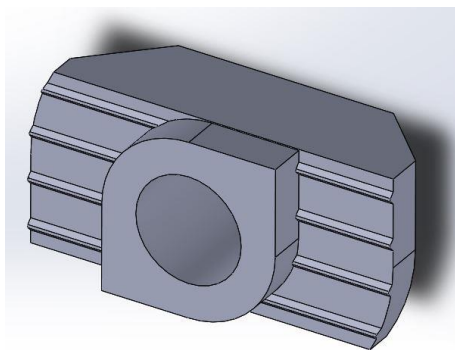


Figura 35 - Porca em T M6, com a referência 3842501753.

Na construção da mesa de trabalho foram utilizados perfis com geometria 22,5×180 representados na Figura 36.

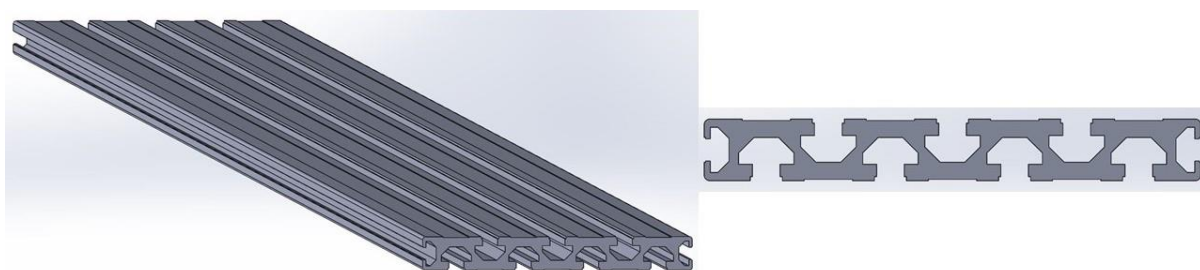


Figura 36 - Perfil 22,5x180, com a referência 3842993699.

Os perfis utilizados identificam-se com a referência 3842993699 segundo o catálogo da *Rexroth Bosch Group* e são fabricados em liga de alumínio, série AISI 6065.

4.2 Seleção das guias lineares e patins de deslizamento

Nos centros de maquinagem CNC, é essencial que exista uma transmissão precisa do movimento rotativo do motor num movimento linear. Assim sendo, as guias lineares devem possuir o mínimo de folgas, excelente rigidez e deslocamentos suaves.

As guias lineares e os respetivos patins de deslizamento, foram seleccionados através do catálogo da marca *IGUS* (Igus, 2018).

As guias lineares selecionadas, foram Drylin® T, com a referência TS-01-20, por sua vez, o patim de deslizamento tem referência TW-02-20. Na seguinte figura é representado a guia linear e o patim de deslizamento referidos anteriormente.

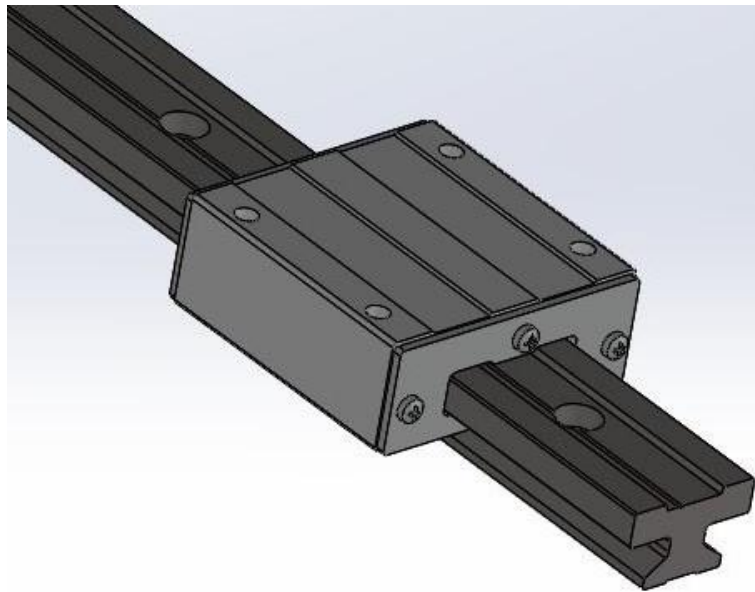


Figura 37 - Modelo da guia linear e patim de deslizamento com as referências TS-01-20 e TW-02-20.

Os sistemas de deslocamento são fabricados em aço inoxidável e permitem o deslocamento linear com uma velocidade máxima de 15 m/s.

4.3 Seleção dos fusos de esferas

Os fusos de esferas possibilitam transformar movimentos de rotação num movimento de translação. Neste projeto os fusos são utilizados no sistema de movimentação vertical no eixo Z. Um dos fatores fundamentais para a escolha do fuso é o tempo necessário para percorrer o curso útil desejado na deslocação linear mínima.

Os deslocamentos no eixo Z, como o movimento do pórtico na vertical e o ajuste da posição da mesa de trabalho são possíveis através da utilização dos fusos de esferas. Neste caso, estes apenas serão movido antes da operação de maquinagem, portanto os cálculos são efetuados para o curso útil do *spindle*.

Assim, fazendo a análise do curso útil do *spindle*, de 1000 mm, numa situação de maquinagem com a carga máxima, admite-se para efeitos de cálculo que o motor deverá funcionar a 600

rpm. Para determinar o tempo necessário para percorrer os 1000 mm foi utilizada a seguinte equação:

$$t[s] = \frac{c[mm]}{p[mm] \times n[rpm]} \times 60$$

Onde c corresponde ao curso útil, p é o passo e r é o número de rotações por minuto.

Consultando o catálogo da *National Instruments* (National Instruments, 2014) o passo mais pequeno dos motores *stepper* é de 1.8° . O deslocamento mínimo por cada passo é apresentado na seguinte equação:

$$D_{\min} [mm] = \frac{1.8 \times p[mm]}{360}$$

Na Tabela 5, são apresentados os resultados obtidos para os distintos passos do fuso de esferas.

Tabela 5 - Resultados do tempo e deslocação mínima dos fusos, de acordo com o passo.

Passo [mm]	Tempo [s]	Deslocamento mínimo [mm]
4	25,00	0,020
5	20,00	0,025
6	16,67	0,030

Através dos resultados obtidos e apresentados na Tabela 5, é possível concluir que para um fuso com passo de 4 mm o tempo para percorrer o curso útil, ou seja, 1000 mm é de 25 segundos sendo um valor elevado. O fuso de esferas com o passo de 6 mm é o que apresenta um menor tempo a percorrer o curso útil, no entanto é o que tem um maior valor para a deslocação mínima, 0,030 mm. Portanto o fuso com passo de 5 mm possibilita percorrer os 1000 mm com um tempo de 20 segundos e um deslocamento mínimo de 0,025 mm. Assim, é possível verificar que utilizando um fuso com um passo de 5 mm, obtém-se a melhor relação tempo/deslocamento.

O fuso foi seleccionado através do catálogo da empresa *PMI* (PMI Linear Motion Systems, 2015). Assim sendo, foi seleccionado um fuso de rosca trapezoidal, com diâmetro de 20 mm e

passo de 5 mm, sendo representado na Figura 38. Este componente identifica-se como 4R2005B-3000-C5.

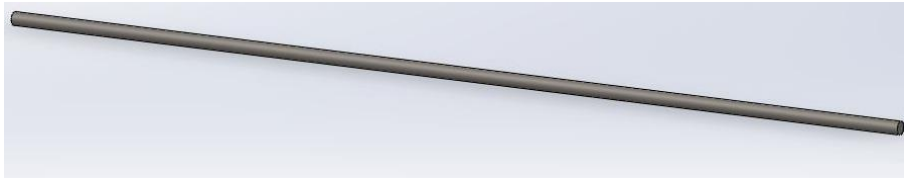


Figura 38 - Fuso de rosca trapezoidal, com referência 4R2055B-3000-C5.

A escolha da porca de rosca trapezoidal, foi efetuada de acordo com o fuso dimensionado anteriormente, apresentando a referência FSIN2005B-4.0P. A porca de rosca trapezoidal encontra-se representada na Figura 39.

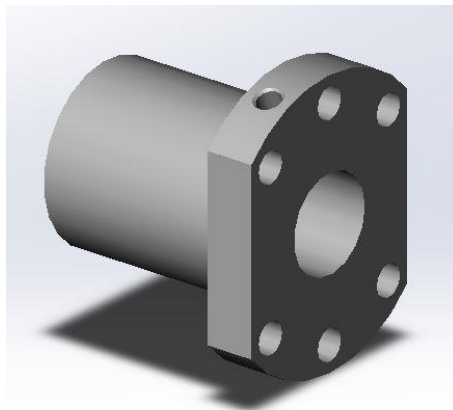


Figura 39 - Porca de rosca trapezoidal, com referência FSIN2005B-4.0P.

Após a seleção do fuso e da porca de rosca trapezoidal, é necessário definir o tipo de chumaceira. A chumaceira desempenha a função de apoio ao fuso nas extremidades. O modelo simplificado da chumaceira escolhido encontra-se representado na Figura 40.



Figura 40 - Apresentação da chumaceira selecionado, com referência ES204.

A chumaceira selecionado da empresa *SNR* (SNR, 2015) e possui a referência ES204, sendo fabricado em ferro fundido.

De modo a executar a transformar movimentos de rotação dos motores num movimento de translação através dos fusos de esferas, é necessário utilizar um acoplamento para fazer a ligação dos eixos do motor e do fuso. O acoplamento flexível selecionado do tipo L une o veio do motor stepper com 14 mm e o fuso com 20 mm de diâmetro. Para selecionar o componente com referência L075 foi consultado o catálogo da *Rolisa* (Rolisa, 2016).

4.4 Mecanismo de movimentação através do sistema pinhão-cremalheira

O deslocamento do pórtico nos eixos X e Y é garantido através de um sistema de pinhão-cremalheira. O mecanismo de movimentação consiste, no engrenamento do pinhão na cremalheira, em que esta se encontra fixa à guia de movimentação, sendo que o movimento do patim de deslizamento é acionado pelo pinhão, sendo por sua vez o pinhão acionado por um motor *stepper*.

O mecanismo mencionado anteriormente encontra-se representado na Figura 41.

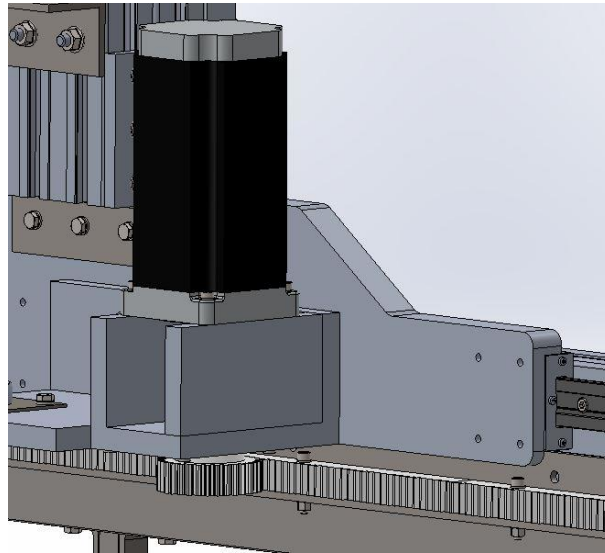


Figura 41 - Representação do mecanismo pinhão-cremalheira do eixo X.

O pinhão e a cremalheira foram selecionados recorrendo ao catálogo da empresa *Rolisa* (Rolisa, 2016). O pinhão escolhido possui 32 dentes com dentado reto, modulo 2, diâmetro externo de 68 mm, diâmetro primitivo de 64 mm, espessura de 20 mm e um furo de 14 mm. Para uma cremalheira com um comprimento de 2000 mm, apresenta 318 dentes. A cremalheira escolhida tem uma secção de quadrada de 20×20 mm.

Um dos fatores para a escolha do pinhão, foi o diâmetro máximo que poderia ser maquinado no cubo do pinhão (D_1), assim como o diâmetro externo (d_e).

Portanto, é necessário determinar a tensão de flexão no pé do dente ($\sigma_{m\acute{a}x}$). A tensão atuante no pé do dente deve ser menor ou igual à tensão admissível do material do pinhão (Equação 1). Caso isto não se comprove, haverá uma falha do material devido a um subdimensionamento (Sulato De Andrade, n.d.).

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Ft \times q \times \varphi}{b \times m} \leq \sigma_{material} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo,

$\sigma_{m\acute{a}x}$ – Tensão máxima atuante na base do dente	[N/mm ²]
Ft – Força tangencial	[N]
m – Módulo do dente	[mm]
b – Largura do dente	[mm]
φ – Fator de serviço (Tabela 7)	[adimensional]
q – Fator de forma (Tabela 6)	[adimensional]

Tabela 6 - Fator de forma (q), de engrenamento externo.

N. de dentes	10	18	24	40	80	100
q	5,2	3,5	3,2	2,9	2,6	2,5

Tabela 7 - Fator de Serviço (φ).

Aplicação	Serviço de 10h	Serviço 24h
Agitadores	1,0-1,25	1,25-1,5
Alimentadores	1,25-1,75	1,5-2,0
Bombas	1,0-1,15	1,25-1,5
Transmissões	1,0-1,25	1,25-1,5
Eq. Ind. Polpa e Papel	1,0-1,75	1,25-3,0
Eq. Conersão de Madeira	1,25-1,75	1,5-2,0

Posto isto, antes de efetuar o cálculo da tensão de flexão no pé do dente, é necessário calcular o valor da força tangencial (Ft). A carga tangencial (Equação 2) é responsável pelo movimento das engrenagens, sendo também a carga que origina o momento fletor, tendendo a romper por flexão o pé do dente (Sulato De Andrade, n.d.).

$$Ft = \frac{2 \times T}{d_0} \quad \text{(Equação 2)}$$

Sendo,

F_t – Força tangencial [N]

T – Binário [N.mm]

d_0 – diâmetro primitivo [mm]

Como a árvore do pinhão é acoplada diretamente ao eixo do motor *stepper* e desprezando as possíveis perdas encontradas no acoplamento, considera-se que o binário no pinhão é o mesmo do binário do motor *stepper*.

O binário do motor *stepper* escolhido apresenta o valor de 8,76 N.m sendo possível consultar a folha técnica nos Anexos

Assim,

$$F_t = \frac{2 \times 8760}{64}$$

$$F_t = 273,75N$$

Como o pinhão possui 32 dentes utilizando a Tabela 6 foi escolhido fator de forma (q), de engrenamento externo, calculando o valor através de uma interpolação. Através da Tabela 7 é possível selecionar o fator de serviço, neste caso 1,25 para transmissões com serviço de 10 horas.

Portanto,

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{273,75 \times 3,03 \times 1,25}{2 \times 20}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 25,92 N/mm^2$$

O material do pinhão segundo o fabricante *Rolisa* é C43 – UNI 7847, sendo o AISI 1043 um material equivalente. A tensão última deste material é de 627 MPa.

Logo,

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 25,92 MPa \leq 627 MPa$$

Como a tensão máxima atuante é inferior à tensão admissível do material, conclui-se que o pinhão cumpre os requisitos para o sistema de movimentação.

Visto que, o sistema pinhão-cremalheira foi validado, é possível calcular a velocidade de deslocamento (Equação 3) do pórtico nos eixos X e Y (Eich, 2014).

$$V_{Desl} = \frac{\pi \times d_0 \times n}{60 \times 1000 \times \cos\lambda} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo,

V_{desl} – Velocidade de deslocamento	[m/s]
d_0 – Diâmetro primitivo do pinhão	[mm]
n – Rotação do pinhão	[rpm]
λ – Angulo de hélice da engrenagem	[adimensional]

$$V_{Desl} = \frac{\pi \times 64 \times 1800}{60 \times 1000 \times \cos 20}$$

$$V_{Desl} = 6,42 \text{ m/s}$$

Assim, o valor da velocidade máxima a que o pórtico se poderá deslocar é de 6,42 m/s.

4.5 Quarto eixo do centro de maquinagem

A introdução de um quarto eixo no centro de maquinagem em questão, veio incrementar um eixo rotativo além dos 3 eixos lineares X, Y e Z. Assim, é possível maquinar peças mais complexas, portanto, o quarto eixo veio aumentar os graus de liberdade do centro de maquinagem.

O quarto eixo dimensionado encontra-se representado na Figura 42

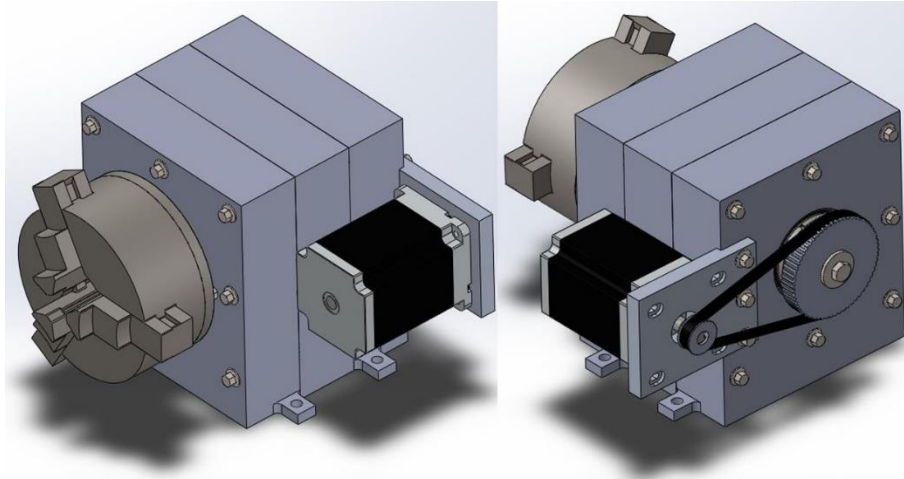


Figura 42 - Representação do mecanismo do 4º eixo.

O sistema de quarto eixo é constituído por um motor *stepper*, duas polias, uma correia dentada e uma bucha para torno e três blocos de alumínio.

O acionamento deste sistema é obtido através de um motor *stepper* que aciona a polia motora, que por sua vez aciona a polia de maior diâmetro através de uma correia dentada.

A polia motora foi selecionada no catálogo da empresa *Rolisa* (Rolisa, 2016). A polia motora escolhida com passo de 5,08 mm, tem 18 dentes, diâmetro externo 28,60 mm e espessura 14,3 mm, possuindo a referência 18 XL 037.

A polia movida foi escolhida de maneira a obter-se um fator de redução de 4:1.

Portanto a polia movida escolhida no catálogo Rolisa, detém um passo de 5,08 mm., tem 72 dentes, diâmetro externo de 115,92 mm, espessura de 14,3 mm e um furo de 10 mm de diâmetro, possuindo a referência 72 XL 037.

A correia apropriada para o sistema de quarto eixo possui 508 mm de perímetro e tem a referência 200 XL, segundo o catálogo *Rolisa*.

4.6 Seleção dos motores *stepper*

Os motores *stepper* selecionados para integrar o centro de maquinagem de 4 eixos foram selecionados com recurso a um *software* especializado da empresa *Oriental motor* (“Oriental Motor U.S.A. Corp. - Manufacturer of Motion Control Products,” n.d.), que possibilita escolher o motor *stepper* de acordo com o tipo de acionamento que este irá desempenhar.

Posto isto, é necessário fornecer todas as informações relativas às condições de funcionamento a que o motor *stepper* vai executar.

Todos os relatórios dos dimensionamentos dos motores obtidos do *software Oriental motor*, são apresentados na íntegra nos Anexos.

4.6.1 Dimensionamento do motor *stepper* do sistema de movimentação linear do eixo X

Nesta secção encontram-se as informações fornecidas pelo *software Oriental motor*, relativo ao dimensionamento do sistema de movimentação linear do eixo X e às cargas que a estrutura deverá suportar.

Load and linear guide

Total mass of loads and table $m_1 = 111.5$ [kg]
 Friction coefficient of the guide $\mu = 0.8$

Rack and pinion specifications

Rack mass $m_2 = 12.880$ [kg/pc]
 Pinion pitch diameter $D_P = 6.2832$ [mm]
 Pinion mass $m_P =$ [kg/pc]
 Pinion thickness $L_P = 20$ [mm]
 Pinion material Steel $\rho_P = 7900$ [kg/m³]
 System efficiency $\eta = 70$ [%]

External force

$F_A = 150$ [N]

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	$D_{P1} =$ [mm]	$D_{P2} =$ [mm]
mass	$m_{P1} =$ [kg]	$m_{P2} =$ [kg]
thickness	$L_{P1} =$ [mm]	$L_{P2} =$ [mm]
material	$\rho_{P1} =$ [kg/m ³]	$\rho_{P2} =$ [kg/m ³]

Mechanism Placement

Mechanism angle $\alpha = 0$ [°]

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO
 Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation

Operating speed	$V_1 = 1$ [mm/s]
	$V_2 = 200$ [mm/s]
Acceleration / deceleration time	$t_1 =$ [s]
Specified speed	$V =$ [mm/s]

Stopping accuracy

Stopping accuracy $\Delta l = 0.1$ [mm]

Safety factor

Safety factor S-F = 1.5

A massa m_1 corresponde a metade do peso do pórtico, uma vez que o pórtico é deslocado por dois motores *stepper*.

Após a obtenção do relatório fornecido pelo *software Oriental motor*, é possível verificar que o binário exigido é de 6,928 N.m. O valor do binário obtido inclui um fator de segurança de 1,5 de maneira a garantir o correto funcionamento do motor *stepper*.

Através da consulta do catálogo da *National Instruments* (National Instruments, 2014) concluiu-se que para efetuar a movimentação do sistema de movimentação linear do eixo X é necessário utilizar um motor *stepper* da gama dos motores Nema 34 ST34-5.

A relação entre o binário [N.m]/velocidade[rps] de um motor Nema 34 ST34-5 é representada na Figura 43.

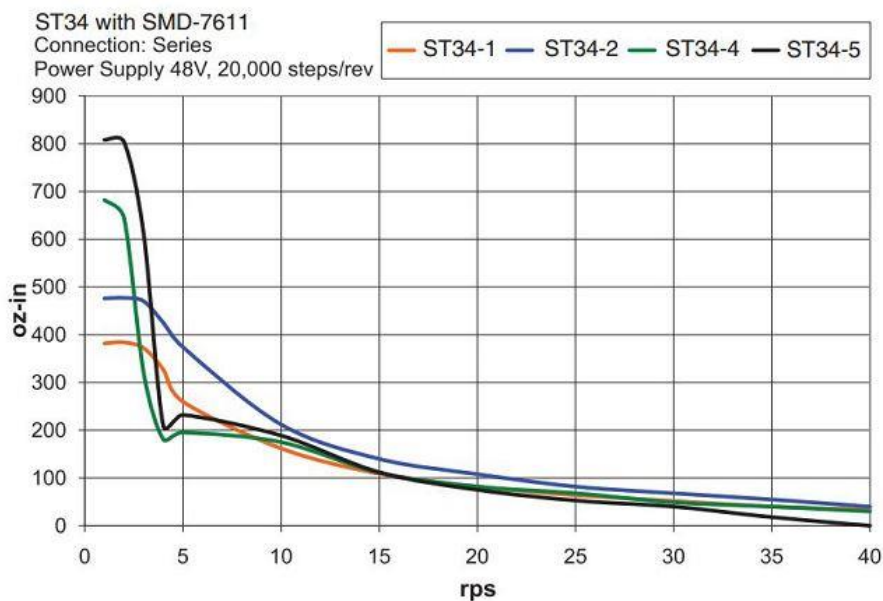


Figura 43 - Relação binário/velocidade do motor Nema 34 ST34-5.

4.6.2 Dimensionamento do motor *stepper* do sistema de movimentação linear do eixo Y

Na presente secção encontram-se as informações geradas pelo *software Oriental motor*, relativo ao dimensionamento do sistema de movimentação linear do eixo Y e às cargas que a estrutura deverá suportar.

Load and linear guide

Total mass of loads and table $m_1 = 60$ [kg]
 Friction coefficient of the guide $\mu = 0.8$

Rack and pinion specifications

Rack mass $m_2 = 7.8$ [kg/pc]
 Pinion pitch diameter $D_p = 6.2832$ [mm]
 Pinion mass $m_p =$ [kg/pc]
 Pinion thickness $L_p = 20$ [mm]
 Pinion material Steel $\rho_p = 7800$ [kg/m³]
 System efficiency $\eta = 70$ [%]

External force

$F_A = 150$ [N]

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	$D_{p1} =$ [mm]	$D_{p2} =$ [mm]
mass	$m_{p1} =$ [kg]	$m_{p2} =$ [kg]
thickness	$L_{p1} =$ [mm]	$L_{p2} =$ [mm]
material	$\rho_{p1} =$ [kg/m ³]	$\rho_{p2} =$ [kg/m ³]

Mechanism Placement

Mechanism angle $\alpha = 0$ [°]

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO
 Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation	Operating speed	$V_1 = 1$ [mm/s]
		$V_2 = 200$ [mm/s]
	Acceleration / deceleration time	$t_1 =$ [s]
	Specified speed	$V =$ [mm/s]

Stopping accuracy

Stopping accuracy $\Delta l = 0.1$ [mm]

Safety factor

Safety factor S-F = 1.5

A massa m_1 corresponde ao peso a deslocar pelo motor do sistema de movimentação do eixo Y.

Através do relatório fornecido pelo *software Oriental motor*, é possível verificar que o binário exigido é de 3,943 N.m. O valor do binário obtido inclui um fator de segurança de 1,5 de maneira a garantir o correto funcionamento do motor *stepper*.

Após a consulta do catálogo da *National Instruments* (National Instruments, 2014) concluiu-se que para efetuar a movimentação do sistema de movimentação linear do eixo Y é necessário utilizar um motor *stepper* da gama dos motores Nema 34 ST34-4.

A relação entre o binário [N.m]/velocidade[rps] de um motor Nema 34 ST34-4 é representada na Figura 44.

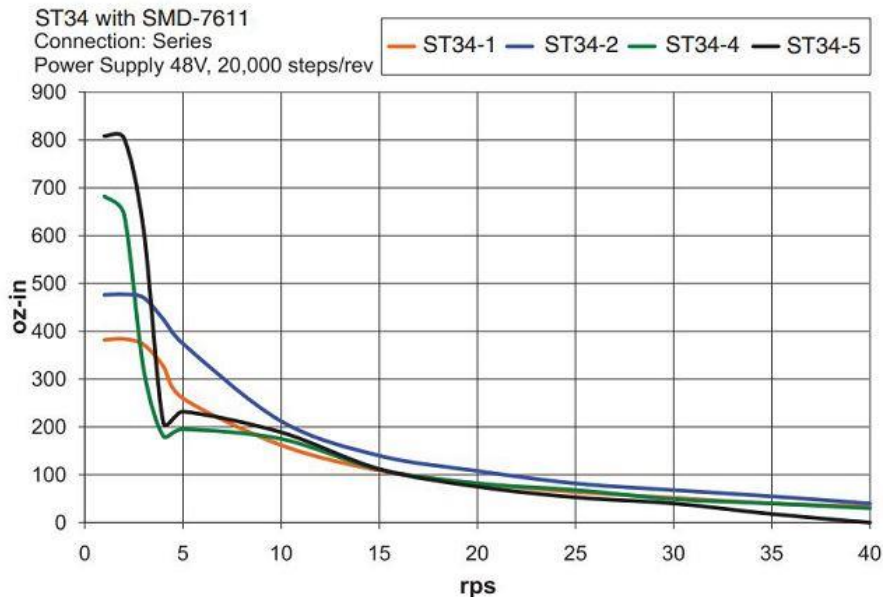


Figura 44 - Relação binário/velocidade do motor Nema 34 ST34-4.

4.6.3 Dimensionamento do motor *stepper* do sistema de movimentação linear do pórtico no eixo Z

No decorrer a presente secção é apresentado o relatório fornecido pelo *software Oriental motor*, relativo ao dimensionamento do sistema de movimentação linear do eixo do pórtico Z, assim como as cargas que a estrutura deverá suportar.

Load and linear guide

Total mass of loads and table

m = 87.25 [kg]

Friction coefficient of the guide

μ = 1

Ball/Lead screw specifications

Diameter	$D_B = 20$ [mm]
Total length	$L_B = 1500$ [mm]
Lead (pitch)	$P_B = 5$ [mm/rev]
Efficiency	$\eta = 80$ [%]
Material	Steel $\rho = 7900$ [kg/m ³]
Breakaway torque of the screw	$T_B = 1$ [N·m]

External force

$$F_A = 150 \text{ [N]}$$

Mechanism Placement

$$\text{Mechanism angle } \alpha = 0 \text{ [}^\circ\text{]}$$

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO

Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation	Operating speed	$V_1 = 1$ [mm/s]
		$V_2 = 150$ [mm/s]
	Acceleration / deceleration time	$t_1 = 1$ [s]

Stopping accuracy

$$\text{Stopping accuracy } \Delta l = 0.1 \text{ [mm]}$$

Safety factor

Safety factor

S-F = 1.5

A massa m diz respeito a metade do peso do sistema de movimentação do eixo Y, visto que o deslocamento no eixo Z é garantido por dois motores *stepper*.

Após a obtenção do relatório fornecido pelo *software Oriental motor*, é possível verificar que o binário exigido é de 3,268 N.m. O valor do binário obtido inclui um fator de segurança de 1,5 de maneira a garantir o correto funcionamento do motor *stepper*.

Após a consulta do catálogo da *National Instruments* (National Instruments, 2014) verifica-se que para efetuar a movimentação do sistema de movimentação linear do eixo do pórtico Z é necessário utilizar um motor *stepper* da gama dos motores Nema 34 ST34-2.

A relação entre o binário [N.m]/velocidade[rps] de um motor Nema 34 ST34-2 é representada na Figura 45.

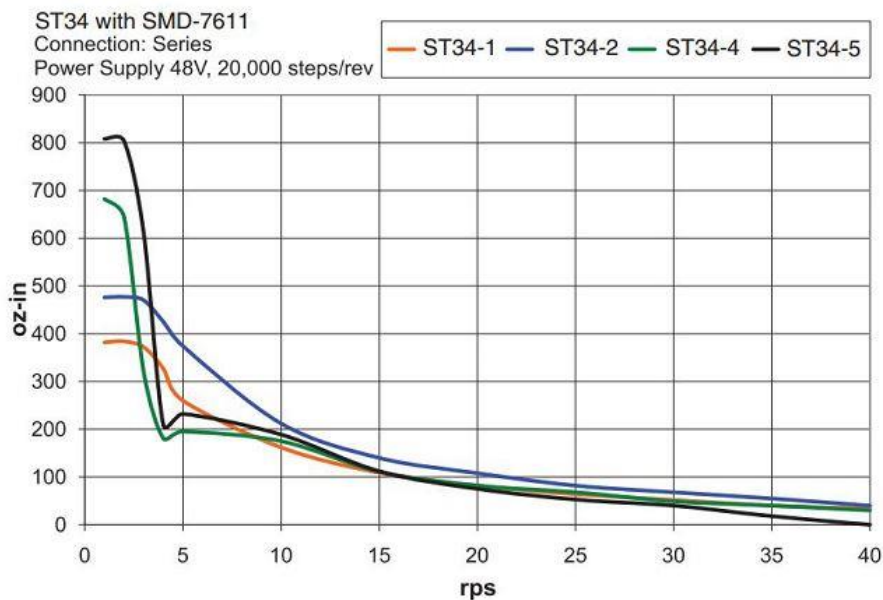


Figura 45 - Relação binário/velocidade do motor Nema 34 ST34-2.

4.6.4 Dimensionamento do motor *stepper* do sistema de movimentação linear do *spindle* no eixo Z

Nesta secção é apresentado o relatório fornecido pelo *software Oriental motor*, relativo ao dimensionamento do sistema de movimentação linear do eixo do *spindle* no eixo Z, assim como as cargas que a estrutura deverá suportar.

Load and linear guide

Total mass of loads and table $m = 40.7$ [kg]

Friction coefficient of the guide $\mu = 1$

Ball/Lead screw specifications

Diameter $D_B = 20$ [mm]

Total length $L_B = 1450$ [mm]

Lead (pitch) $P_B = 5$ [mm/rev]

Efficiency $\eta = 80$ [%]

Material Steel $\rho = 7900$ [kg/m³]

Breakaway torque of the screw $T_B = 1$ [N·m]

External force

$F_A = 150$ [N]

Mechanism Placement

Mechanism angle $\alpha = 0$ [°]

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO

Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation

Operating speed

$$V_1 = 1 \text{ [mm/s]}$$

$$V_2 = 150 \text{ [mm/s]}$$

Acceleration / deceleration time

$$t_1 = 1 \text{ [s]}$$

Stopping accuracy

Stopping accuracy

$$\Delta l = 0.1 \text{ [mm]}$$

Safety factor

Safety factor

$$S-F = 1.5$$

A massa m corresponde ao peso sistema de movimentação linear do eixo do *spindle* no eixo Z . Portanto, é possível verificar que o binário exigido é de 2,834 N.m. O valor do binário obtido inclui um fator de segurança de 1,5 de maneira a garantir o correto funcionamento do motor *stepper*.

Após a consulta do catálogo da *National Instruments* (National Instruments, 2014) verifica-se que para efetuar a movimentação do sistema de movimentação linear do eixo do pórtico Z é necessário utilizar um motor *stepper* da gama dos motores Nema 34 ST34-2.

A relação entre o binário [N.m]/velocidade[rps] de um motor Nema 34 ST34-2 é representada na .Figura 45

4.6.5 Dimensionamento do motor *stepper* do sistema de movimentação da mesa de trabalho no eixo Z

Nesta secção é apresentada o relatório fornecido pelo *software Oriental motor*, relativo ao dimensionamento do sistema de movimentação da mesa de trabalho no eixo Z , assim como as cargas que a estrutura deverá suportar.

Load and linear guide

Total mass of loads and table

$$m = \underline{250} \text{ [kg]}$$

Friction coefficient of the guide

$$\mu = \underline{1}$$

Ball/Lead screw specifications

Diameter

$$D_B = \underline{20} \text{ [mm]}$$

Total length

$$L_B = \underline{500} \text{ [mm]}$$

Lead (pitch)

$$P_B = \underline{5} \text{ [mm/rev]}$$

Efficiency

$$\eta = \underline{80} \text{ [%]}$$

Material

Steel

$$\rho = \underline{7900} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Breakaway torque of the screw

$$T_B = \underline{1} \text{ [N}\cdot\text{m]}$$

External force

$$F_A = \underline{150} \text{ [N]}$$

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	$D_{p1} = \underline{32.34} \text{ [mm]}$	$D_{p2} = \underline{97.02} \text{ [mm]}$
mass	$m_{p1} = \underline{0.05} \text{ [kg]}$	$m_{p2} = \underline{0.22} \text{ [kg]}$
thickness	$L_{p1} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ [mm]}$	$L_{p2} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ [mm]}$
material	$\rho = \underline{\quad\quad\quad} \text{ [kg/m}^3\text{]}$	$\rho = \underline{\quad\quad\quad} \text{ [kg/m}^3\text{]}$

External force

$$F_A = \underline{150} \text{ [N]}$$

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	$D_{p1} = \underline{32.34} \text{ [mm]}$	$D_{p2} = \underline{97.02} \text{ [mm]}$
mass	$m_{p1} = \underline{0.05} \text{ [kg]}$	$m_{p2} = \underline{0.22} \text{ [kg]}$
thickness	$L_{p1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [mm]}$	$L_{p2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [mm]}$
material	$\rho = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $\underline{\hspace{2cm}}$	$\rho = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$ $\underline{\hspace{2cm}}$

Mechanism Placement

Mechanism angle $\alpha = \underline{0} \text{ [}^\circ\text{]}$

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? $\rightarrow \underline{\text{NO}}$

Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? $\rightarrow \underline{\text{YES}}$

Operating conditions

Variable speed operation Operating speed $V_1 = \underline{1} \text{ [mm/s]}$

$V_2 = \underline{50} \text{ [mm/s]}$

Acceleration / deceleration time $t_1 = \underline{1} \text{ [s]}$

Stopping accuracy

Stopping accuracy $\Delta l = \underline{0.1} \text{ [mm]}$

Safety factor

Safety factor S-F = $\underline{1.5}$

A massa m corresponde a um quarto do peso máximo do material a maquinar.

Portanto, é possível verificar que o binário exigido é de 2,064 N.m. O valor do binário obtido inclui um fator de segurança de 1,5 de maneira a garantir o correto funcionamento do motor *stepper*.

Após consultar do catálogo da *National Instruments* (National Instruments, 2014) comprova-se que para efetuar a movimentação da mesa de trabalho no eixo Z é necessário utilizar um motor *stepper* da gama dos motores Nema 23 ST23-8.

A relação entre o binário [N.m]/velocidade[rps] de um motor Nema 23 ST23-8 é representada na Figura 46.

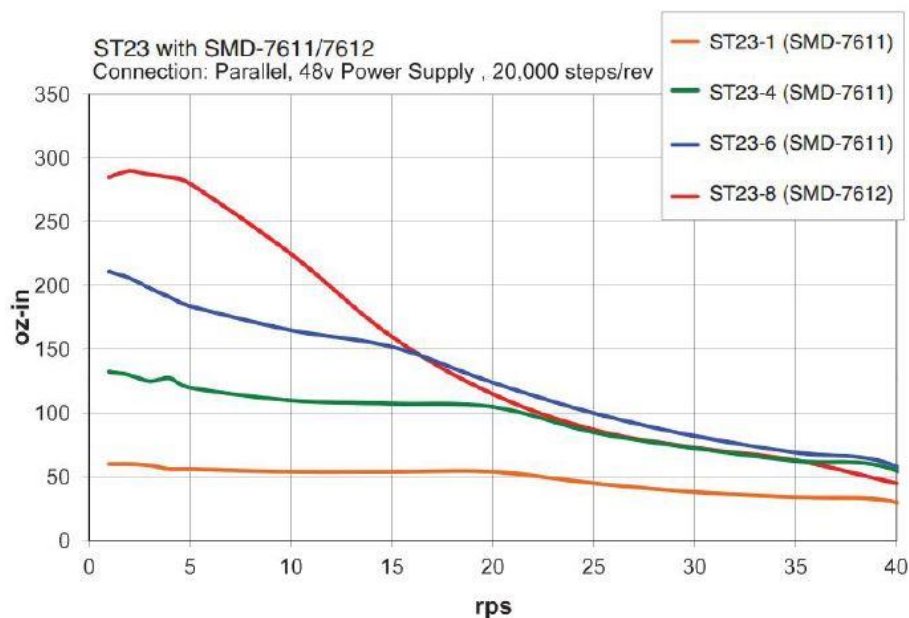


Figura 46 - Relação binário/velocidade do motor Nema 23 ST23-8.

4.6.6 Dimensionamento do motor *stepper* do quarto eixo

Na presente secção é apresentada o relatório fornecido pelo *software Oriental motor*, relativo ao dimensionamento do motor *stepper* do quarto eixo

Table shape and dimensions

Table type = Round Table

Diameter D = 160 [mm]

Width A = _____ [mm]

Depth $B =$ _____ [mm]

Mass $m =$ 10.274 [kg]

Thickness $t =$ _____ [mm]

Material _____ $\rho =$ _____ [kg/m³]

Drive shaft dimension

Shaft diameter $D_2 =$ 60 [mm]

Shaft mass $m_2 =$ 6 [kg]

Shaft length $L =$ _____ [mm]

Shaft material _____ $\rho_2 =$ _____ [kg/m³]

Load shape and dimensions

Load type Cylinder type

Diameter $D_1 =$ 40 [mm]

Width $A_1 =$ _____ [mm]

Depth $B_1 =$ _____ [mm]

Distance from the table center to the load center $r =$ 0 [mm]

Number of loads $n =$ 1 pc

Load mass $m_1 =$ 10 [kg]

Load height $h_1 =$ _____ [mm]

Load material _____ $\rho_1 =$ _____ [kg/m³]

Table support

Friction coefficient between the table and the supporting mechanism $\mu =$ 0.8

Distance from the table center to the supporting mechanism $l =$ 20 [mm]

System efficiency $\eta =$ 80 %

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	$D_{p1} =$ <u>29.11</u> [mm]	$D_{p2} =$ <u>116.42</u> [mm]
mass	$m_{p1} =$ _____ [kg]	$m_{p2} =$ _____ [kg]
thickness	$L_{p1} =$ <u>14.3</u> [mm]	$L_{p2} =$ <u>14.3</u> [mm]
material	$\rho_{p1} =$ <u>7900</u> [kg/m ³] <u>Steel</u>	$\rho_{p2} =$ <u>7900</u> [kg/m ³] <u>Steel</u>

Mechanism Condition

Mechanism Condition Horizontal operation

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO

Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation

Operating speed

$V_1 = 1$ [r/min]

$V_2 = 20$ [r/min]

Acceleration / deceleration time

$t_1 = 1$ [s]

Stopping accuracy

Stopping accuracy

$\pm \Delta\theta = 0.1$ °

$\pm \Delta l =$ [mm]

Safety factor

Safety factor

S-F = 1.5

Após verificar os resultados do *software*, é possível verificar que o binário exigido é de 1,522 N.m. O valor do binário obtido inclui um fator de segurança de 1,5 de maneira a garantir o correto funcionamento do motor *stepper*.

Após consultar do catálogo da *National Instruments* (National Instruments, 2014) comprova-se que para um correto funcionamento do quarto eixo, é necessário utilizar um motor *stepper* da gama dos motores Nema 23 ST23-6.

Posto isto, na Figura 47 é apresentada a relação entre o binário [N.m]/velocidade[rps] de um motor Nema 23 ST23-6.

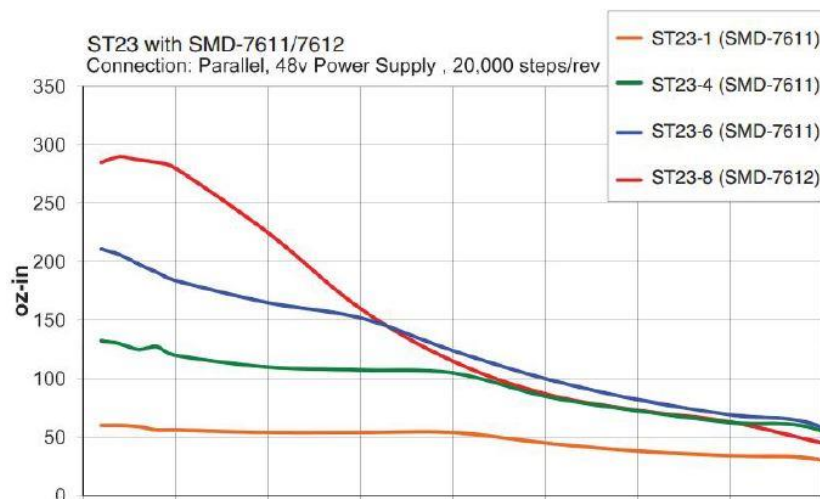


Figura 47 - Relação binário/velocidade do motor Nema 23 ST23-6.

4.7 Verificação de alguns elementos críticos do CNC de 4 eixos

Na presente secção são apresentados os resultados das simulações estáticas efetuadas com recurso ao *software SolidWorks®* de alguns componentes considerados críticos do CNC multifunções de 4 eixos. As simulações permitem validar a resistência dos componentes empregues na construção do CNC. Na eventualidade de o componente não apresentar valores de deslocamento aceitáveis, deve-se optar por reforçar a estrutura do mesmo ou até mesmo, seleccionar outro componente que desempenhe funções idênticas.

Em todos componentes apresentados nesta secção, foram aplicadas malhas nos processos das simulações com elementos de 3 mm.

4.7.1 Bracket

O elemento *Bracket* permite fazer a ligação entre as duas estruturas laterais do CNC de 4 eixos e os perfis perpendiculares a estas. O elemento em questão apresenta um formato em “L”, possuindo uma secção de 100×100×50, com 3 mm de espessura, sendo que o material atribuído foi o aço AISI 1020. Este componente suporta o peso da mesa de trabalho, assim como, a volumetria máxima de material (MDF) que se poderia maquinar no centro de maquinagem.

A zona de encastramento do componente, corresponde aos 4 furos do elemento, a força é aplicada no topo do elemento e apresenta um valor de 2917 N o que representa 1/12 do peso total da mesa de trabalho e da volumetria máxima de material a maquinar.

Na Figura 48 é apresentado os resultados da simulação.

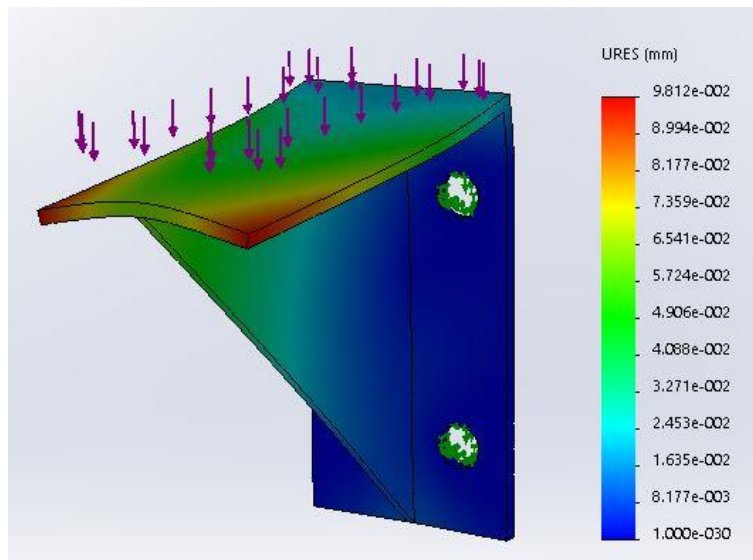


Figura 48 - Simulação referente ao Bracket.

Posto isto, é possível verificar que o deslocamento máximo do *Bracket* é de aproximadamente 0,10 mm.

4.7.2 Estrutura responsável pela movimentação do pórtico no eixo X

O componente apresentado nesta subsecção é responsável por garantir o deslocamento do pórtico no eixo X. O material atribuído a este componente foi a liga de alumínio AISI 6061.

Este componente é encastrado em duas partes, correspondendo essas partes com a fixação deste elemento aos patins de deslizamento. As forças aplicadas à estrutura dizem respeito ao peso do pórtico. Como o pórtico é encastrado em duas estruturas, o peso que cada uma deverá suportar é de 960 N.

O resultado da simulação é representado na Figura 49.

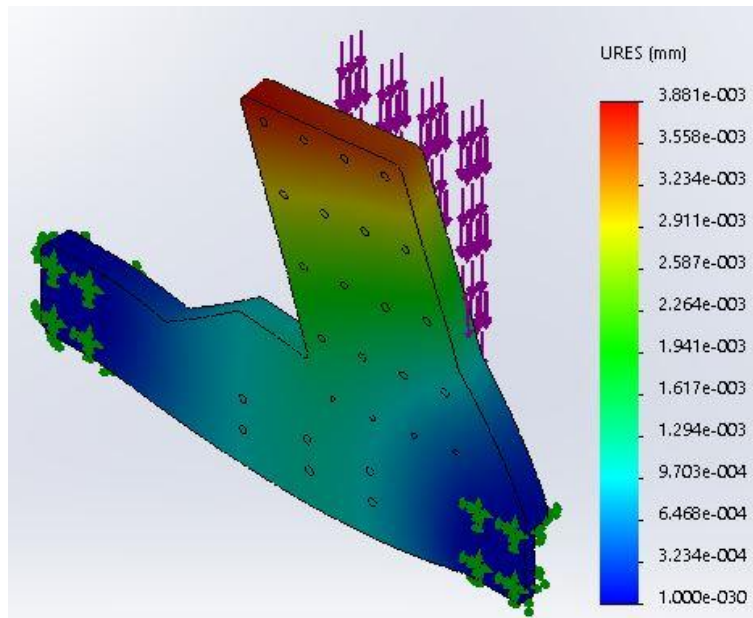


Figura 49 – Simulação referente à estrutura responsável pela movimentação do pórtilco no eixo X.

Portanto, é possível através da simulação efetuada anteriormente verificar que o deslocamento máximo da estrutura é aproximadamente de 0,004 mm.

4.7.3 Suporte da mesa de trabalho

O suporte representado na Figura 50 tem a função de suportar a mesa de trabalho. O presente componente é encastrado nos quatros furos onde posteriormente é fixo no patim de deslizamento. A força é aplicada na base do elemento e apresenta um valor de 8750 N o que representa 1/4 do peso total da mesa de trabalho e da volumetria máxima de material a maquinar.

Na Figura 50 é apresentada o suporte da mesa de trabalho.

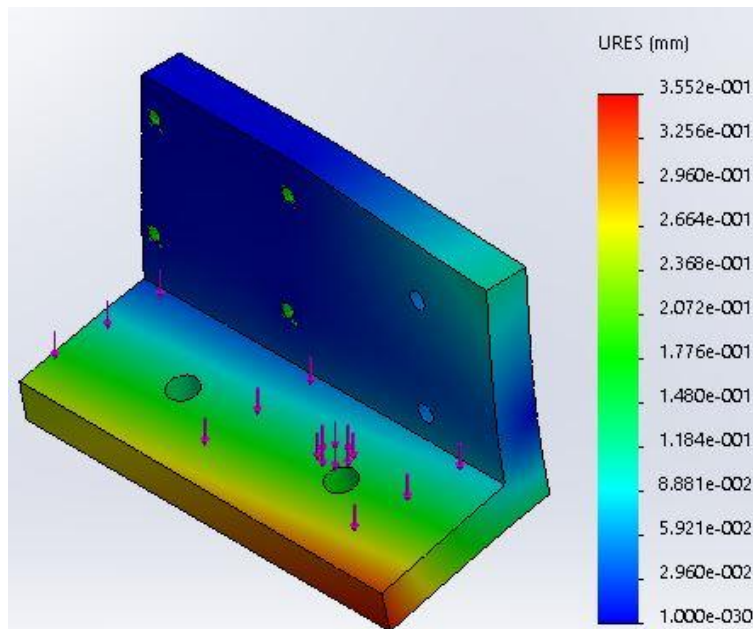


Figura 50 - Simulação do suporte da mesa de trabalho.

Como se pode verificar através dos resultados obtidos, o deslocamento máximo é de aproximadamente 0,36 mm.

4.7.4 Placa responsável pelo movimento do pórtico no eixo Y

A placa de movimento do eixo Y, tal como o próprio nome indica, é responsável para movimentação do pórtico no eixo Y. Este componente além de auxiliar no deslocamento do pórtico, é responsável por sustentar o sistema de movimentação do spindle no eixo Z.

Portanto, o material atribuído à placa de movimento do eixo Y, foi a liga de alumínio AISI 6061 e possui uma secção de 400×260×29,5 mm.

O componente é encastrado em quatro zonas distintas, relacionadas com os patins de deslizamento do eixo Y. É aplicada também uma força de 238 N em quadro zonas que dizem respeito a metade do peso da estrutura que movimenta o *spindle* no eixo Z.

Os resultados obtidos da simulação são representados na Figura 51.

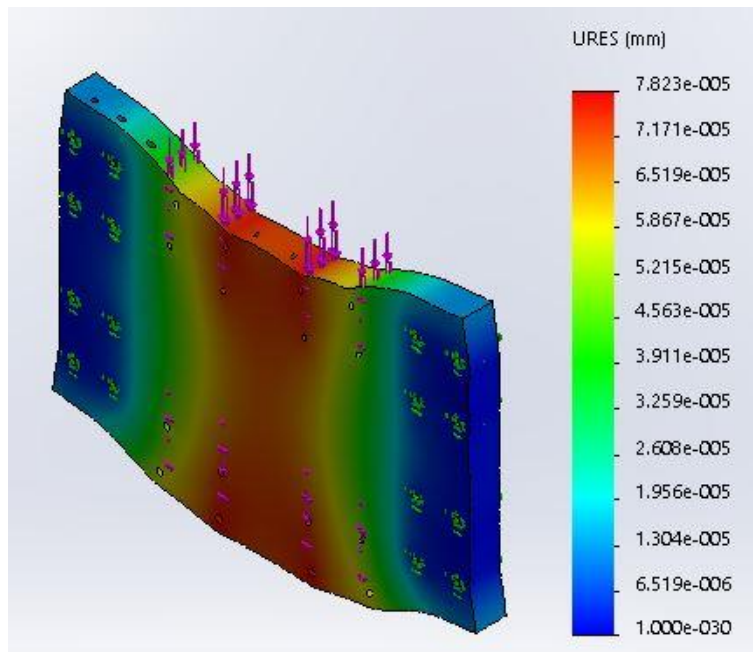


Figura 51 - Simulação referente à placa responsável pelo movimento do pórtico no eixo Y.

Assim sendo, o deslocamento máximo verificado foi certar $7,823 \times 10^{-5}$ mm.

4.7.5 Placa responsável pela sustentação do sistema de movimentação no eixo Y

O elemento em questão, possui a função de suporte do sistema de movimentação no eixo Y. O presente elemento além da função anteriormente mencionada, é responsável por assegurar o deslocamento do pórtico no eixo Z.

O material atribuído à placa responsável pela sustentação do sistema de movimentação no eixo Y, foi a liga de alumínio AISI 6061 e possui uma secção de $180 \times 130 \times 15$ mm.

A placa é encastrada nos 8 furos de maiores dimensões, sendo que os furos permitem ligar a placa ao perfil do sistema de movimentação do eixo Y. Foi aplicada uma força de 335 N nos 4 furos de menor dimensão, correspondente a 1/4 do peso do sistema de movimentação do eixo Y, que por sua vez também suporta o sistema de movimentação do *spindle* no eixo Z.

A simulação efetuada a este elemento é ilustrada na Figura 52.

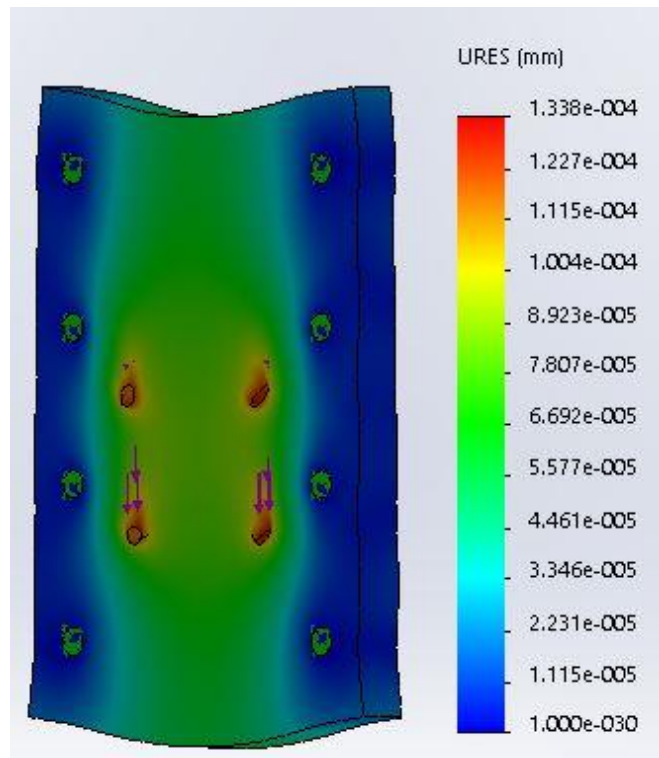


Figura 52 - Placa responsável pela sustentação do sistema de movimentação no eixo Y

Como se pode verificar através da Figura 52, o deslocamento máximo é de aproximadamente $1,338 \times 10^{-4}$ mm.

4.7.6 Apoios dos motores *stepper*

Os próximos componentes apresentados são utilizados para apoiar os motores *stepper* que permitem a movimentação dos diferentes sistemas.

4.7.6.1 Apoio do motor *stepper* do sistema de movimentação do eixo Y

O apoio representado na para Figura 53, é utilizado suportar o motor *stepper* Nema 34. O apoio é sujeito a uma força de 53,9 N na furação onde é fixo o motor, representando o peso do motor *stepper*, uma vez que o motor Nema 34 pesa cerca de 5,39 kg. O apoio é encastrado numa das placas responsável pelo movimento do pórtico no eixo Y

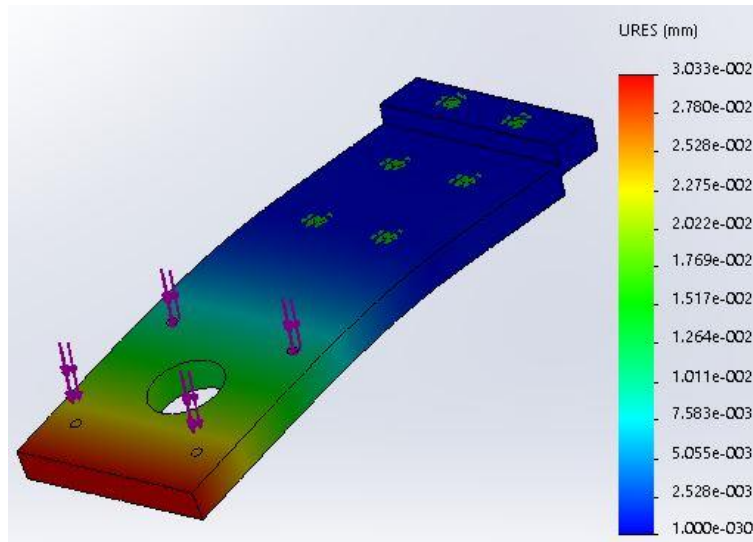


Figura 53 - Simulação referente ao apoio do motor stepper do sistema de movimentação do eixo Y.

Após obtido os resultados da simulação é possível apurar que o deslocamento máximo neste apoio aproximadamente 0,03 mm.

4.7.6.2 Apoio do motor *stepper* do sistema de movimentação do pórtico no eixo Z

Neste caso, o apoio deverá suportar o peso de um motor *stepper* Nema 34, ou seja, deverá suportar uma força de 53,9 N na furação onde será fixo o motor. Este apoio é encastrado no topo do perfil que garante a movimentação do pórtico no eixo Z.

O apoio em questão, é representado na Figura 54.

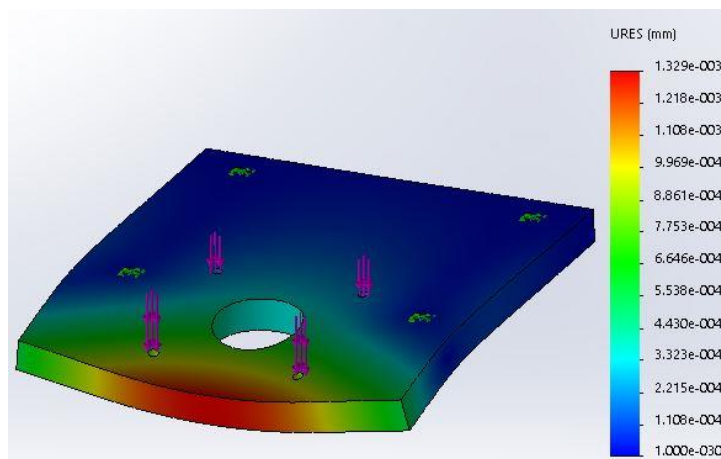


Figura 54 - Simulação referente ao apoio do motor *stepper* do sistema de movimentação do pórtico no eixo Z.

Posto isto, verifica-se que o deslocamento máximo é de aproximadamente $1,329 \times 10^{-3}$ mm.

4.7.6.3 Apoio do motor *stepper* do sistema de movimentação da estrutura que aloja o *spindle*

A simulação efetuada a este apoio é representada na Figura 55, e tal como os apoios anteriores, este irá suportar o peso de um motor *stepper* Nema 34. O apoio é encastrado no topo do perfil, que possui a função de movimentar a estrutura que aloja o *spindle*. A força aplicada neste componente localiza-se na furação onde é fixo o motor.

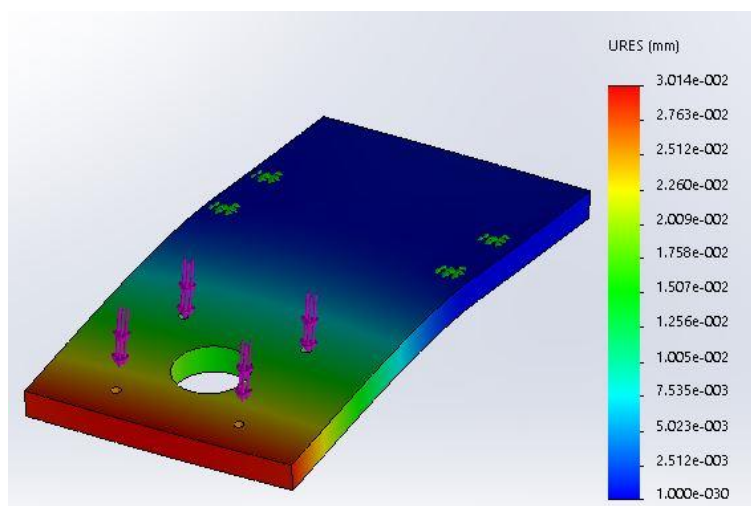


Figura 55 - Simulação referente ao apoio do motor *stepper* do sistema de movimentação da estrutura que aloja o *spindle*.

Através dos resultados da simulação obtida através do *SolidWorks*®, é possível verificar que o deslocamento máximo do componente em análise é de aproximadamente 0,03 mm.

4.7.6.4 Apoio do motor *stepper* do sistema de movimentação da mesa de trabalho

Este elemento, deverá suportar o peso de um motor *stepper* Nema 23, ou seja, 32 N na furação onde será fixo o motor. O apoio será encastrado na estrutura lateral da CNC de 4 eixos, através dos furos de maiores dimensões.

A simulação do apoio do motor *stepper* do sistema de movimentação da mesa de trabalho é representada na Figura 56.

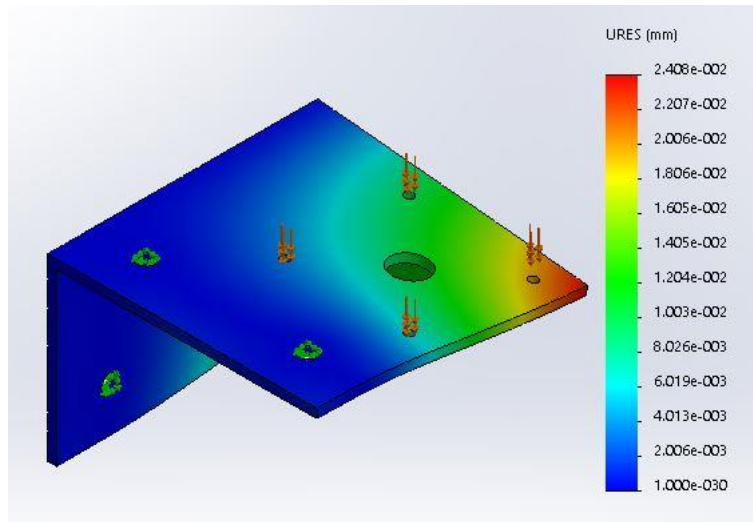


Figura 56 - Simulação do apoio do motor *stepper* do sistema de movimentação da mesa de trabalho

Após obtenção dos resultados, verifica-se que o deslocamento máximo é de aproximadamente de 0,02 mm.

4.8 Verificação da exatidão do CNC de 4 eixos

Após efetuadas as simulações de alguns dos componentes mais críticos do CNC de 4 eixos, é possível verificar os valores dos deslocamentos máximos dos mesmos.

A exatidão do centro de maquinagem está relacionada com o maior deslocamento sofrido. Portanto, na Tabela 8 são apresentados os valores dos deslocamentos obtidos na secção anterior.

Tabela 8 - Resumo dos deslocamentos dos componentes.

Componentes	Deslocamento máximo mm
Perfil responsável pelo sistema de movimentação do eixo Y	9000×10^{-6}
Bracket	69000×10^{-6}
Estrutura responsável pela movimentação do pórtico no eixo X	4000×10^{-6}
Suporte da mesa de trabalho	355000×10^{-6}
placa responsável pelo movimento do pórtico no eixo Y	$78,23 \times 10^{-6}$
Placa responsável pela sustentação do sistema de movimentação no eixo Y	$133,80 \times 10^{-6}$
Apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação do eixo Y	30000×10^{-6}
Apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação do pórtico no eixo Z	1329×10^{-6}
Apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação da estrutura que aloja o <i>spindle</i>	30000×10^{-6}
Apoio do motor <i>stepper</i> do sistema de movimentação da mesa de trabalho	20000×10^{-6}

O valor de maior deslocamento verificado na Tabela 8 corresponde ao suporte da mesa de trabalho, representado na Figura 50.

Portanto, é possível afirmar que a exatidão do CNC de 4 eixos, é na pior das situações aproximadamente 0,356 mm.

Capítulo 5

Conclusões e trabalhos futuros

5.1 Conclusões

Para a execução deste trabalho foi sugerido que se desenvolvesse um CNC multifunções de 4 eixos, baseado num projeto anterior que consistia no desenvolvimento de um centro de maquinagem de 3 eixos de grandes dimensões.

O projeto anterior em que se baseou este trabalho, tinha apenas como objetivo maquinar materiais macios como o MDF através de um spindle. O presente trabalho teve como objetivo, além de capacitar o quarto eixo com a possibilidade de maquinar materiais como o MDF, desempenhar outras funções como corte por plasma, corte por laser e construção de peças através de fabrico aditivo. Para isso, basta substituir o *spindle* por uma tocha de plasma ou por uma cabeça extrusora.

A fase inicial do desenvolvimento do centro de maquinagem de 4 eixos, consistiu num processo iterativo, em que foram estudados diferentes modelos avaliando as suas vantagens e desvantagens, até se chegar ao modelo final. É perceptível que o desenvolvimento de uma máquina-ferramenta de 4 eixos é mais complexo do que desenvolver uma máquina-ferramenta tradicional com 3 eixos. É que além dos três eixos convencionais (X, Y e Z) é necessário integrar um sistema de movimentação rotacional. O quarto eixo dimensionado para este centro de maquinagem, além de aumentar a versatilidade do equipamento, possui a vantagem de ser ajustado para qualquer posição da mesa de trabalho.

No centro de maquinagem em questão o movimento segundo o eixo Z é dividido em três partes, sendo o acionamento do deslocamento vertical garantido através de fusos. As duas primeiras partes, dizem respeito ao movimento vertical da mesa de trabalho e do movimento do pórtico.

O ajuste destas deve ser feito antes do processo de maquinagem e deve ser feito de acordo com a volumetria de trabalho. A terceira parte, diz respeito ao movimento vertical da estrutura onde é alojado o *spindle*.

Ao invés do dimensionamento do projeto anterior, em que os perfis da estrutura do pórtico eram construídos com tubos de aço laminados a frio e os sistemas de movimentação eram feitos através de chapas quinadas de aço, neste projeto os perfis escolhidos para a construção da estrutura de suporte dos sistemas de movimentação são perfis *standard* de alumínio e os sistemas de movimentação são construídos através de guias lineares, sendo que estes permitem um posicionamento e movimento com alta exatidão e a alta velocidade, quando comparados com o anterior.

Na fase de projeto foi essencial verificar quais os componentes *standard* existentes no mercado. Posto isto, foi necessário pesquisar em diversas empresas e catálogos de modo a definir os componentes a adquirir, como guias lineares, motores stepper, perfis, entre outros.

No entanto, uma vez que nem todos os componentes utilizados na CNC de 4 eixos estavam disponíveis no mercado, foi necessário dimensioná-los e validá-los através de simulações estáticas recorrendo ao *software SolidWorks®*.

Um dos requisitos mais importantes das máquinas-ferramentas CNC é a sua exatidão. A exatidão será tanto maior, quanto menor o valor dos deslocamentos verificados nos componentes através das simulações.

Deste modo, o maior deslocamento verificado nos componentes simulados foi o suporte da mesa de trabalho representado na Figura 50. O deslocamento verificado foi cerca de 0,355 mm, este valor é algo exagerado uma vez que a força aplicada a este componente corresponde a 1/4 do peso total da mesa de trabalho e da volumetria máxima de material a maquinar. Na prática dificilmente se irá sobrecarregar a mesa de trabalho com a volumetria máxima de trabalho, o que se traduz num sobredimensionamento.

Visto que apenas uma parte do material encomendado para construir o CNC multifunções de 4 eixos projetado chegou, não foi possível concluir o objetivo secundário/pessoal. Apesar de não ser possível construir fisicamente o CNC multifunções de 4 eixos, este projeto consistiu num enorme desafio, desde a sua conceção até à escolha dos materiais e componentes através dos catálogos das empresas. Uma das principais dificuldades no desenvolvimento deste projeto foi conseguir obter uma boa relação entre a mobilidade e rigidez do CNC multifunções de 4 eixos.

5.2 Trabalhos futuros

Como não foi possível efetuar a montagem do centro de maquinagem, o principal trabalho futuro passaria pela montagem da CNC de 4 eixos.

Visto que os processos de maquinagem consistem na remoção de aparas do material a maquinar seria interessante incluir um sistema de remoção de aparas, como a aspiração.

Seria também de todo o interesse, estudar a possibilidade melhorar a fixação dos materiais a maquinar, por exemplo, como uma mesa de vácuo.

De o modo a tornar o centro de maquinagem ainda mais versátil poderia ser adicionado um 5º eixo, que permitisse a rotação do *spindle*.

De forma a tornar o equipamento num CNC multifuncional, seria de todo o interesse integrar um armazém de tecnologias numa das extremidades do equipamento, com intuito de trocar automaticamente por exemplo o *spindle* para a tocha de plasma.

Por fim, seria interessante implementar um sistema que permitisse a troca automática das ferramentas.

Referências bibliográficas

- Abreu, S. A. (2015). *Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo*. FEUP. Retrieved from file:///C:/Users/Cláudio Neves/Downloads/36284.pdf
- ACD CHAPAS. (n.d.). como funciona o corte plasma. Retrieved February 20, 2018, from <http://www.acdchapas.com.br/ver/como-funciona-o-corte-plasma>
- Alves, F. J., Braga, F. J., Simão, M. S., Neto, R. J., & Duarte, T. M. (2011). Protoclick prototipagem rápida.
- Araújo, J. E. (2012). Sistematização da Preparação e Organização do Trabalho de Máquinas CNC na FELINO , S . A . Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/63351/1/000151044.pdf>
- Baptista, R. (2010). *Tendências do Corte por Arranque de Apara - Maquinagem*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Bosch Rexroth. (n.d.). Bosch Rexroth. The Drive & Control Company. - Bosch Rexroth AG. Retrieved April 3, 2018, from <https://www.boschrexroth.com/en/xc/>
- Castro, F. (2013). Benchmarking, Modelagem 3D e Prototipagem - Utilizacao do PDP no desenvolvimento de... Retrieved February 22, 2018, from <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAhDIYAF/benchmarking-modelagem-3d-prototipagem>
- Chocalheiro, E. L. (2012). Implementação de Centro de Maquinagem e Desenvolvimento de Pós-Processadores CNC. Retrieved from https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144980260/Tese_Eduardo_58200_Submetida.pdf
- Costa, D. D. A. (2016). *Estudo de conceção de um eixo vertical (Z) para uma mesa XY controlada por um CNC modular*. FEUP. Retrieved from https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=158088

- Davim, A. C. A. F. J. P. (2009). *Tecnologia de fabrico*. (E. T. Publindústria, Ed.). Porto.
- Davim, J. P. (2008). *Princípios da maquinagem*. Livraria Almedina - Coimbra.
- Davim, J. P., & Correia, A. E. (2006). *Maquinagem a Alta Velocidade*. (E. T. Publindústria, Ed.).
- Dunbelt. (2017). Acoplamentos - Dunbelt - Rolamentos e Transmissões, S.A. Retrieved February 26, 2018, from <http://dunbelt.com/acoplamentos/>
- Eich, F. (2014). *DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DE TRANSMISSÃO PARA UMA ROUTER CNC*. Faculdade Horizontalina. Retrieved from http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Fabio_Eich.pdf
- Estrela, J. (2009). *Racionalização da máquina de corte a laser CCL 3015 na ADIRA S.A.* Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/66717/1/000142406.pdf>
- GAVEX Produtos Siderúrgicos S.A. (2014). Catálogo de produtos e serviços. Retrieved July 11, 2017, from http://www.gavex.pt/Cat_2014-10.pdf
- Gonçalves, D. J. (2010). *Avaliação de Ferramentas e Condições de Corte na Furação de Laminados Compósitos*. Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/71317/1/000144659.pdf>
- Halvarsson, S., Edlund, H., & Norgen, M. (2008). Properties of medium-density fibreboard (MDF) based on wheat straw and melamine modified urea formaldehyde (UMF) resin. *Industrial Crops and Products*, 28. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0926669008000095/1-s2.0-S0926669008000095-main.pdf?_tid=f8bba27e-6577-11e7-a5e1-00000aab0f01&acdnat=1499695340_e44390d277358b10839178ab90b31929
- Igus. (2018). igus® Sistemas de guiamento linear drylin® T - Visão geral dos produtos. Retrieved February 26, 2018, from https://www.igus.pt/wpck/1853/drylin_t
- Javorek, L., Pastierovic, M., & Lalik, J. (2013). Relationship between cutting conditions and force/moment parameters during drilling. *Pro Ligno*, 9, 382–388.
- LCS Laser Systems. (n.d.). Corte por Láser - LCS Laser. Retrieved February 20, 2018, from <http://www.lcs-laser.com/aplicaciones/corte-por-laser>
- Makprofile. (2018). MAKPROFILE Soluções Industriais. Retrieved March 27, 2018, from <http://www.makprofile.com/>

- MENDES, A. V. (2017). Caracterização de um Centro de Maquinagem a 5 Eixos e Implementação de um Sistema de Aquisição de Vibração, 115. Retrieved from <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/18843>
- MultiCam. (2011). Consumíveis para o Digital Express - MultiCam CanadaMultiCam Canadá. Retrieved February 21, 2018, from <http://multicam.ca/consumables-for-the-digital-express/>
- Multicam CNC Routing Machinery. (2018). Máquinas de roteamento CNC AUS MULTICAM, máquinas de corte de faca, knifing tangencial e oscilante, facas de arrasto. Retrieved February 21, 2018, from https://www.multicam.com.au/knife_series.html
- National Instruments. (2014). NI Stepper Drives and Motors. Retrieved July 11, 2017, from <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-508>
- Neves, C. D. (2017). *Conceção e desenvolvimento de um equipamento CNC de 3 eixos*. IPB. Retrieved from <https://bibliotecas.ipb.pt/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=88504>
- Numerik. (n.d.). SMARTCUT HS | PANTOGRAFOS NUMERIK :: Pantógrafos CNC para Corte e Oxycutting de Plasma - Máquinas CNC para Laser CO2 e Corte Fiber-Rosario - Santa Fe - Argentina. Retrieved February 20, 2018, from http://www.numerik.com.ar/smartcut_hs/
- Ômicrom. (2015). Sobre as guias lineares - ômicrom. Retrieved February 26, 2018, from <http://omicrom.com.br/geral/guias-lineares-2/>
- Omnitech. (2018). CNC Tangential Oscillating Knife Cutting Machine - Part 2. Retrieved February 21, 2018, from <http://www.omni-cnc.com/product/cnc-knife/2/#tab-id-3>
- Oriental Motor U.S.A. Corp. - Manufacturer of Motion Control Products. (n.d.). Retrieved November 5, 2017, from <http://www.orientalmotor.com/index.html>
- PMI Linear Motion Systems. (2015). Catálogo Compacto.
- Portugal Alves. (2017). Portugal Alves - produtos siderúrgicos s.a. Retrieved July 11, 2017, from <http://www.portugalalves.com/pt/produtos.25/tubos.33/precisao.38.html>
- Relvas, C. (2000). *Controlo Numérico Computorizado - Conceitos Fundamentais*. Publindústria.
- Rolisa. (2016). Catálogo Técnico - Transmissões.

- Silva, G. B. P. (2017). *Desenvolvimento do projeto mecânico de uma máquina alimentadora de barras para centros de torneamento*. ISEP. Retrieved from <http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/10495>
- SNR. (2015). Mancais auto-alinháveis SNR em ferro fundido e em chapa de aço.
- Stoeterau, R. L. (2004). *Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas*. Retrieved from file:///C:/Users/Cláudio Neves/Desktop/Bibliografia/Introdução/Projetos_de_maq._ferramentas.pdf
- Sulato De Andrade, A. (n.d.). ELEMENTOS ORGÂNICOS DE MÁQUINAS II AT-102 Universidade Federal do Paraná Curso de Engenharia Industrial Madeireira. Retrieved from <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasalan/AT102-Aula03.pdf>
- Tavares, C. M. (2011). *Automatização de uma Célula Robotizada de Corte Plasma Engenheiro Luís Almeida*. Retrieved from http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/teses/Tese_Mest_Carlos-Tavares.pdf
- Teng, Y., Ding, J., Wang, B., Guo, X., & Cao, P. (2014). Cutting Forces and Chip Morphology in Medium Density Fiberboard Orthogonal Cutting, *9*(2003), 5845–5857.
- Trent, E., & Wright, P. (2000). *Metal Cutting* (fourth edit). Butterworth–Heinemann. Retrieved from <https://cruncheez.files.wordpress.com/2016/11/trent-metal-cutting-4ed-20004.pdf>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (1995). *Product Design and Development*. McGRAW-HILL INTERNACIONAL EDITIONS.

A Anexos

A.1 Dimensionamento dos motores *stepper*

A.1.1 Motor *stepper* do sistema de movimentação linear do eixo X

Load and linear guide

Total mass of loads and table $m_1 = 111.5$ [kg]
Friction coefficient of the guide $\mu = 0.8$

Rack and pinion specifications

Rack mass $m_2 = 12.880$ [kg/pc]
Pinion pitch diameter $D_p = 6.2832$ [mm]
Pinion mass $m_p =$ [kg/pc]
Pinion thickness $L_p = 20$ [mm]
Pinion material **Steel** $\rho_p = 7900$ [kg/m³]
System efficiency $\eta = 70$ [%]

External force

$F_A = 150$ [N]

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	$D_{p1} =$ [mm]	$D_{p2} =$ [mm]
mass	$m_{p1} =$ [kg]	$m_{p2} =$ [kg]
thickness	$L_{p1} =$ [mm]	$L_{p2} =$ [mm]
material	$\rho_{p1} =$ [kg/m ³]	$\rho_{p2} =$ [kg/m ³]

Mechanism Placement

Mechanism angle $\alpha = 0$ [°]

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO
Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation

Operating speed

$$V_1 = 1 \text{ [mm/s]}$$

$$V_2 = 200 \text{ [mm/s]}$$

Acceleration / deceleration time

$$t_1 = \text{[s]}$$

Specified speed

$$V = \text{[mm/s]}$$

Stopping accuracy

Stopping accuracy

$$\Delta l = 0.1 \text{ [mm]}$$

Safety factor

Safety factor

$$S-F = 1.5$$

Load Inertia

$$J_{m1} = m_1 \times ((DP \times 10^{-3}) / 2)^2 = 111.5 \times ((6.2832 \times 10^{-3}) / 2)^2 = 1.1e-3 \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

$$J_{m2} = m_2 \times ((DP \times 10^{-3}) / 2)^2 = 12.880 \times ((6.2832 \times 10^{-3}) / 2)^2 = 1.271e-4 \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

$$J_{DP} = (\pi / 32) \rho P (LP \times 10^{-3}) (DP \times 10^{-3})^4 = (3.14 / 32) \times 7900 \times (20 \times 10^{-3}) \times (6.2832 \times 10^{-3})^4 = 2.416e-8 \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

$$J_L = J_{m1} + J_{m2} + J_{DP} = 1.1e-3 + 1.271e-4 + 2.416e-8 = 1.227e-3 \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

Required Speed

$$V_{m1} = V_1 \times (60 / \pi DP) = 1 \times (60 / (3.14 \times 6.2832)) = 3.041 \text{ [r/min]}$$

$$V_{m2} = V_2 \times (60 / \pi DP) = 200 \times (60 / (3.14 \times 6.2832)) = 608.0 \text{ [r/min]}$$

Required Torque

$$T = (T_D + T_L) \times (\text{Safety Factor}) = (0.000 + 4.619) \times 1.5 = 6.928 \text{ [N-m]}$$

Load Torque

$$F = F_A + ((m_1 + m_2) \times 9.8) (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 150 + ((111.5 + 12.880) \times 9.8) \times (\sin 0 + 0.8 \times \cos 0) = 1125.1 \text{ [N]}$$

$$T_L = (F \times (DP \times 10^{-3})) / (2 \times \eta \times 0.01) = (1029.1 \times (6.2832 \times 10^{-3})) / (2 \times 70 \times 0.01) = 4.619 \text{ [N-m]}$$

Required Stopping Accuracy

$$\Delta \theta = \Delta l \times (360^\circ / \pi DP) = 0.1 \times (360 / (3.14 \times 6.2832)) = 1.825 \text{ [deg]}$$

A.1.2 Motor *stepper* do sistema de movimentação linear do eixo Y

Load and linear guide

Total mass of loads and table $m_1 = 60$ [kg]
 Friction coefficient of the guide $\mu = 0.8$

Rack and pinion specifications

Rack mass $m_2 = 7.8$ (kg/pc)
 Pinion pitch diameter $D_p = 6.2832$ [mm]
 Pinion mass $m_p =$ [kg/pc]
 Pinion thickness $L_p = 20$ [mm]
 Pinion material Steel $\rho_p = 7900$ (kg/m³)
 System efficiency $\eta = 70$ [%]

External force

$F_A = 150$ [N]

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	$D_{p1} =$ [mm]	$D_{p2} =$ [mm]
mass	$m_{p1} =$ [kg]	$m_{p2} =$ [kg]
thickness	$L_{p1} =$ [mm]	$L_{p2} =$ [mm]
material	$\rho_{p1} =$ [kg/m ³]	$\rho_{p2} =$ [kg/m ³]

Mechanism Placement

Mechanism angle $\alpha = 0$ (°)

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO
 Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation

Operating speed	$V_1 = 1$ [mm/s]
	$V_2 = 200$ [mm/s]
Acceleration / deceleration time	$t_1 =$ [s]
Specified speed	$V =$ [mm/s]

Stopping accuracy

Stopping accuracy $\Delta l = 0.1$ [mm]

Safety factor

Safety factor S-F = 1.5

Load Inertia

$$\begin{aligned}
 J_{m1} &= m_1 \times ((D_p \times 10^{-3}) / 2)^2 \\
 &= 60 \times ((6.2832 \times 10^{-3}) / 2)^2 &= 5.922e-4 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2] \\
 J_{m2} &= m_2 \times ((D_p \times 10^{-3}) / 2)^2 \\
 &= 7.8 \times ((6.2832 \times 10^{-3}) / 2)^2 &= 7.698e-5 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2] \\
 J_{DP} &= (\pi / 32) \rho_p (L_p \times 10^{-3}) (D_p \times 10^{-3})^4 \\
 &= (3.14 / 32) \times 7900 \times (20 \times 10^{-3}) \times (6.2832 \times 10^{-3})^4 &= 2.416e-8 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2] \\
 J_L &= J_{m1} + J_{m2} + J_{DP} \\
 &= 5.922e-4 + 7.698e-5 + 2.416e-8 &= 6.692e-4 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2]
 \end{aligned}$$

Required Speed

$$\begin{aligned}
 V_{m1} &= V_1 \times (60 / \pi D_p) \\
 &= 1 \times (60 / (3.14 \times 6.2832)) &= 3.041 \text{ [r/min]} \\
 V_{m2} &= V_2 \times (60 / \pi D_p) \\
 &= 200.0 \times (60 / (3.14 \times 6.2832)) &= 608.0 \text{ [r/min]}
 \end{aligned}$$

Required Torque

$$\begin{aligned}
 T &= (T_a + T_L) \times (\text{Safety Factor}) \\
 &= (0.000 + 2.628) \times 1.5 &= 3.943 \text{ [N}\cdot\text{m]}
 \end{aligned}$$

Load Torque

$$\begin{aligned}
 F &= F_A + ((m_1 + m_2) \times 9.8) (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \\
 &= 150 + ((60 + 7.8) \times 9.8) \times (\sin 0 + 0.8 \times \cos 0) &= 681.6 \text{ [N]} \\
 T_L &= (F \times (D_p \times 10^{-3})) / (2 \times \eta \times 0.01) \\
 &= (585.6 \times (6.2832 \times 10^{-3})) / (2 \times 70 \times 0.01) &= 2.628 \text{ [N}\cdot\text{m]}
 \end{aligned}$$

Required Stopping Accuracy

$$\begin{aligned}
 \Delta \theta &= \Delta l \times (360^\circ / \pi D_p) \\
 &= 0.1 \times (360 / (3.14 \times 6.2832)) &= 1.825 \text{ [deg]}
 \end{aligned}$$

A.1.3 Motor *stepper* do sistema do sistema de movimentação linear do pórtico no eixo Z

Load and linear guide

Total mass of loads and table $m = 67.25$ [kg]

Friction coefficient of the guide $\mu = 1$

Ball/Lead screw specifications

Diameter $D_B = 20$ [mm]

Total length $L_B = 1500$ [mm]

Lead (pitch) $P_B = 5$ [mm/rev]

Efficiency $\eta = 80$ [%]

Material Steel $\rho = 7900$ [kg/m³]

Breakaway torque of the screw $T_B = 1$ [N·m]

External force

$F_A = 150$ [N]

Mechanism Placement

Mechanism angle $\alpha = 0$ [°]

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO

Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation Operating speed $V_1 = 1$ [mm/s]

$V_2 = 150$ [mm/s]

Acceleration / deceleration time

$$t_1 = 1 \text{ [s]}$$

Stopping accuracy

Stopping accuracy

$$\Delta l = 0.1 \text{ [mm]}$$

Safety factor

Safety factor

$$SF = 1.5$$

- calculated result -

Load inertia

$$J_W = m \cdot (P_D \cdot 10^{-3}) / (2\pi)^2$$

$$= 87.25 \cdot (5 \cdot 10^{-3}) / (2 \cdot 3.14)^2 = 4.2587e-5 \text{ [kg m}^2\text{]}$$

$$J_D = (\pi / 32) \cdot \rho \cdot (L_D \cdot 10^{-3}) \cdot (D_D \cdot 10^{-3})^4$$

$$= (3.14 / 32) \cdot 7900 \cdot (1500 \cdot 10^{-3}) \cdot (20 \cdot 10^{-3})^4 = 1.8614e-4 \text{ [kg m}^2\text{]}$$

$$J_L = J_W + J_D$$

$$= (4.2587e-5 + 1.8614e-4) = 2.2873e-4 \text{ [kg m}^2\text{]}$$

Required Speed

$$V_{m1} = V_1 \cdot (60 / P_D)$$

$$= 1 \cdot (60 / 5) = 12 \text{ [r/min]}$$

$$V_{m2} = V_2 \cdot (60 / P_D)$$

$$= 150 \cdot (60 / 5) = 1800 \text{ [r/min]}$$

Required Torque

$$T = (T_A + T_L) \cdot (\text{Safety Factor})$$

$$= (4.3111e-2 + 2.135) \cdot 1.5 = 3.268 \text{ [N-m]}$$

Acceleration Torque

$$T_A = J_L \cdot (V_m / (0.55 \cdot t_1))$$

$$= 2.2873e-4 \cdot (1800 / (0.55 \cdot 1)) = 4.3111e-2 \text{ [N-m]}$$

Load Torque

$$F = F_A + (m + 0.8) (\sin \theta + \mu \cos \theta)$$

$$= 150 + (67.25 + 0.8) (\sin 0 + 1 \cdot \cos 0) = 800.1 \text{ [N]}$$

$$T_L = \left(\left(F + P_B \cdot 10^{-3} \right) / (2\pi) + 1.1 \right) + T_B \left(1 / (\eta + 0.01) \right)$$

$$= \left(\left(\frac{800.1}{80} + 5 \right) \cdot 10^{-3} / (2 \cdot 3.14) + 1.1 \right) + 1 \left(1 / (0.01) \right) = 2.135 \text{ [N-m]}$$

Required Stopping Accuracy

$$\Delta \theta = \Delta l (360^\circ / P_B)$$

$$= 0.1 \cdot (360 / 5) = 7.200 \text{ [deg]}$$

Other requirement(s)

Holding Torque

A.1.4 Motor *stepper* do sistema do sistema de movimentação linear do *spindle* no eixo Z

Load and linear guide

Total mass of loads and table $m = 40.7$ [kg]

Friction coefficient of the guide $\mu = 1$

Ball/Lead screw specifications

Diameter $D_B = 20$ [mm]

Total length $L_B = 1450$ [mm]

Lead (pitch) $P_B = 5$ [mm/rev]

Efficiency $\eta = 80$ [%]

Material Steel $\rho = 7900$ [kg/m³]

Breakaway torque of the screw $T_B = 1$ [N·m]

External force

$F_A = 150$ [N]

Mechanism Placement

Mechanism angle $\alpha = 0$ [°]

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO

Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation Operating speed $V_1 = 1$ [mm/s]

$V_2 = 150$ [mm/s]

Acceleration / deceleration time

$$t_1 = 1 \text{ (s)}$$

Stopping accuracy

Stopping accuracy

$$\Delta l = 0.1 \text{ (mm)}$$

Safety factor

Safety factor

$$S.F. = 1.5$$

- calculated result -

Load inertia

$$J_W = m \cdot (P_D \cdot 10^{-3}) / (2\pi)^2$$

$$= 40.7 \cdot ((5 \cdot 10^{-3}) / (2 \cdot 3.14))^2 = 2.5774e-5 \text{ (kg m}^2\text{)}$$

$$J_D = (\pi / 32) \cdot \rho \cdot (L_D \cdot 10^{-3}) \cdot (D_D \cdot 10^{-3})^4$$

$$= (3.14 / 32) \cdot 7900 \cdot (1450 \cdot 10^{-3}) \cdot (20 \cdot 10^{-3})^4 = 1.7903e-4 \text{ (kg m}^2\text{)}$$

$$J_L = J_W + J_D$$

$$= (2.5774e-5 + 1.7903e-4) = 2.0571e-4 \text{ (kg m}^2\text{)}$$

Required Speed

$$V_{m1} = V_1 \cdot (60 / P_D)$$

$$= 1 \cdot (60 / 5) = 12 \text{ (rpm)}$$

$$V_{m2} = V_2 \cdot (60 / P_D)$$

$$= 150 \cdot (60 / 5) = 1800 \text{ (rpm)}$$

Required Torque

$$T = (T_a + T_L) \cdot (\text{Safety Factor})$$

$$= (3.8772e-2 + 1.851) \cdot 1.5 = 2.834 \text{ (N m)}$$

Acceleration Torque

$$T_a = J_L \cdot (V_m / (0.55 \cdot t_1))$$

$$= 2.0571e-4 \cdot (1800 / (0.55 \cdot 1)) = 3.8772e-2 \text{ (N m)}$$

Load Torque

$$F = F_A + (m \times 9.8) (\sin \theta + \mu \cos \theta)$$

$$= 150 + (40.7 \times 9.8) (\sin 0 + 1 \times \cos 0) = 548.9 \text{ [N]}$$

$$T_L = \left(\frac{F \times P_B \times 10^{-3}}{2\pi} \right) \times 1.1 + T_B \left(\frac{1}{\eta \times 0.01} \right)$$

$$= \left(\frac{548.9 \times 5 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14} \right) \times 1.1 + 1 \left(\frac{1}{80 \times 0.01} \right) = 1.851 \text{ [N-m]}$$

Required Stopping Accuracy

$$\Delta \theta = \Delta i (360^\circ / P_B)$$

$$= 0.1 \times (360 / 5) = 7.200 \text{ [deg]}$$

Other requirement(s)

Holding Torque

A.1.5 Motor *stepper* do sistema do sistema de movimentação da mesa de trabalho no eixo Z

Load and linear guide

Total mass of loads and table $m = 250$ [kg]

Friction coefficient of the guide $\mu = 1$

Ball/Lead screw specifications

Diameter $D_B = 20$ [mm]

Total length $L_B = 500$ [mm]

Lead (pitch) $P_B = 5$ [mm/rev]

Efficiency $\eta = 80$ [%]

Material Steel $\rho = 7900$ [kg/m³]

Breakaway torque of the screw $T_B = 1$ [N·m]

External force

$F_A = 150$ [N]

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	$D_{p1} = 32.34$ [mm]	$D_{p2} = 97.02$ [mm]
mass	$m_{p1} = 0.05$ [kg]	$m_{p2} = 0.22$ [kg]
thickness	$L_{p1} =$ _____ [mm]	$L_{p2} =$ _____ [mm]
material	$\rho =$ _____ [kg/m ³] _____	$\rho =$ _____ [kg/m ³] _____

Mechanism Placement

Mechanism angle $\alpha = 0$ [°]

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? → NO

Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? → YES

Operating conditions

Variable speed operation Operating speed $V_1 = \underline{1}$ [mm/s]

$V_2 = \underline{50}$ [mm/s]

Acceleration / deceleration time $t_1 = \underline{1}$ [s]

Stopping accuracy

Stopping accuracy $\Delta l = \underline{0.1}$ [mm]

Safety factor

Safety factor $S.F. = \underline{1.5}$

- calculated result -

Load Inertia

$$J_W = m \times (P_0 \times 10^{-3}) / 2\pi^2$$

$$= \underline{250} \times (\underline{5} \times 10^{-3}) / (2 \times 3.14)^2 = \underline{1.5831e-4} \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

$$J_S = (\pi / 32) \rho (L_0 \times 10^{-3}) (D_0 \times 10^{-3})^4$$

$$= (3.14 / 32) \times \underline{7900} \times (\underline{500} \times 10^{-3}) \times (\underline{20} \times 10^{-3})^4 = \underline{6.2046e-5} \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

$$J_{DP1} = (1/8) m_{p1} (D_{p1} \times 10^{-3})^2$$

$$= (1 / 8) \times \underline{0.05} \times (\underline{32.34} \times 10^{-3})^2 = \underline{6.5367e-6} \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

$$J_{DP2} = (1/8) m_{p2} (D_{p2} \times 10^{-3})^2$$

$$= (1 / 8) \times \underline{0.22} \times (\underline{97.02} \times 10^{-3})^2 = \underline{2.5885e-4} \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

$$J_L = (J_W + J_S + J_{DP2}) (D_{p1} / D_{p2})^2 + J_{DP1}$$

$$= (\underline{1.5831e-4} + \underline{6.2046e-5} + \underline{2.5885e-4}) \times (\underline{32.34} / \underline{97.02})^2 + \underline{6.5367e-6} = \underline{5.9783e-5} \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

Required Speed

$$V_{m1} = V_1 (60 / P_B) (D_{p2} / D_{p1})$$

$$= 1 \times (60 / 5) \times (97.02 / 32.34) = 36.00 \text{ [r/min]}$$

$$V_{m2} = V_2 (60 / P_B) (D_{p2} / D_{p1})$$

$$= 50 \times (60 / 5) \times (97.02 / 32.34) = 1800 \text{ [r/min]}$$

Required Torque

$$T = (T_a + T_L) (\text{Safety Factor})$$

$$= (1.1268e-2 + 1.365) \times 1.5 = 2.064 \text{ [N-m]}$$

Acceleration Torque

$$T_a = J (V_m / (9.55 \times t))$$

$$= 5.9783e-5 \times (1800 / (9.55 \times 1)) = 1.1268e-2 \text{ [N-m]}$$

Load Torque

$$F = F_A + (m \times 9.8) (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

$$= 150 + (250 \times 9.8) (\sin 0 + 1 \times \cos 0) = 2600 \text{ [N]}$$

$$T_L = (((F \times P_B \times 10^{-3}) / 2\pi) \times 1.1) + T_B (D_{p1} / D_{p2}) (1 / (\eta \times 0.01))$$

$$= (((2600 \times 5 \times 10^{-3}) / (2 \times 3.14)) \times 1.1) + 1 \times (32.34 / 97.02) \times (1 / (0.8 \times 0.01)) = 1.365 \text{ [N-m]}$$

Required Stopping Accuracy

$$\Delta\theta = \Delta i (360^\circ / P_B) (D_{p2} / D_{p1})$$

$$= 0.1 \times (360 / 5) \times (97.02 / 32.34) = 21.60 \text{ [deg]}$$

Other requirement(s)

Holding Torque

A.1.6 Motor *stepper* do quarto eixo

Table shape and dimensions

Table type	=	<u>Round Table</u>
Diameter	D =	<u>160</u> [mm]
Width	A =	<u> </u> [mm]
Depth	B =	<u> </u> [mm]
Mass	m =	<u>10.274</u> [kg]
Thickness	t =	<u> </u> [mm]
Material	<u> </u>	$\rho =$ <u> </u> [kg/m ³]

Drive shaft dimension

Shaft diameter	D ₂ =	<u>60</u> [mm]
Shaft mass	m ₂ =	<u>6</u> [kg]
Shaft length	L =	<u> </u> [mm]
Shaft material	<u> </u>	$\rho_2 =$ <u> </u> [kg/m ³]

Load shape and dimensions

Load type	<u>Cylinder type</u>	
Diameter	D ₁ =	<u>40</u> [mm]
Width	A ₁ =	<u> </u> [mm]
Depth	B ₁ =	<u> </u> [mm]
Distance from the table center to the load center	r =	<u>0</u> [mm]
Number of loads	n =	<u>1</u> pc
Load mass	m ₁ =	<u>10</u> [kg]
Load height	h ₁ =	<u> </u> [mm]

Load material _____ $\rho_1 =$ _____ $[\text{kg/m}^3]$

Table support

Friction coefficient between the table and the supporting mechanism $\mu =$ 0.8

Distance from the table center to the supporting mechanism $l =$ 20 [mm]

System efficiency $\eta =$ 80 %

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	$D_{p1} =$ <u>20.11</u> [mm]	$D_{p2} =$ <u>116.42</u> [mm]
mass	$m_{p1} =$ _____ [kg]	$m_{p2} =$ _____ [kg]
thickness	$L_{p1} =$ <u>14.3</u> [mm]	$L_{p2} =$ <u>14.3</u> [mm]
material	$\rho_{p1} =$ <u>7900</u> $[\text{kg/m}^3]$ <u>Steel</u>	$\rho_{p2} =$ <u>7900</u> $[\text{kg/m}^3]$ <u>Steel</u>

Mechanism Condition

Mechanism Condition Horizontal operation

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off? \rightarrow NO

Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after the power supply is turned off? \rightarrow YES

Operating conditions

Variable speed operation Operating speed $V_1 =$ 1 [r/min]

$V_2 =$ 20 [r/min]

Acceleration / deceleration time $t_1 =$ 1 [s]

Stopping accuracy

Stopping accuracy $\pm \Delta\theta =$ 0.1 °

$\pm \Delta l =$ _____ [mm]

Safety factor

$$\text{Safety factor} \quad \text{B F} = \underline{1.5}$$

- calculated result -

Load inertia

$$\begin{aligned} J_4 &= (1/8) m (D \times 10^{-3})^2 \\ &= (1/8) \times \underline{10.274} \times (\underline{160} \times 10^{-3})^2 = \underline{3.2677e-2} \text{ [kg m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_5 &= (1/8) m_2 (D_2 \times 10^{-3})^2 \\ &= (1/8) \times \underline{6} \times (\underline{60} \times 10^{-3})^2 = \underline{2.7000e-3} \text{ [kg m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_6 &= ((1/8) m_1 (D_1 \times 10^{-3})^2 + m_1 (r \times 10^{-3})^2) \times n \\ &= ((1/8) \times \underline{10} \times (\underline{40} \times 10^{-3})^2 + (\underline{10} \times 16) \times (\underline{0} \times 10^{-3})^2) \times \underline{1} = \underline{2.0000e-3} \text{ [kg m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{Dp1} &= (\pi / 32) \rho_{p1} (L_{p1} \times 10^{-3}) (D_{p1} \times 10^{-3})^4 \\ &= (3.14 / 32) \times \underline{7900} \times (\underline{14.3} \times 10^{-3}) \times (\underline{29.11} \times 10^{-3})^4 = \underline{7.9640e-6} \text{ [kg m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{Dp2} &= (\pi / 32) \rho_{p2} (L_{p2} \times 10^{-3}) (D_{p2} \times 10^{-3})^4 \\ &= (3.14 / 32) \times \underline{7900} \times (\underline{14.3} \times 10^{-3}) \times (\underline{116.42} \times 10^{-3})^4 = \underline{2.0374e-3} \text{ [kg m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_7 &= (J_4 + J_5 + J_6 + J_{Dp2}) (D_{p1} / D_{p2})^2 + J_{Dp1} \\ &= (\underline{3.2677e-2} + \underline{2.7000e-3} + \underline{2.0000e-3} + \underline{2.0374e-3}) \times (\underline{29.11} / \underline{116.42})^2 + \underline{7.9640e-6} = \underline{2.4847e-3} \text{ [kg m}^2\text{]} \end{aligned}$$

Required Speed

$$\begin{aligned} V_{m1} &= V_1 (D_{p2} / D_{p1}) \\ &= \underline{1} \times (\underline{116.42} / \underline{29.11}) = \underline{3.999} \text{ [r/min]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{m2} &= V_2 (D_{p2} / D_{p1}) \\ &= \underline{20} \times (\underline{116.42} / \underline{29.11}) = \underline{79.99} \text{ [r/min]} \end{aligned}$$

Required Torque

$$\begin{aligned} T &= (T_a + T_L) (\text{Safety Factor}) \\ &= (\underline{2.0811e-2} + \underline{0.9936}) \times \underline{1.5} = \underline{1.522} \text{ [N m]} \end{aligned}$$

Acceleration Torque

$$\begin{aligned} T_a &= J_s (V_m / (9.55 \times r_s)) \\ &= \underline{2.4847e-3} \times (\underline{79.99} / (9.55 \times \underline{1})) = \underline{2.0811e-2} \text{ [N-m]} \end{aligned}$$

Load Torque

$$\begin{aligned} m_T &= m \\ &= \underline{10.274} = \underline{10.27} \text{ [kg]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_i &= m_i \times n \\ &= \underline{10} \times \underline{1} = \underline{10} \text{ [kg]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_L &= 9.8 (m_T + m_i) \mu (l \times 10^{-3} / (r_s \times 0.01)) (D_{p1} / D_{p2}) \\ &= \underline{9.8 \times (\frac{10.27}{116.42} + 10)} \times \underline{0.8} \times (\underline{20} \times 10^{-3} \times (1 / (\underline{80} \times 0.01)) \times (\underline{29.11} / \underline{116.42}) = \underline{0.9936} \text{ [N-m]} \end{aligned}$$

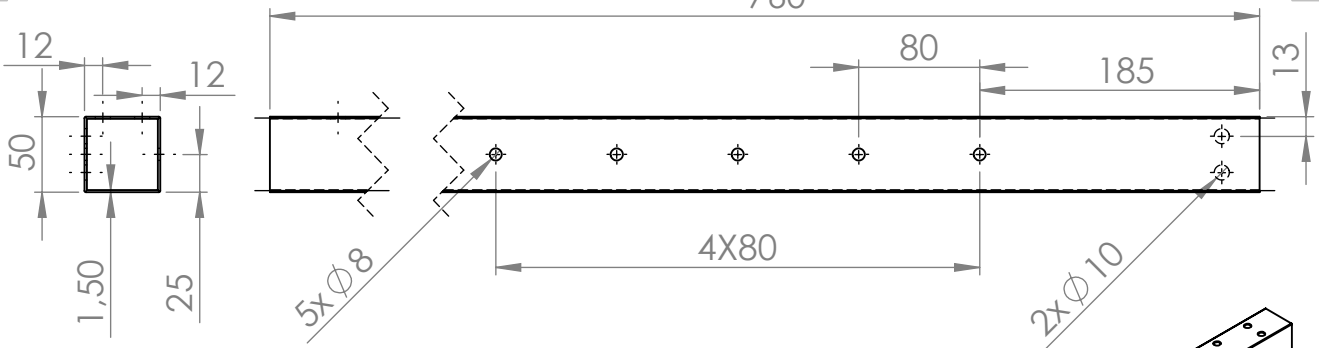
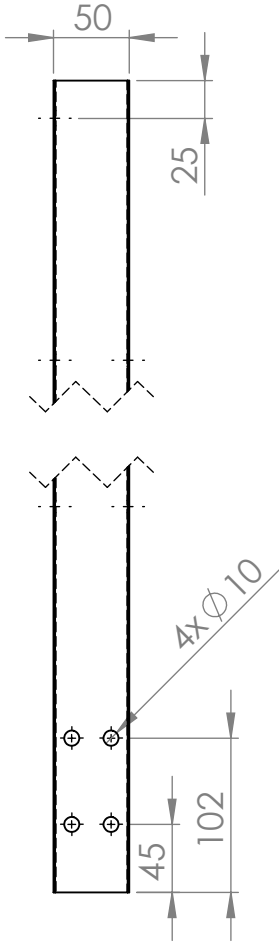
Required Stopping Accuracy

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \Delta\theta (D_{p2} / D_{p1}) \\ &= \underline{0.1} \times (\underline{116.42} / \underline{29.11}) = \underline{0.3999} \text{ [deg]} \end{aligned}$$

Other requirement(s)

Holding Torque

A.2 Desenhos



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



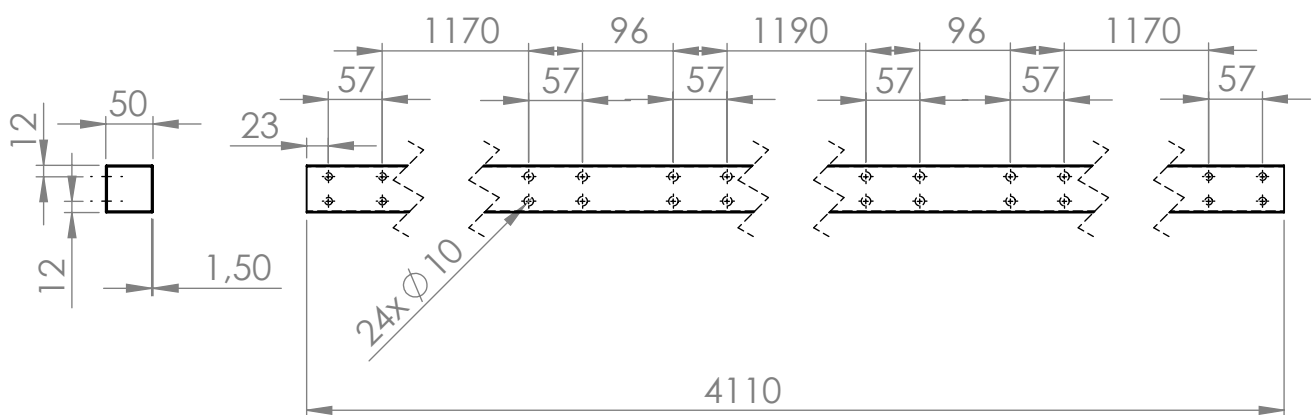
	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		20/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018

TITLE:
50x50_760

MFG
 Q.A
 MATERIAL:
 AISI 1020
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

DWG NO.
50x50_760
 A4
 SCALE 1:10 SHEET 1 OF 1

WEIGHT: 1730.47 g



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		20/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		09/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		09/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
50x50_4110

MATERIAL:
 AISI 3020

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 9400.95 g

DWG NO.
50x50_4110

SCALE 1:50

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

F

F

E

E

D

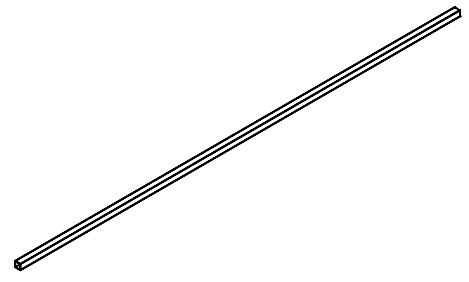
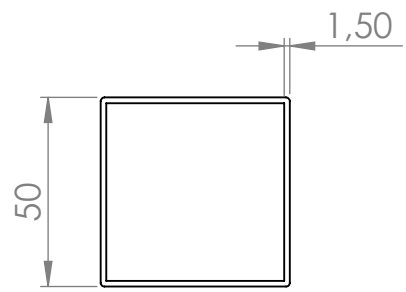
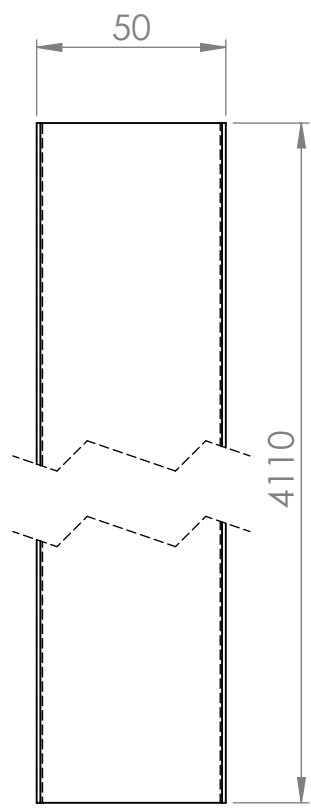
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		20/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		09/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		09/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:	50x50_4110_1	
DWG NO.	50x50_4110_1	A4
SCALE 1:50		SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL: AISI 1020

WEIGHT: 9420.61 g

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

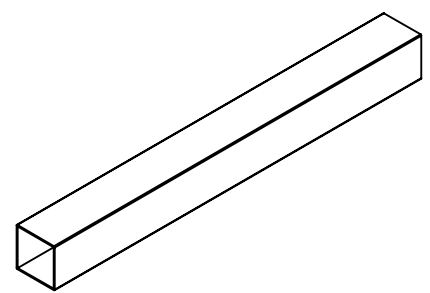
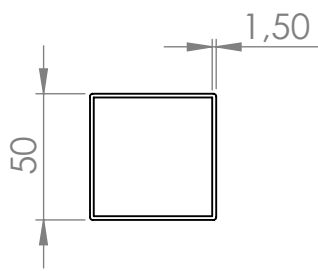
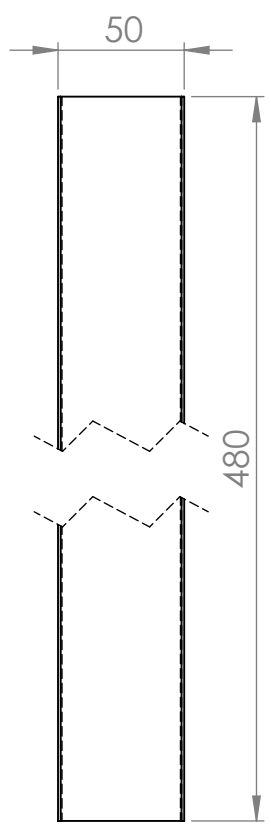
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		20/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		09/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		09/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
50x50_480

MATERIAL:
AlSi 1020
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

DWG NO.
50x50_480

A4

WEIGHT: 1100.22 g

SCALE 1:5

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

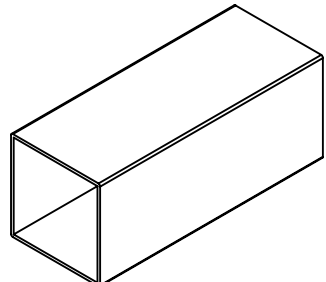
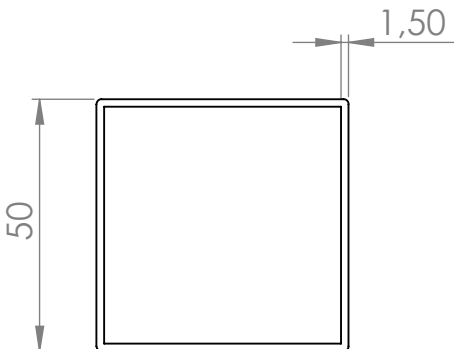
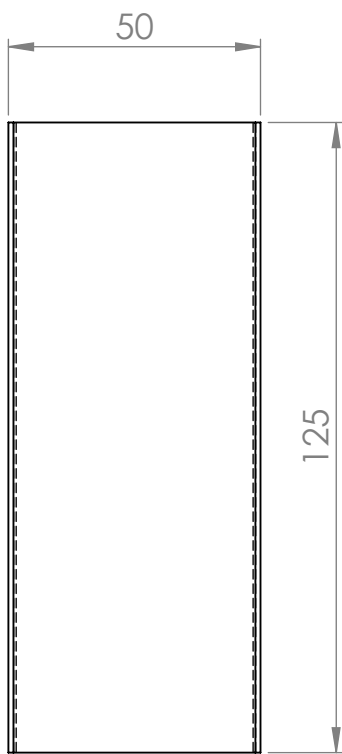
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION **A**



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escala Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		20/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		09/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		09/01/2018
MFG			

TITLE:
50x50_125

Q.A. MATERIAL:
AlSi1020
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

DWG NO.
50x50_125

A4

WEIGHT: 286.51 g

SCALE 1:2

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

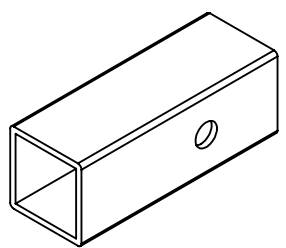
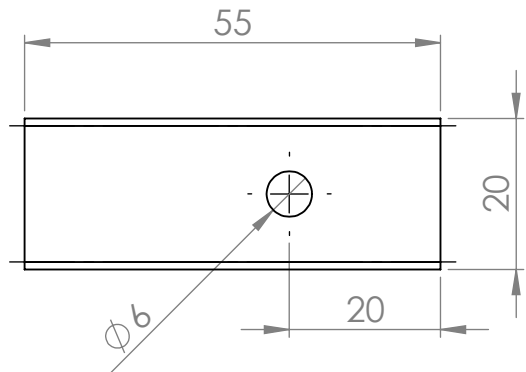
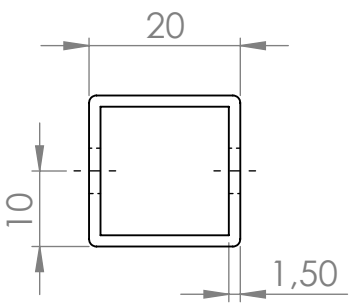
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION **A**



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		20/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		09/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		09/01/2018
MFG			

TITLE:
20x20_55

Q.A. MATERIAL:
AlSi10Mg
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

DWG NO. **20x20_55**

A4

WEIGHT: 47.19 g

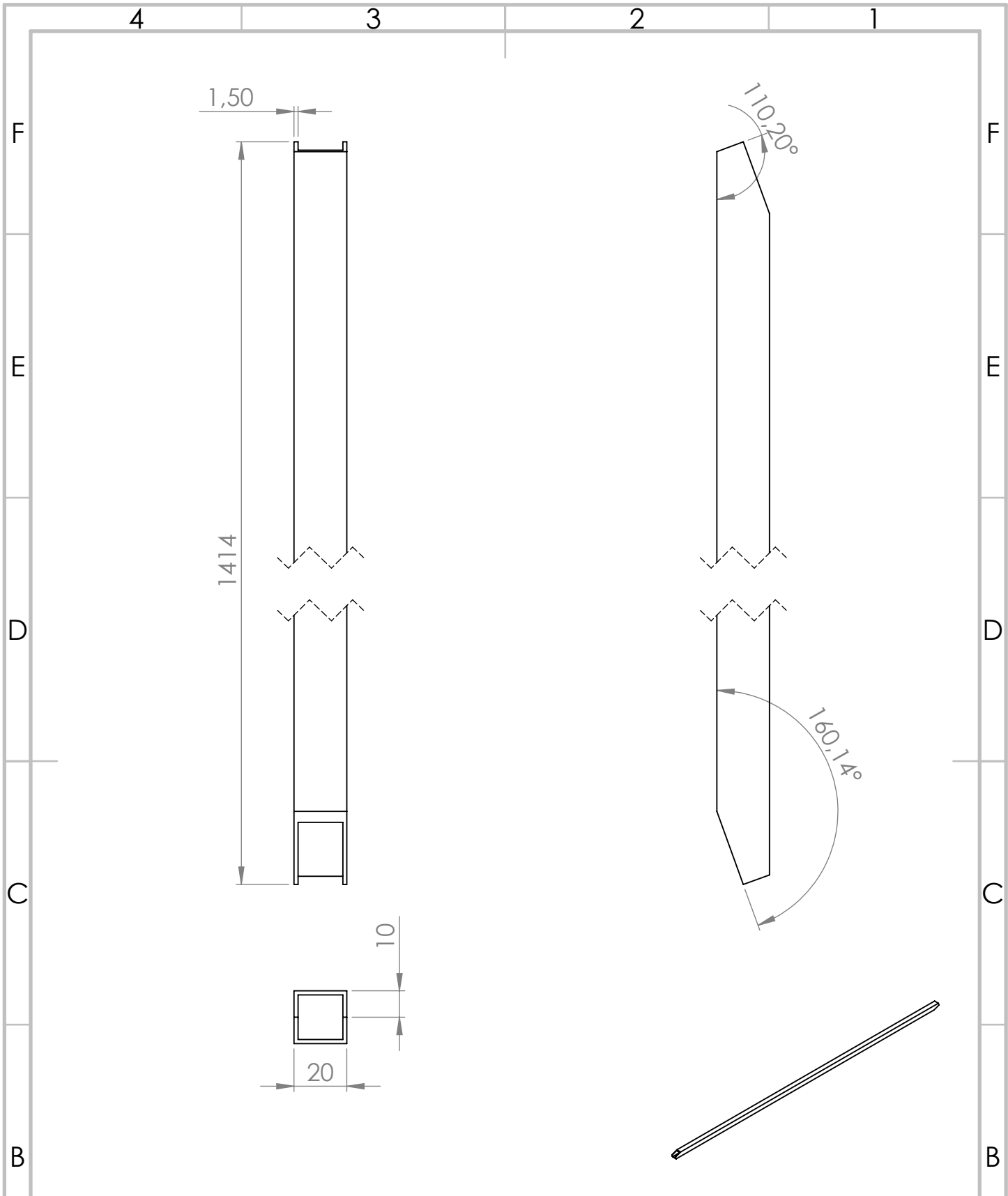
SCALE 1:1

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A

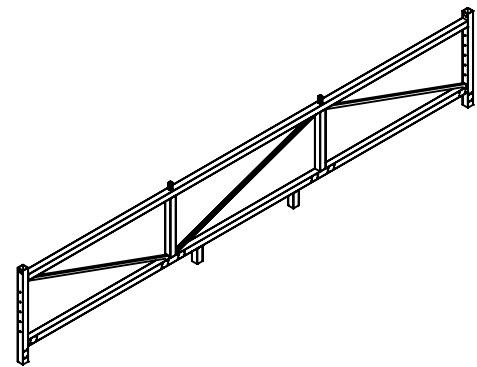
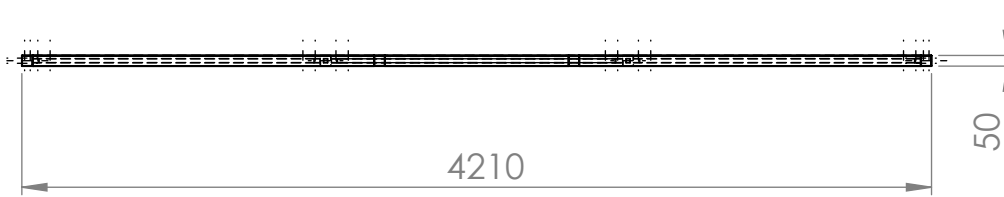
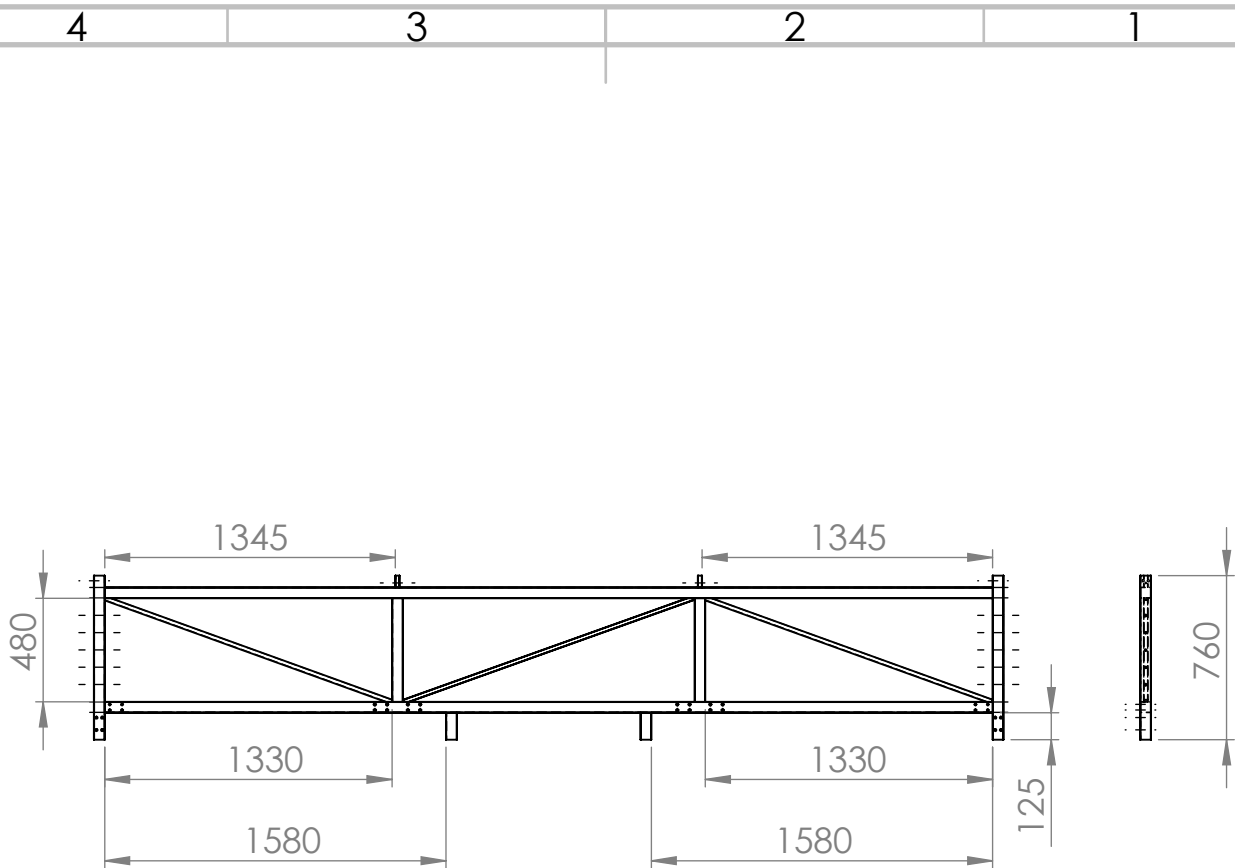


	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		21/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
20x20_1414

MATERIAL:
 AISI 1020
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only
 WEIGHT: 1220.96 g

DWG NO.
20x20_1414
 SCALE 1:20 SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		21/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		09/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		09/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:

estrutura_lateral

DWG NO.

estrutura_lateral

A4

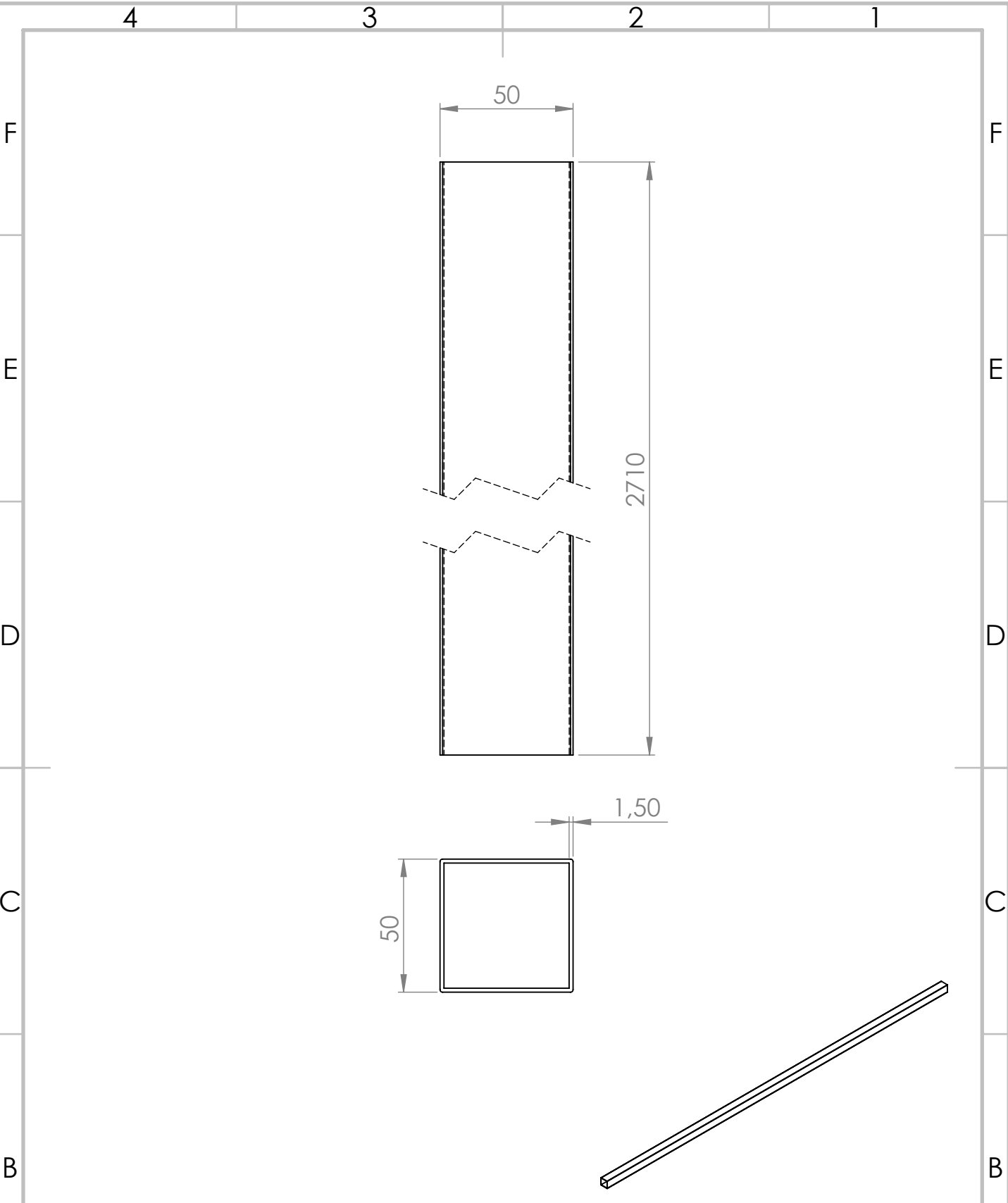
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL:
AISI 1020

WEIGHT: 28744.48 g

SCALE 1:50

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		20/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		09/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		09/01/2018
MFG			

TITLE:
50x50_2610_1

MATERIAL:
 AISI 1020

DWG NO.
50x50_2610_1

A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 6211.64 g

SCALE 1:50

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

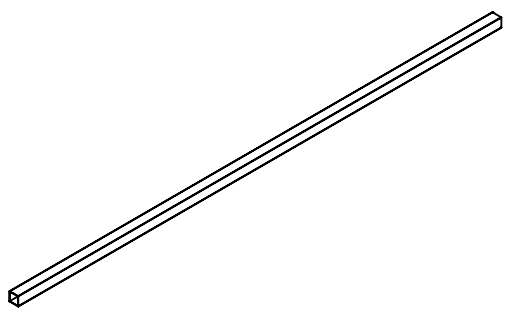
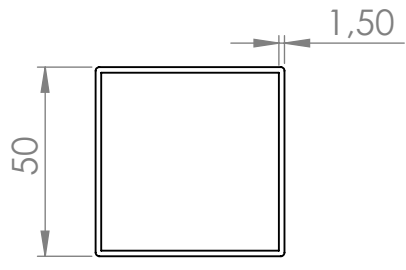
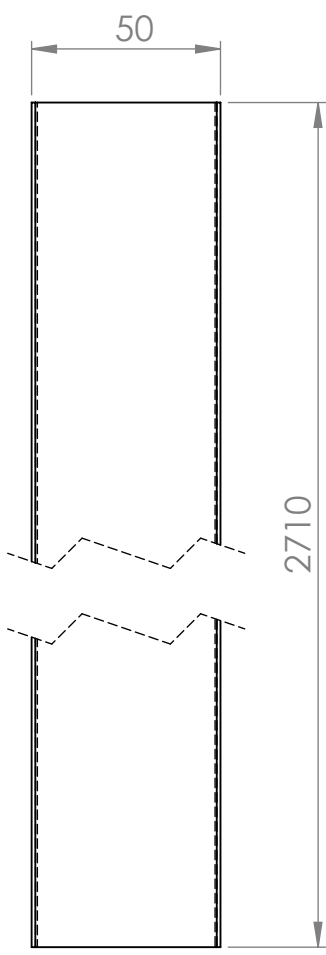
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		20/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		09/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		09/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:	50x50_2610_2	
DWG NO.	50x50_2610_2	A4
SCALE 1:50		SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 6211.64 g

AISI 1020

4 3 2 1

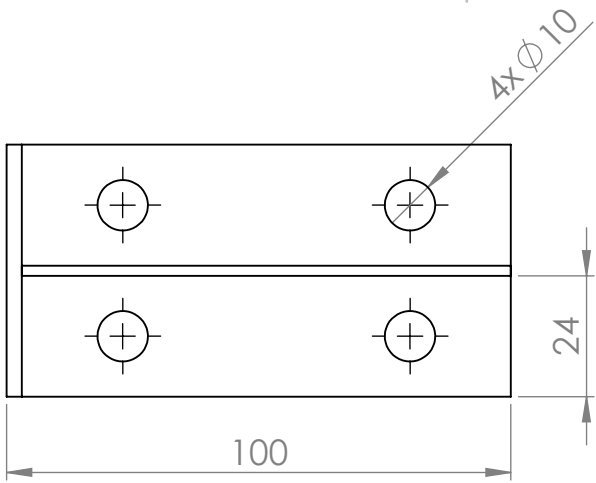
A

A

4 3 2 1

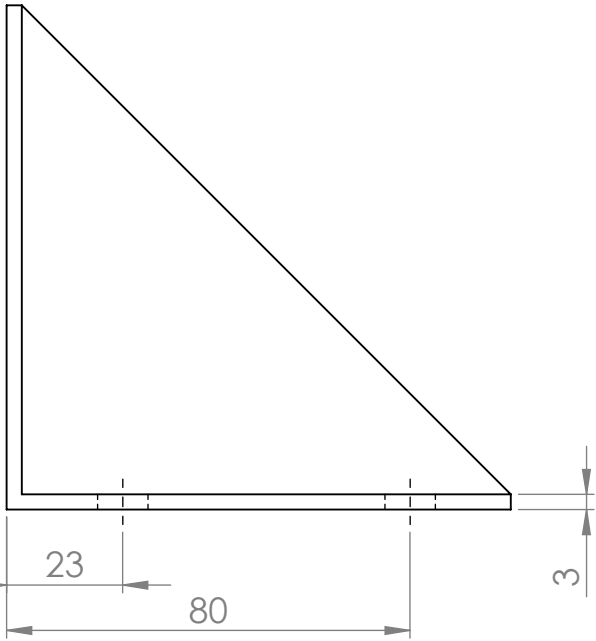
F

F



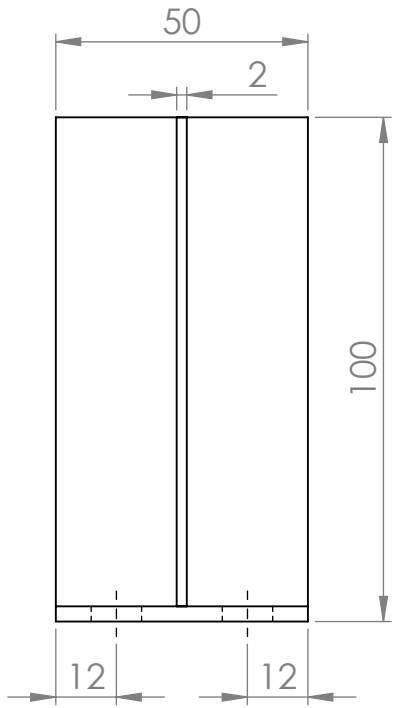
E

E



D

D

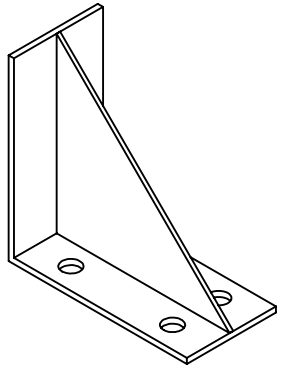


C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		14/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		09/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		09/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
bracket

MATERIAL:
AISI 1035 Steel (SS)
WEIGHT: 298.43 g

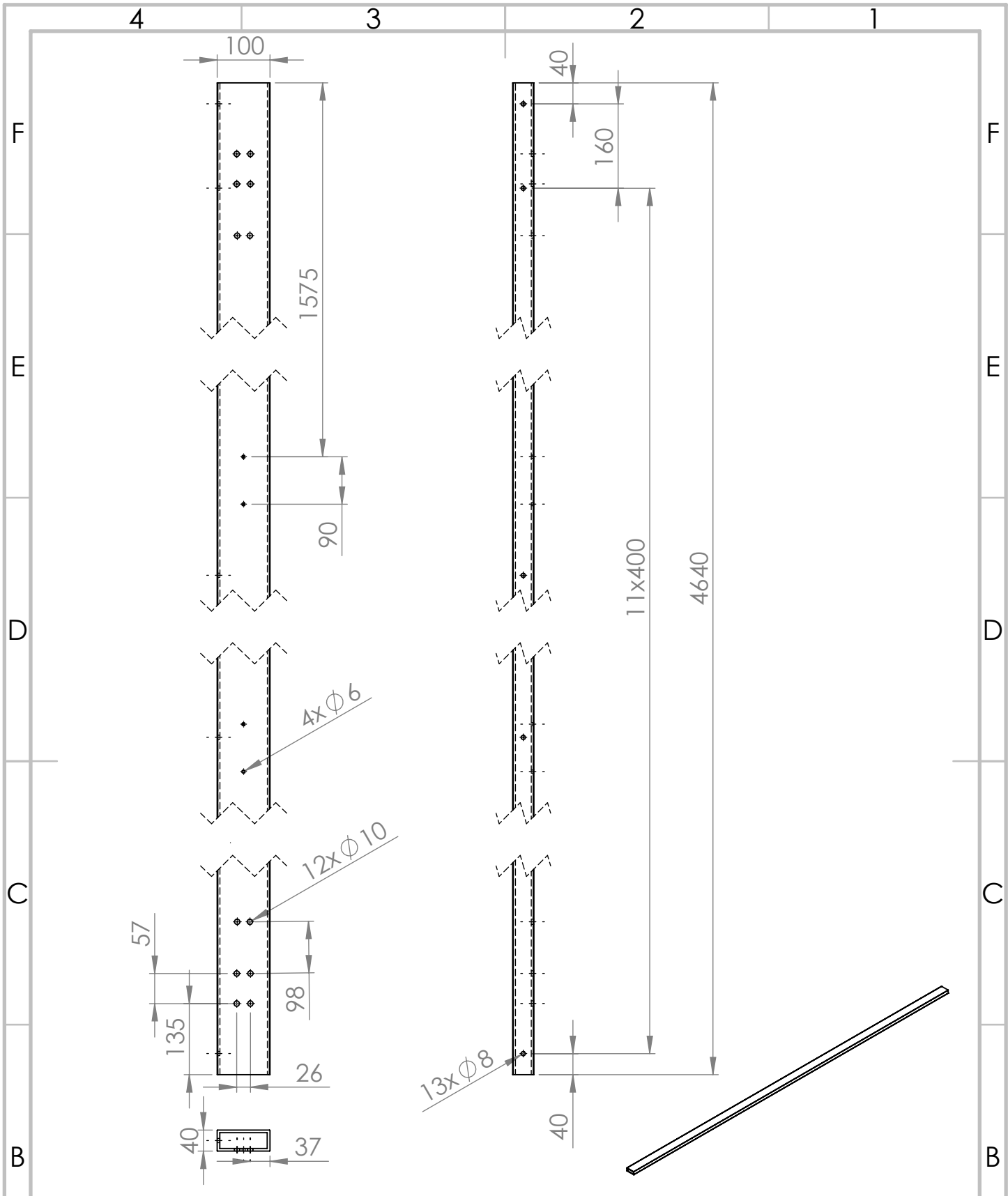
DWG NO. **bracket** A4
SCALE 1:2 SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		20/05/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 100x40_4640_Dir.

DWG NO.
 100x40_4640_Dir.

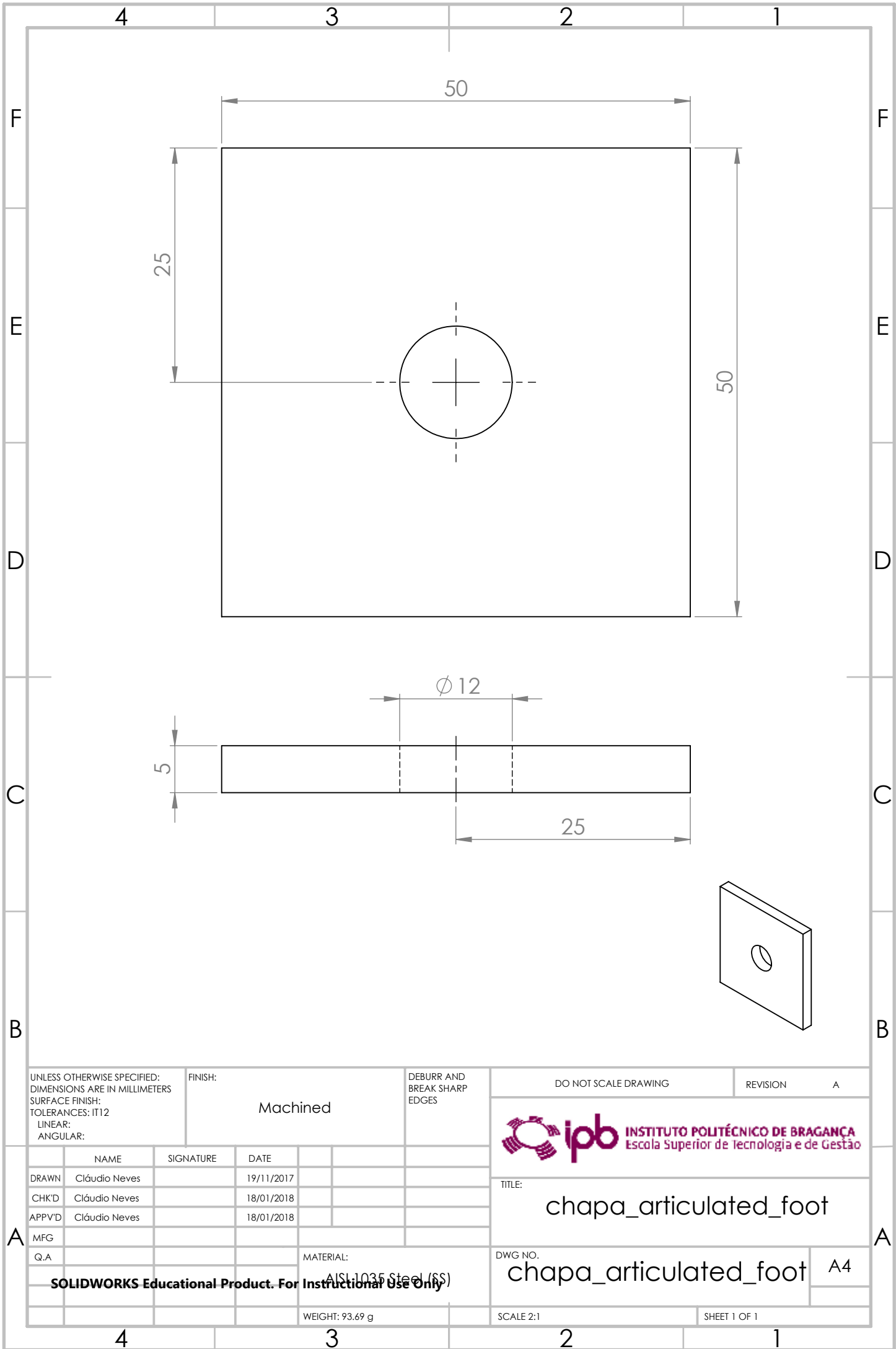
A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 47553.83 g

SCALE 1:50

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A

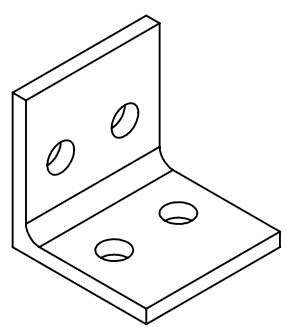
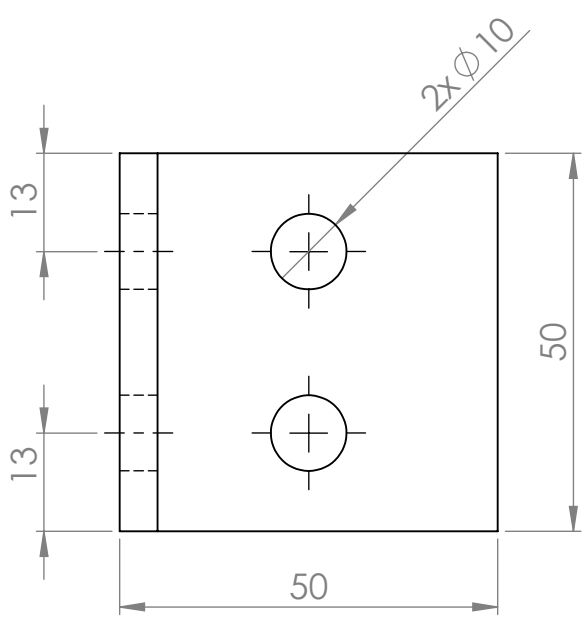
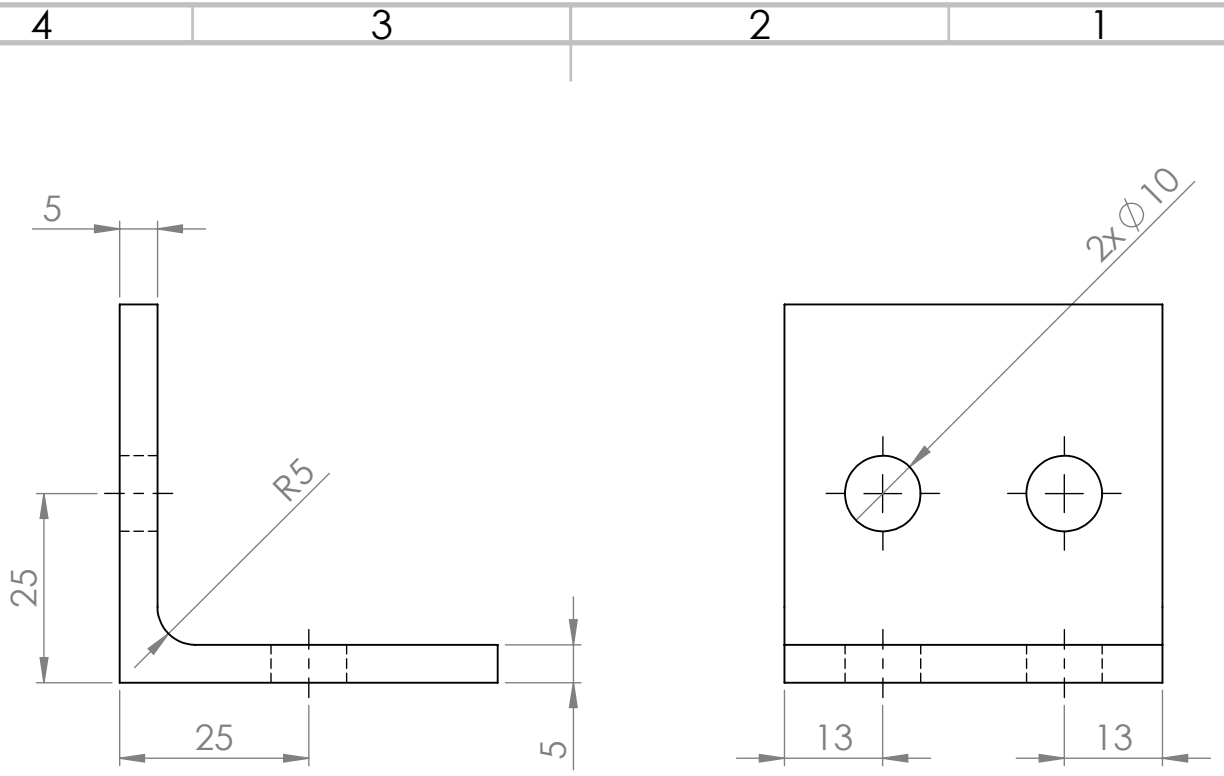


	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		19/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			

TITLE:
 chapa_articulated_foot

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)
 WEIGHT: 93.69 g

DWG NO.
 chapa_articulated_foot A4
 SCALE 2:1 SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		23/11/2016
CHK'D	Cláudio Neves		10/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		10/01/2018
MFG			

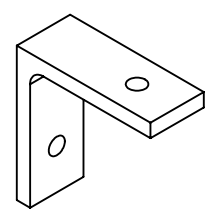
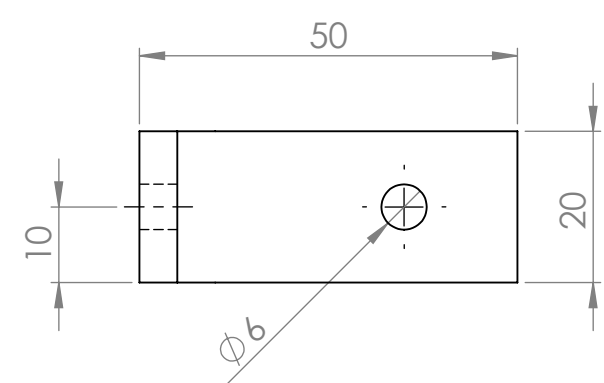
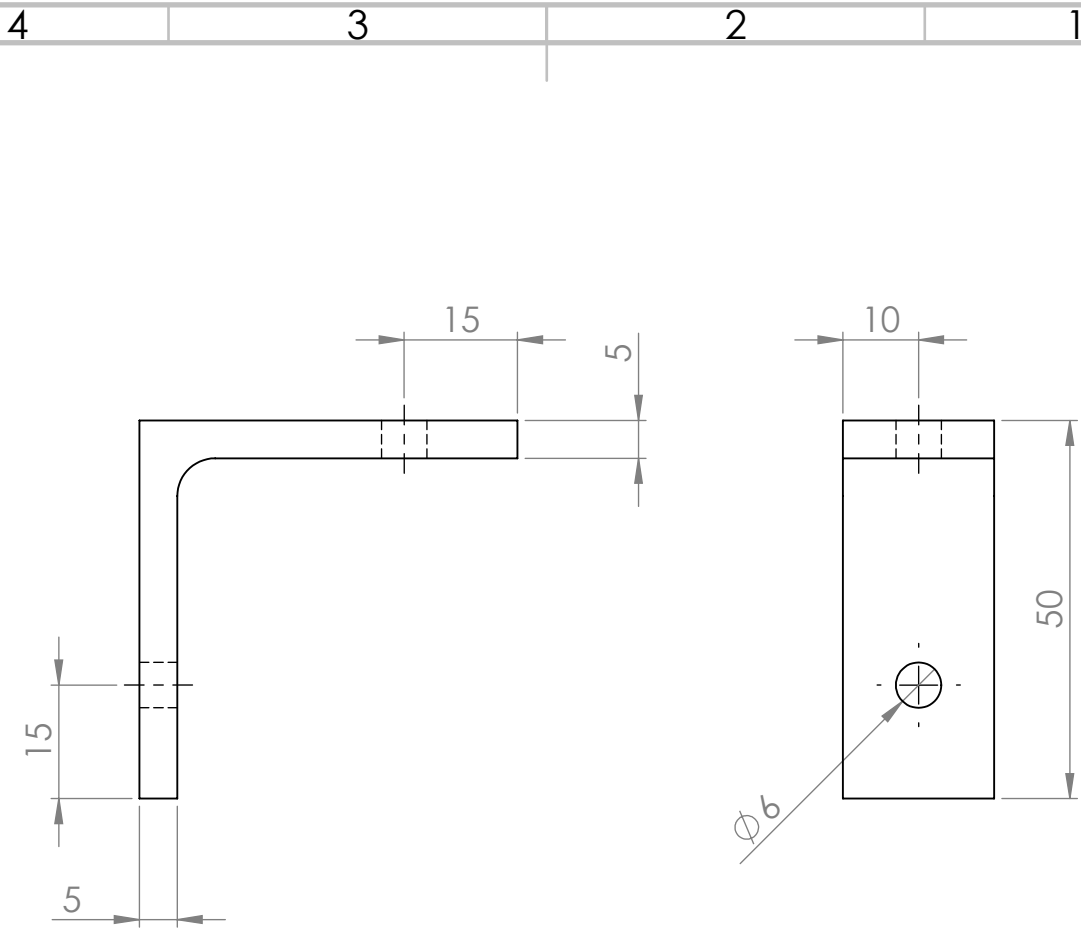
TITLE:
L50x50

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)
 WEIGHT: 176.21 g

DWG NO.
L50x50
 SCALE 1:1 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

A4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		14/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		10/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		10/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
L50x50_20

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)

WEIGHT: 73.20 g

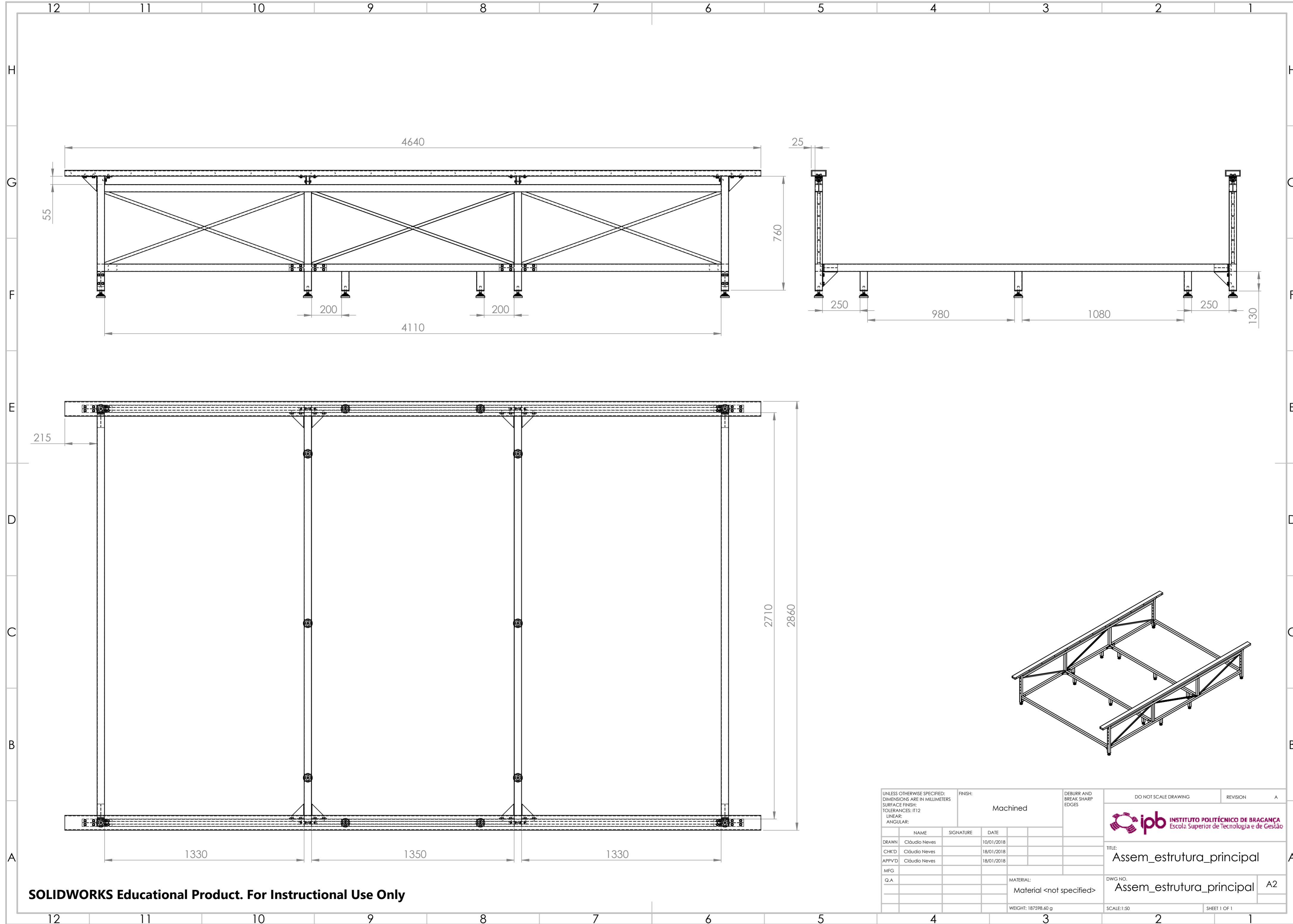
DWG NO.
L50x50_20

SCALE 1:1

A4

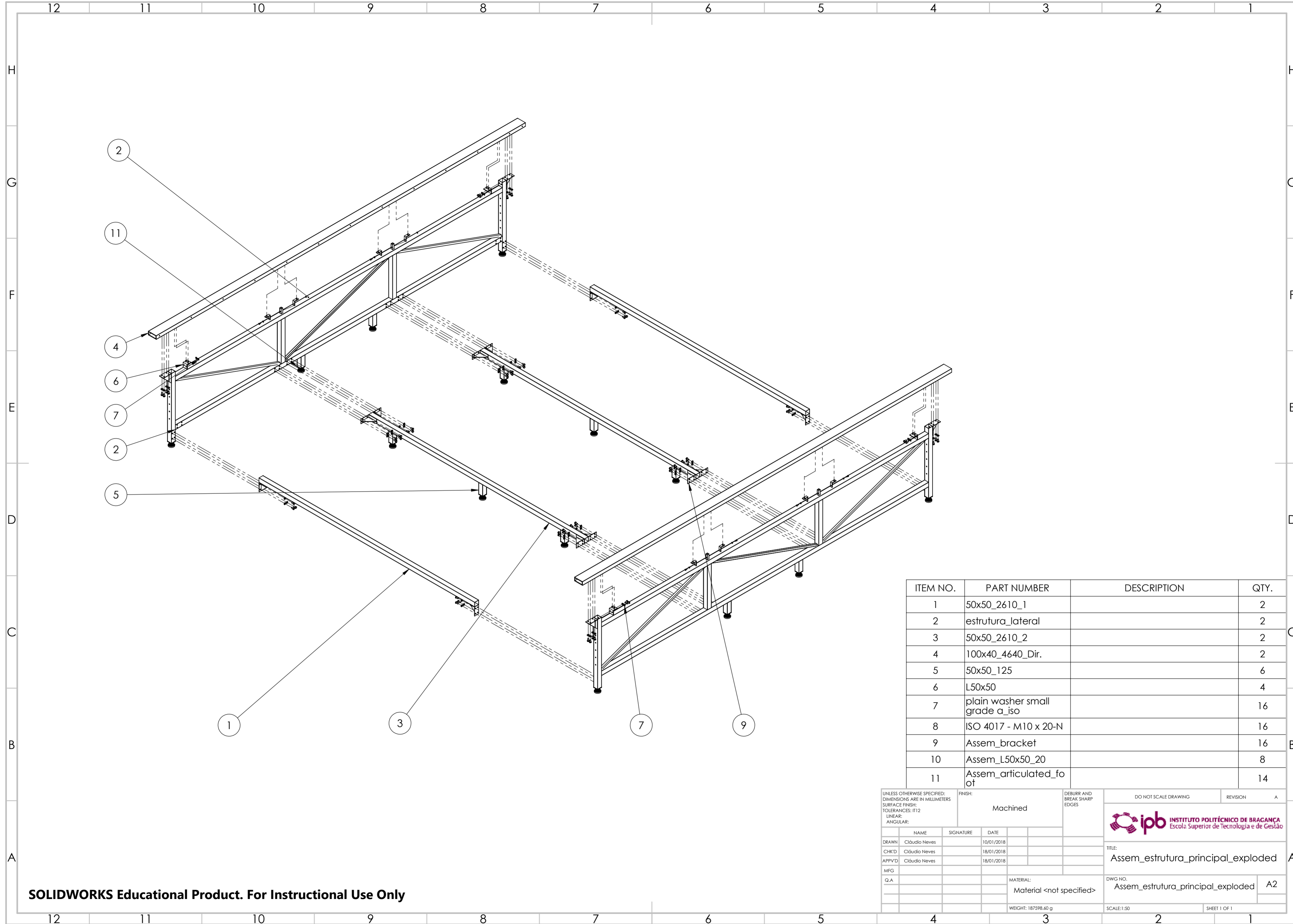
SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH: Machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	
SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12				DO NOT SCALE DRAWING	
LINEAR: ANGULAR:				REVISION A	
NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN Cláudio Neves		10/01/2018			
CHK'D Cláudio Neves		18/01/2018			
APPV'D Cláudio Neves		18/01/2018			
MFG					
Q.A					
			MATERIAL: Material <not specified>		
			WEIGHT: 187598.60 g		
				TITLE: Assem_estrutura_principal	
				DWG NO. Assem_estrutura_principal A2	
				SCALE:1:50	
				SHEET 1 OF 1	



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	50x50_2610_1		2
2	estrutura_lateral		2
3	50x50_2610_2		2
4	100x40_4640_Dir.		2
5	50x50_125		6
6	L50x50		4
7	plain washer small grade a_iso		16
8	ISO 4017 - M10 x 20-N		16
9	Assem_bracket		16
10	Assem_L50x50_20		8
11	Assem_articulated_fo ot		14

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH: Machined

DEBURR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A

ipb INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

TITLE:
 Assem_estrutura_principal_exploded

DWG NO.
 Assem_estrutura_principal_exploded A2

SCALE: 1:50

SHEET 1 OF 1

NAME SIGNATURE DATE

DRAWN Cláudio Neves 10/01/2018

CHK'D Cláudio Neves 18/01/2018

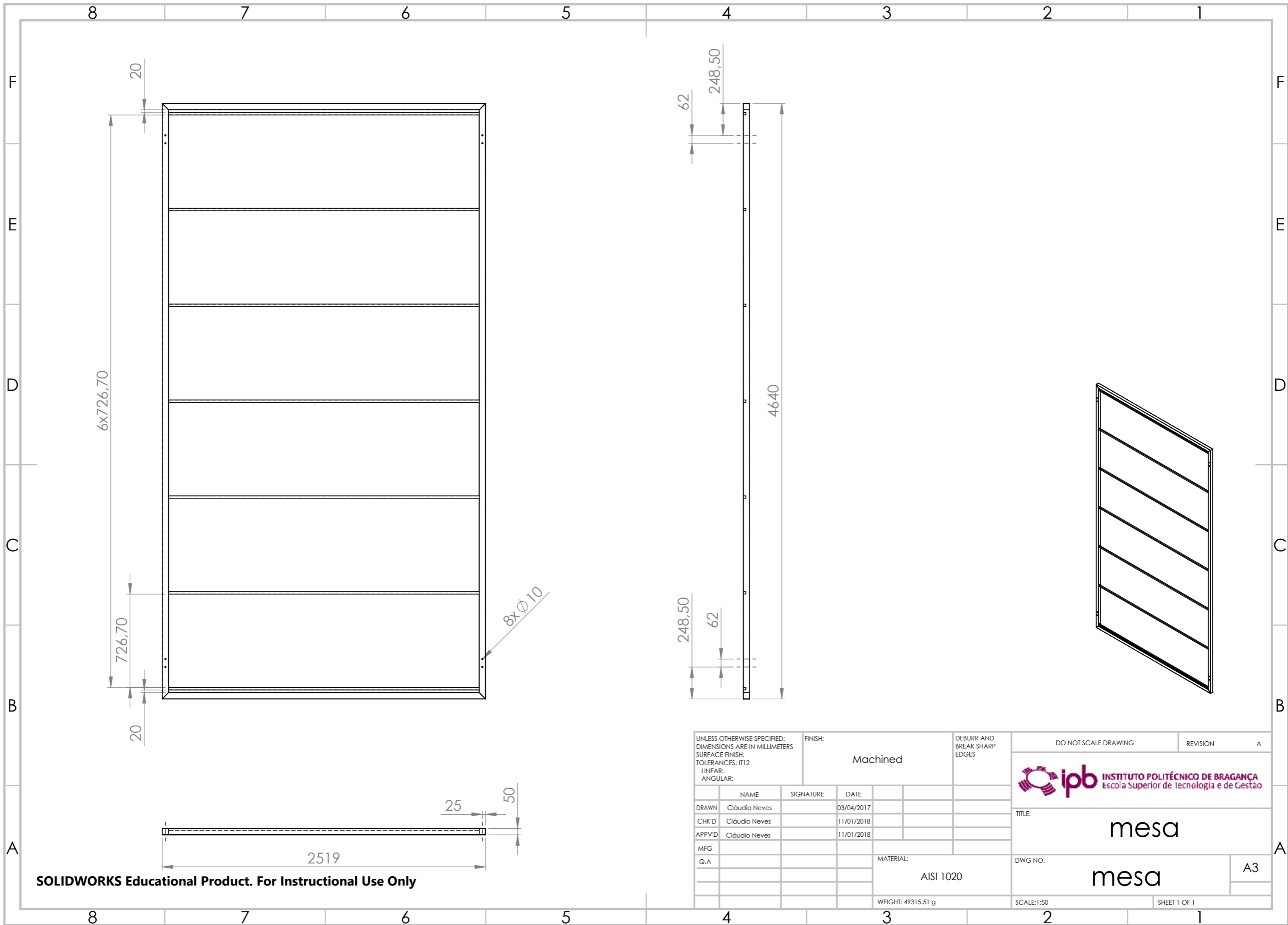
APPV'D Cláudio Neves 18/01/2018

MFG

Q.A

MATERIAL:
 Material <not specified>

WEIGHT: 187598.60 g



6x726,70

726,70

20

20

62

248,50

248,50

62

4640

8xØ10

25

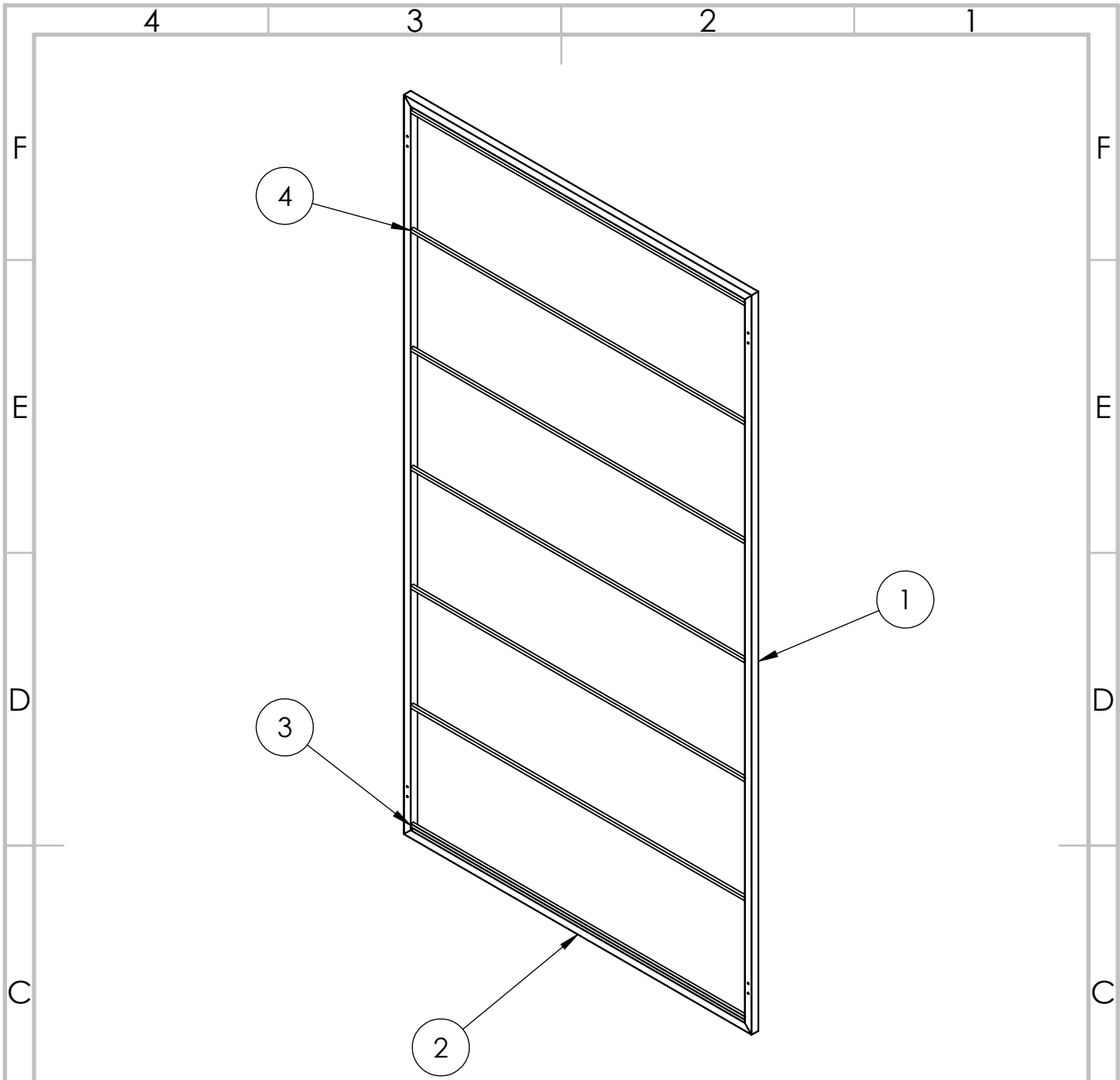
50

2519

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:		FINISH: Machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION A	
DRAWN Cláudio Neves		SIGNATURE		DATE		TITLE: mesa		DWG NO. mesa	
CHK'D Cláudio Neves				11/01/2018				A3	
APPV'D Cláudio Neves				11/01/2018				SHEET 1 OF 1	
MFG						SCALE:1:50			
Q.A				MATERIAL: AISI 1020		WEIGHT: 49315,51 g			





ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	LENGTH
1	2	Tubo 50x50x1.5	4640
2	2	Tubo 50x50x1.5	2519
3	2	Tubo 20x20x1.5	2419
4	6	Tubo 20x20x1.5	2419

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		03/04/2017
CHK'D	Cláudio Neves		11/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		11/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 mesa_weldment_table

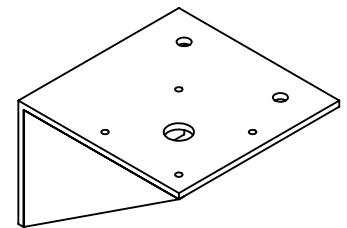
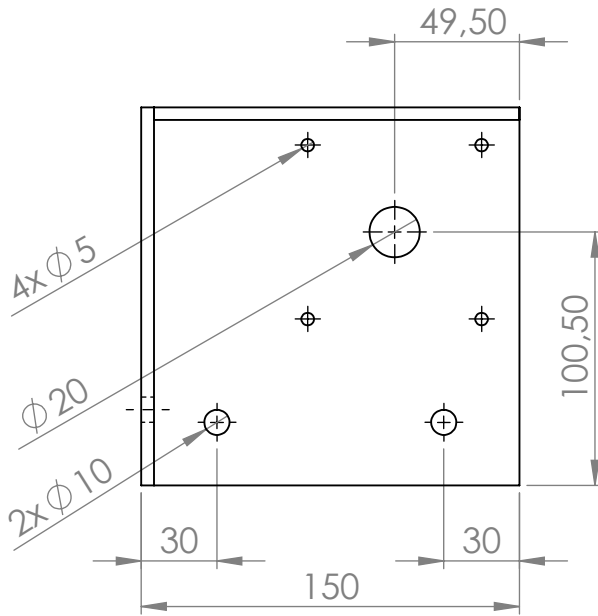
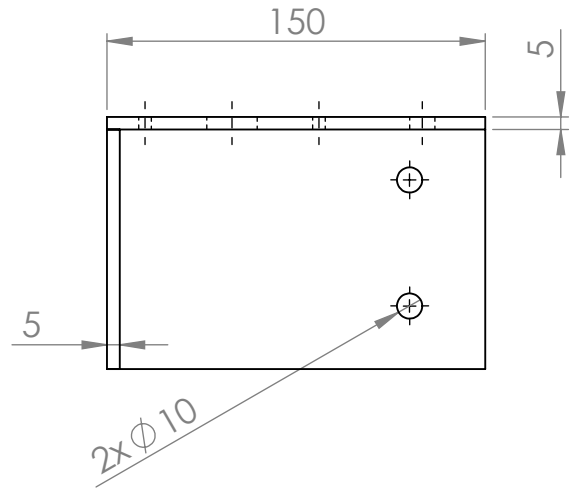
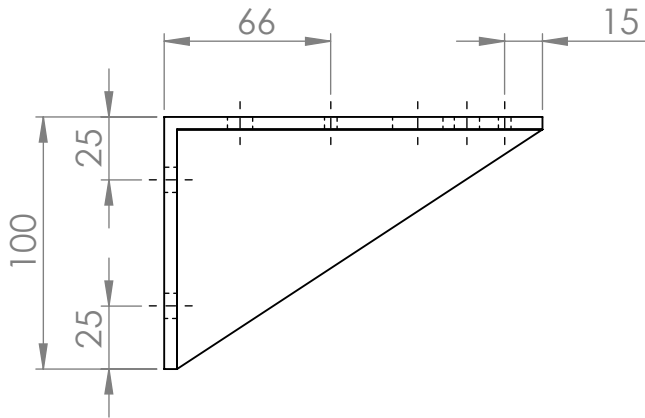
DWG NO.
 mesa_weldment_table A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 49315.51 g

SCALE 1:50

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		16/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:

apoio_nema_mesa_esq

DWG NO.

apoio_nema_mesa_esq

A4

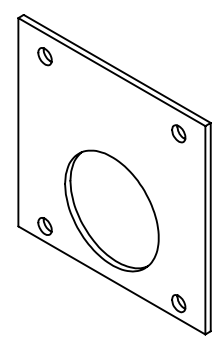
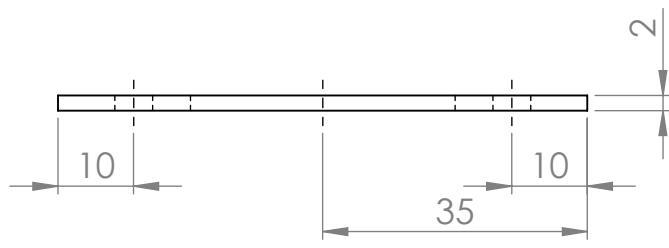
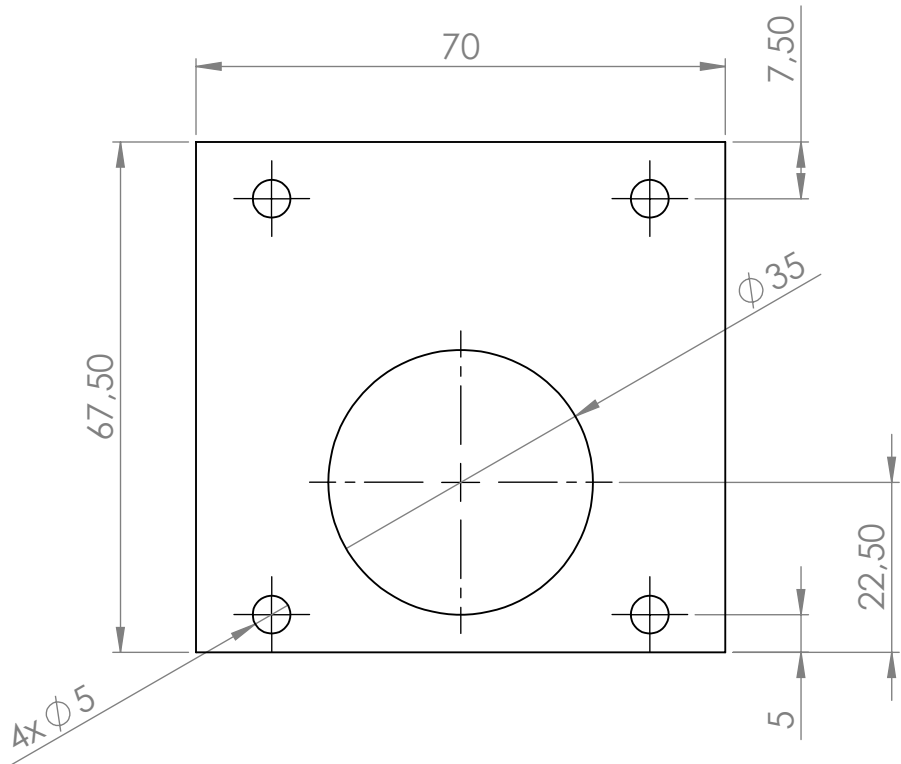
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL:
AISI 1035 Steel (SS)

WEIGHT: 1685.03 g

SCALE 1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		16/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
chapa_mancal_2

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)

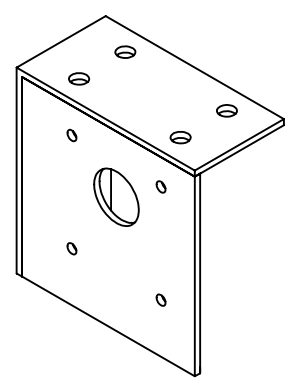
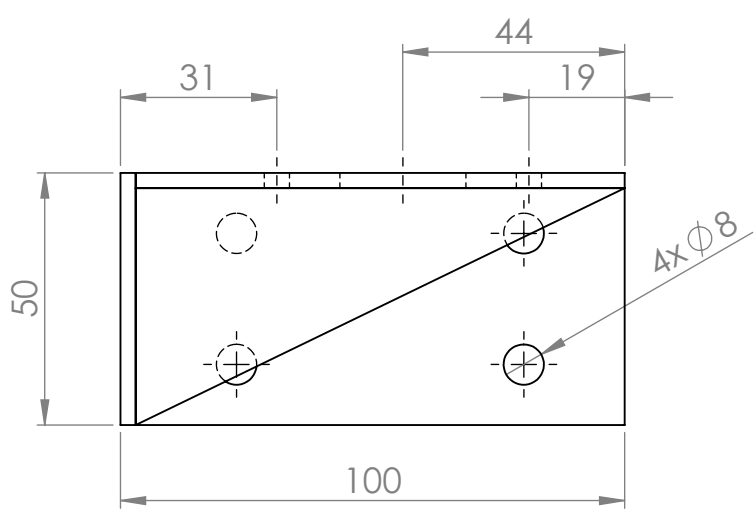
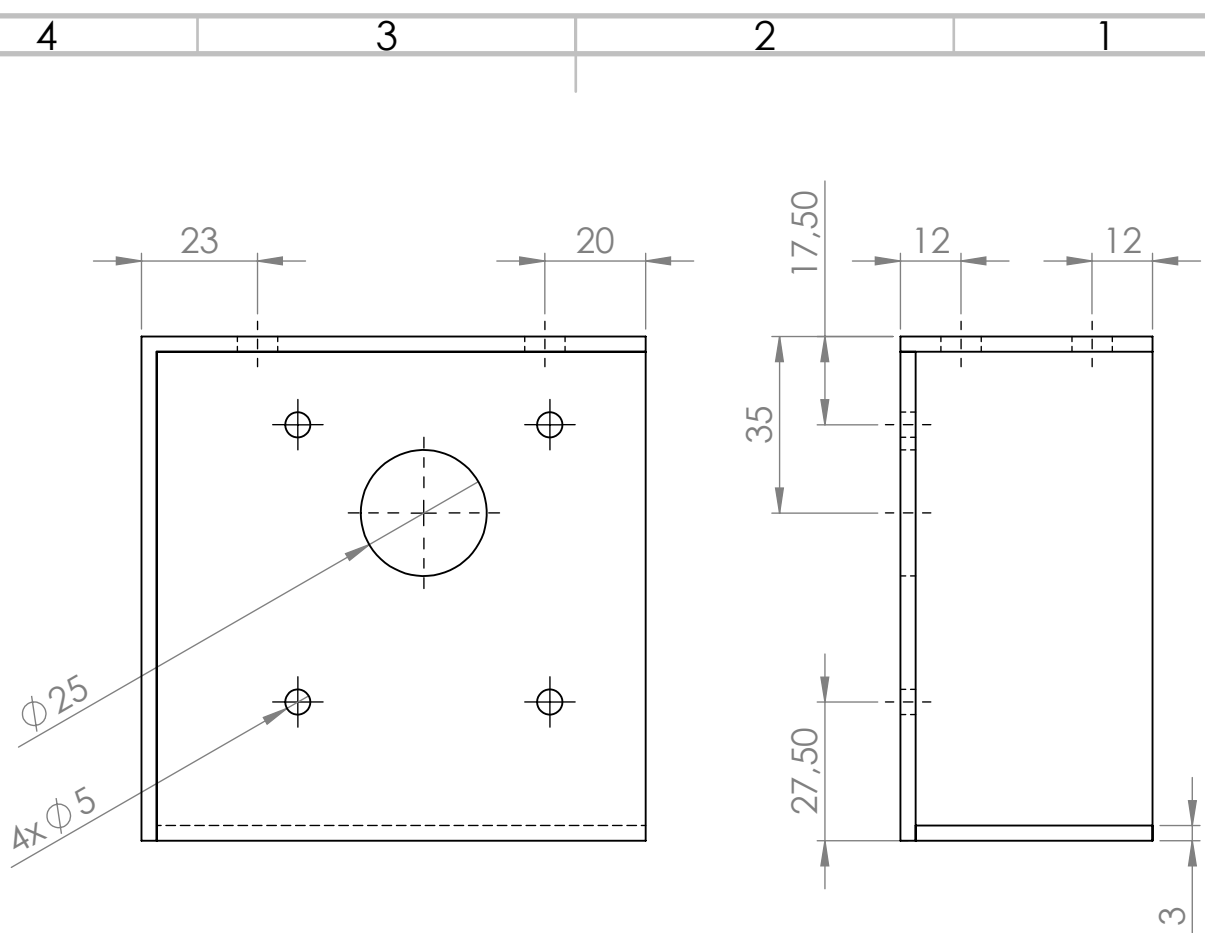
WEIGHT: 57.84 g

DWG NO.
chapa_mancal_2

A4

SCALE 1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



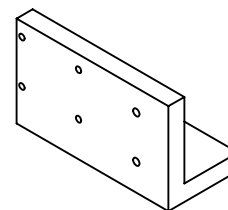
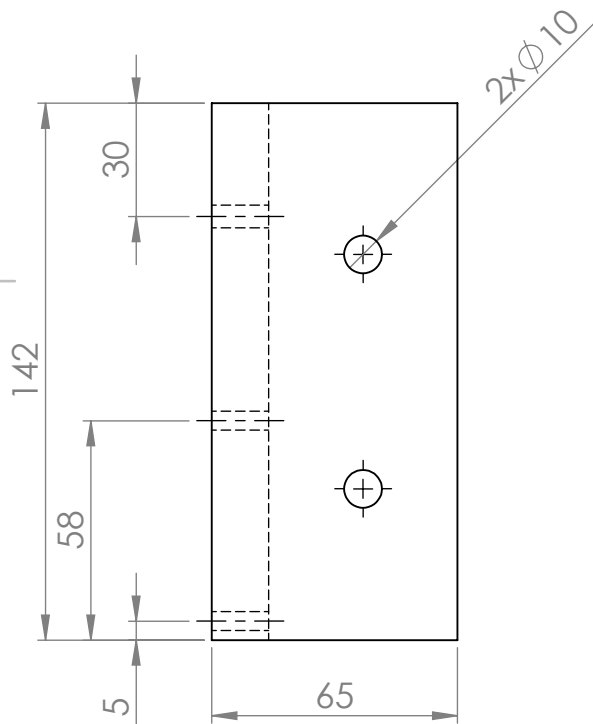
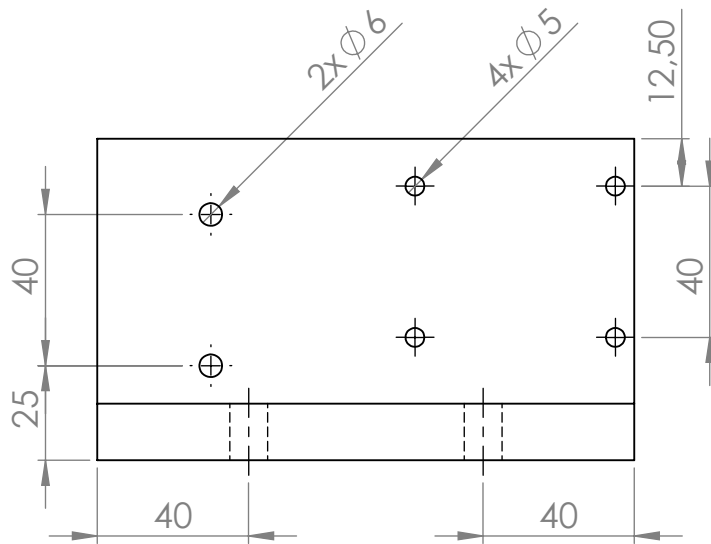
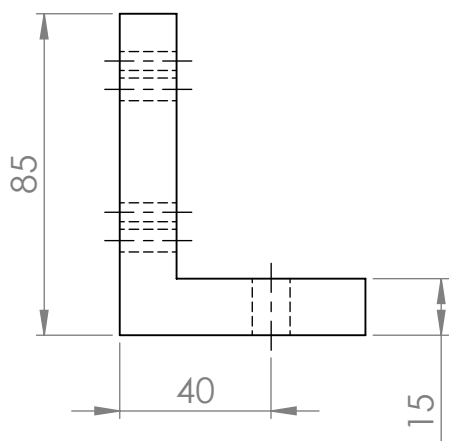
	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		14/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		11/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		11/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 bracket_2_esq

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)
 WEIGHT: 489.09 g

DWG NO.
 bracket_2_esq
 A4
 SCALE 1:2 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		18/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:

ligação_mesa_esq

DWG NO.

ligação_mesa_esq

A4

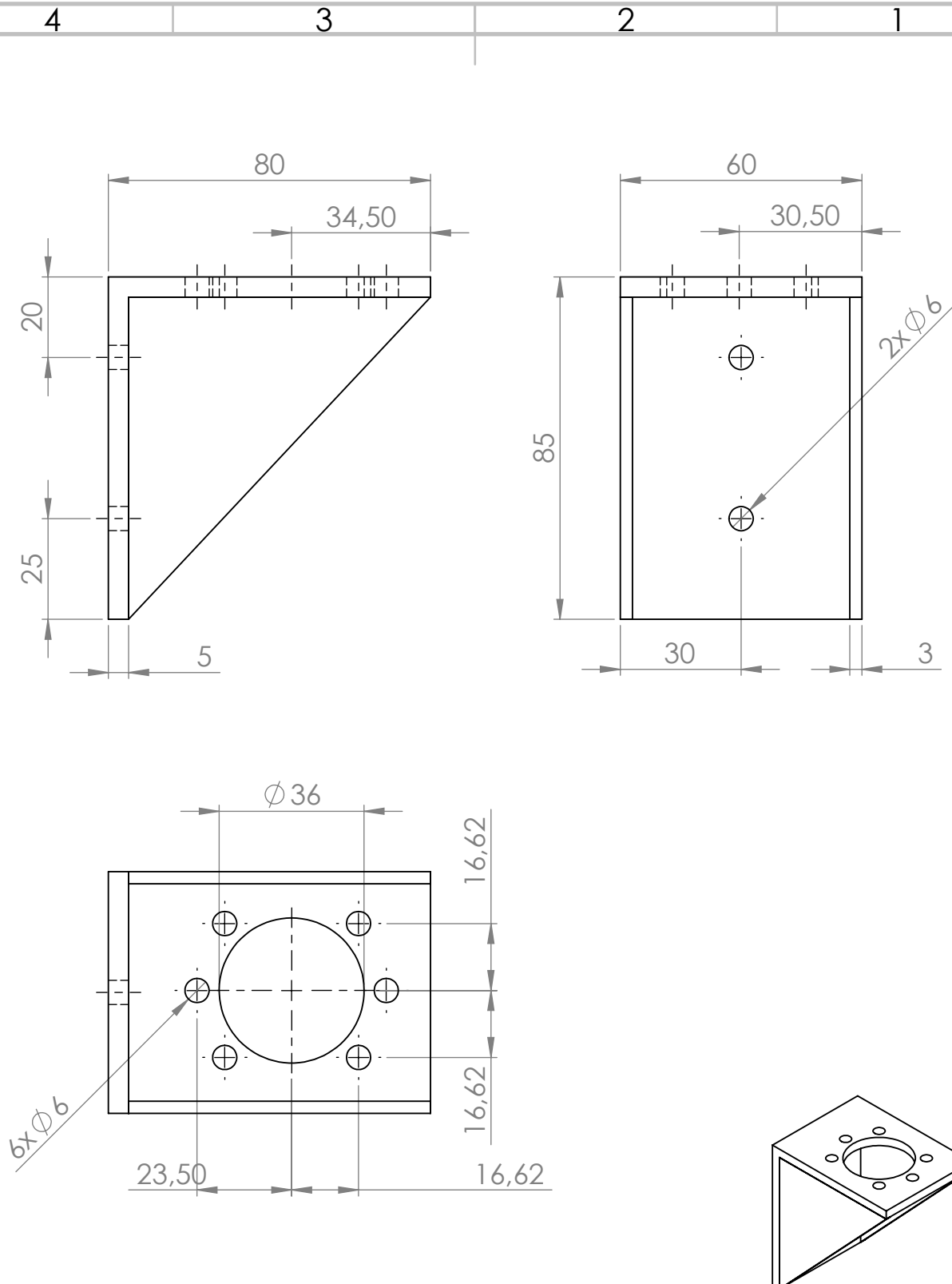
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL: 6061 Alloy

WEIGHT: 764.55 g

SCALE 1:2

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		18/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		11/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		11/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 suporte_porca_mesa

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)
 WEIGHT: 469.27 g

DWG NO.
 suporte_porca_mesa A4
 SCALE 1:2 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

4 3 2 1

F

F

E

E

D

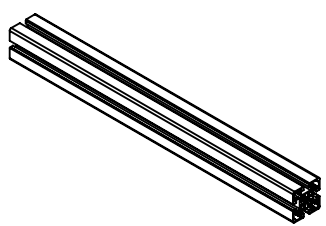
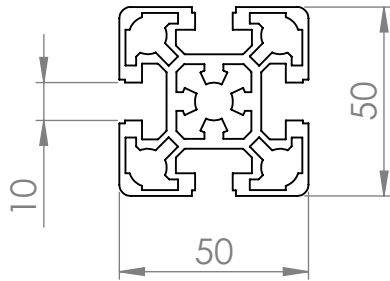
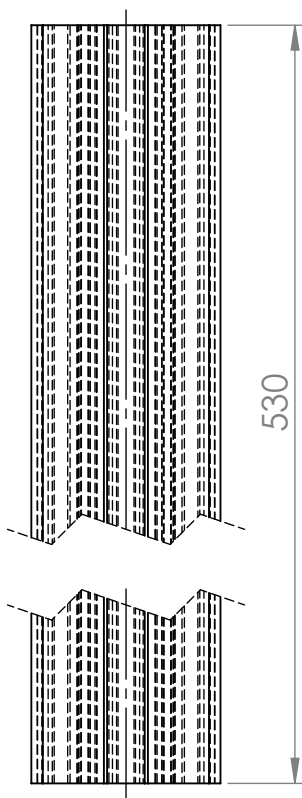
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		15/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		11/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		11/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:	STRUT_PROFILE_50X50L_530	
DWG NO.	STRUT_PROFILE_50X50L_530	A4
SCALE 1:10		SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 1336.12 g

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

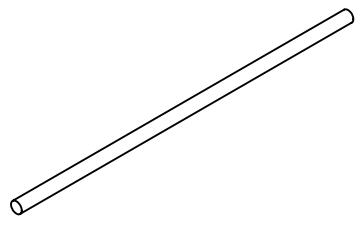
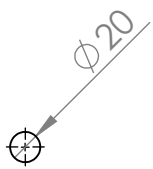
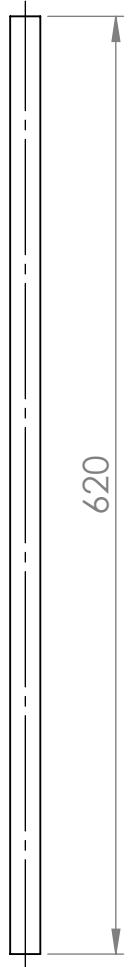
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		17/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
fuso_esferas_620

MATERIAL:
 AISI 4130 Steel, normalized at 870C

DWG NO.
fuso_esferas_620

A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 1529.01 g

SCALE 1:10

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

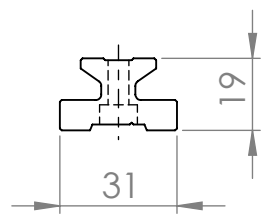
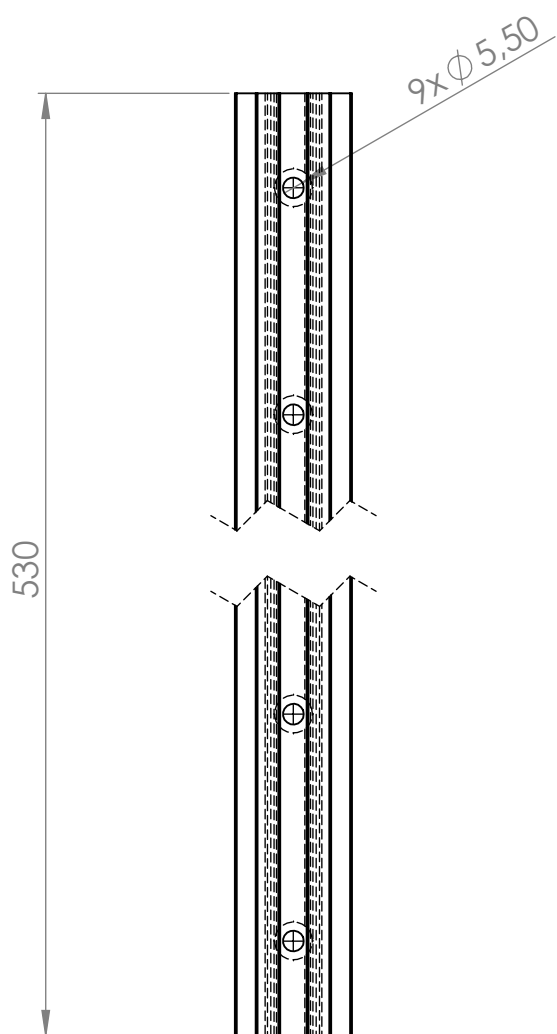
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		15/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		11/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		11/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
TS_01_20_530_1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL:
6061 Alloy

WEIGHT: 515.85 g

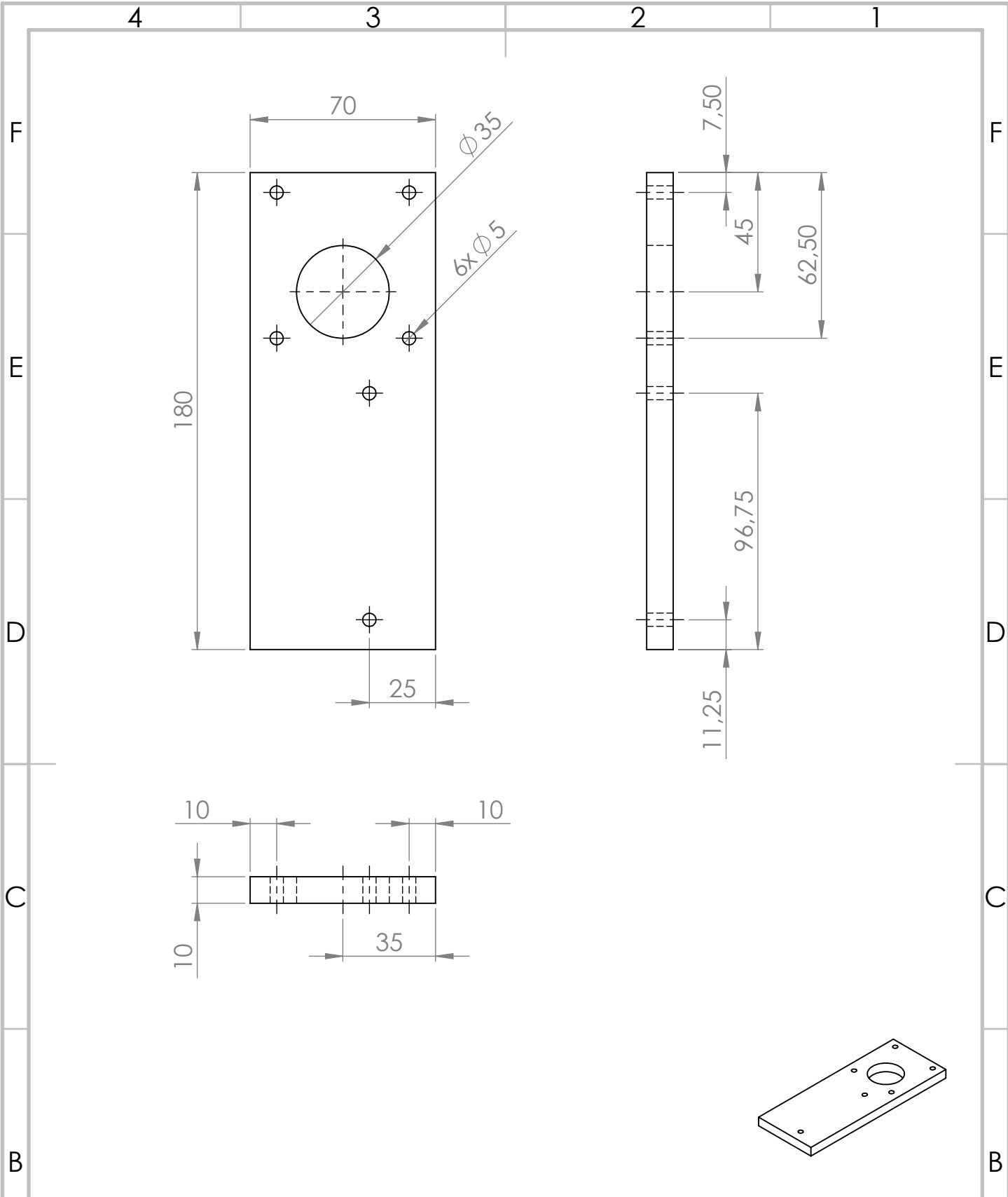
DWG NO.
TS_01_20_530_1

A4

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



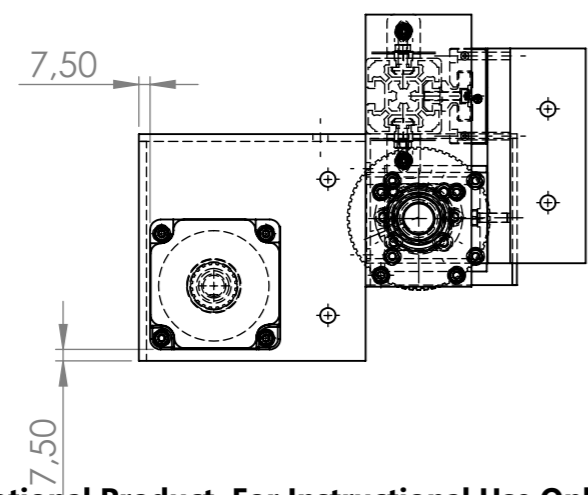
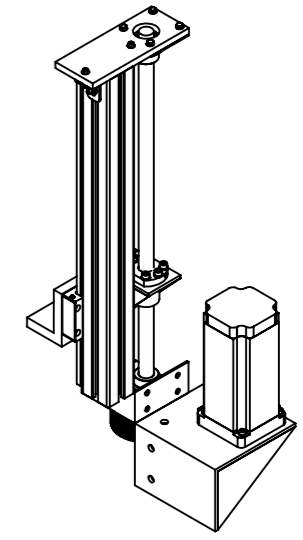
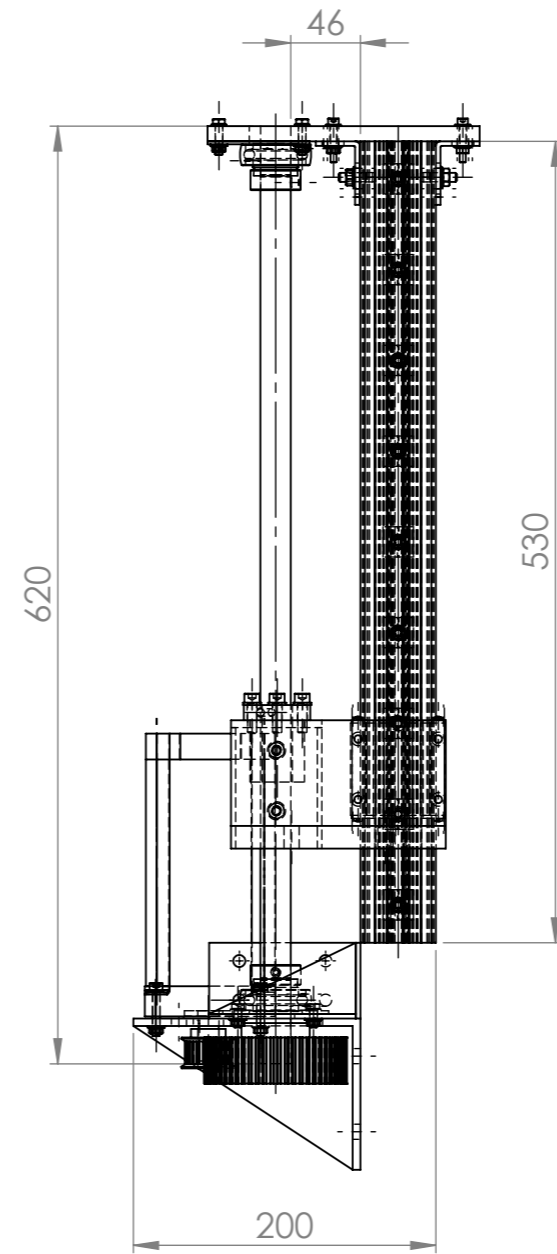
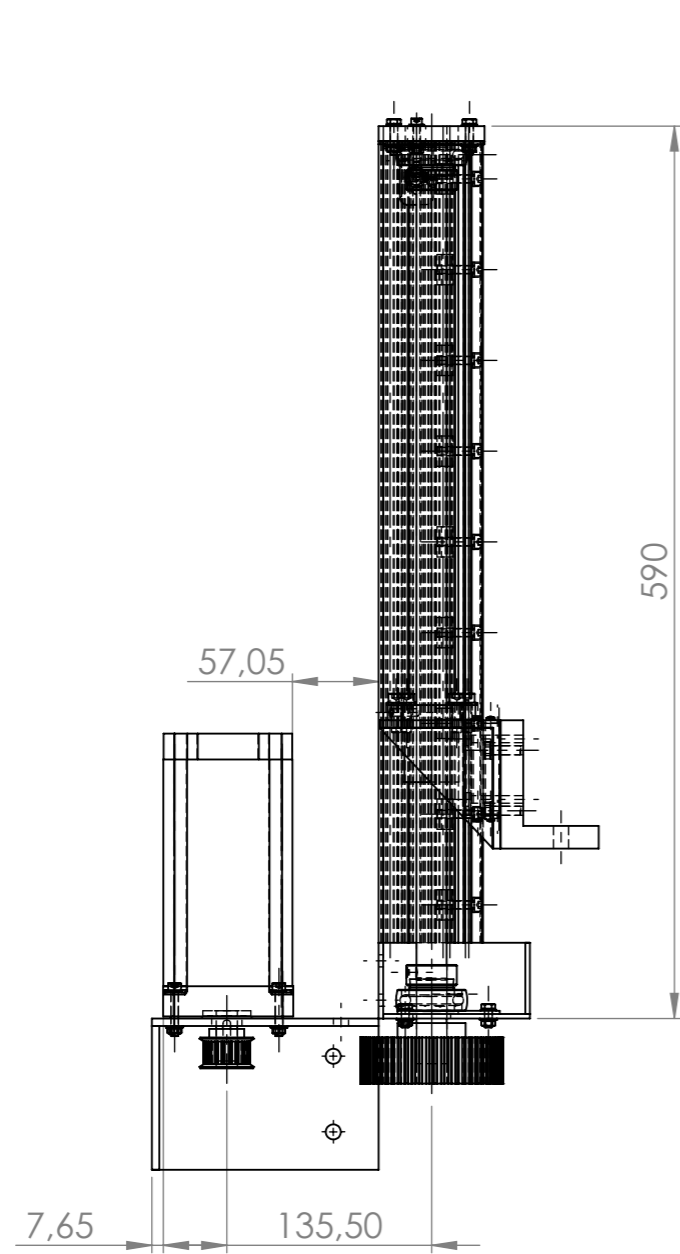
	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		16/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		11/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		11/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 apoio_mancal_mesa_esq


MATERIAL:
 6061 Aluoy
 WEIGHT: 311.04 g

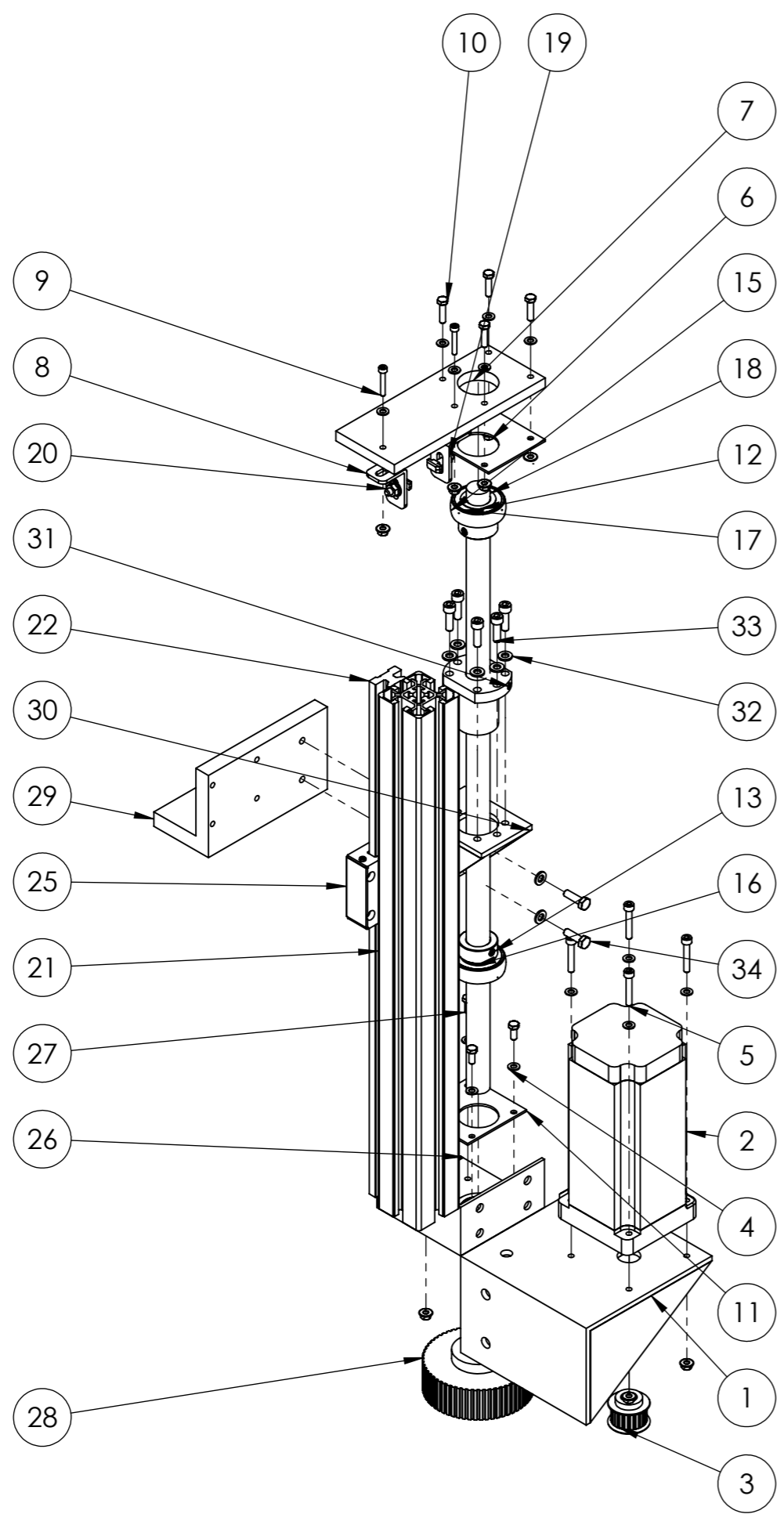
DWG NO.
 apoio_mancal_mesa_esq A4
 SCALE 1:5 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	A
NAME	SIGNATURE	DATE		 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e de Gestão		
DRAWN	Cláudio Neves	11/01/2018				
CHK'D	Cláudio Neves	11/01/2018				
APPV'D	Cláudio Neves	11/01/2018				
MFG				TITLE: Assem_sist_mov_z_2		
Q.A			MATERIAL: Material <not specified>	DWG NO.	Assem_sist_mov_z_2	A3
			WEIGHT: 9016.99 g	SCALE: 1:10	SHEET 1 OF 1	



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	apoio_nema_mesa_esq		1
2	NEMA34		1
3	pulley_20_5m_15_2		1
4	Washer ISO 7089 - 5		23
5	ISO 4762 M5 x 30 - 22N		4
6	ISO - 4161 - M5 - N		14
7	apoio_mancal_mesa_esq		1
8	7		2
9	ISO 4762 M4 x 25 - 25N		2
10	ISO 4017 - M5 x 20-N		4
11	chapa_mancal_2		2
12	snr_es204g2_0_01		2
13	snr_es204g2_0_02		2
14	snr_es204g2_0_03		2
15	snr_es204g2_0_04		2
16	snr_es204g2_0_05		2
17	snr_es204g2_0_06		2
18	fuso_esferas_620		1
19	T_BOLT_M6_20		2
20	ISO - 4161 - M6 - N		2
21	STRUT_PROFILE_50X50L_530		1
22	TS_01_20_530_1		1
23	sliding_block_1		9
24	ISO 4762 M5 x 25 - 25N		9
25	TW_02_20_4		1
26	bracket_2_esq		1
27	ISO 4017 - M5 x 12-N		4
28	pulley_60_5m_25_2		1
29	ligação_mesa_esq		1
30	suporte_porca_mesa		1
31	24055-20052x_02		1
32	Washer ISO 7089 - 6		8
33	ISO 4762 M6 x 20 - 20N		6
34	ISO 4017 - M6 x 20-N		2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A

ipb INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

TITLE:
Assem_sist_mov_z_2_explode

DWG NO.
Assem_sist_mov_z_2_explode A3

MATERIAL:
 Material <not specified>

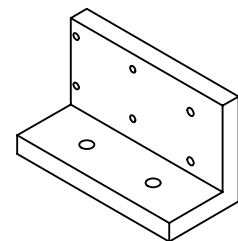
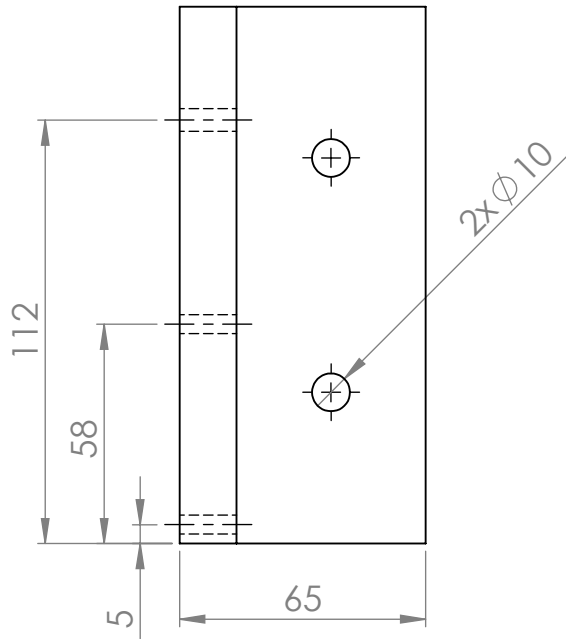
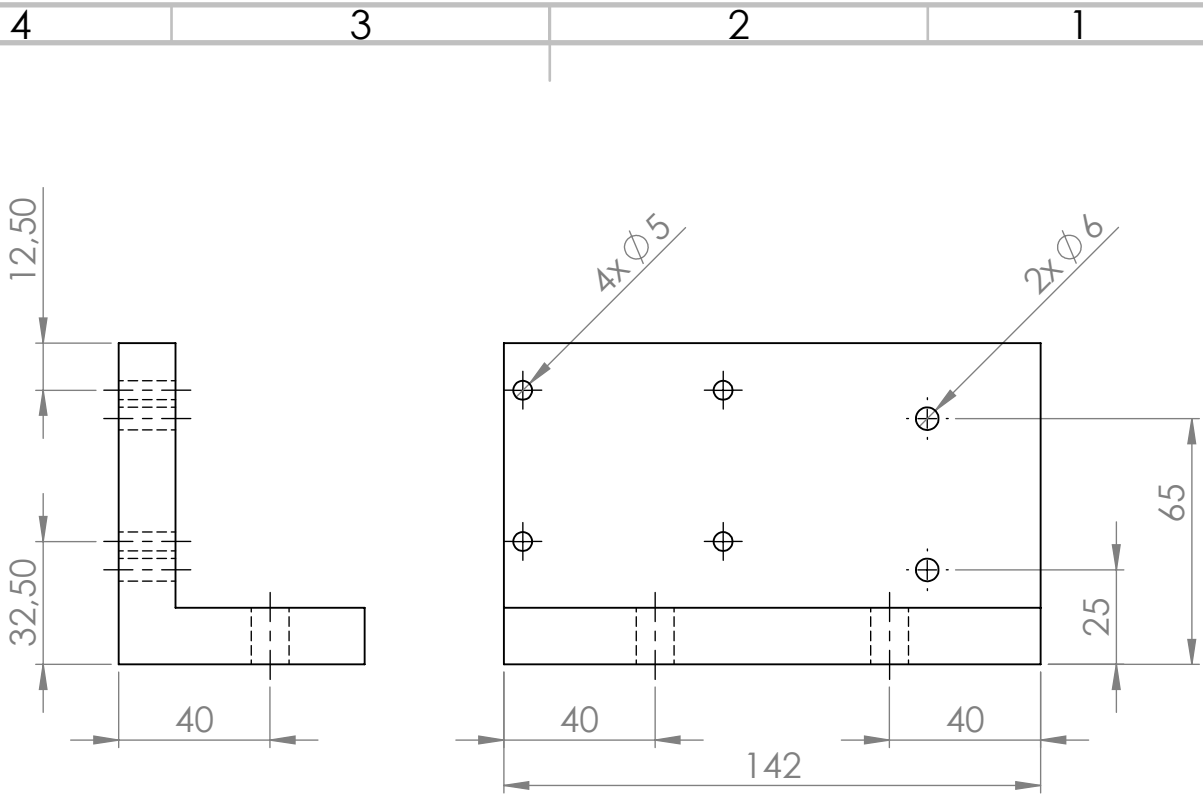
WEIGHT: 9016.99 g

SCALE: 1:10

SHEET 1 OF 1

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		11/01/2018
CHK'D	Cláudio Neves		11/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		11/01/2018
MFG			
Q.A			

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		18/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		13/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		13/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 ligação_mesa

MATERIAL:
 6061 Aluox

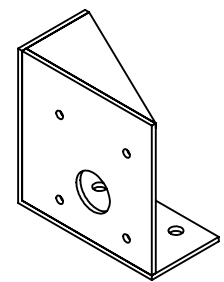
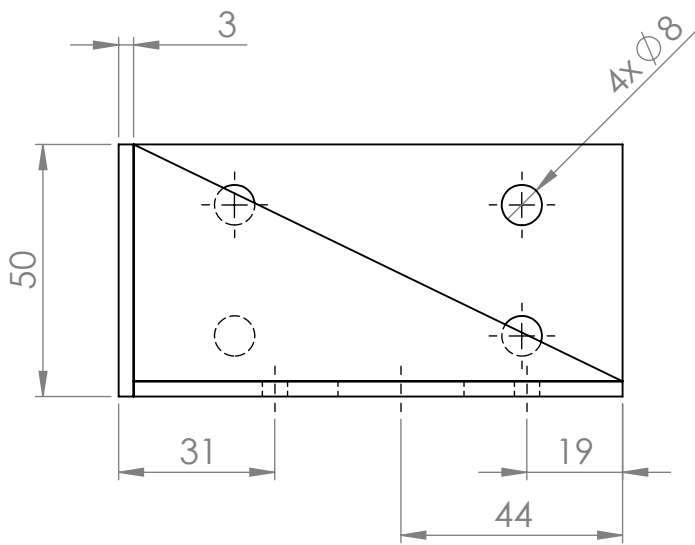
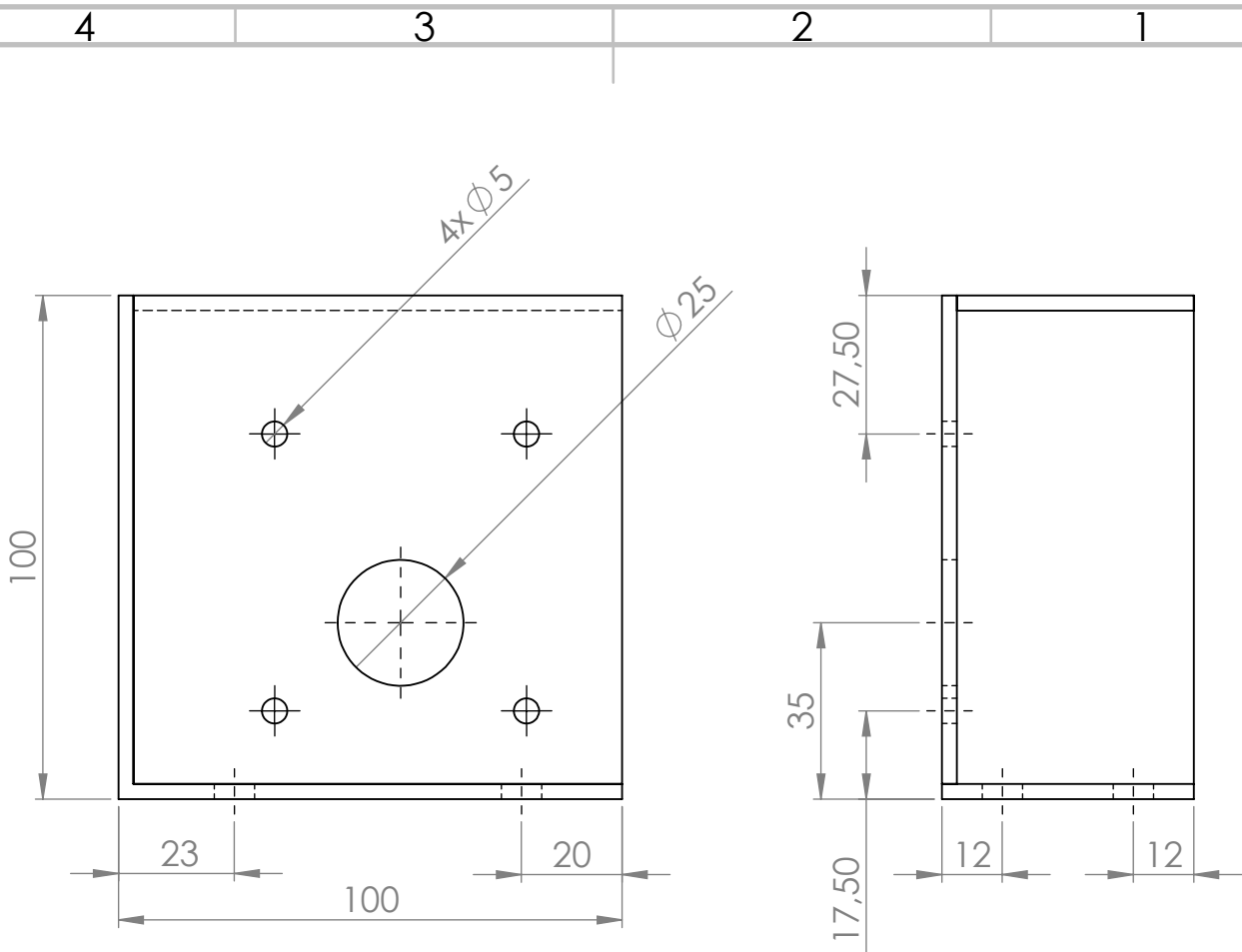
WEIGHT: 764.55 g

DWG NO.
 ligação_mesa

A4

SCALE 1:2 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



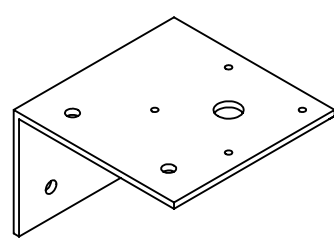
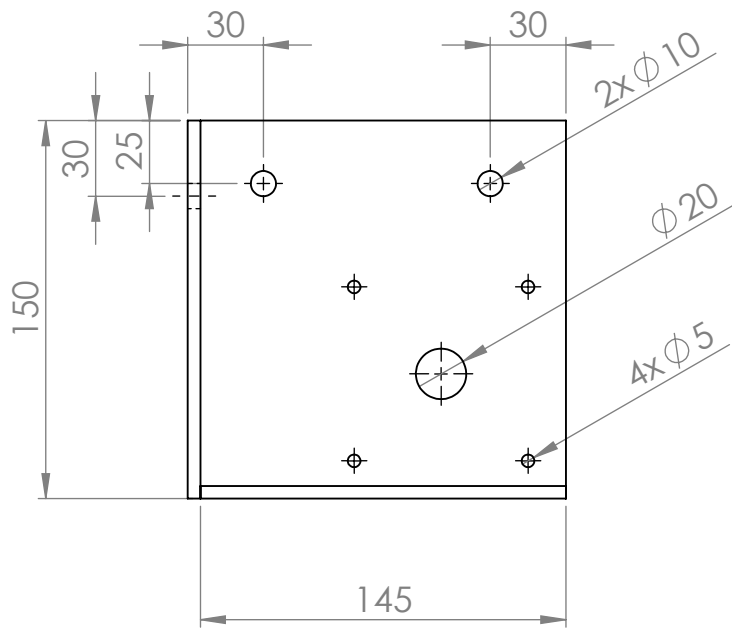
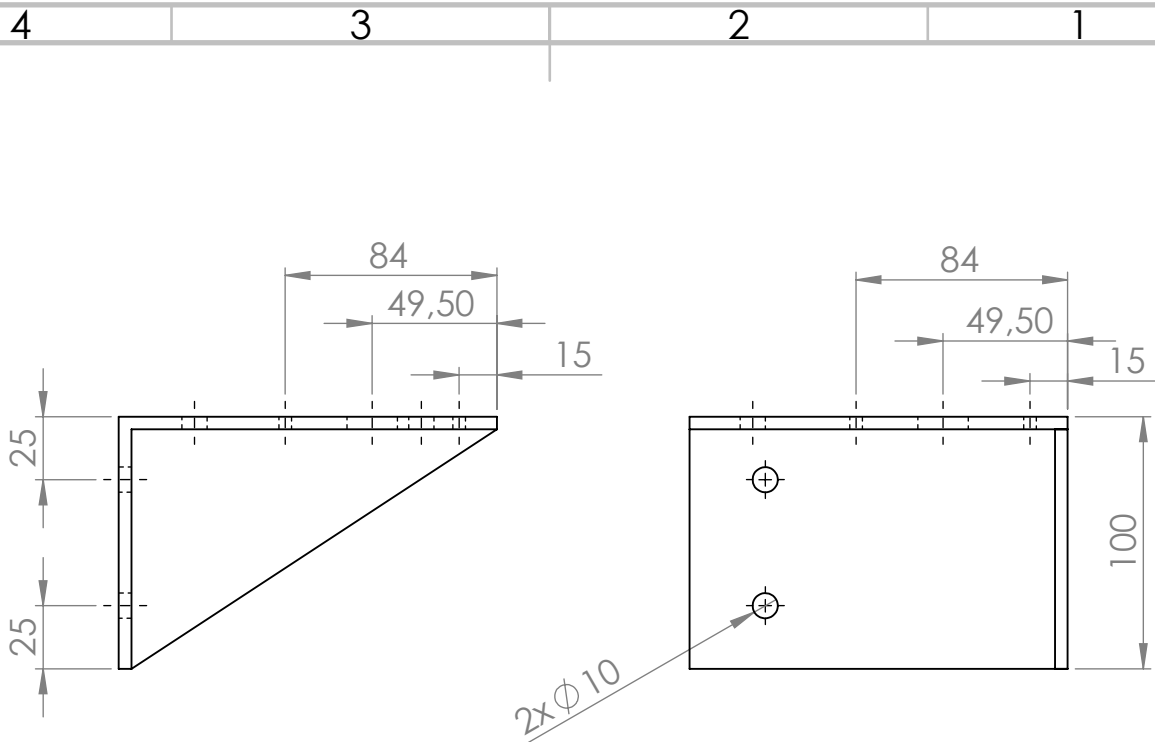
	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		14/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		13/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		13/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 bracket_2

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)
 WEIGHT: 489.09 g

DWG NO.
 bracket_2
 A4
 SCALE 1:2 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		16/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		13/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		13/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 apoio_nema_mesa

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)

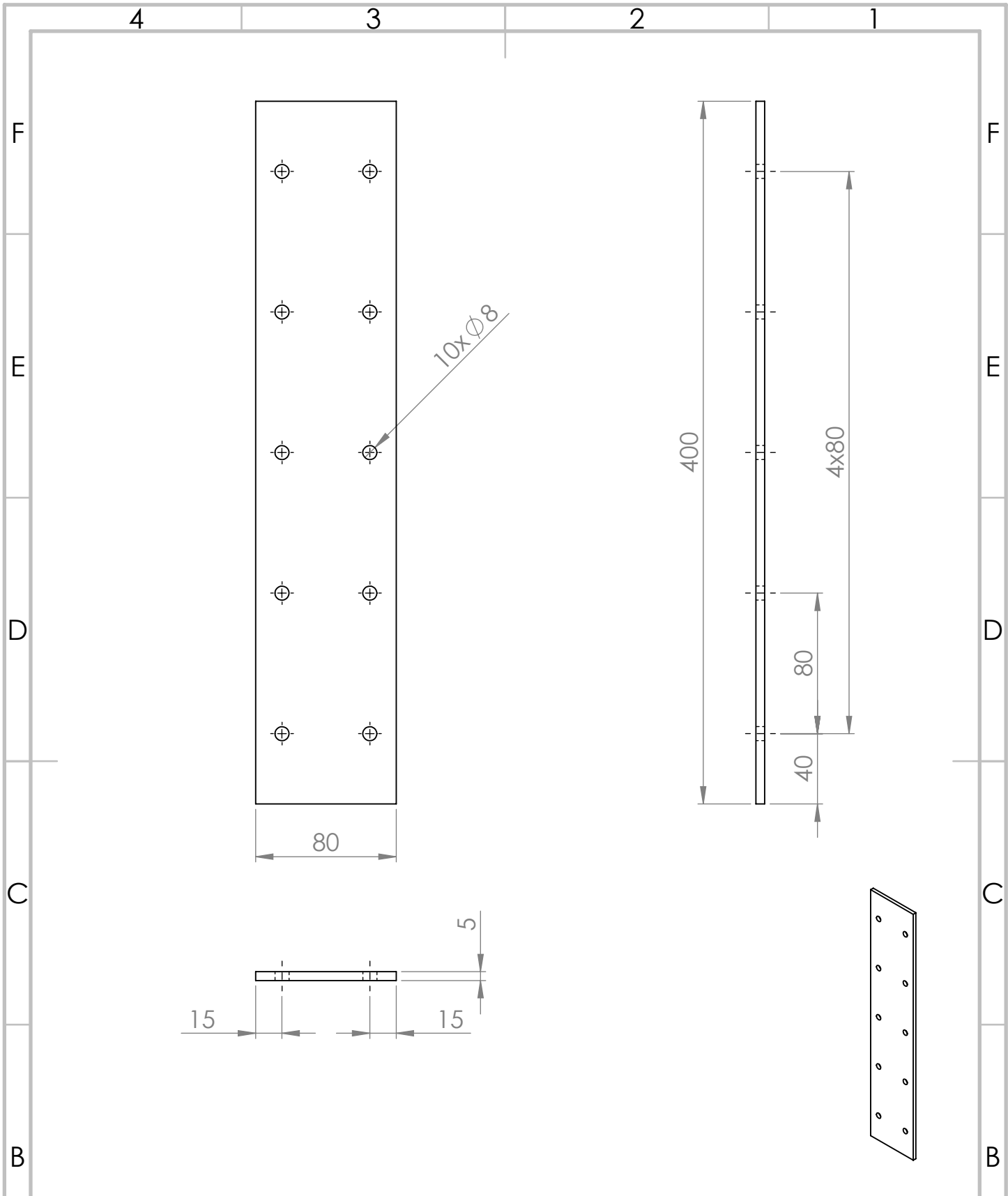
DWG NO.
 apoio_nema_mesa A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 1685.03 g

SCALE 1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



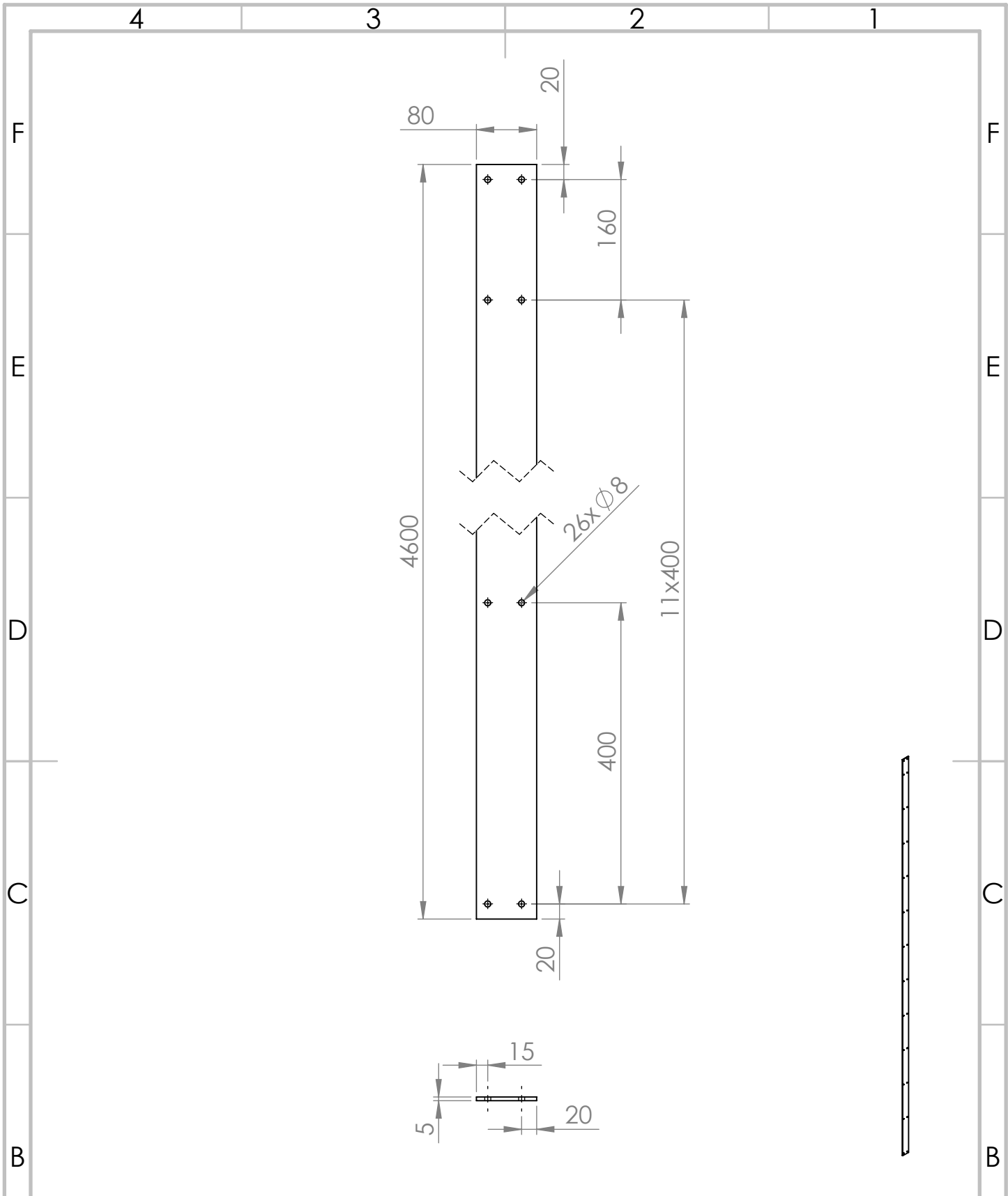
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		17/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		13/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		13/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:	barramento_2	
DWG NO.	barramento_2	A4
WEIGHT:	1236.27 g	SCALE 1:5
SHEET 1 OF 1		

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



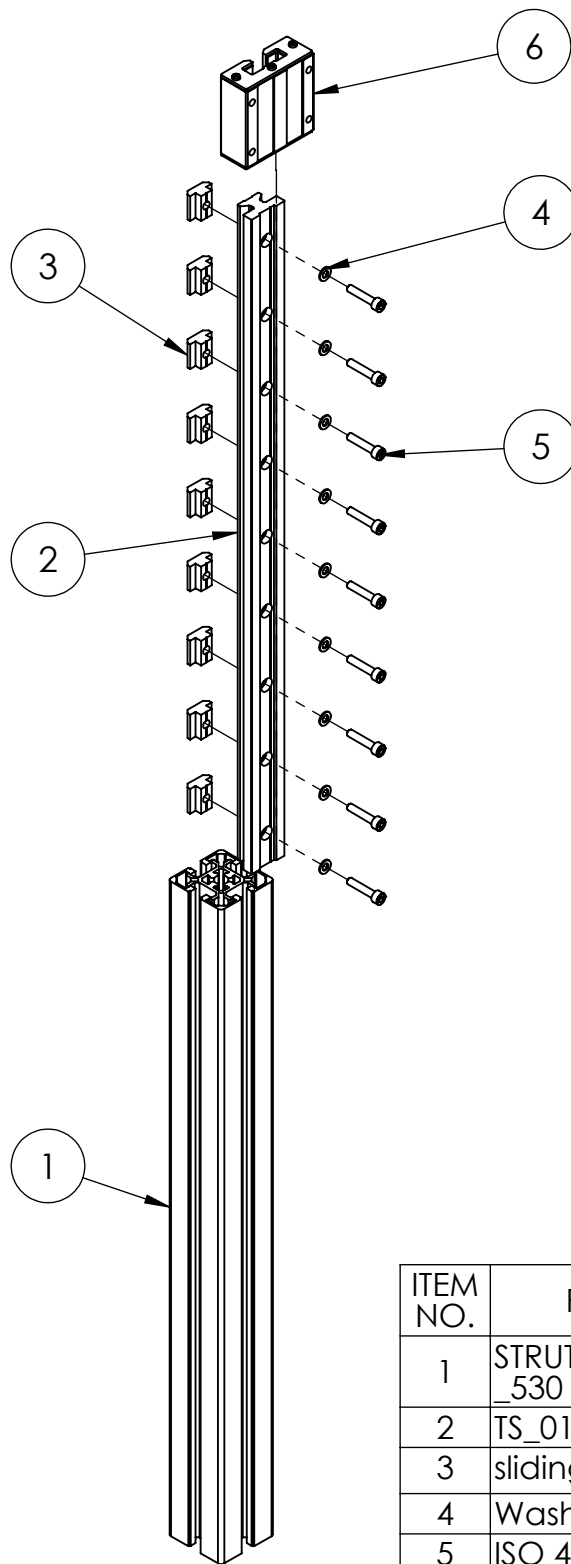
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		09/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		13/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		13/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:	barramento	
DWG NO.	barramento	A4
WEIGHT: 14392.70 g		SCALE 1:50
		SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	STRUT_PROFILE_50X50L_530		1
2	TS_01_20_530_1		1
3	sliding_block_1		9
4	Washer ISO 7089 - 5		9
5	ISO 4762 M5 x 25 - 25N		9
6	TW_02_20_4		1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		15/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
Assem_prof_mesa_exploded

DWG NO.
Assem_prof_mesa_exploded A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 2089.72 g

SCALE 1:10

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

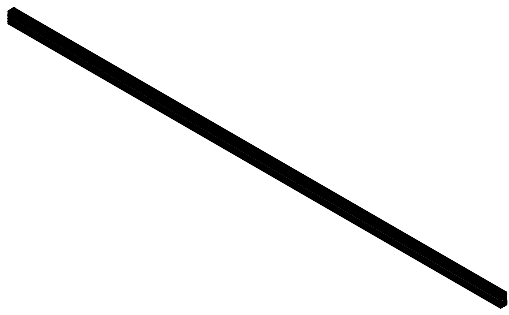
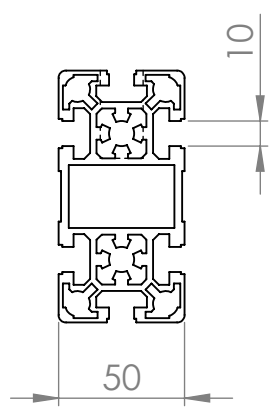
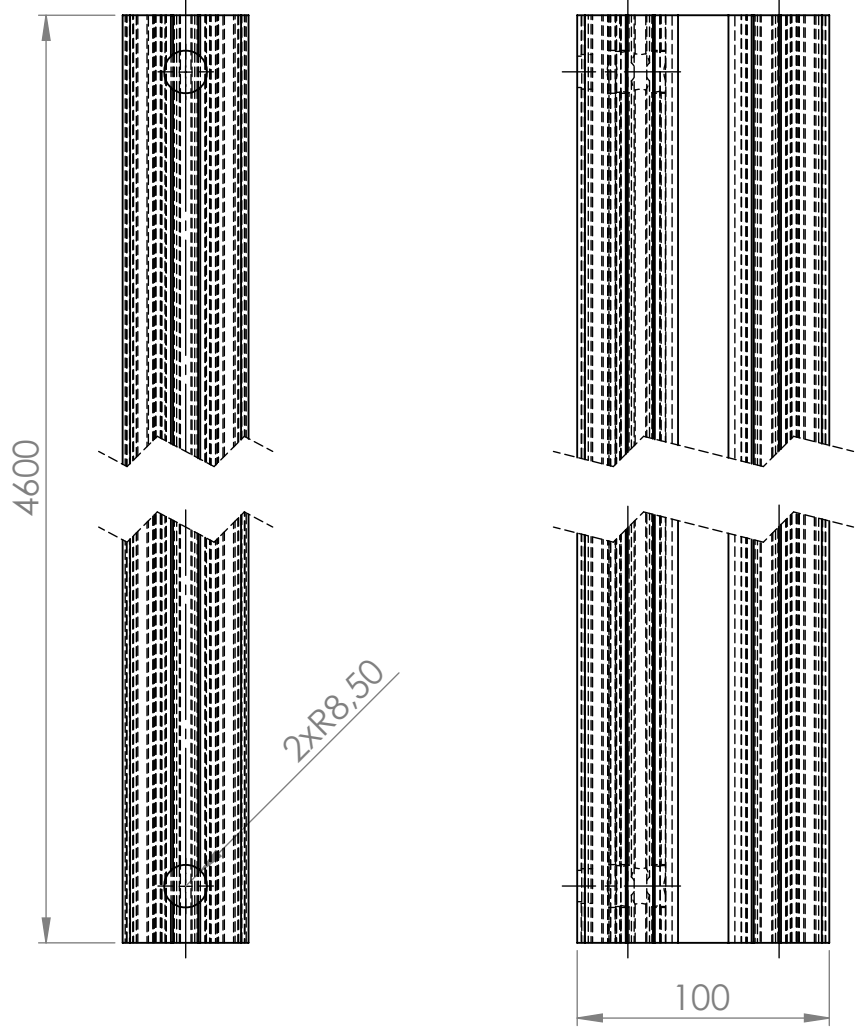
D


C

C

B

B

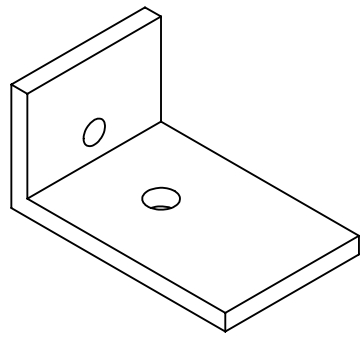
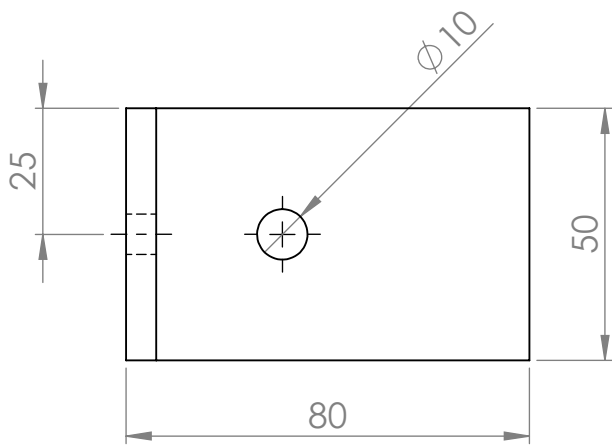
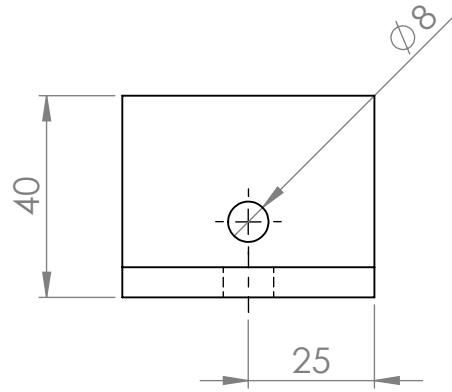
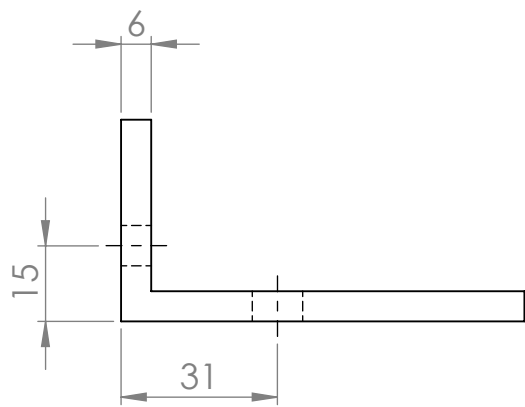


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	A
DRAWN Cláudio Neves			SIGNATURE	DATE 23/10/2017	 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e de Gestão		
CHK'D Cláudio Neves				DATE 18/01/2018			
APPV'D Cláudio Neves				DATE 18/01/2018			
MFG					TITLE: 50X100L_4600		
Q.A				MATERIAL: 6061 Aluox	DWG NO. 50X100L_4600		A4
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only				WEIGHT: 21306.28 g	SCALE 1:50		SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



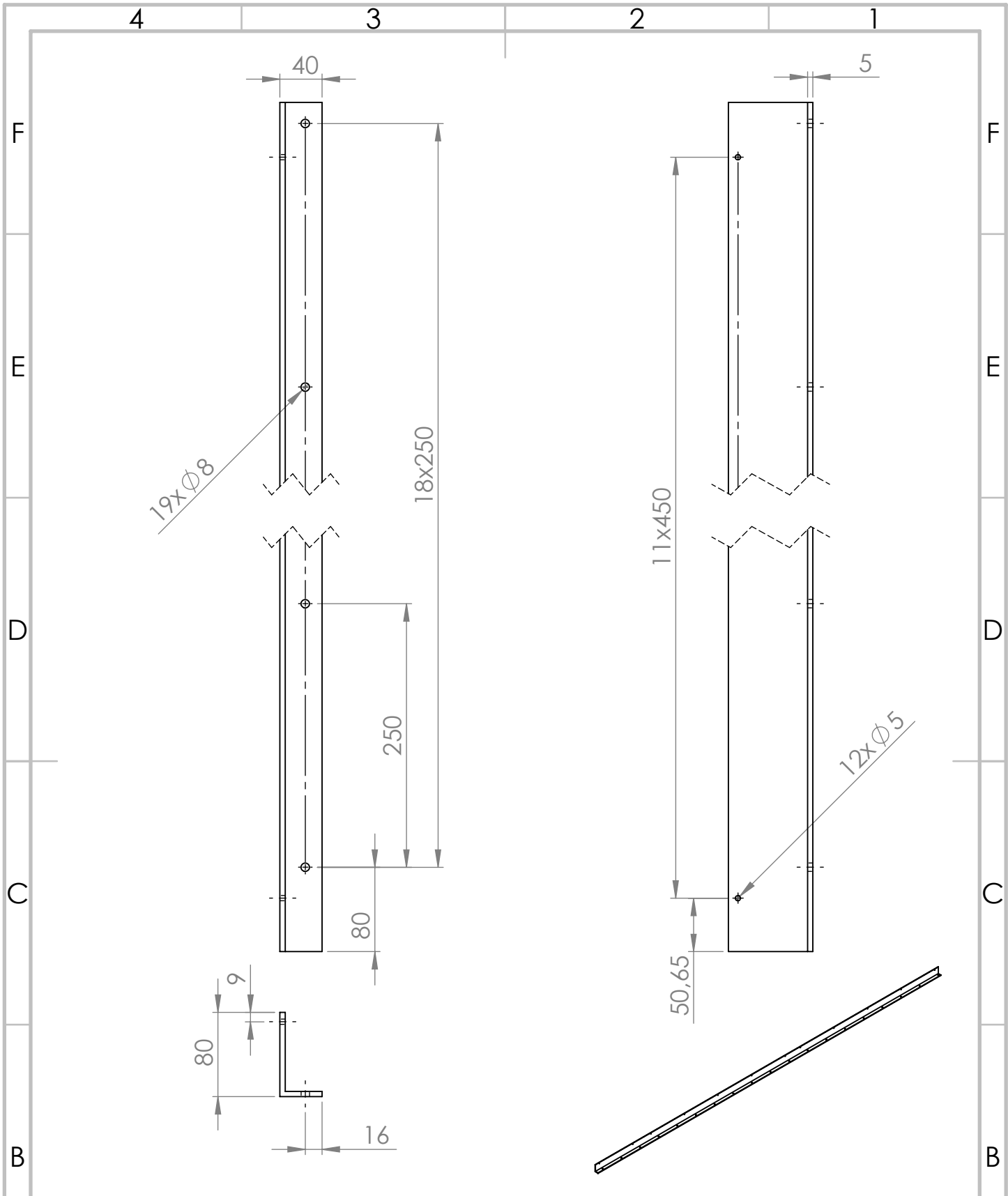
	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		15/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		13/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		13/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 batente

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)
 WEIGHT: 262.40 g

DWG NO. batente A4
 SCALE 1:2 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		23/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		13/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		13/01/2018
MFG			

TITLE:
cantoneira_4600_1

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)
 WEIGHT: 20716.52 g

DWG NO.
cantoneira_4600_1
 SCALE 1:50 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

4 3 2 1

F

F

E

E

D

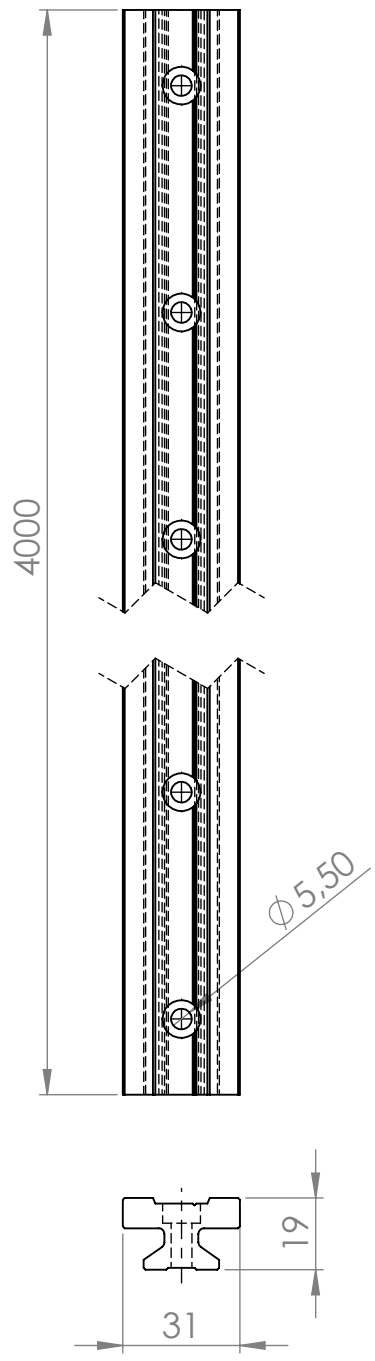
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		24/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		13/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		13/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
TS_01_20_4000_2

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only
MATERIAL:
6061 Aluox
WEIGHT: 3894.94 g

DWG NO.
TS_01_20_4000_2
A4
SCALE 1:50
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

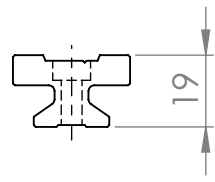
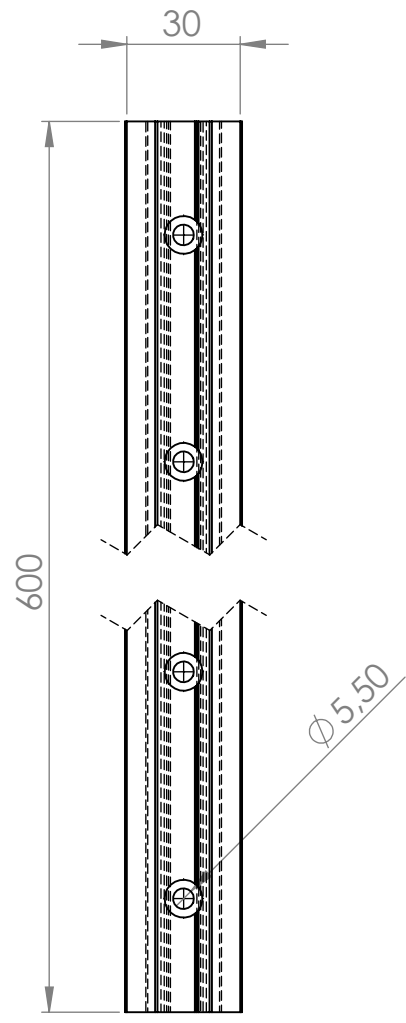
A

A

4 3 2 1

F
E
D
C
B

F
E
D
C
B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		24/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		13/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		13/01/2018
MFG			

TITLE:
TS_01_20_600_3

MATERIAL:
6061 Aluox
WEIGHT: 584.33 g

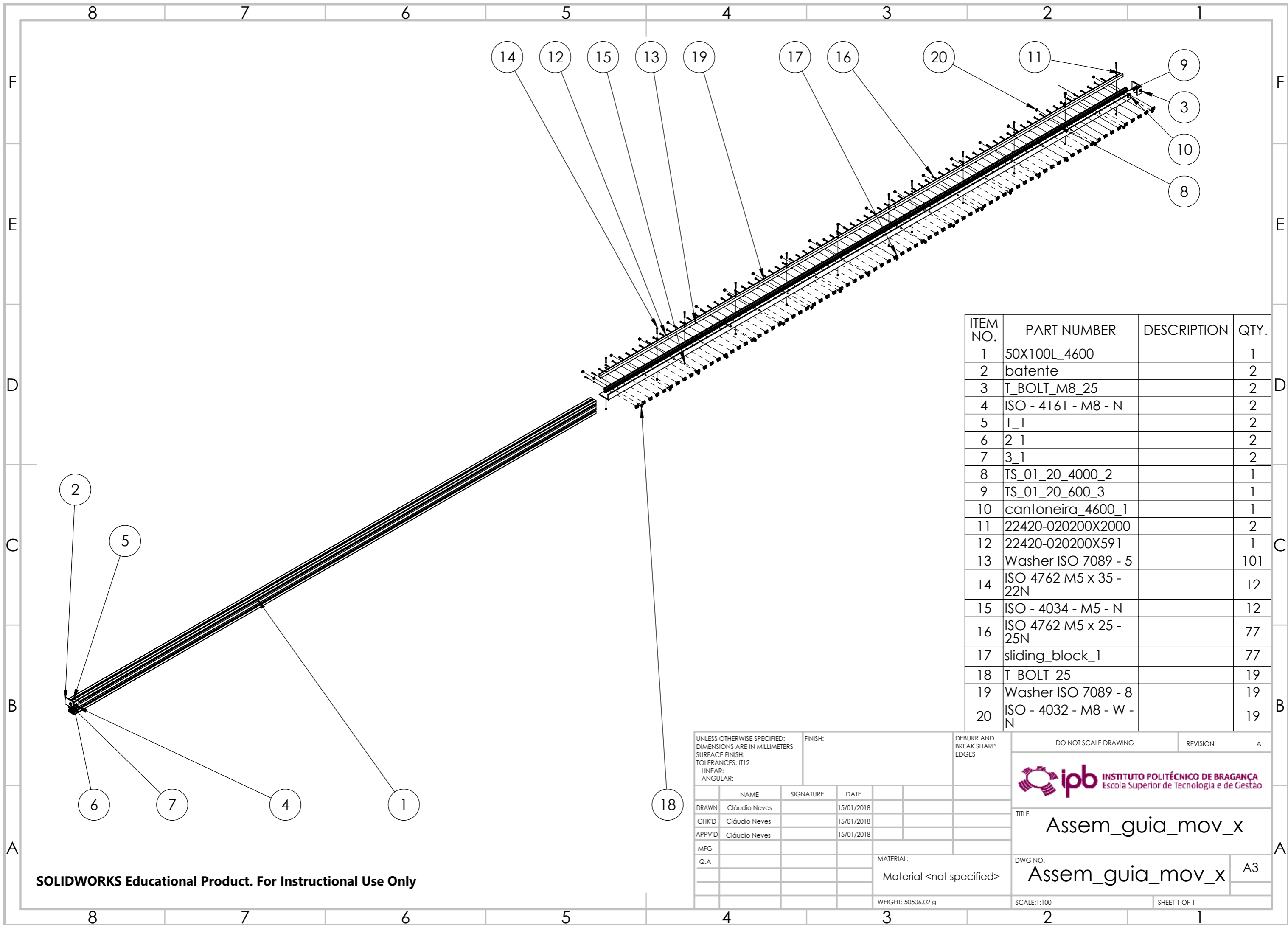
DWG NO. **TS_01_20_600_3** A4
SCALE 1:5 SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only




ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	50X100L_4600		1
2	batente		2
3	T_BOLT_M8_25		2
4	ISO - 4161 - M8 - N		2
5	1_1		2
6	2_1		2
7	3_1		2
8	TS_01_20_4000_2		1
9	TS_01_20_600_3		1
10	cantoneira_4600_1		1
11	22420-020200X2000		2
12	22420-020200X591		1
13	Washer ISO 7089 - 5		101
14	ISO 4762 M5 x 35 - 22N		12
15	ISO - 4034 - M5 - N		12
16	ISO 4762 M5 x 25 - 25N		77
17	sliding_block_1		77
18	T_BOLT_25		19
19	Washer ISO 7089 - 8		19
20	ISO - 4032 - M8 - W - N		19

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	
NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN Cláudio Neves		15/01/2018			
CHK'D Cláudio Neves		15/01/2018			
APPV'D Cláudio Neves		15/01/2018			
MFG					
Q.A					
MATERIAL:			Material <not specified>		
WEIGHT: 50506.02 g			SCALE: 1:100		

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



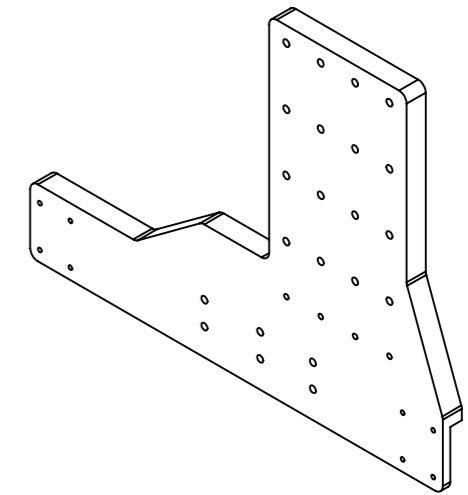
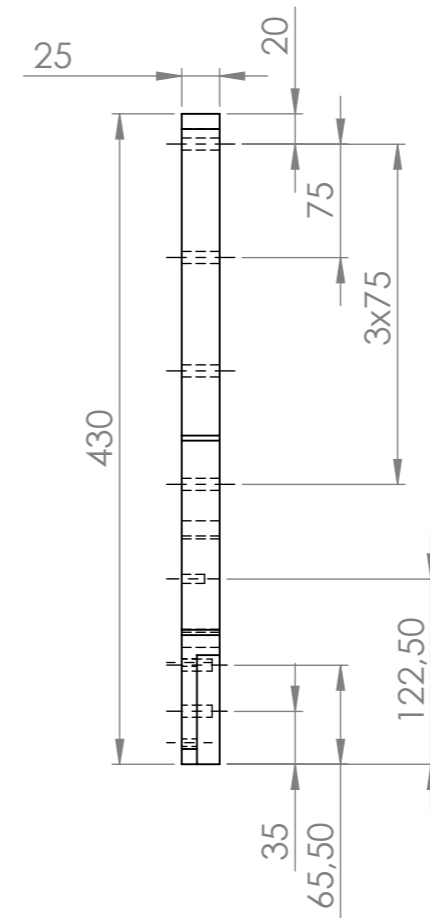
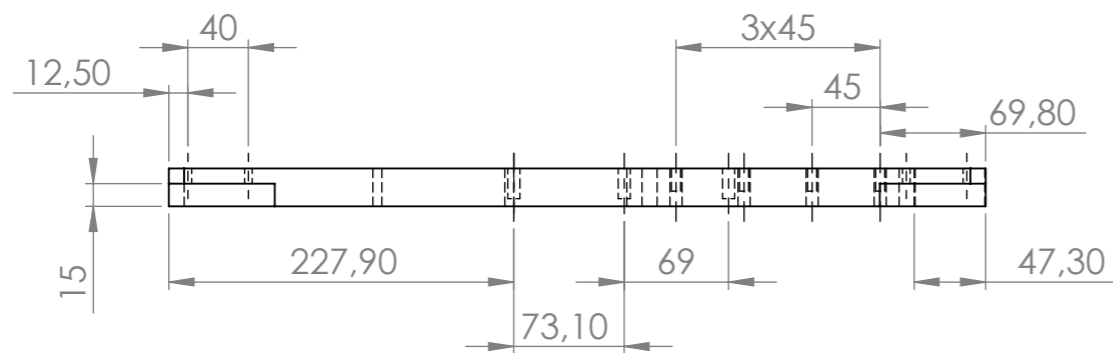
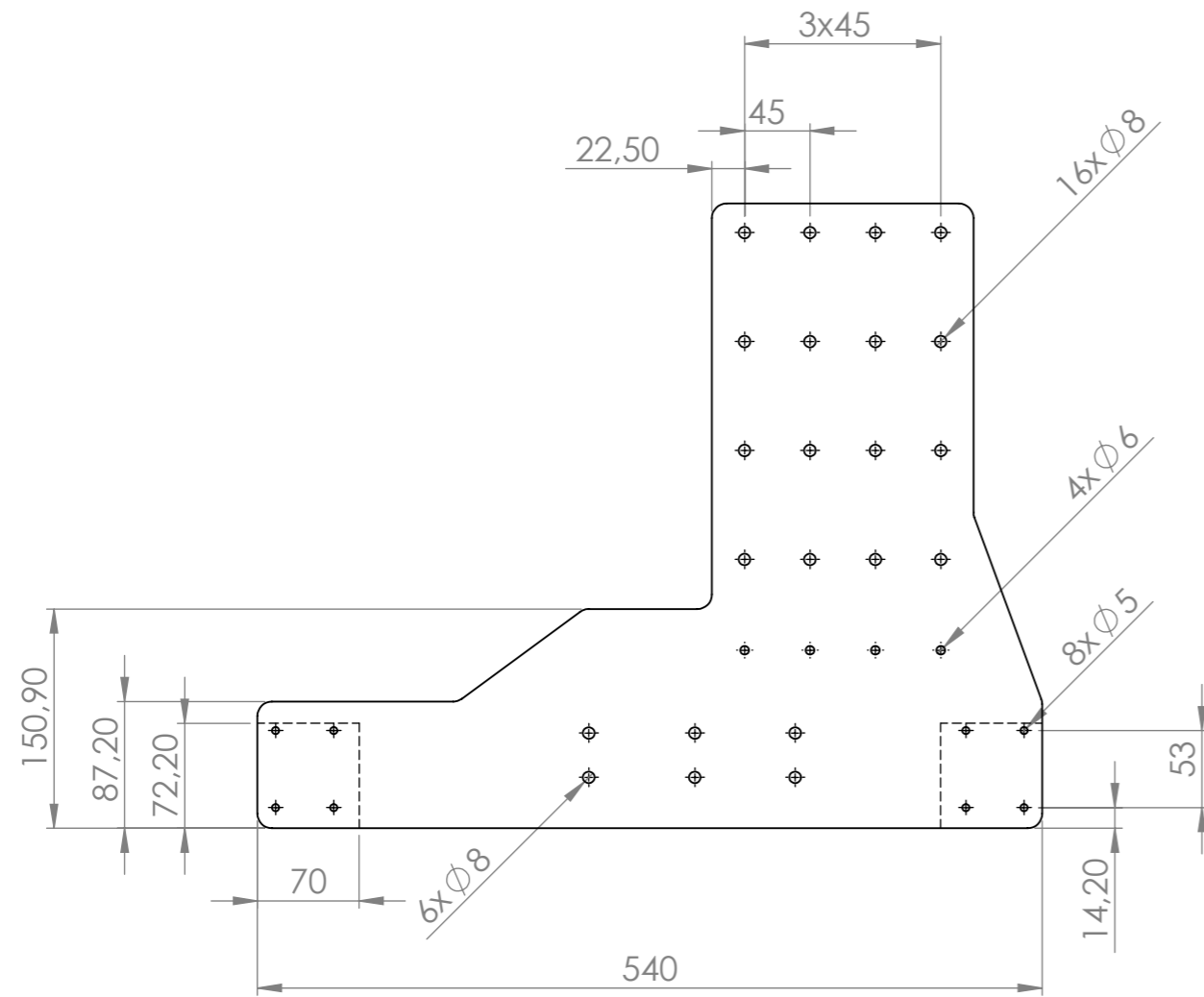
IPB INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

TITLE: **Assem_guia_mov_x**

DWG NO. **Assem_guia_mov_x** A3

SCALE: 1:100 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

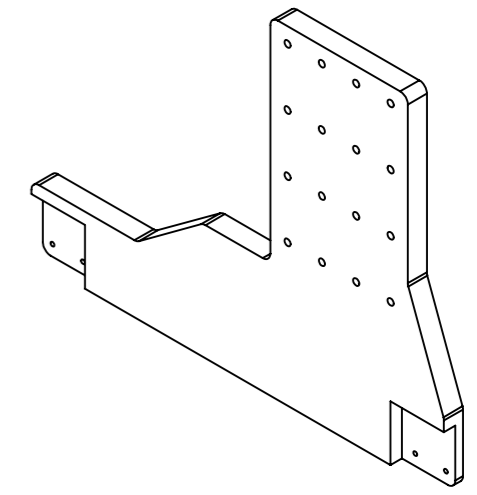
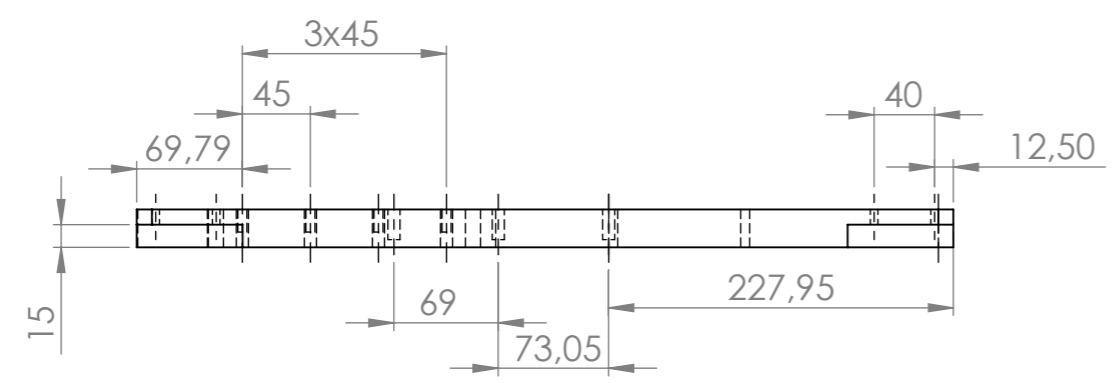
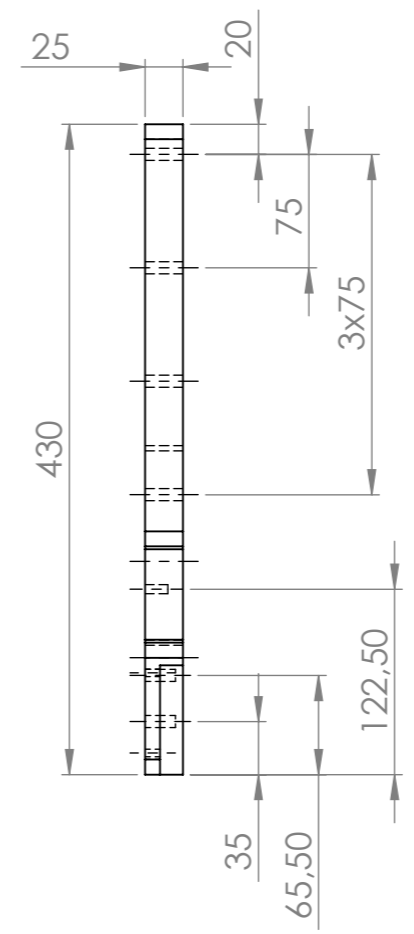
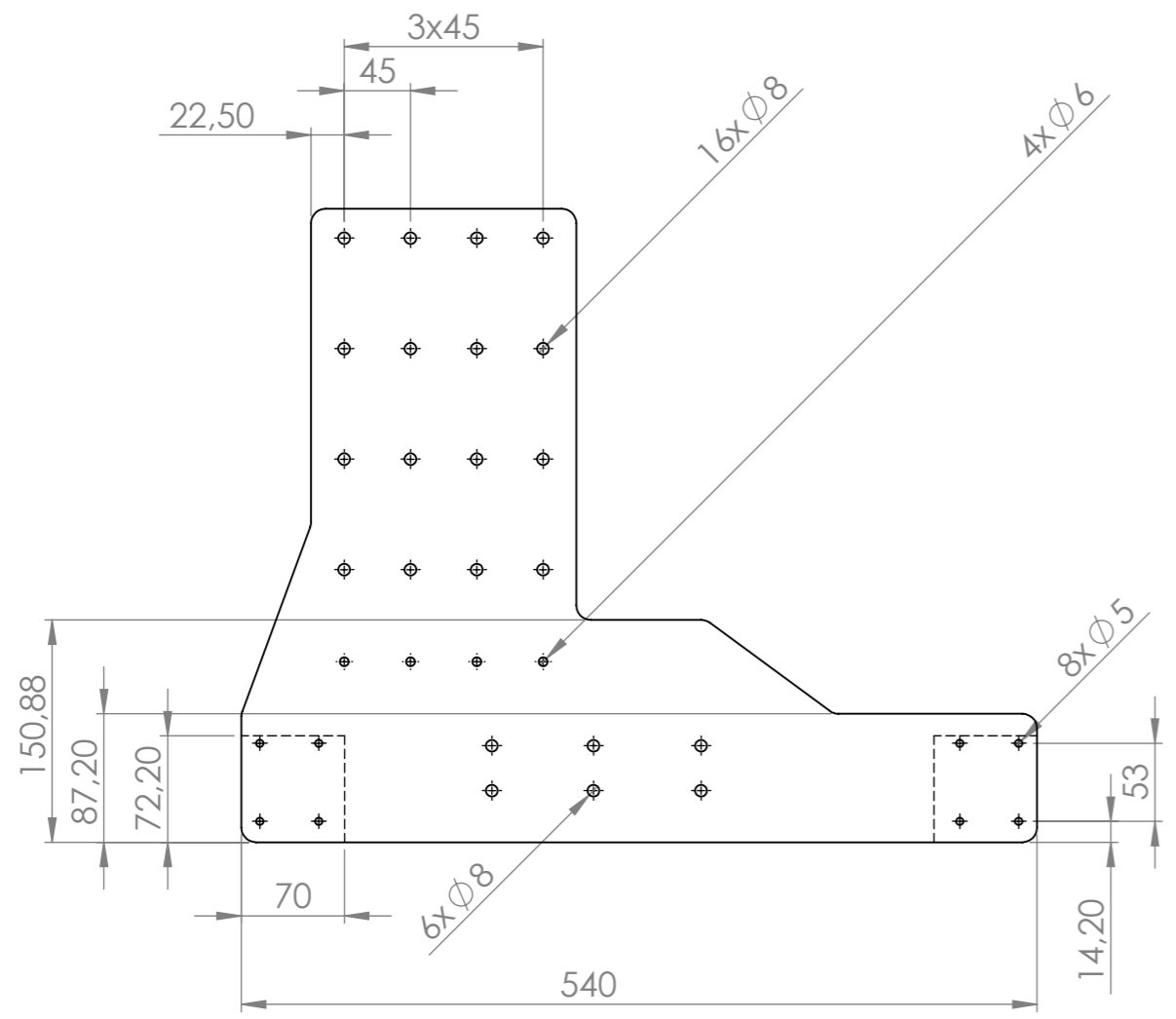


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:		FINISH: Machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION A	
DRAWN Cláudio Neves		SIGNATURE		DATE		TITLE: estrutura_movimento_x		DWG NO. estrutura_movimento_x	
CHK'D Cláudio Neves				15/01/2018				A3	
APPV'D Cláudio Neves				15/01/2018					
MFG						MATERIAL: 6061 Alloy		SCALE:1:5	
Q.A						WEIGHT: 7620.13 g		SHEET 1 OF 1	

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

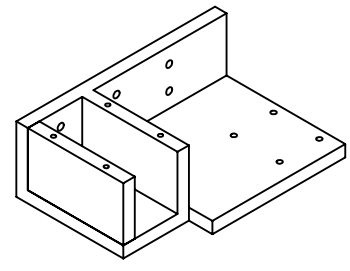
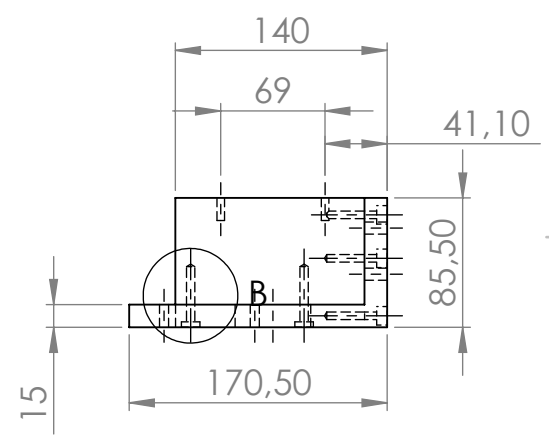
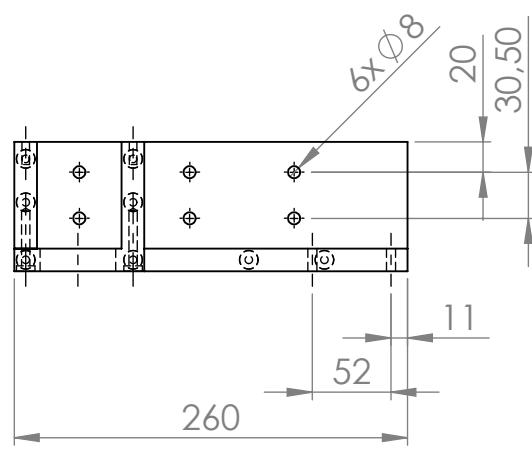
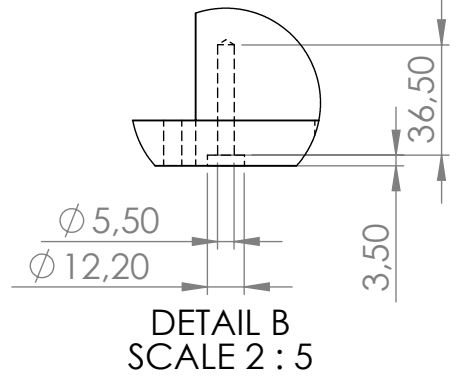
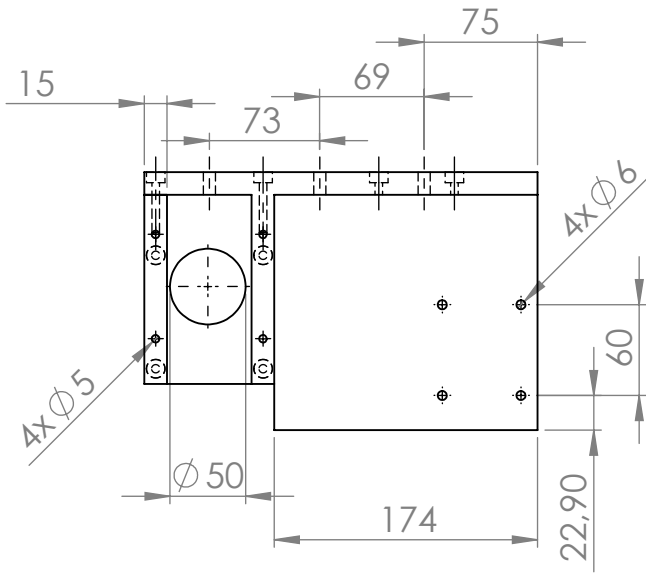


F
E
D
C
B
A

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:		FINISH: Machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION A	
DRAWN Cláudio Neves		SIGNATURE		DATE		TITLE: estrutura_movimento_x_esq		DWG NO. estrutura_movimento_x_esq	
CHK'D Cláudio Neves				15/01/2018				A3	
APPV'D Cláudio Neves				15/01/2018					
MFG						MATERIAL: 6061 Alloy		SCALE:1:5	
Q.A						WEIGHT: 7620.13 g		SHEET 1 OF 1	

8 7 6 5 4 3 2 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		28/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		16/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		16/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
suporte_nema_fuso_esq

MATERIAL:
6061 Aluox

WEIGHT: 3002.73 g

DWG NO.
suporte_nema_fuso_esq A4

SCALE 1:5 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

4 3 2 1

F

F

E

E

D

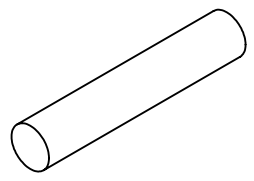
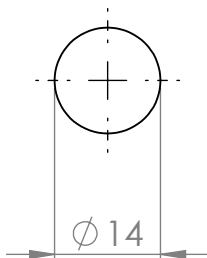
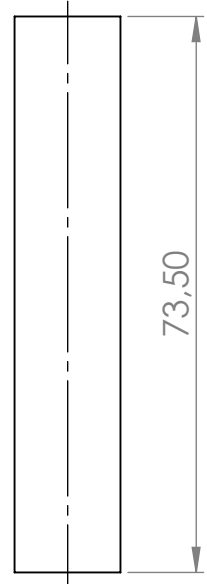
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION **A**



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		22/11/2016
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			

TITLE:
veio_acoplamento_pinhão

MATERIAL:
AISI 1035 Steel (SS)

DWG NO.
veio_acoplamento_pinhão

A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 88.82 g

SCALE 1:1

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

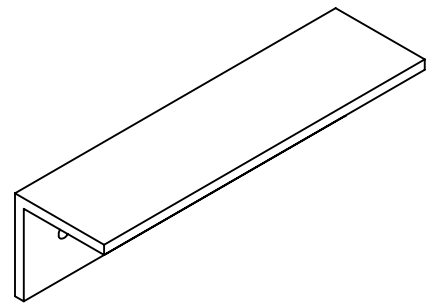
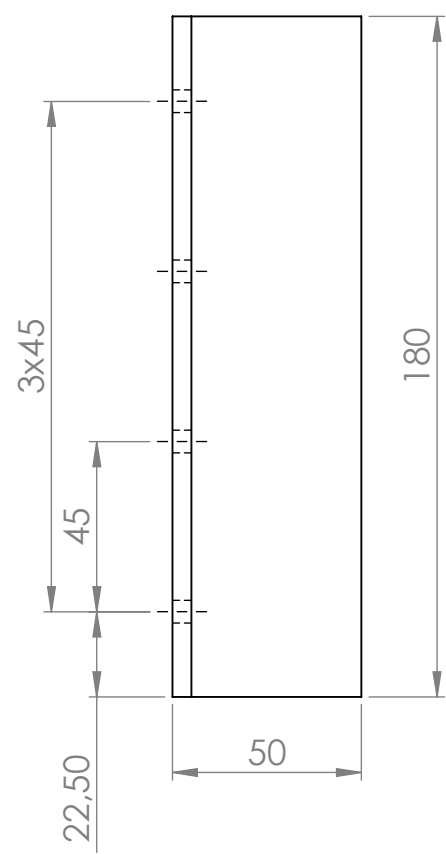
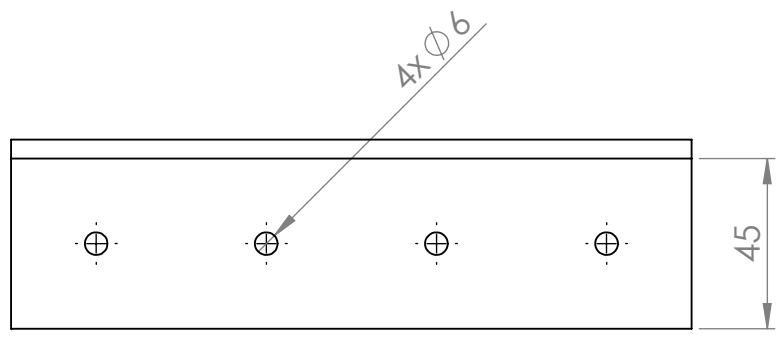
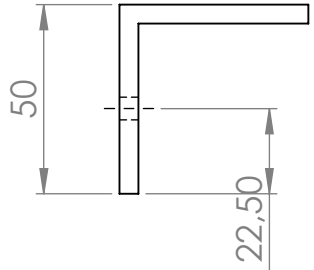
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION **A**



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		14/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		16/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		16/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
proteção_eixo_z

MATERIAL:
AISI 1035 Steel (SS)

WEIGHT: 666.74 g

DWG NO.
proteção_eixo_z

SCALE 1:2

A4

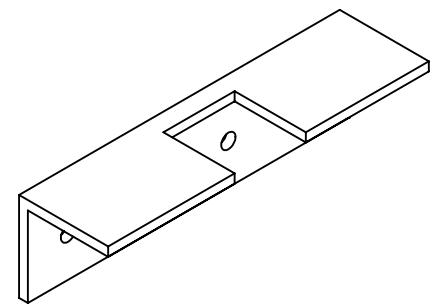
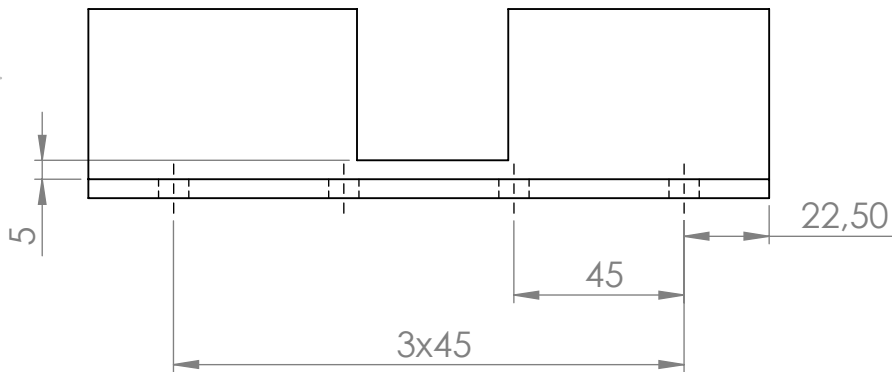
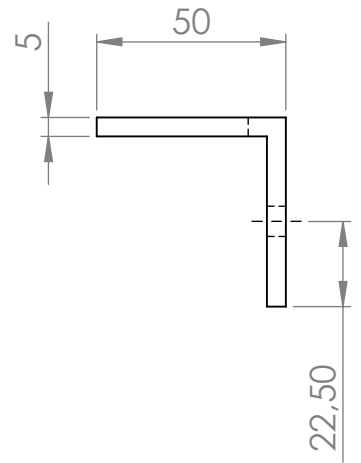
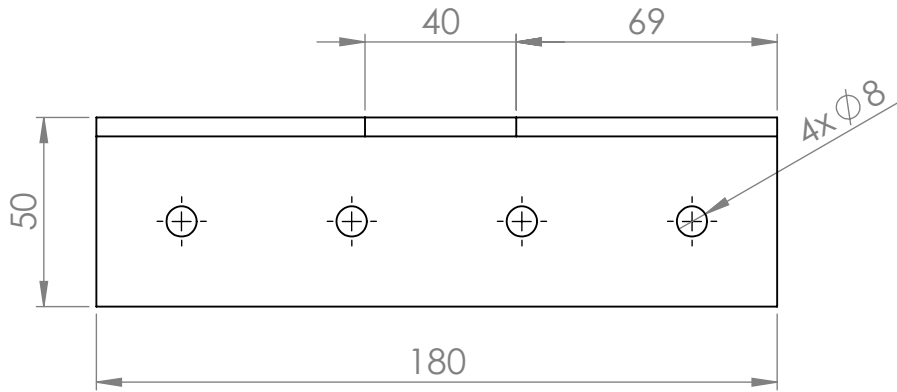
SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		14/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		16/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		16/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:

proteção_eixo_x

DWG NO.

proteção_eixo_x

A4

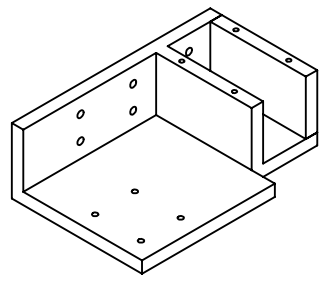
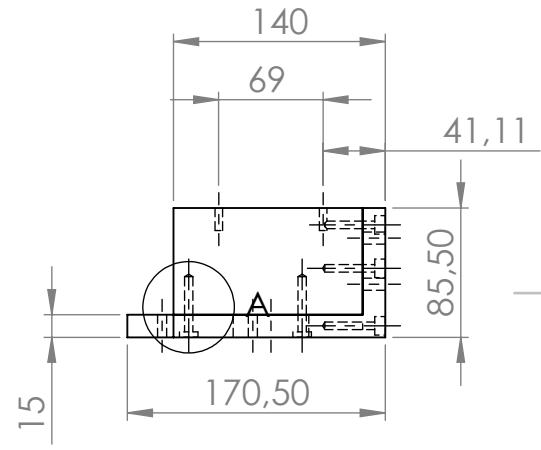
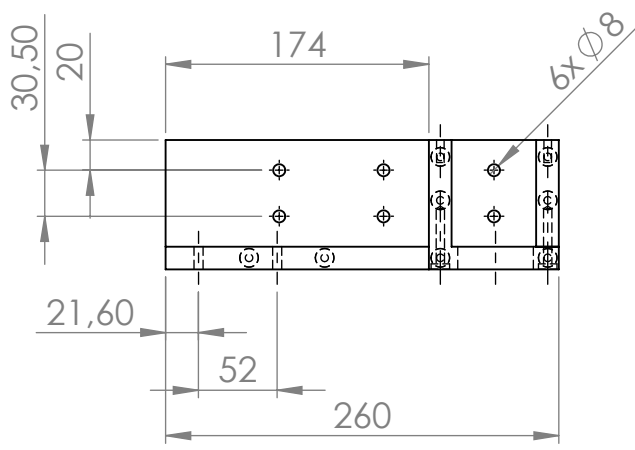
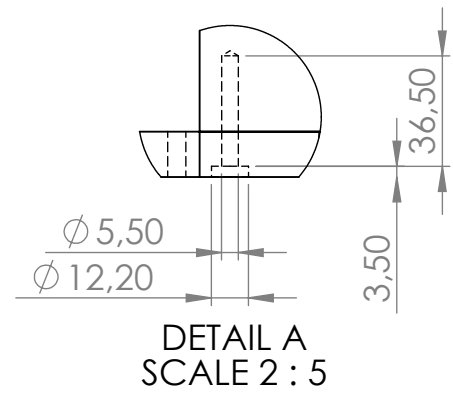
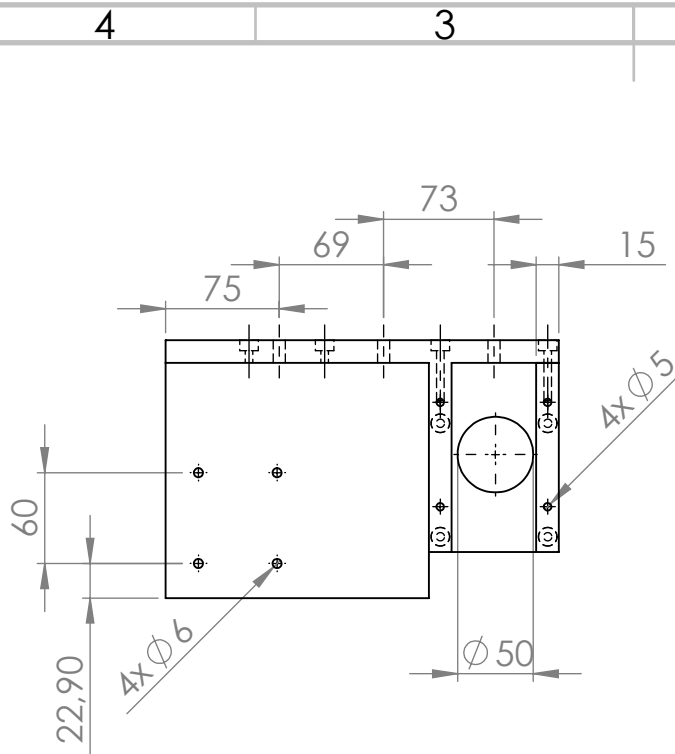
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL:
AISI 1035 Steel (SS)

WEIGHT: 600.48 g

SCALE 1:2

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH: IT12
 TOLERANCES: LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH: Machined

DEBURR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		28/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		16/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		16/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
suporte_nema_fuso

MATERIAL: 6061 Alloy

WEIGHT: 3002.73 g

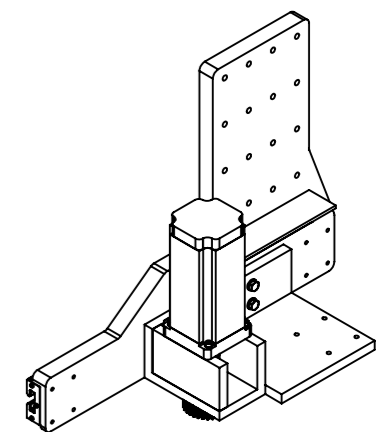
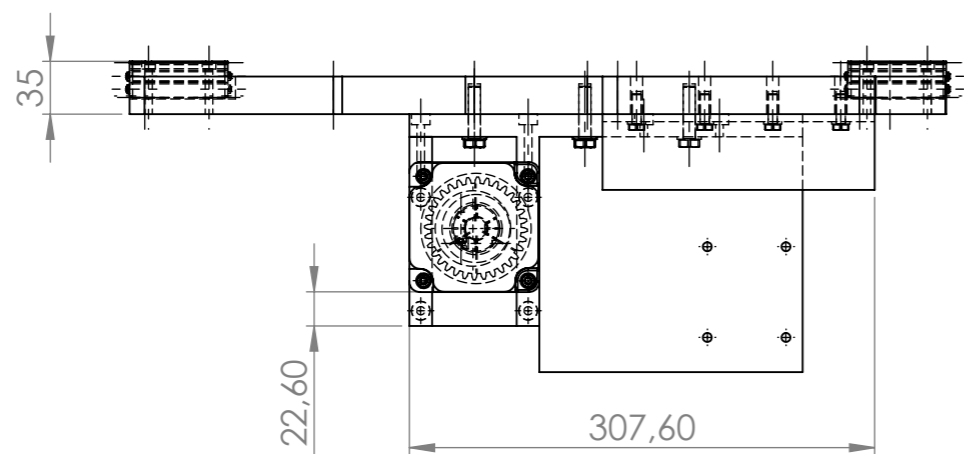
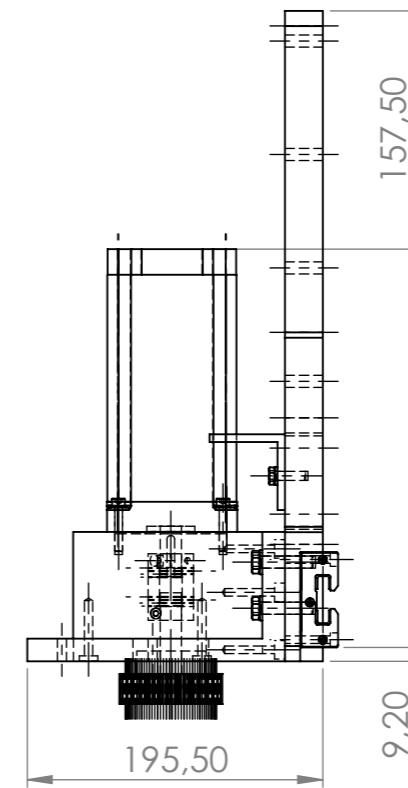
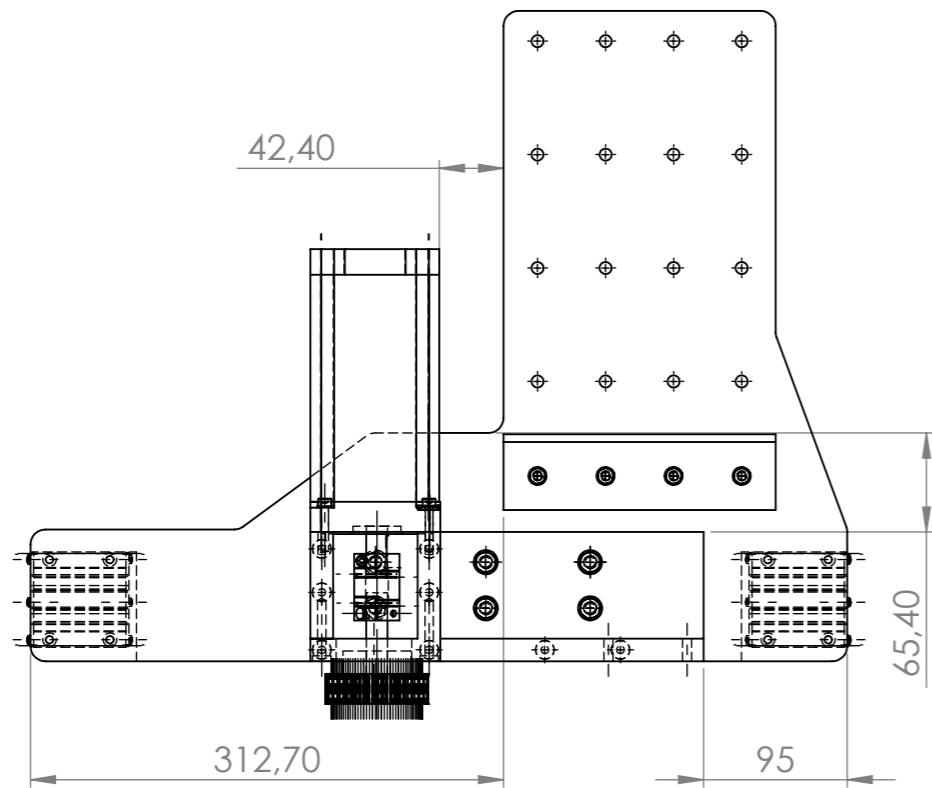
DWG NO.
suporte_nema_fuso

A4

SCALE 1:5

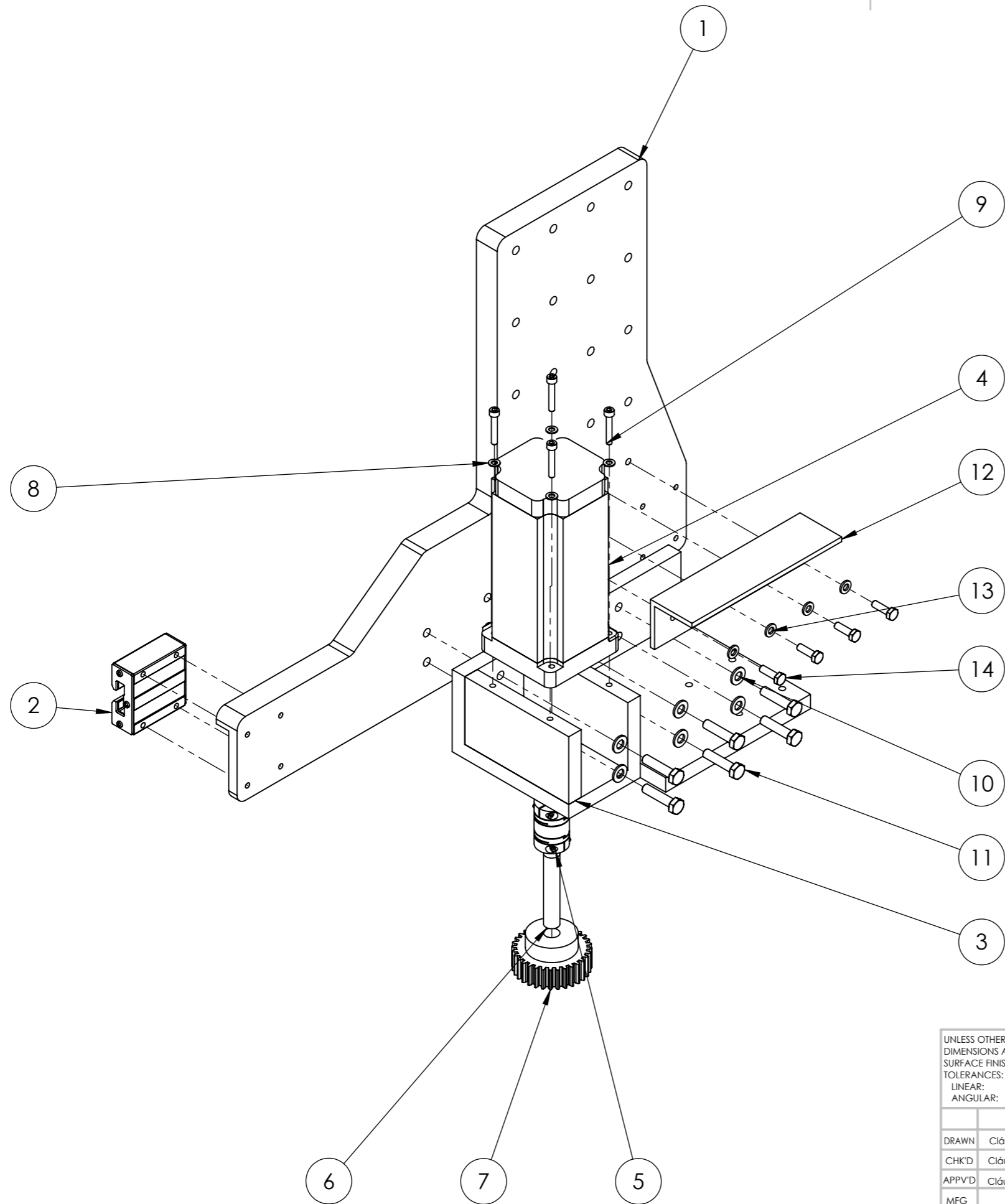
SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
									A	
DRAWN			Cláudio Neves		SIGNATURE		DATE		16/01/2018	
CHK'D			Cláudio Neves		SIGNATURE		DATE		18/01/2018	
APPV'D			Cláudio Neves		SIGNATURE		DATE		18/01/2018	
MFG					MATERIAL:		DWG NO.		X	
Q.A					Material <not specified>		Assem_sist_mov_xx		A3	
					WEIGHT: 13729.94 g		SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	estrutura_movimento_x		1
2	TW_02_20_4		2
3	suporte_nema_fuso_esq		1
4	NEMA34		1
5	reli-a-flex_precision_coupling_cl amp_type_rcla30c-6-6		1
6	veio_acoplamento_pinhão		1
7	22400-0120200023		1
8	Washer ISO 7089 - 5		4
9	ISO 4762 M5 x 30 - 22N		4
10	Washer ISO 7089 - 8		6
11	ISO 4017 - M8 x 35-N		6
12	proteção_eixo_z		1
13	Washer ISO 7089 - 6		4
14	ISO 4017 - M6 x 20-N		4

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A

ipb INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

TITLE:
Assem_sist_mov_x

DWG NO. A3
Assem_sist_mov_x

SCALE:1:10

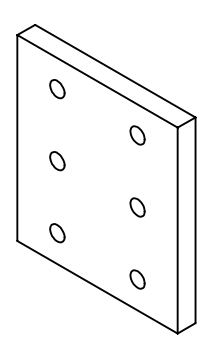
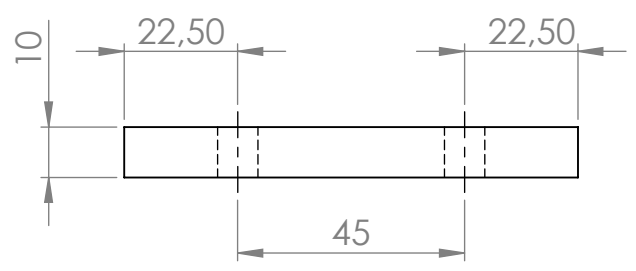
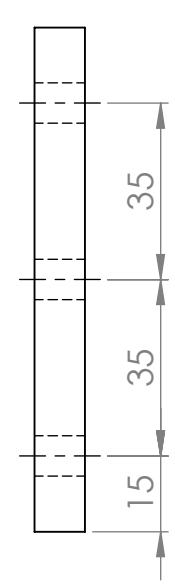
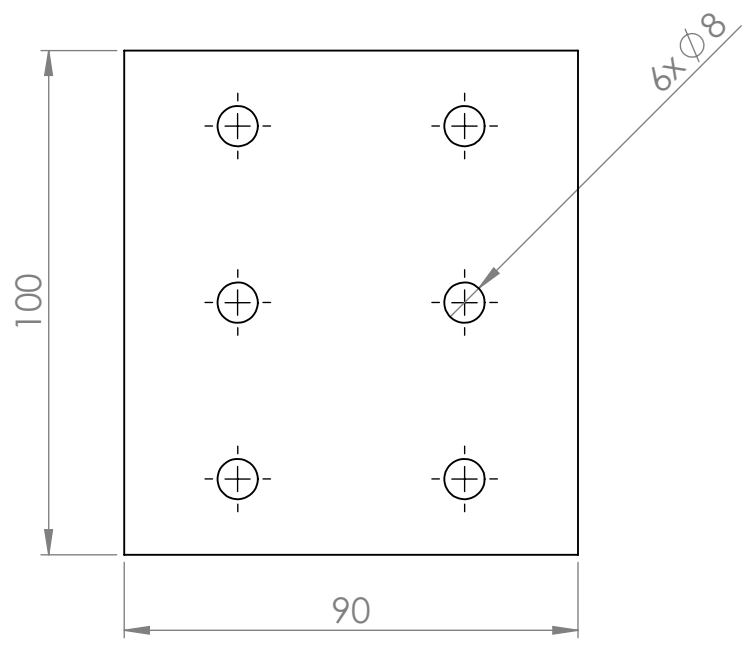
SHEET 1 OF 1

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		16/01/2018
CHK'D	Cláudio Neves		16/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		16/01/2018
MFG			
Q.A			

MATERIAL:
 Material <not specified>

WEIGHT: 13729.94 g

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		07/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		19/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		19/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 placa_fixação_perfis

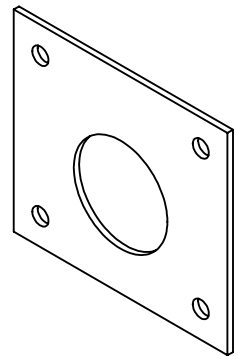
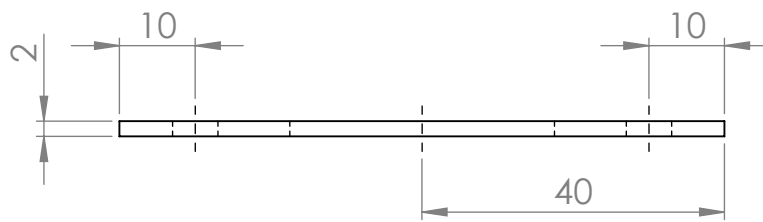
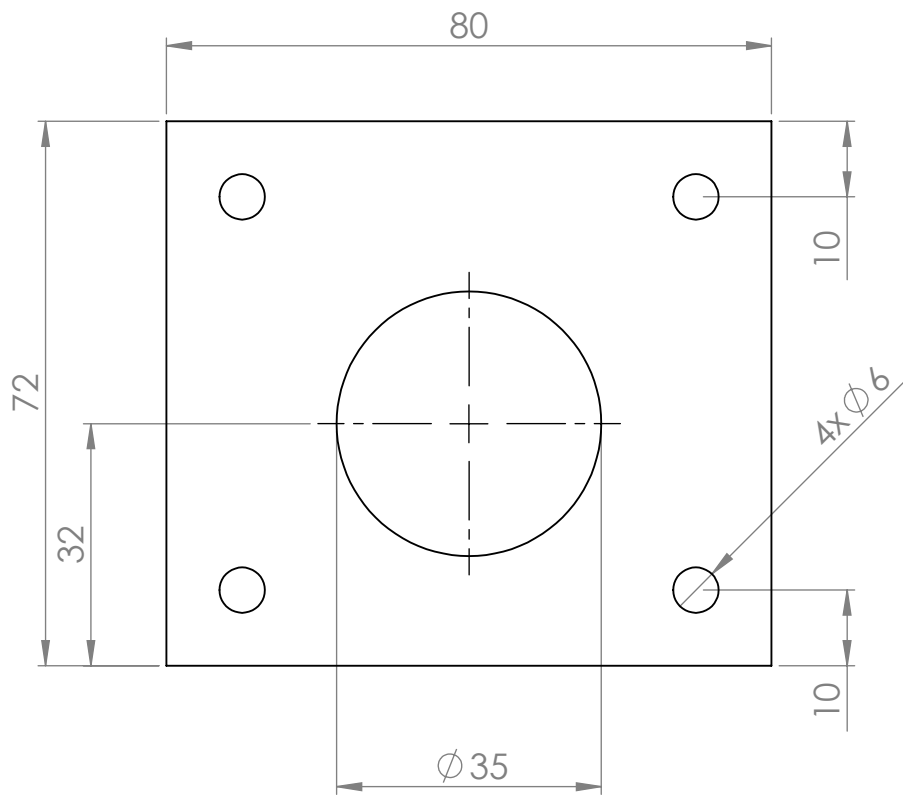
MATERIAL:
 6061 Aluox

WEIGHT: 234.86 g

DWG NO.
 placa_fixação_perfis A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

SCALE 1:1 SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		30/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/07/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/07/2018
MFG			

TITLE:
 chapa_mancal

Q.A		MATERIAL: AISI 1035 Steel (SS)
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only		WEIGHT: 73.55 g

DWG NO.
 chapa_mancal

A4

SCALE 1:1

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

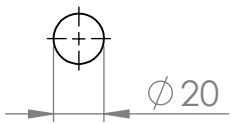
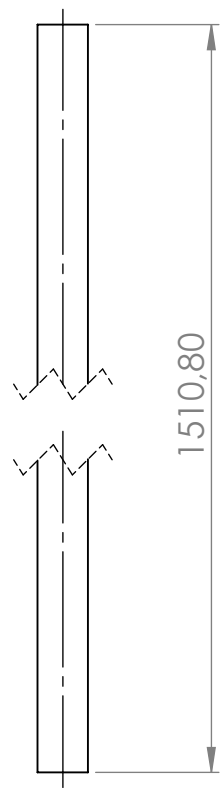
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

 DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		30/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
sem-fim_1365

MATERIAL:
 AISI 4130 Steel, normalized at 870C
 WEIGHT: 3725.86 g

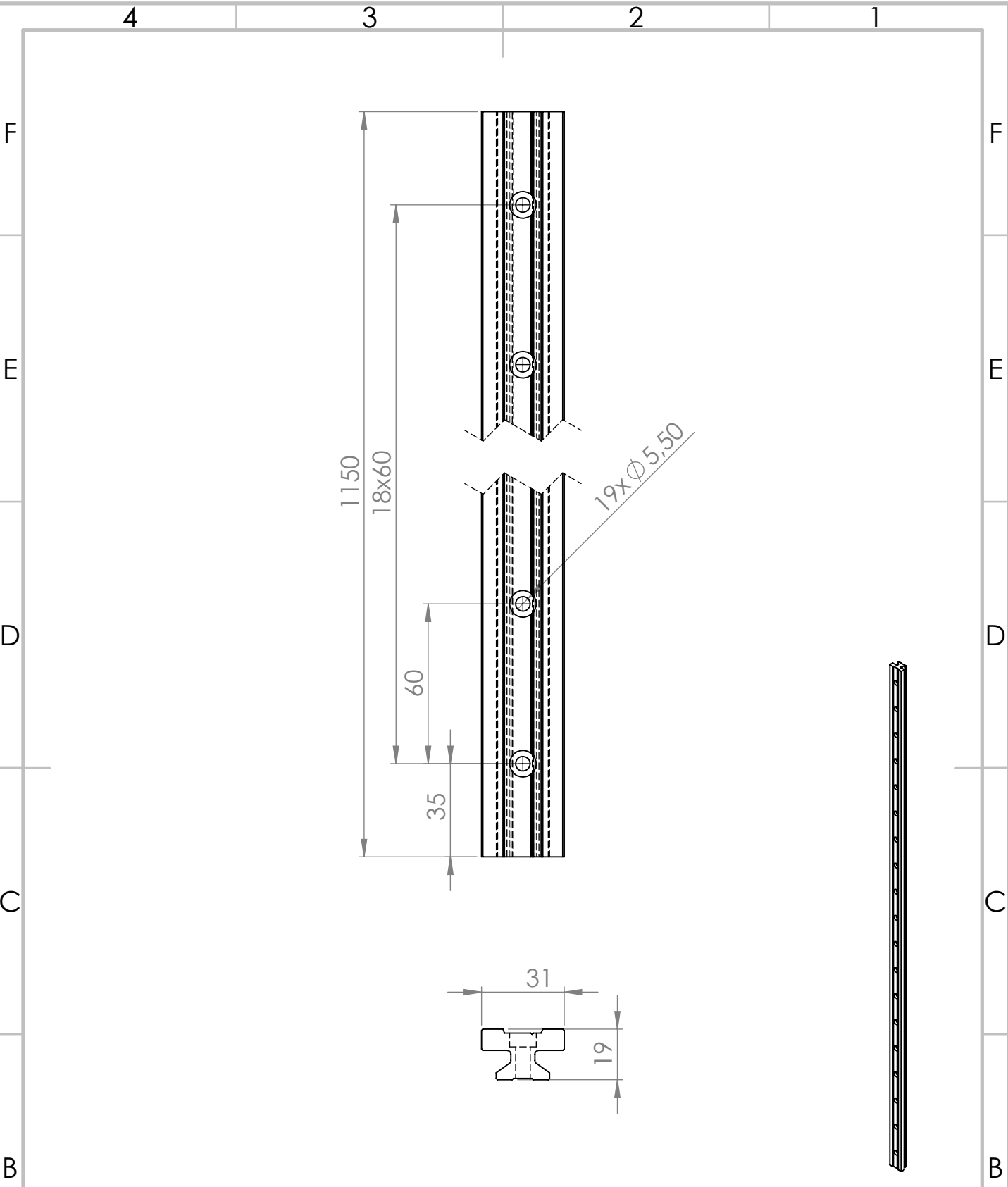
DWG NO.
sem-fim_1365
 SCALE 1:10 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		27/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		16/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		16/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
TS_01_20_1150_2

MATERIAL:
 6061 Alloy

DWG NO.
TS_01_20_1150_2

A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 1120.28 g

SCALE 1:10

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

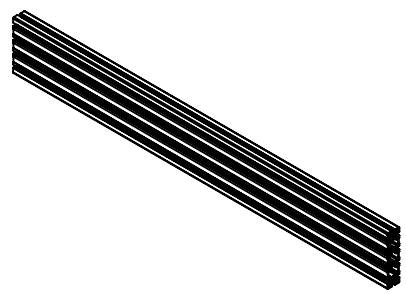
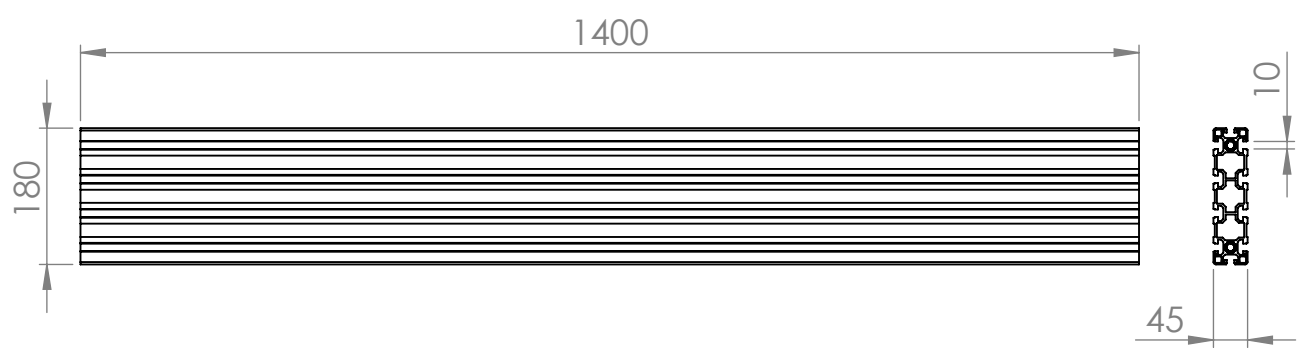
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		07/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		16/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		16/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
STRUT_PROFILE_45X180_1400

MATERIAL:
6061 Aluox
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only
WEIGHT: 9329.84 g

DWG NO.
STRUT_PROFILE_45X180_1400
A4

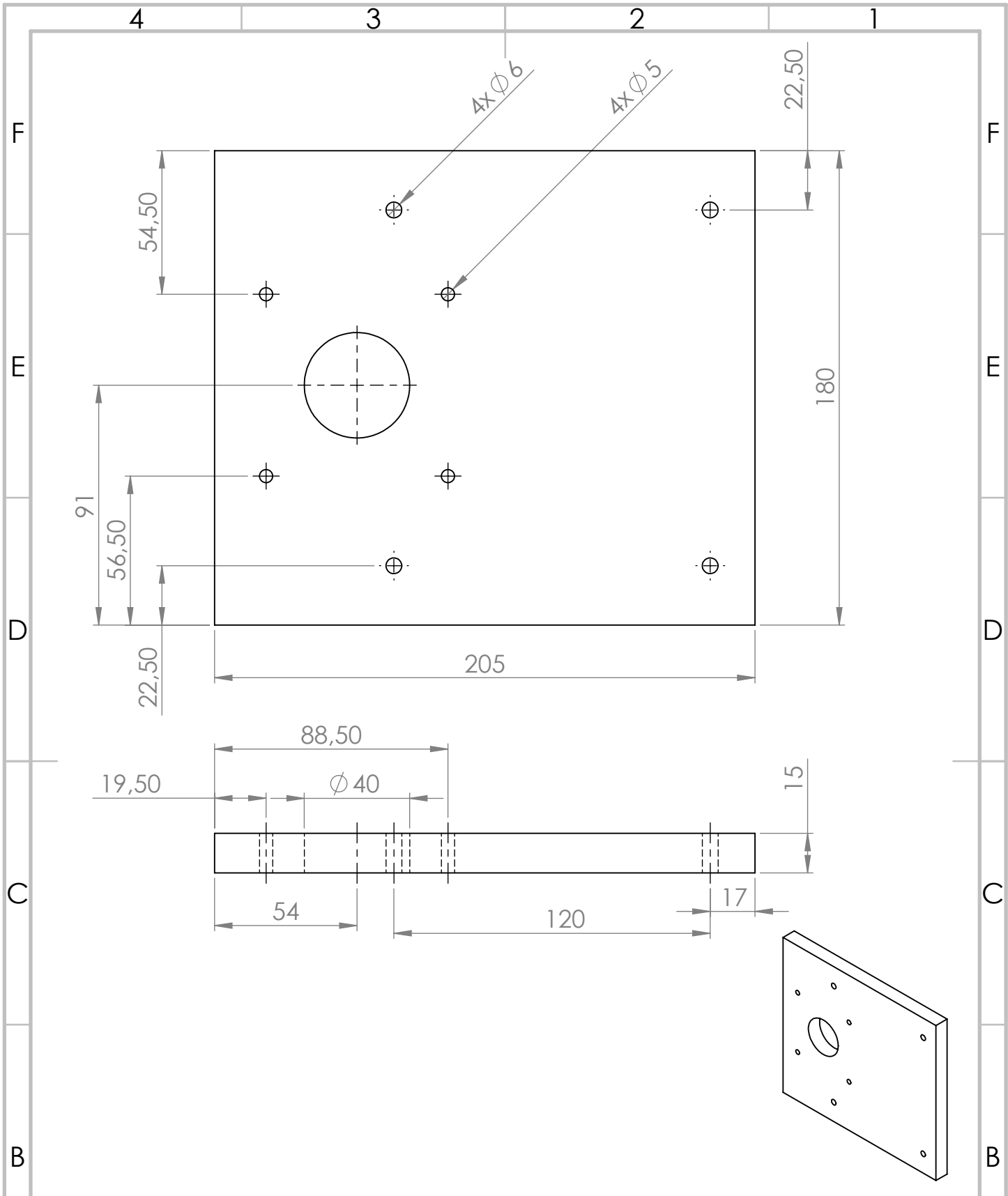
4 3 2 1

A

A

SCALE 1:20

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		28/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		16/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		16/01/2018
MFG			

TITLE:
 placa_suporte_nema_z

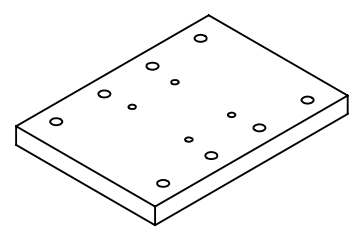
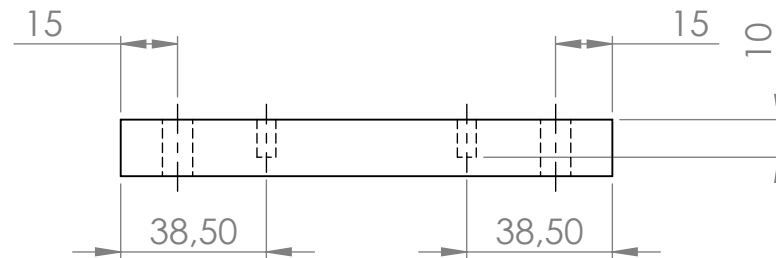
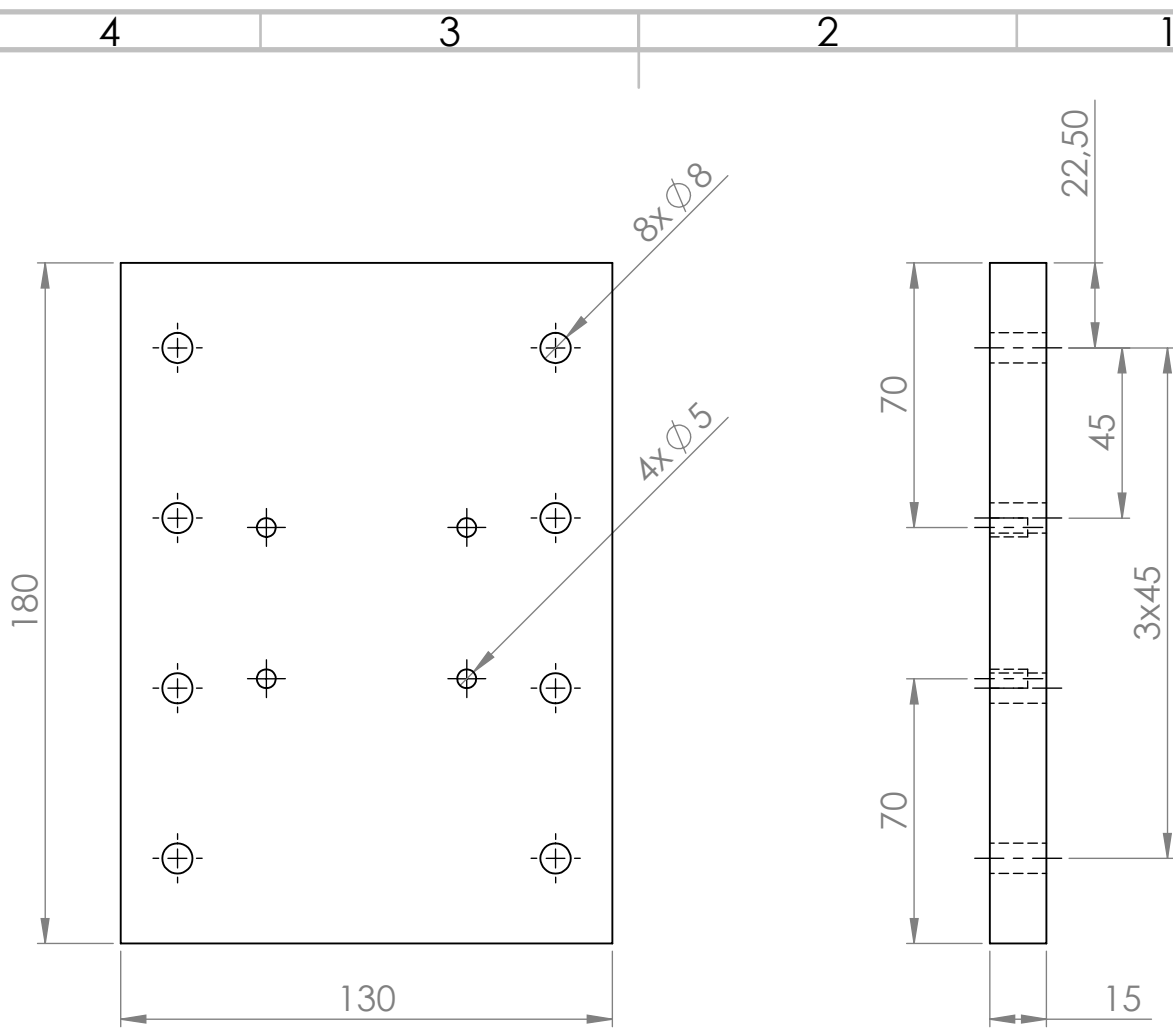
MATERIAL:
 6061 Alu
 WEIGHT: 1435.79 g

DWG NO.
 placa_suporte_nema_z A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

SCALE 1:2

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		27/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		16/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		16/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 Placa_de_fixação_eixoy

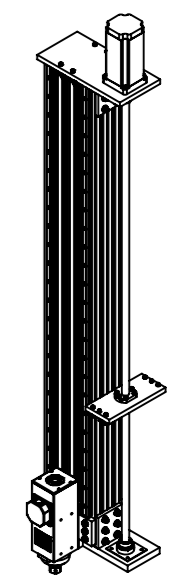
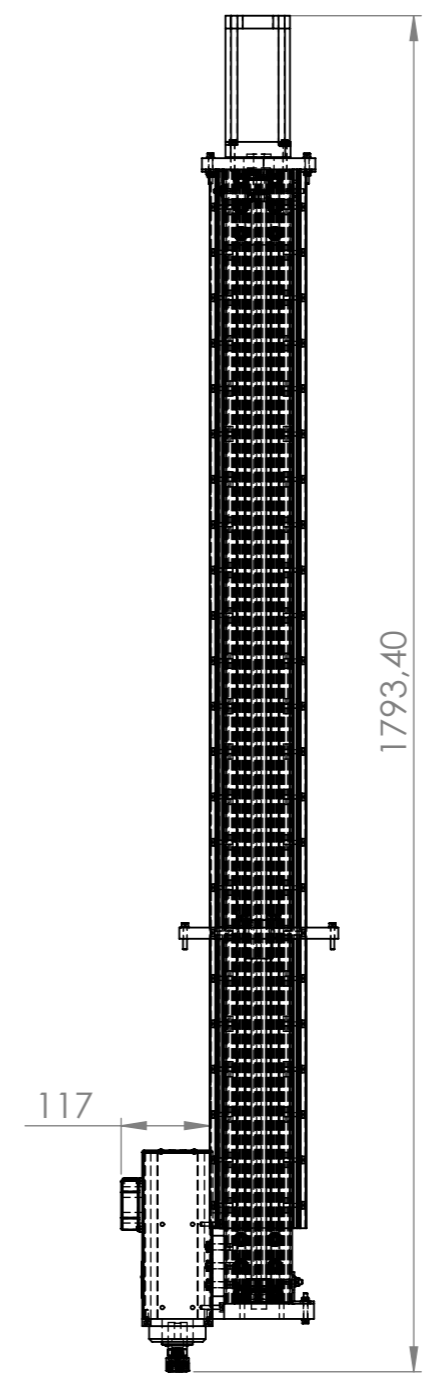
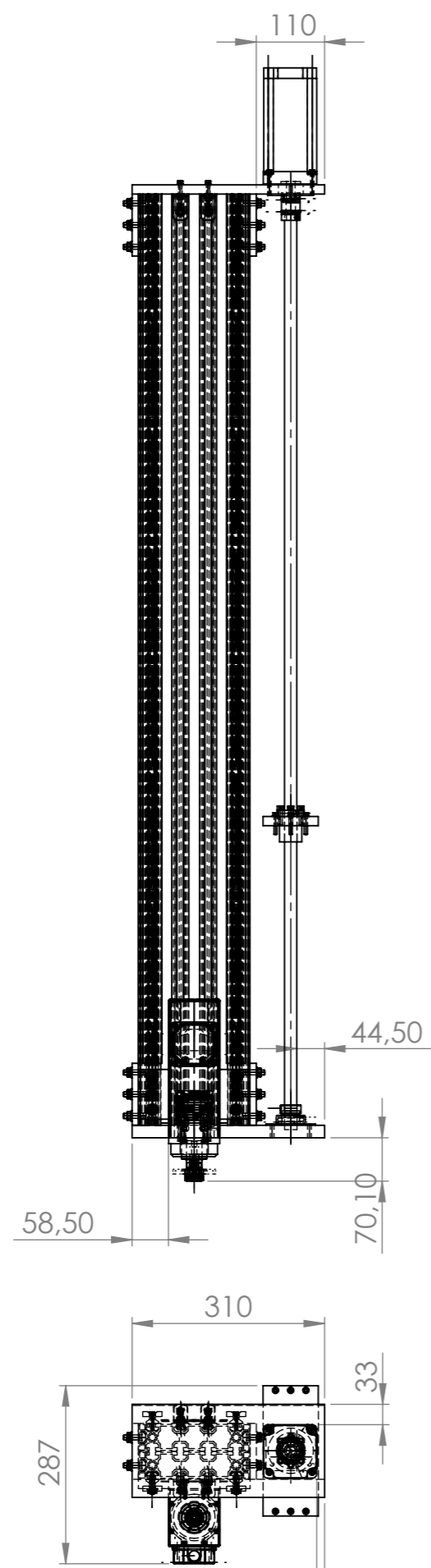
MATERIAL:
 6061 Aluoy

WEIGHT: 929,29 g

DWG NO.
 Placa_de_fixação_eixoy A4

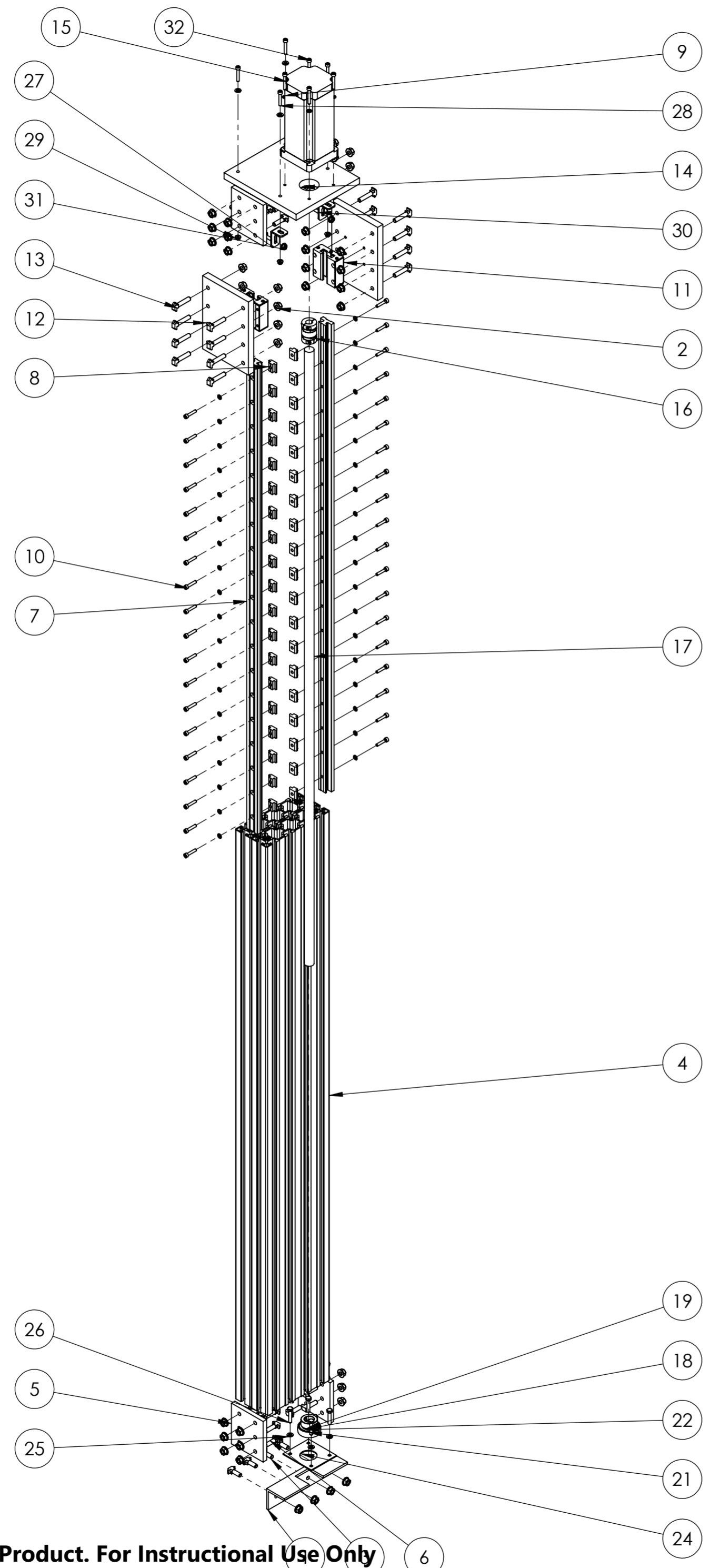
SCALE 1:5 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	A
DRAWN	Cláudio Neves	SIGNATURE	DATE	TITLE: Assem_sist_mov_princ_zz		
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018	DWG NO. Assem_sist_mov_princ_zz		
APPV'D	Cláudio Neves		19/01/2018	A3		
MFG				SCALE:1:50		
Q.A				SHEET 1 OF 1		
MATERIAL: Material <not specified>			WEIGHT: 40291.20 g			

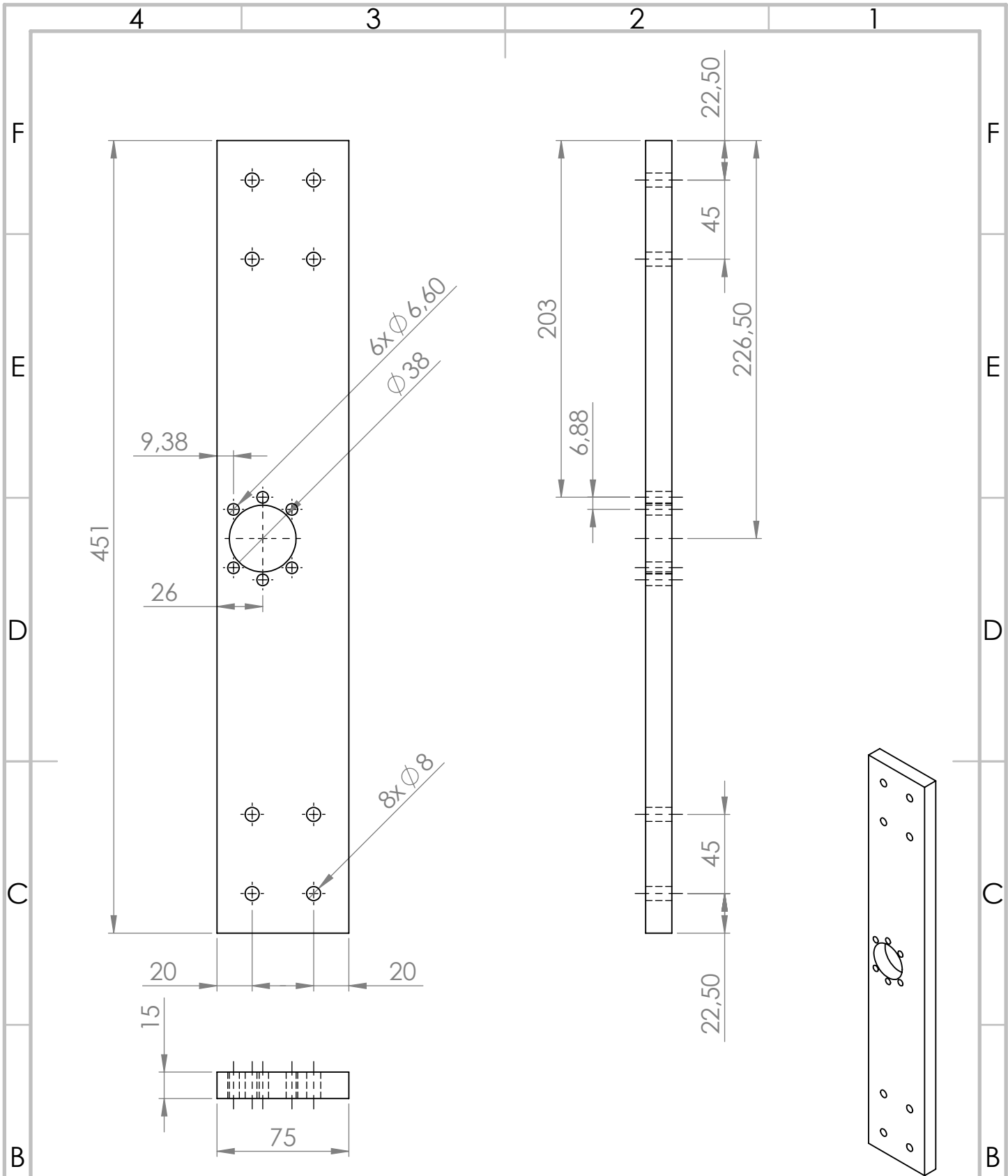


ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	proteção_eixo_x		1
2	ISO - 4161 - M8 - N		44
3	T_BOLT_M8_25		4
4	STRUT_PROFILE_45X180_1400		2
5	placa_fixação_perfis		4
6	T_BOLT_M8_30		24
7	TS_01_20_1150_2		2
8	sliding_block_1		38
9	Washer ISO 7089 - 5		42
10	ISO 4762 M5 x 25 - 25N		38
11	TW_02_20_4		2
12	Placa_de_fixação_eixoy		2
13	T_BOLT_M8_40		16
14	placa_suporte_nema_z		1
15	NEMA34		1
16	reli-a-flex_precision_coupling_clamp_type_rcla30c-6-6		1
17	sem-fim_1365		1
18	snr_es204g2_0_01		1
19	snr_es204g2_0_02		1
20	snr_es204g2_0_03		1
21	snr_es204g2_0_04		1
22	snr_es204g2_0_05		1
23	snr_es204g2_0_06		1
24	chapa_mancal		1
25	Washer ISO 7089 - 6		8
26	ISO 4016 - M6 x 30 x 18-WN		4
27	7		4
28	ISO 4762 M5 x 30 - 22N		4
29	ISO - 4161 - M5 - N		4
30	T_BOLT_M6_20		4
31	ISO - 4161 - M6 - N		4
32	ISO 4762 M5 x 35 - 22N		4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	A
DRAWN	Cláudio Neves	SIGNATURE	DATE	16/01/2018		
CHK'D	Cláudio Neves			19/01/2018		
APPV'D	Cláudio Neves			19/01/2018		
MFG						
Q.A						
MATERIAL:			Material <not specified>			
WEIGHT: 31569.63 g			SCALE: 1:20			
TITLE:			Assem_sist_mov_z			
DWG NO.			Assem_sist_mov_z			
			A2			
			SHEET 1 OF 1			





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		30/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 chapa_porca_se_fim

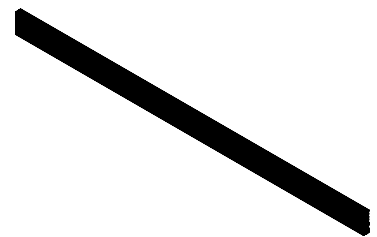
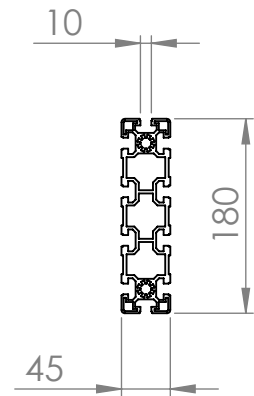
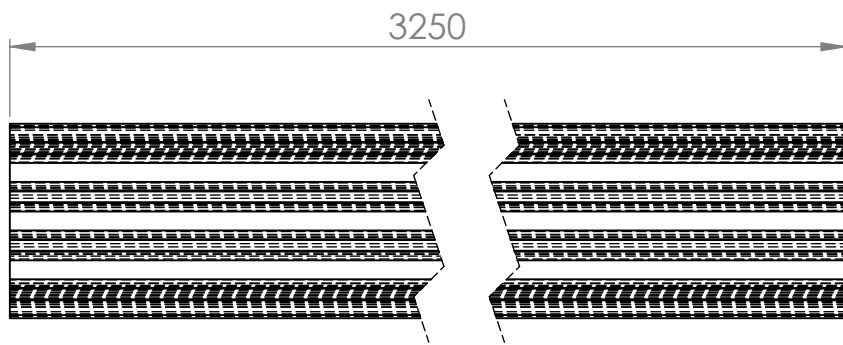
MATERIAL:
 6061 Aluox

WEIGHT: 1299.38 g

DWG NO.
 chapa_porca_se_fim A4

SCALE 1:5 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	Cláudio Neves		07/11/2017		
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018		
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018		
MFG					
Q.A					
			MATERIAL: 3041 Alloy		
			WEIGHT: 21658.56 g		

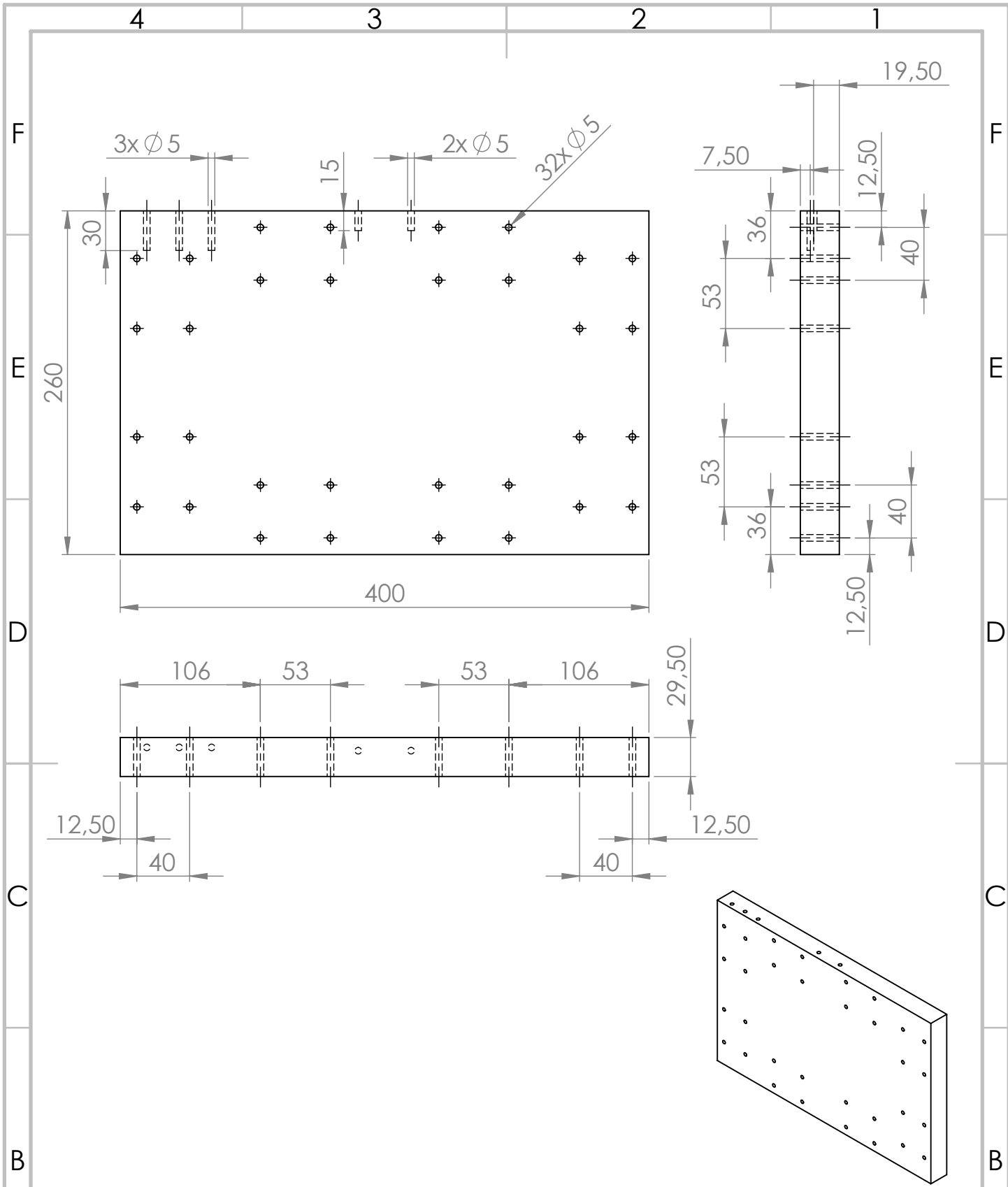
TITLE:
STRUT_PROFILE_45X180_3250

DWG NO.
STRUT_PROFILE_45X180_3250 A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

SCALE 1:50

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		06/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 placa_mov_y_dir

MATERIAL:
 6061 Aluox

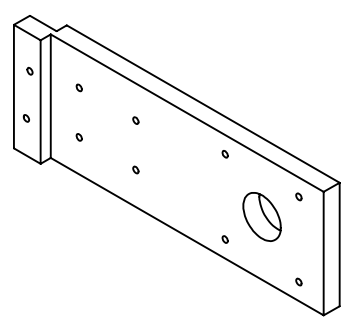
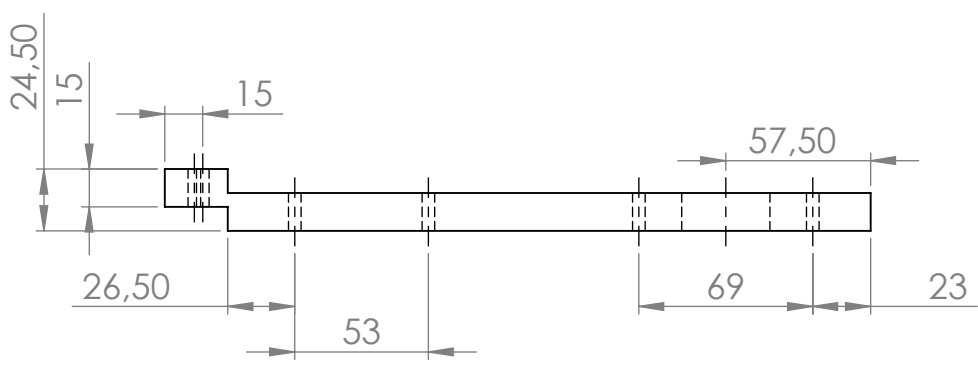
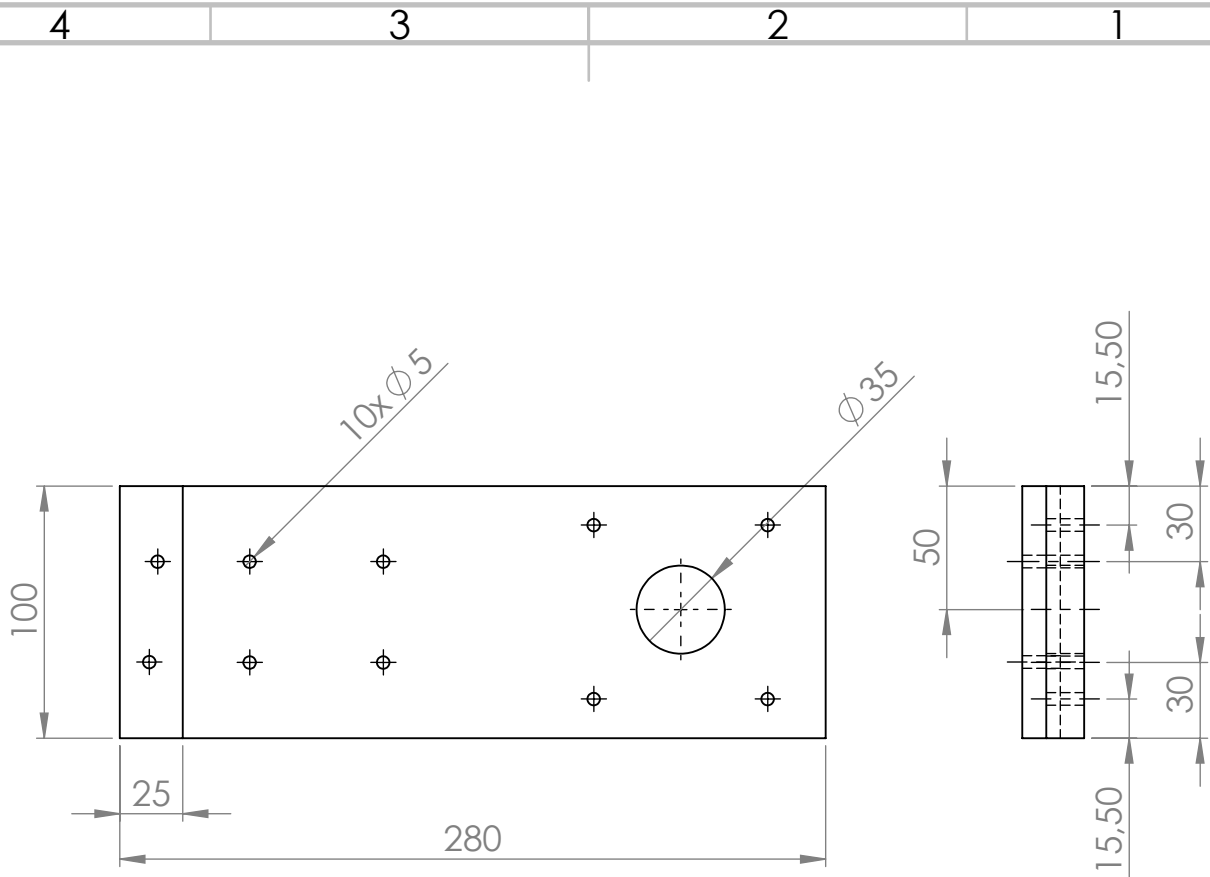
WEIGHT: 8227.19 g

DWG NO.
 placa_mov_y_dir

A4

SCALE 1:5 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:			FINISH: Machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION A	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE: apoio_nema_eixoy				
CHK'D		SIGNATURE		DATE		DWG NO. apoio_nema_eixoy				
APPV'D		SIGNATURE		DATE		MATERIAL: 6061 Aluox				
MFG		SIGNATURE		DATE		WEIGHT: 1087.08 g				
Q.A		SIGNATURE		DATE		SCALE 1:5				
		SIGNATURE		DATE		SHEET 1 OF 1				



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

A4

4 3 2 1

F

F

E

E

D

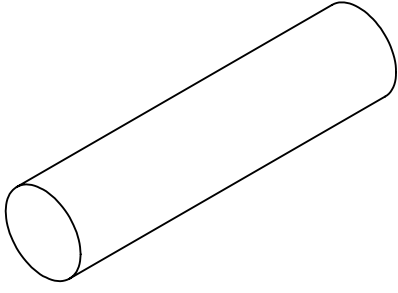
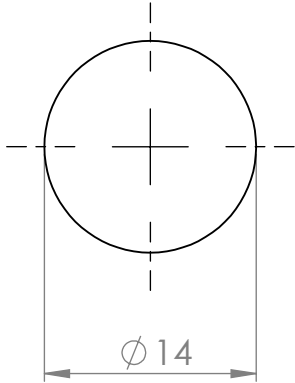
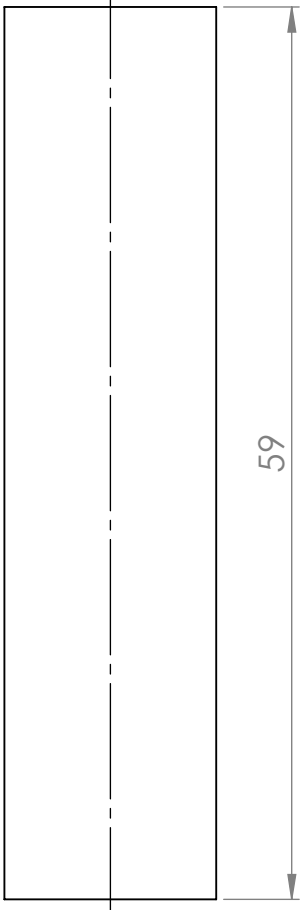
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		22/11/2016
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			

TITLE:
veio_acoplamento_pinhão_y

MATERIAL:
AISI 1035 Steel (SS)
WEIGHT: 71.30 g

DWG NO.
veio_acoplamento_pinhão_y A4

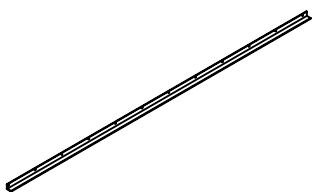
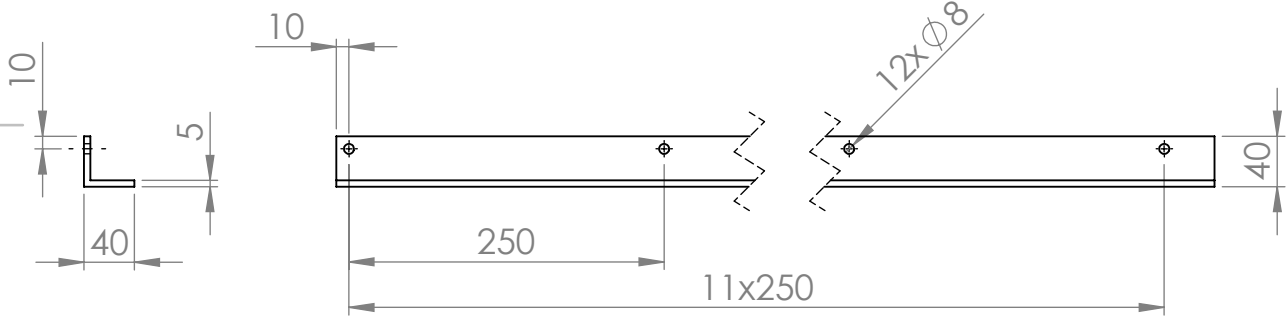
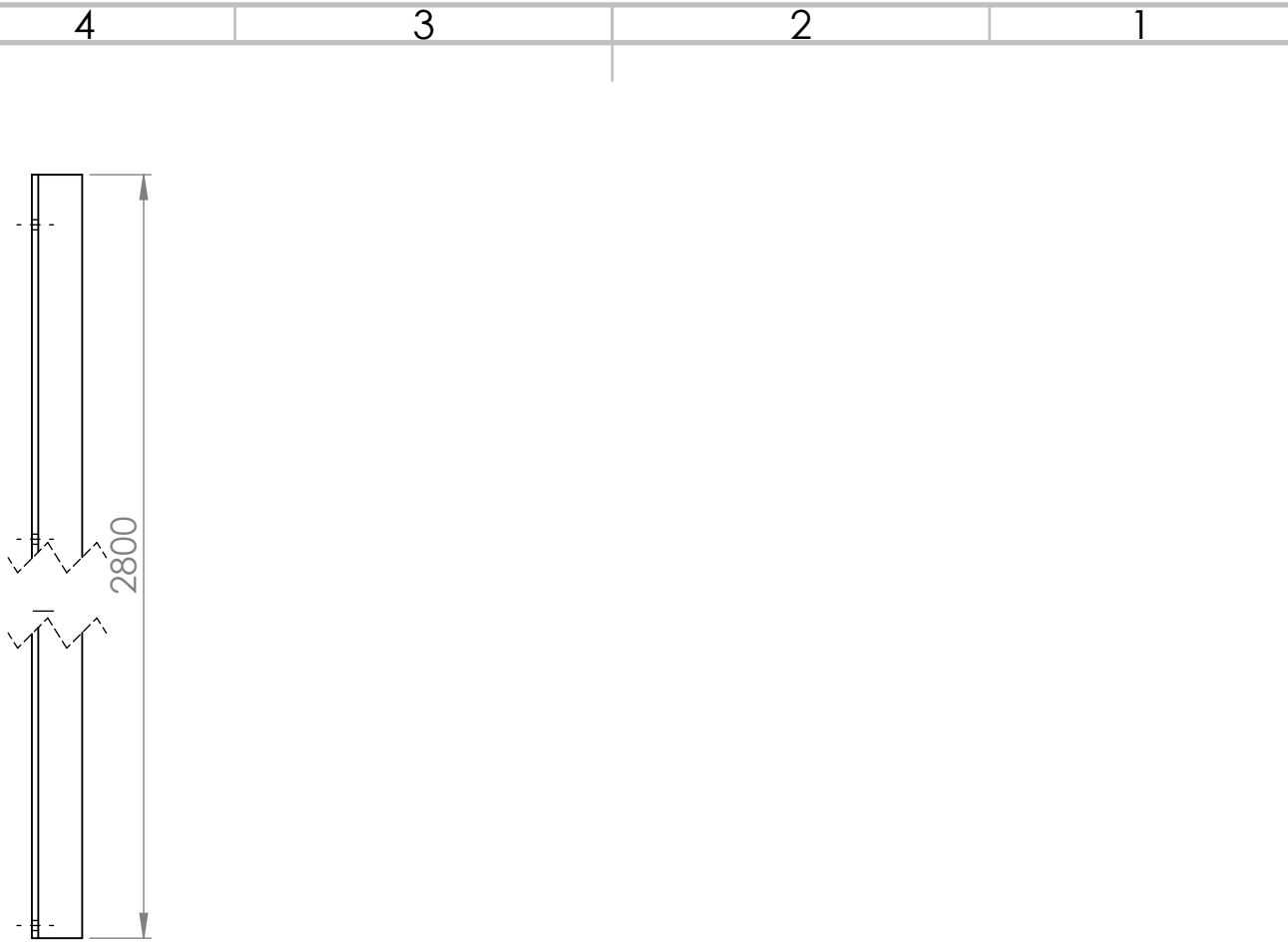
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

SCALE 1:1 SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		22/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		19/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		19/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
cantoneira_2800

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)
 WEIGHT: 8218.82 g

DWG NO.
cantoneira_2800
 SCALE 1:50 SHEET 1 OF 1

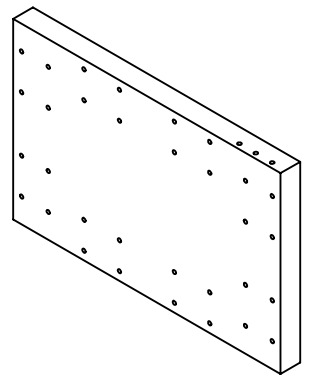
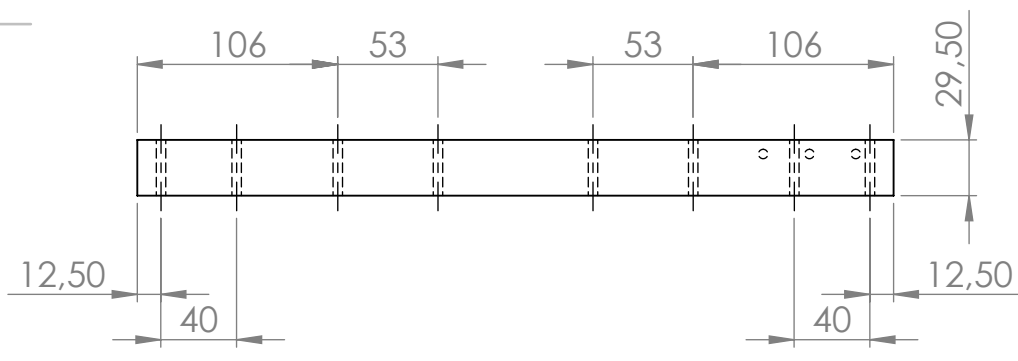
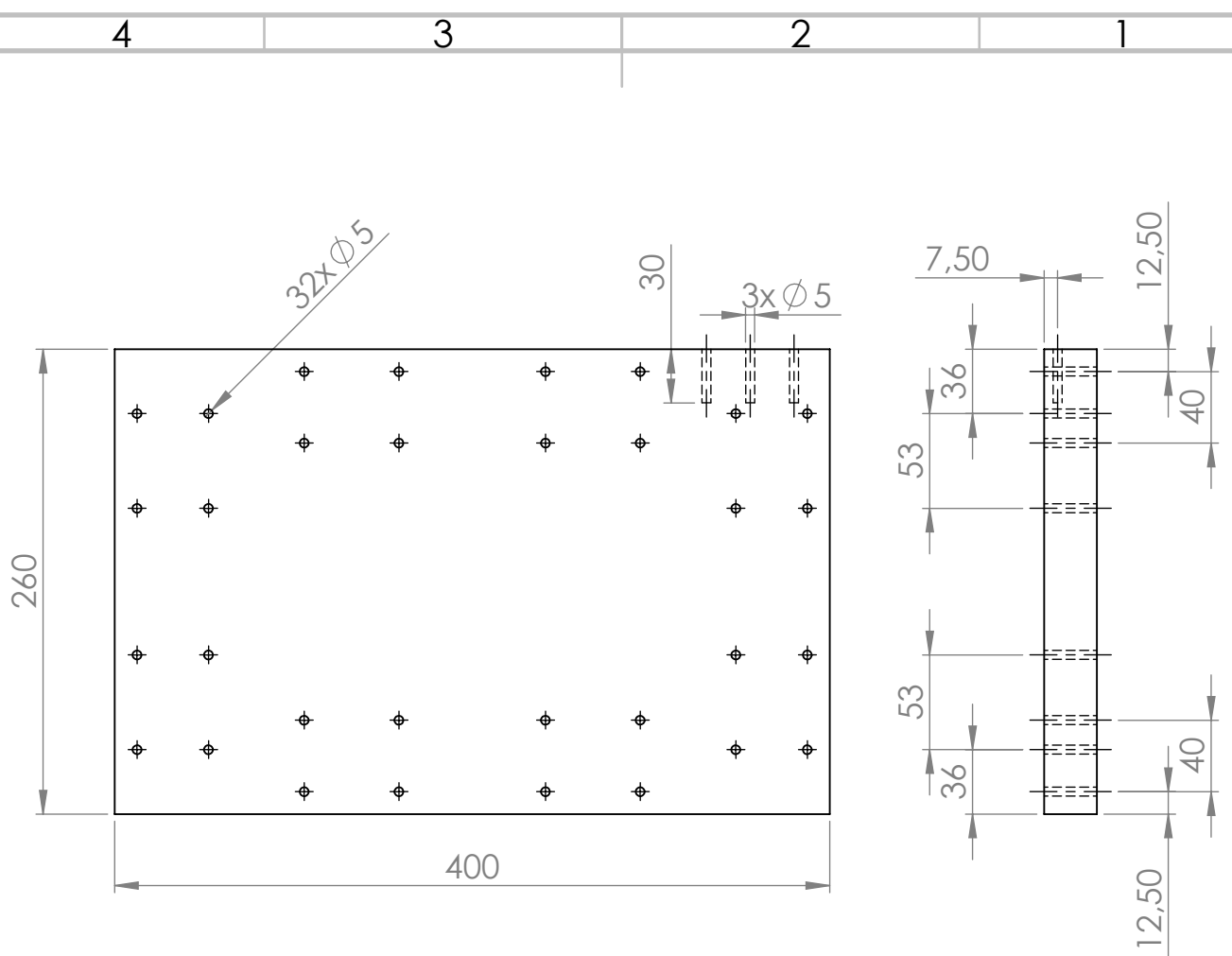
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only


F
E
D
C
B
A

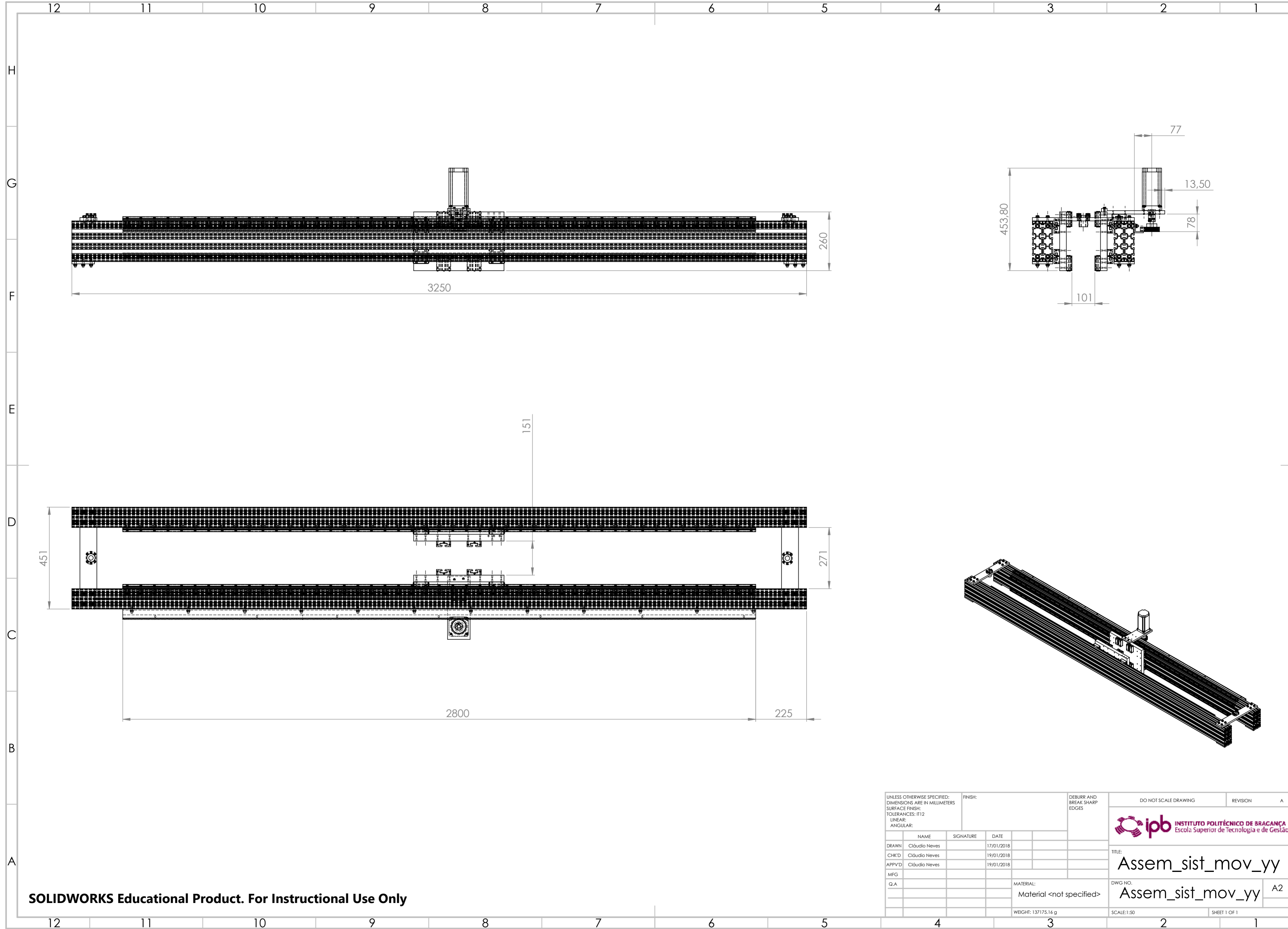
F
E
D
C
B
A

4 3 2 1

4 3 2 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:			FINISH: Machined		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION A		
DRAWN Cláudio Neves			SIGNATURE		DATE		 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e de Gestão				
CHK'D Cláudio Neves					06/11/2017		TITLE: placa_mov_y_esq				
APPV'D Cláudio Neves					17/01/2018		DWG NO. placa_mov_y_esq				
MFG							A4				
Q.A					MATERIAL: 6061 Alu		SCALE 1:5				
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only					WEIGHT: 8228.78 g		SHEET 1 OF 1				



3250

260

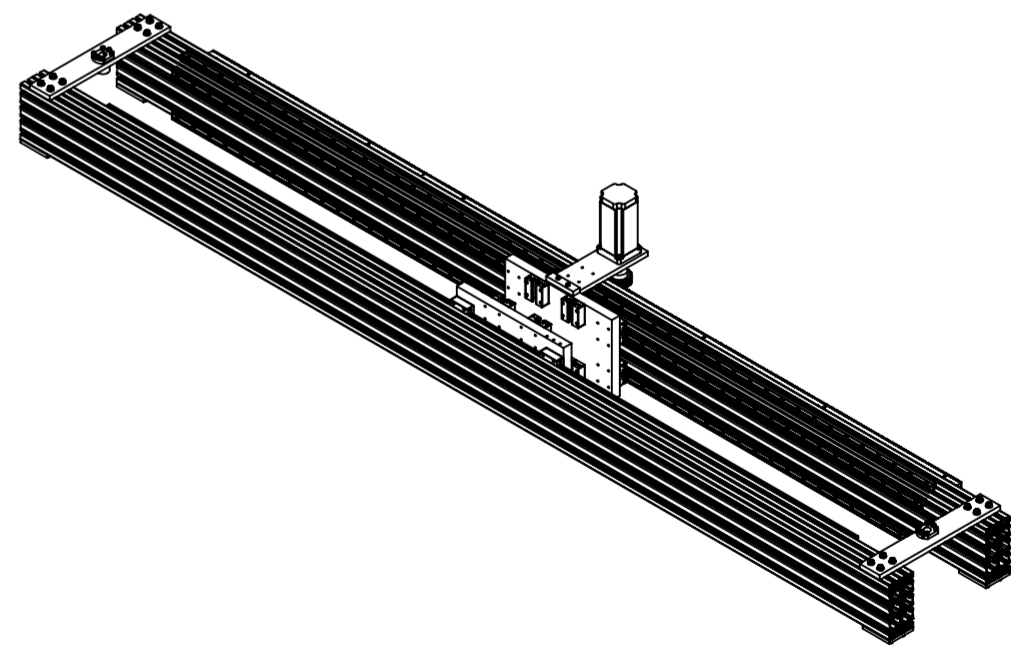
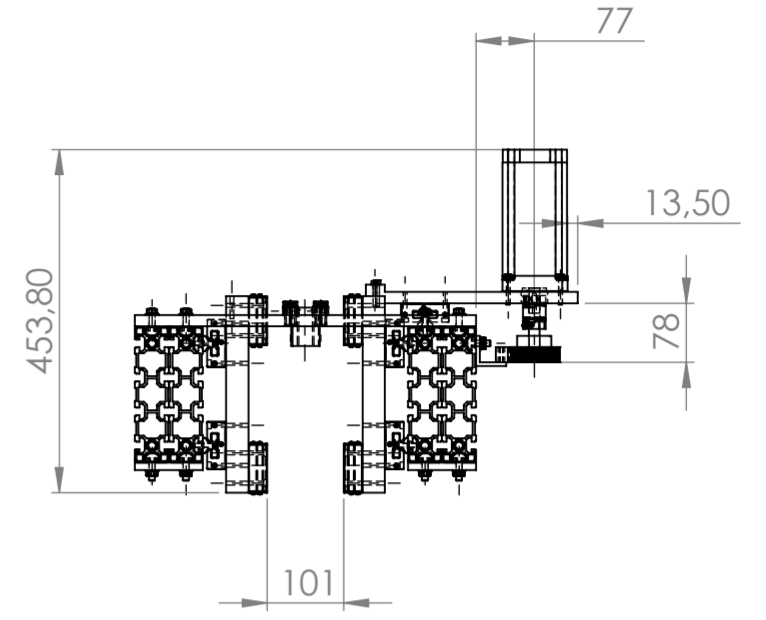
151

451

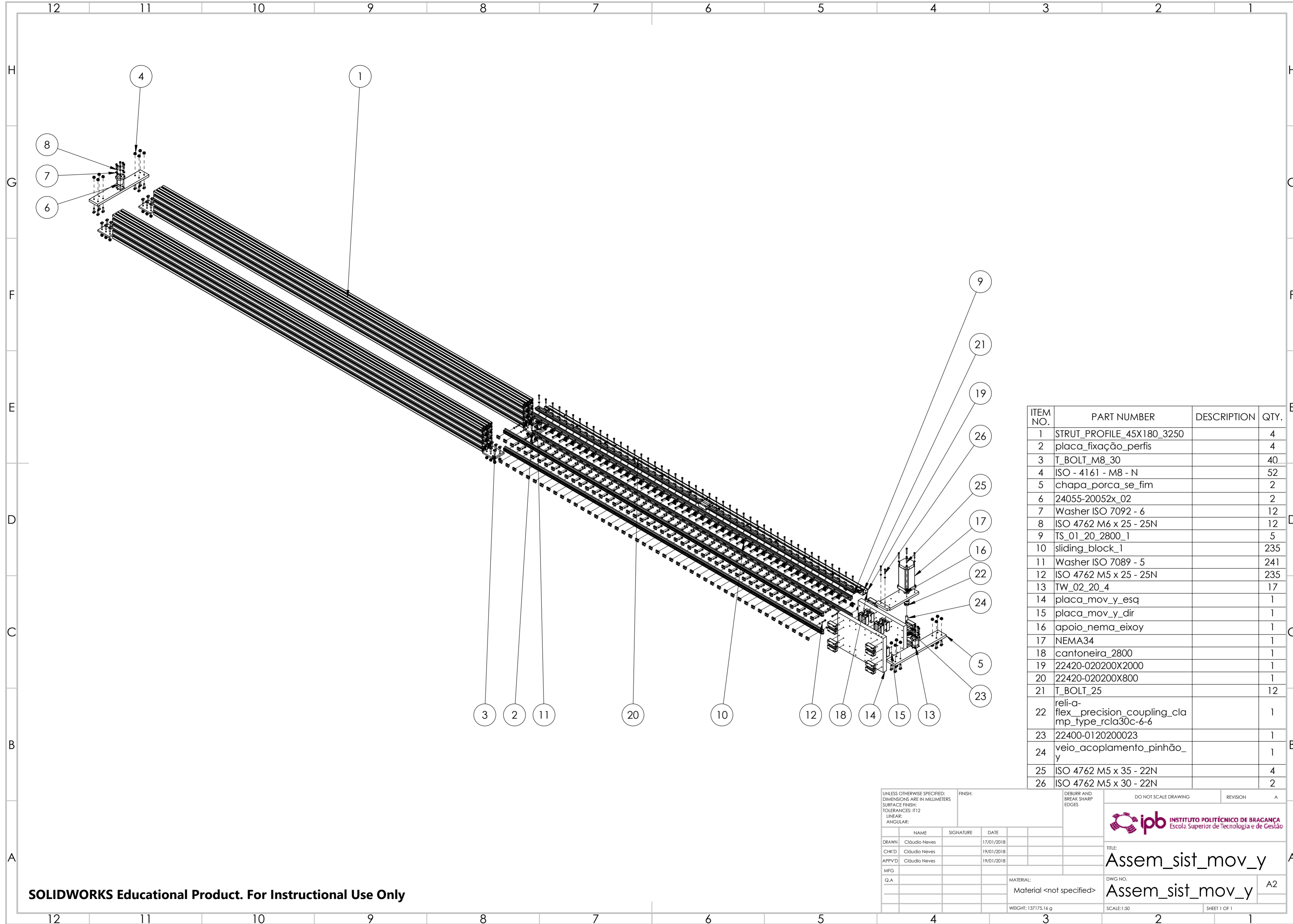
271

2800

225



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		A	
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES: IT12											
LINEAR:											
ANGULAR:											
DRAWN		NAME		SIGNATURE		DATE					
CHK'D		Cláudio Neves				17/01/2018					
APPV'D		Cláudio Neves				19/01/2018					
MFG		Cláudio Neves				19/01/2018					
Q.A											
								MATERIAL:		Material <not specified>	
								DWG NO.		Assem_sist_mov_yy A2	
								WBGHT: 137175,16 g		SCALE:1:50	
										SHEET 1 OF 1	



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	STRUT_PROFILE_45X180_3250		4
2	placa_fixação_perfis		4
3	T_BOLT_M8_30		40
4	ISO - 4161 - M8 - N		52
5	chapa_porca_se_fim		2
6	24055-20052x_02		2
7	Washer ISO 7092 - 6		12
8	ISO 4762 M6 x 25 - 25N		12
9	TS_01_20_2800_1		5
10	sliding_block_1		235
11	Washer ISO 7089 - 5		241
12	ISO 4762 M5 x 25 - 25N		235
13	TW_02_20_4		17
14	placa_mov_y_esq		1
15	placa_mov_y_dir		1
16	apoio_nema_eixoy		1
17	NEMA34		1
18	cantoneira_2800		1
19	22420-020200X2000		1
20	22420-020200X800		1
21	T_BOLT_25		12
22	reli-a-flex_precision_coupling_clamp_type_rcla30c-6-6		1
23	22400-0120200023		1
24	veio_acoplamento_pinhão_y		1
25	ISO 4762 M5 x 35 - 22N		4
26	ISO 4762 M5 x 30 - 22N		2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A

ipb INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

TITLE:
Assem_sist_mov_y

DWG NO.
Assem_sist_mov_y A2

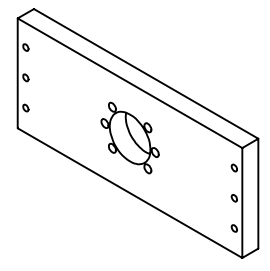
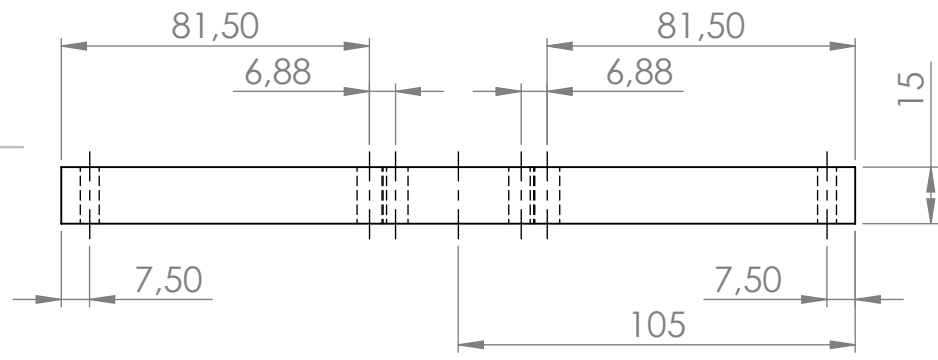
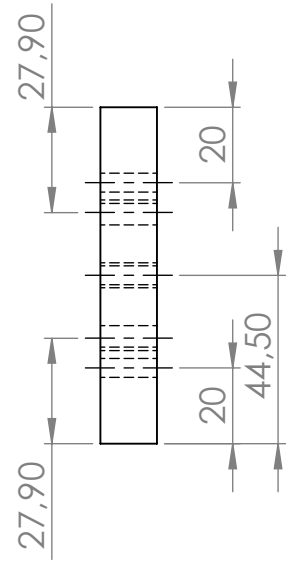
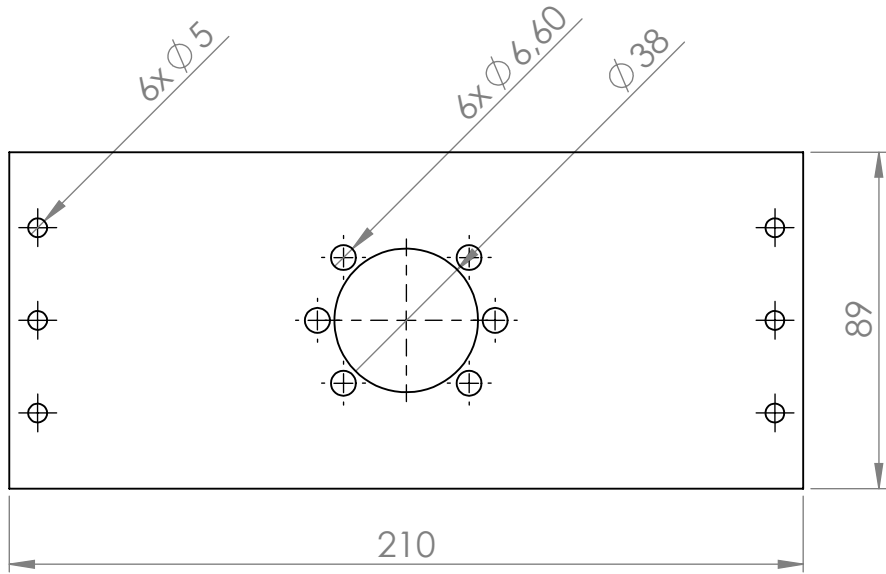
MATERIAL:
 Material <not specified>

WEIGHT: 137175.16 g

SCALE: 1:50

SHEET 1 OF 1

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN Cláudio Neves		17/01/2018
CHK'D Cláudio Neves		19/01/2018
APPV'D Cláudio Neves		19/01/2018
MFG		
Q.A		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		09/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			

TITLE:
chapa_porca_sem_fim_2

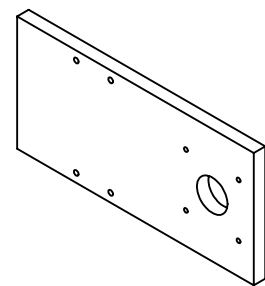
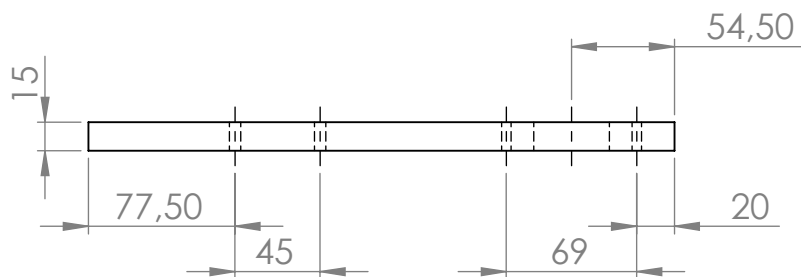
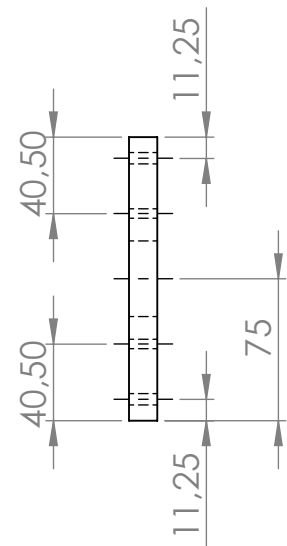
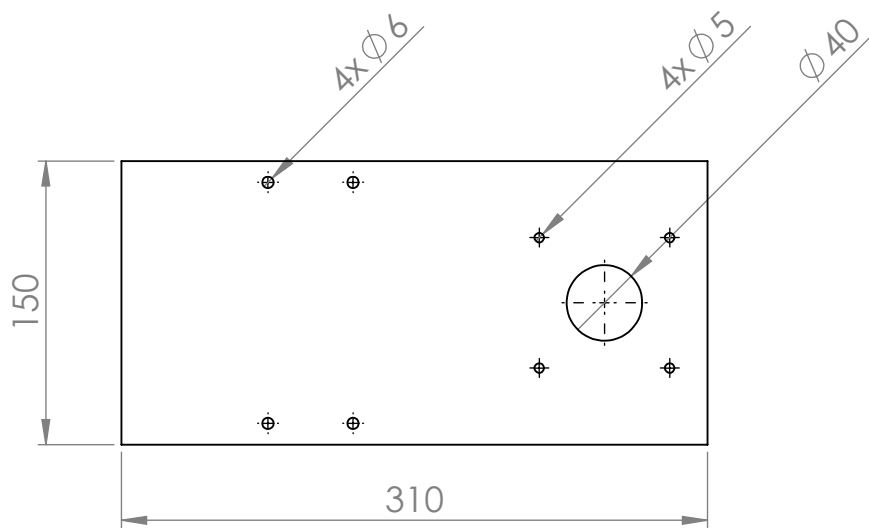
MATERIAL:
6061 Aluox

WEIGHT: 697.93 g

DWG NO.
chapa_porca_sem_fim_2 A4

SCALE 1:2 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION **A**



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		08/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
placa_suporte_nema_z_2

MATERIAL:
6061 Alu

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 1824.59 g

DWG NO.
placa_suporte_nema_z_2 **A4**

SCALE 1:5

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

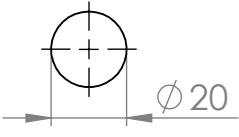
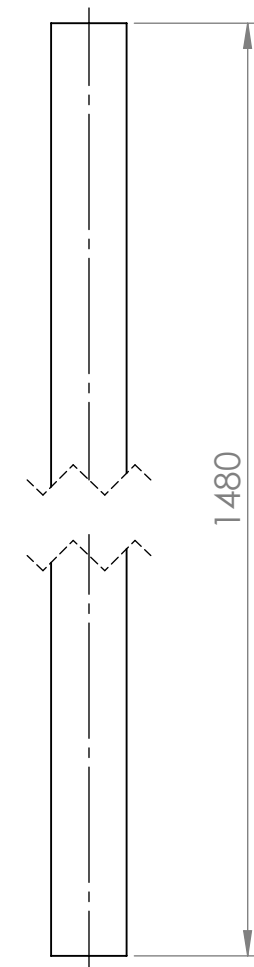
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		30/10/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 sem-fim_1480

MATERIAL:
 AISI 4340 Steel, normalized

DWG NO.
 sem-fim_1480

A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 3649.90 g

SCALE 1:10

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

E

D

C

B

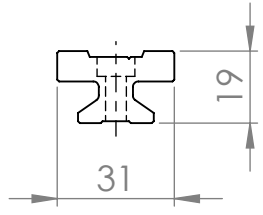
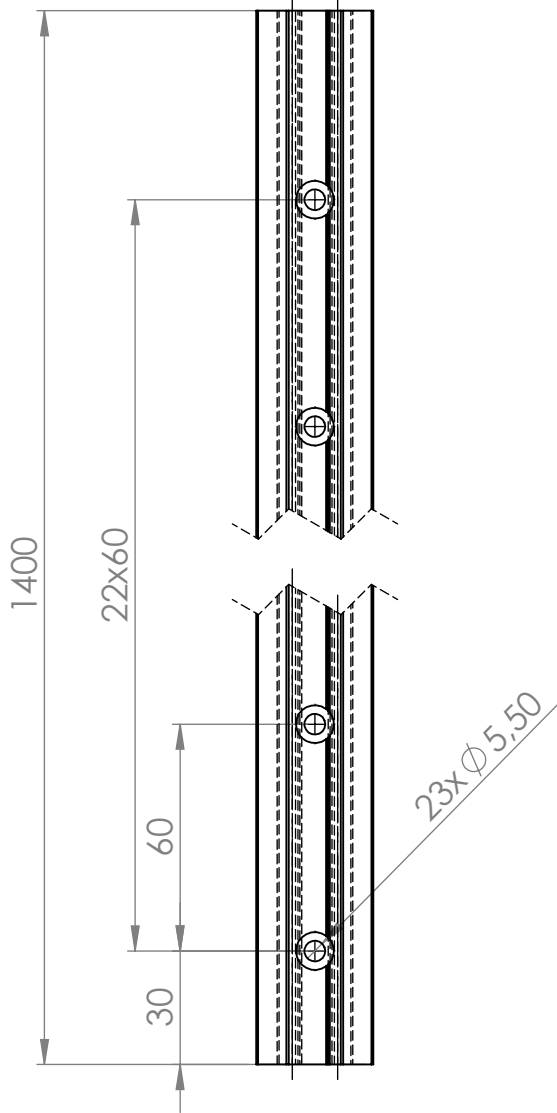
F

E

D

C

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		08/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
TS_01_20_1500

DWG NO. **TS_01_20_1500** A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 1364.06 g

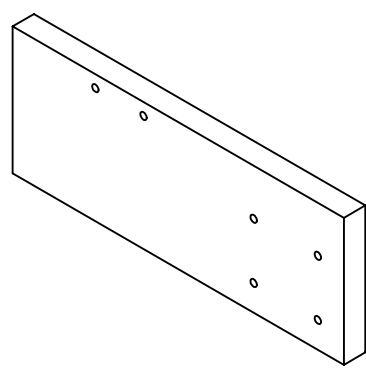
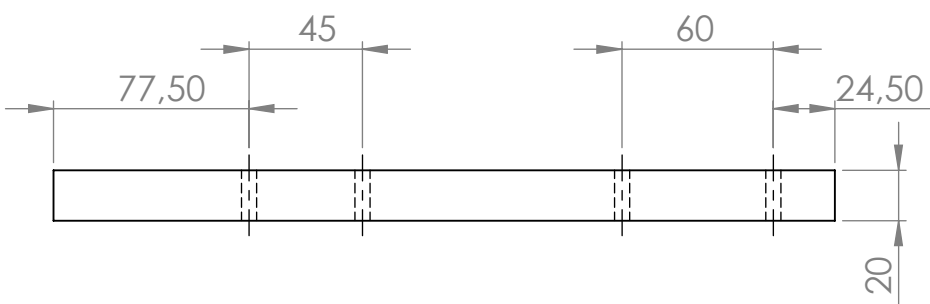
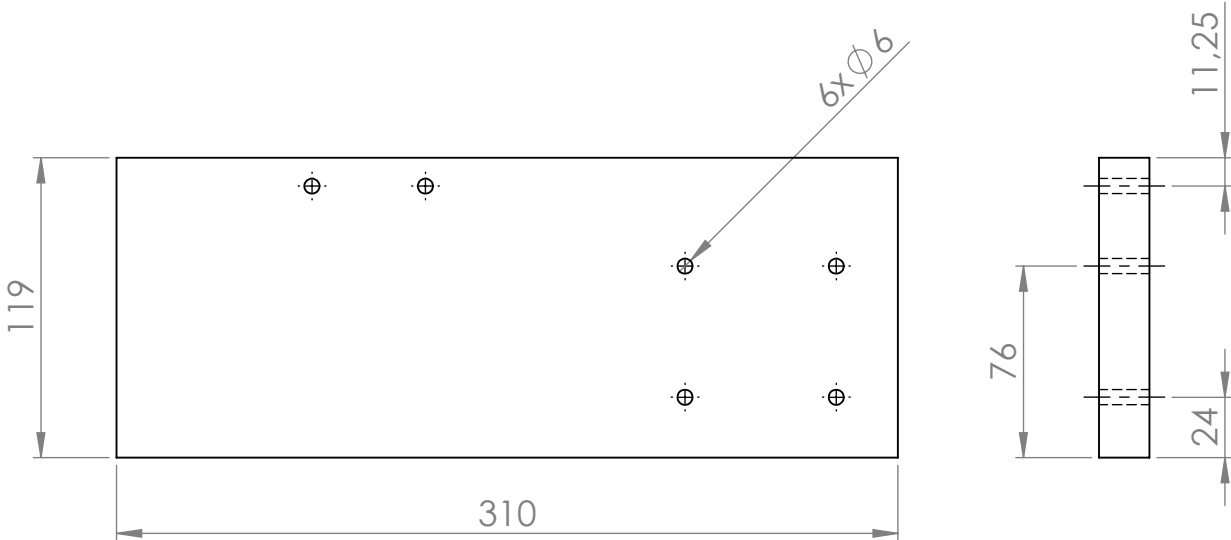
SCALE 1:10

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		08/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			
Q.A			



TITLE:
 placa_suporte_mancal

MATERIAL:
 6061 Aluox

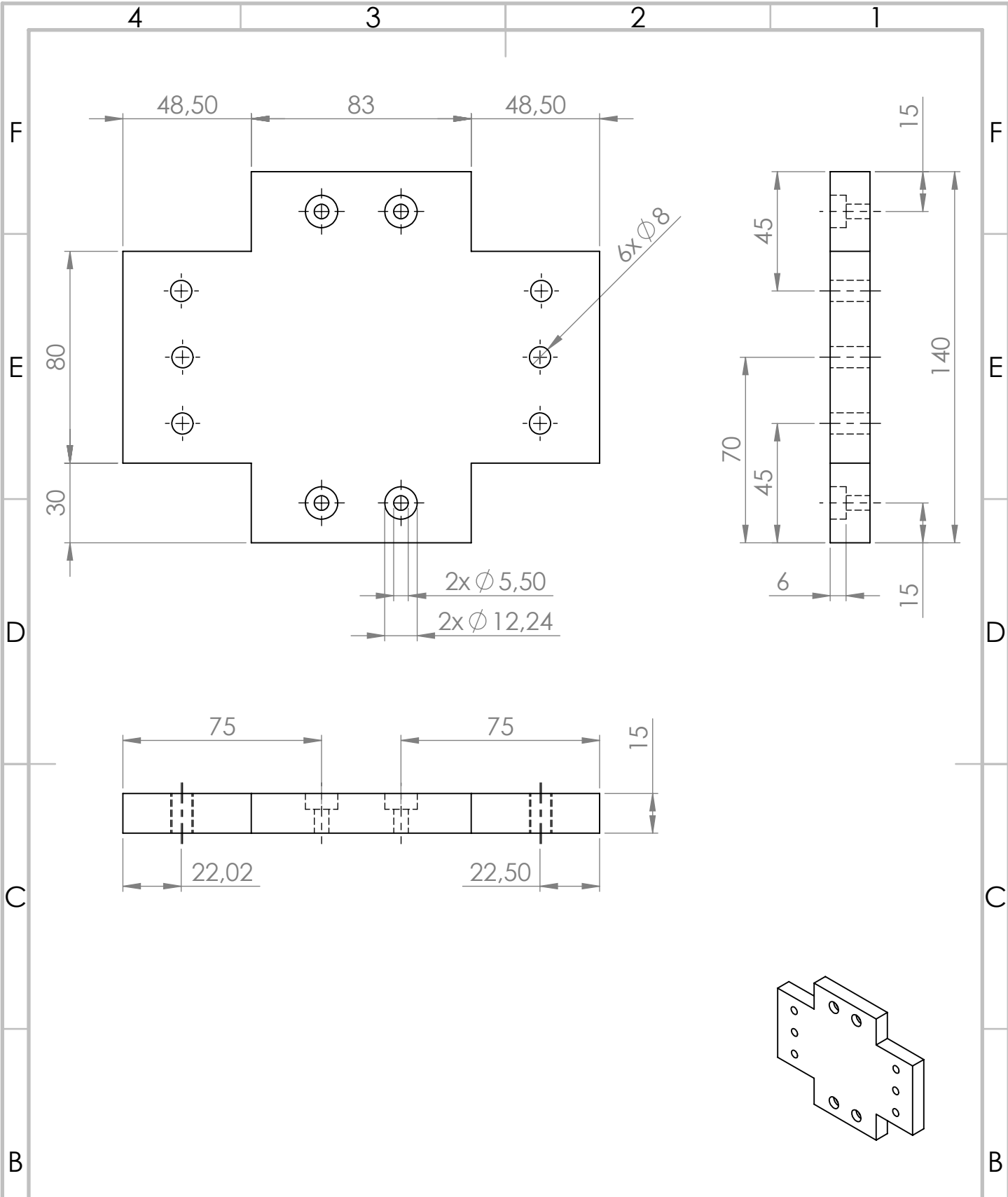
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

WEIGHT: 1982.90 g

DWG NO.
 placa_suporte_mancal A4

SCALE 1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		10/11/2017
CHK'D	Cláudio Neves		17/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		17/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
 placa_fixação_spindle

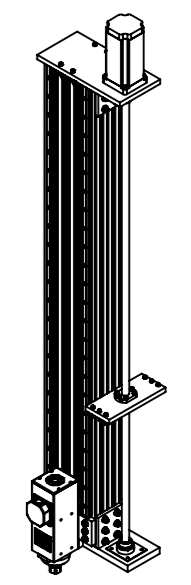
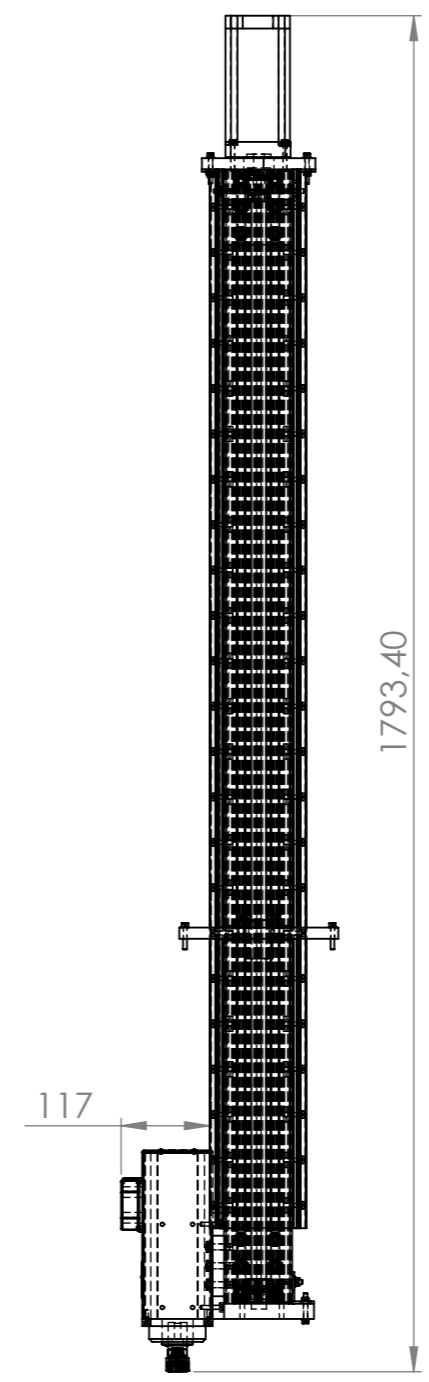
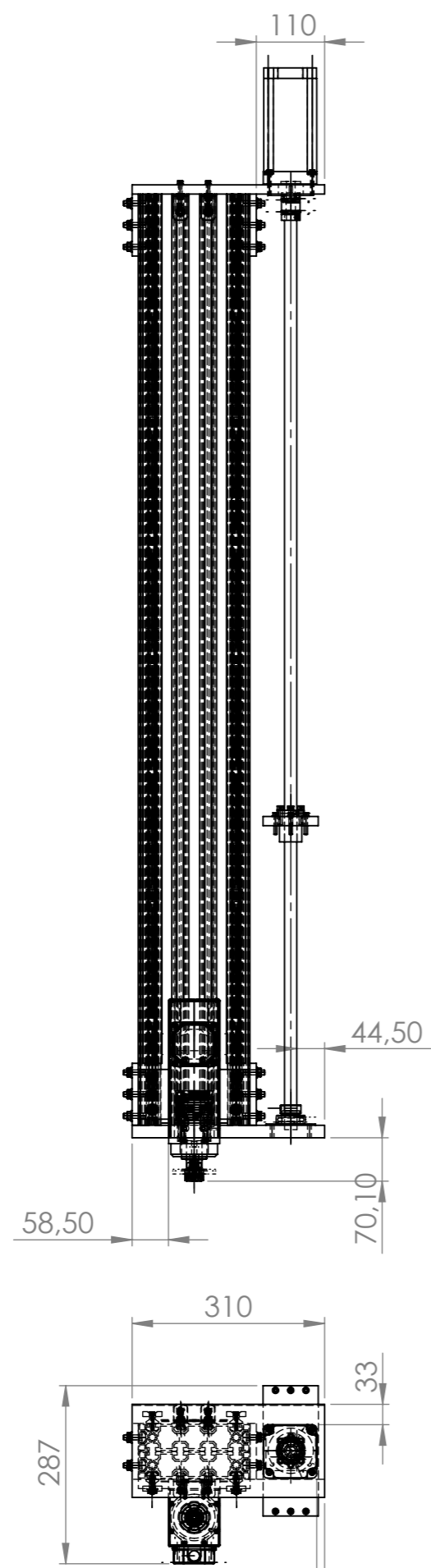
MATERIAL:
 6061 Aluox

WEIGHT: 762.74 g

DWG NO.
 placa_fixação_spindle A4

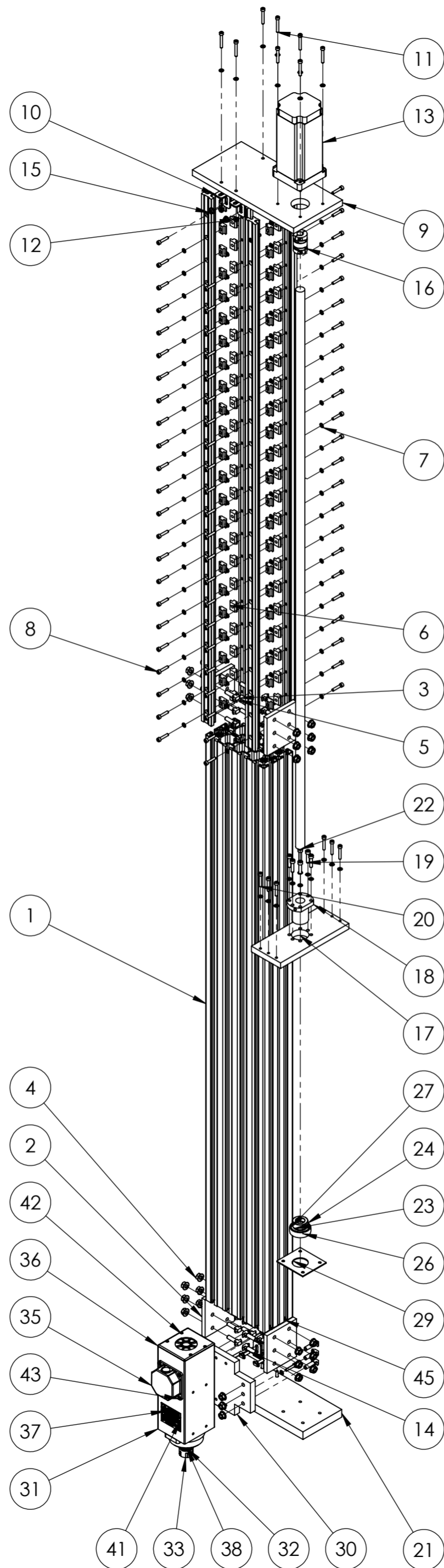
SCALE 1:2 SHEET 1 OF 1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	A
DRAWN	Cláudio Neves	SIGNATURE	DATE	TITLE: Assem_sist_mov_princ_zz		
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018	DWG NO. Assem_sist_mov_princ_zz		
APPV'D	Cláudio Neves		19/01/2018	A3		
MFG				SCALE:1:50		
Q.A				SHEET 1 OF 1		
MATERIAL: Material <not specified>			WEIGHT: 40291.20 g			



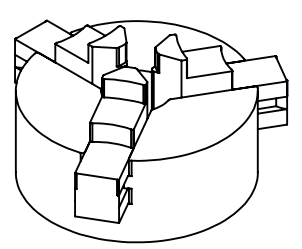
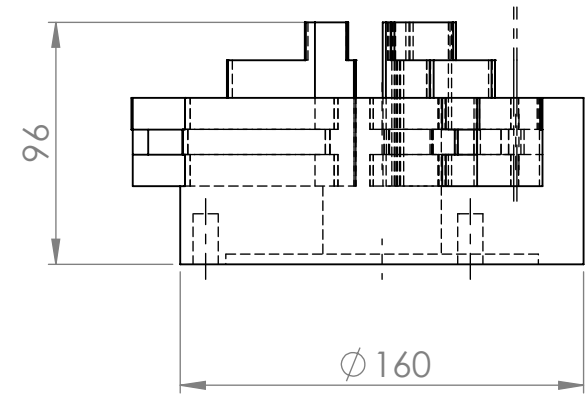
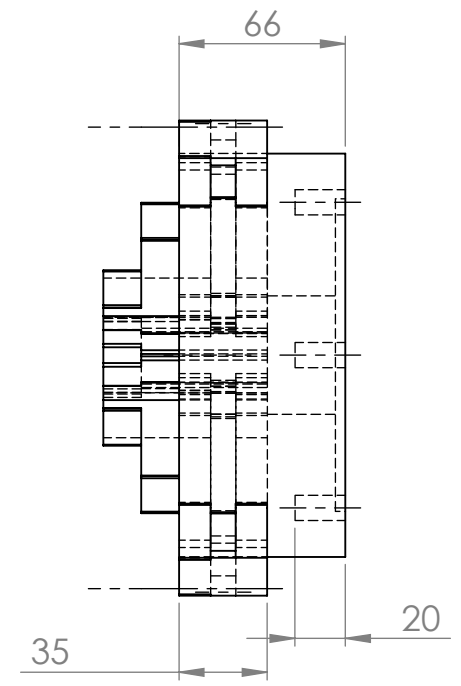
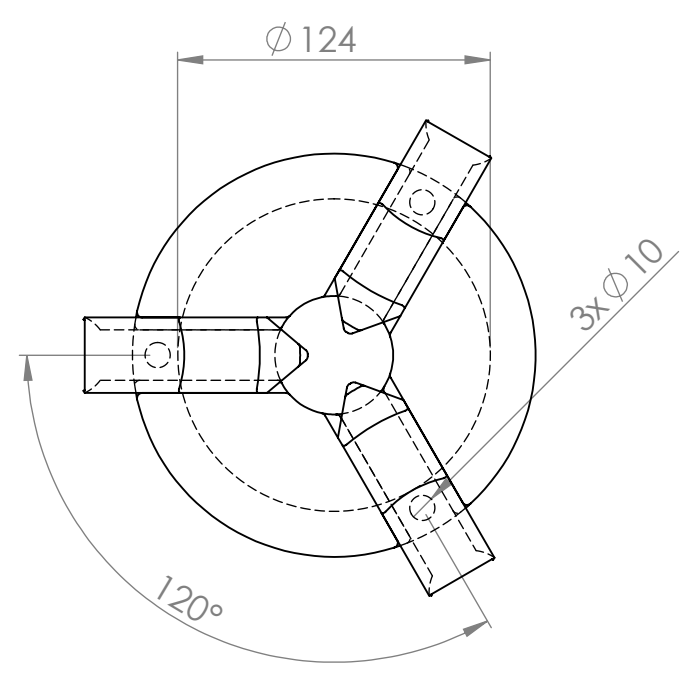
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	STRUT_PROFILE_45X180_1500		2
2	placa_fixação_perfis		4
3	T_BOLT_M8_30		30
4	ISO - 4161 - M8 - N		30
5	TS_01_20_1500		4
6	sliding_block_1		92
7	Washer ISO 7089 - 5		118
8	ISO 4762 M5 x 25 - 25N		92
9	placa_suporte_nema_z_2		1
10	7		6
11	ISO 4762 M5 x 35 - 22N		10
12	ISO - 4161 - M5 - N		6
13	NEMA34		1
14	T_BOLT_M6_20		6
15	ISO - 4161 - M6 - N		6
16	reli-a-flex_precision_coupling_clamp_type_rcla30c-6-6		1
17	chapa_porca_sem_fim_2		1
18	24055-20052x_02		1
19	ISO 4762 M6 x 25 - 25N		6
20	ISO 4762 M5 x 30 - 22N		6
21	placa_suporte_mancal		1
22	sem-fim_1480		1
23	snr_es204g2_0_01		1
24	snr_es204g2_0_02		1
25	snr_es204g2_0_03		1
26	snr_es204g2_0_04		1
27	snr_es204g2_0_05		1
28	snr_es204g2_0_06		1
29	chapa_mancal		1
30	placa_fixação_spindle		1
31	Cuerpo		1
32	Mandril		1
33	Tuerca mandril		1
34	Eje		1
35	Tapa terminales		1
36	Tapa trasera		1
37	Etiqueta		1
38	Acople motor 41-47		1
39	Aro eje		1
40	circlip for shafts normal_din		1
41	groove pin 08_iso		2
42	pan head cross recess screw_iso		4
43	pan head cross recess screw_iso		4
44	ISO 4762 M4 x 6 --- 6N		4
45	ISO 4762 M5 x 25 - 25N		4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	A
NAME	SIGNATURE	DATE					
DRAWN Cláudio Neves		18/01/2018					
CHK'D Cláudio Neves		19/01/2018					
APP'V'D Cláudio Neves		19/01/2018					
MFG							
Q.A			MATERIAL: Material <not specified>		DWG NO. Assem_sist_mov_princ_z A2		
			WEIGHT: 40291.20 g		SCALE:1:20		SHEET 1 OF 1



TITLE: Assem_sist_mov_princ_z



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		04/12/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
3-chuck

DWG NO.
3-chuck

A4

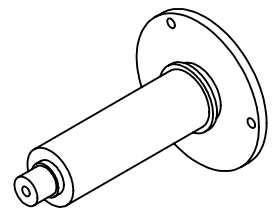
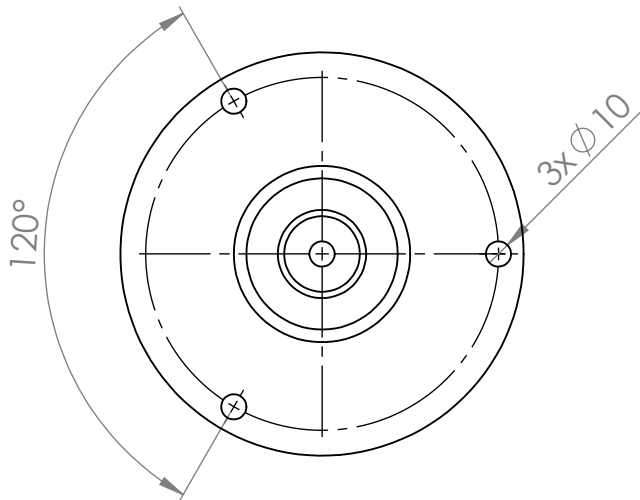
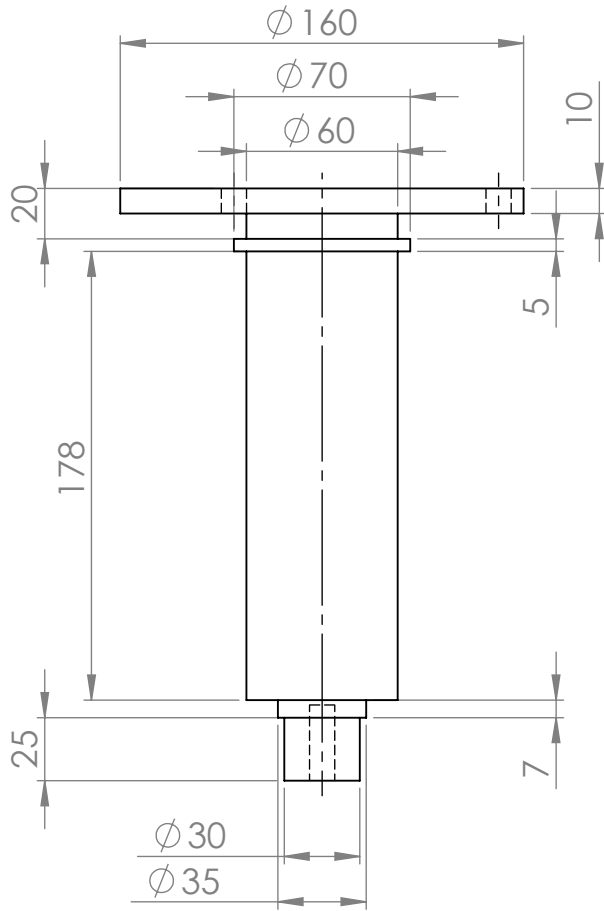
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL:
 Material <not specified>

WEIGHT: 10274.33 g

SCALE 1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		04/12/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:

veio

DWG NO.

veio

A4

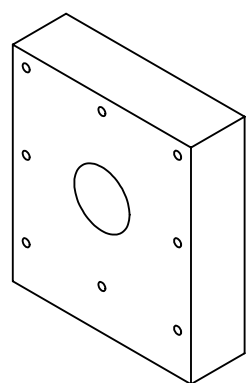
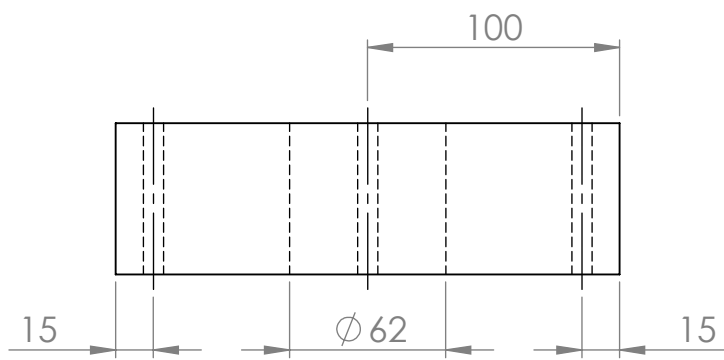
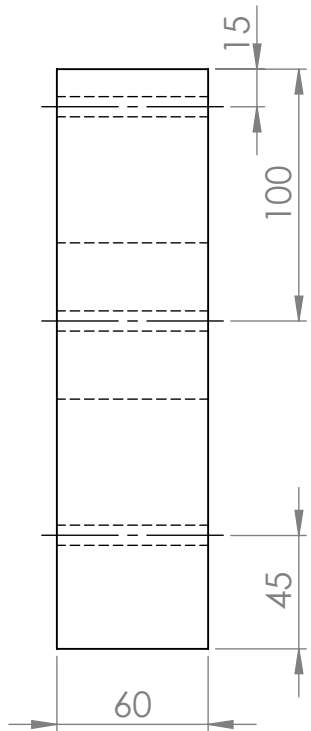
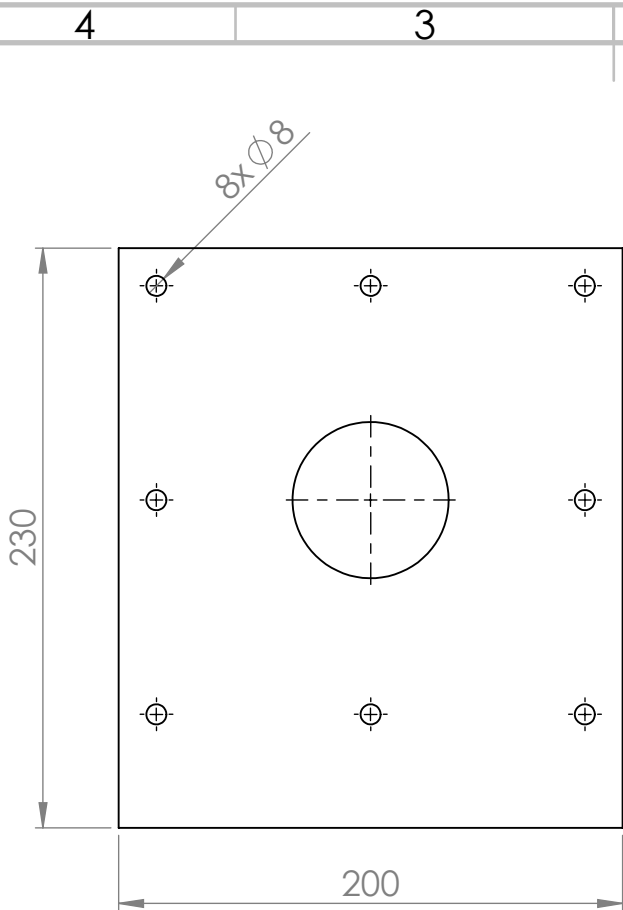
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

MATERIAL:
 AISI 1035 Steel (SS)

WEIGHT: 6056.71 g

SCALE 1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A

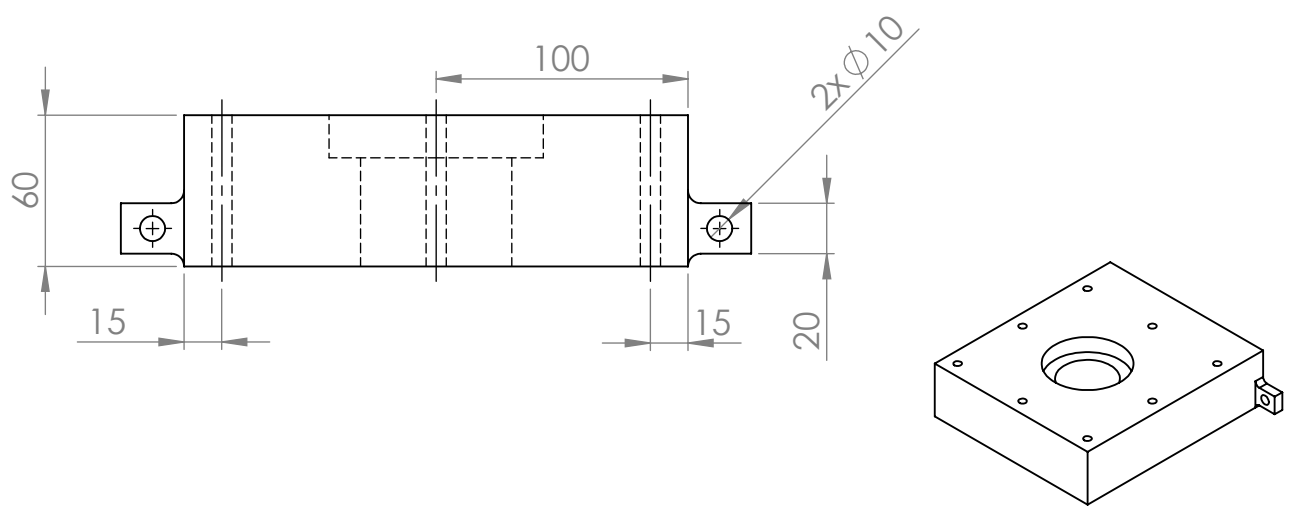
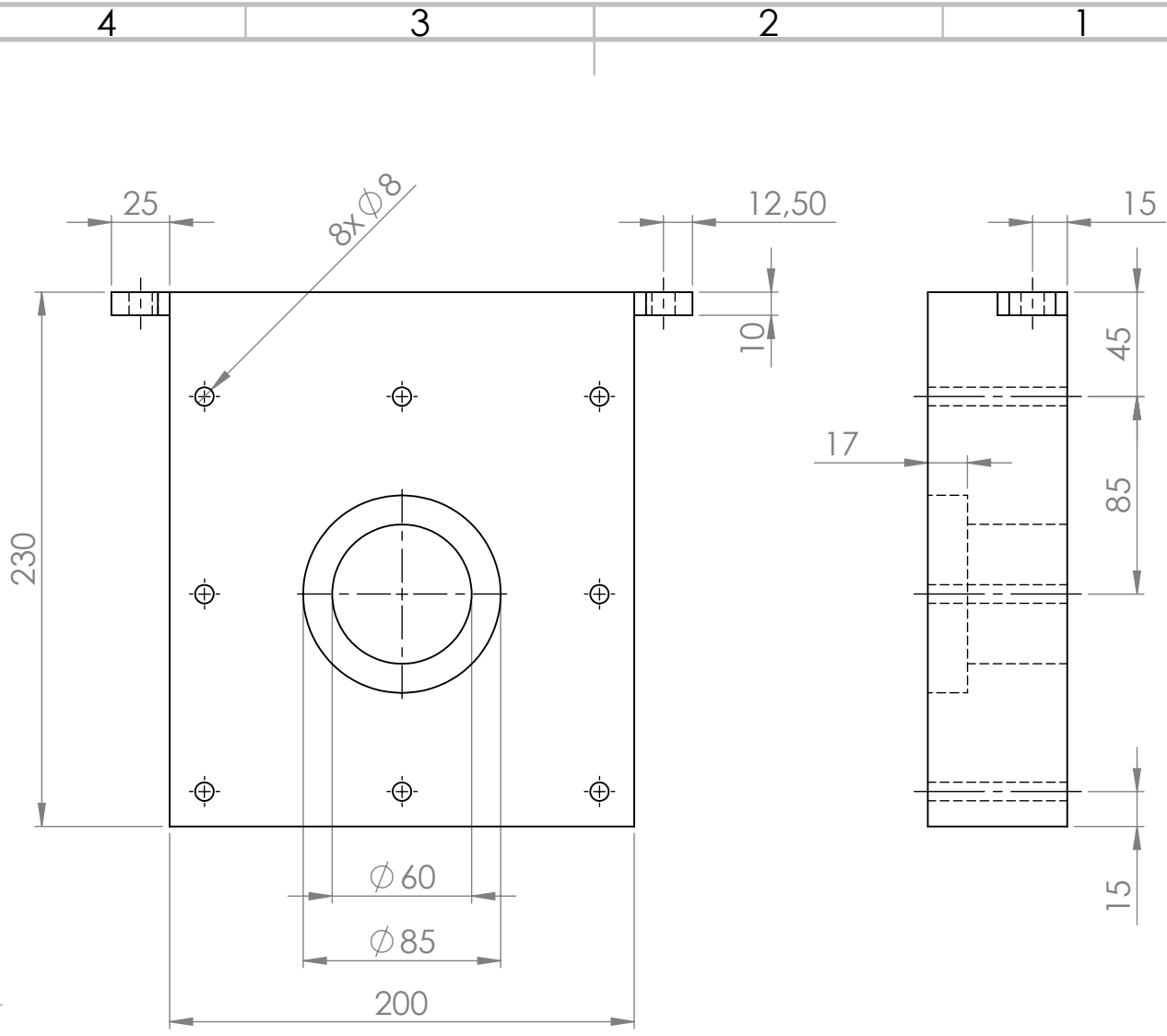


	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		04/12/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			

TITLE:
bloco2_4eixo

Q.A. MATERIAL:
 6061 Aluox
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only
 WEIGHT: 6897.77 g

DWG NO.
bloco2_4eixo
 A4
 SCALE 1:5 SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:
 Machined

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION A

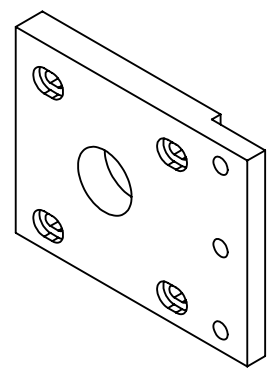
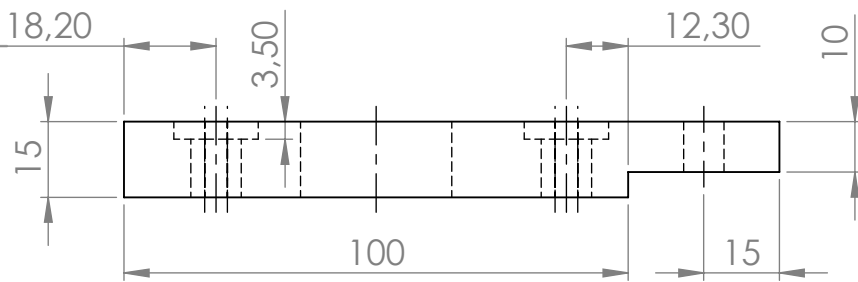
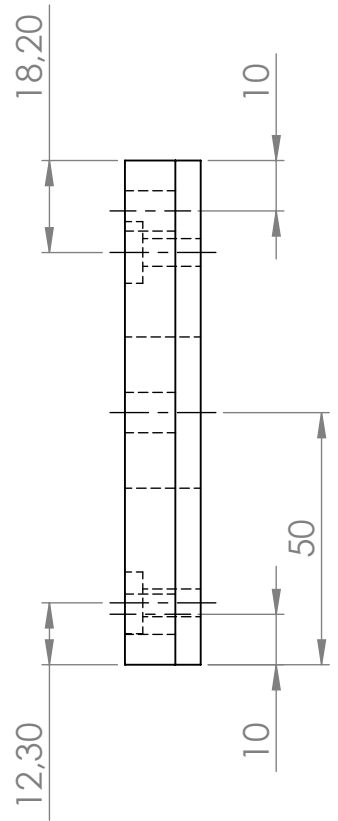
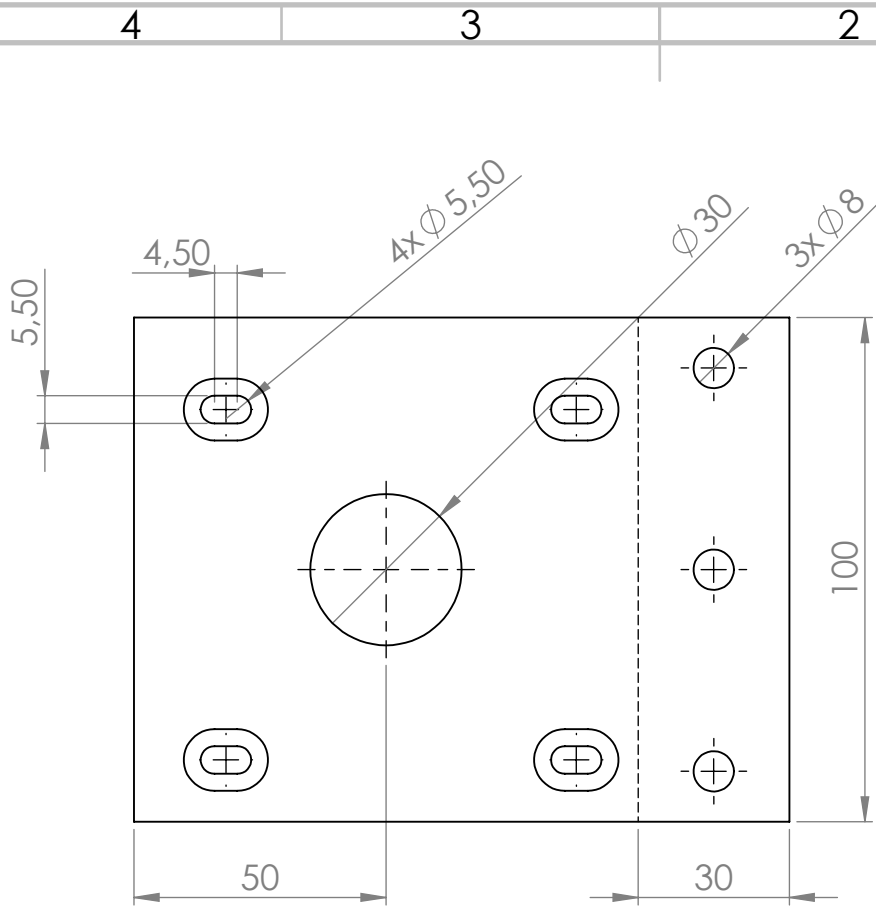


	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		04/12/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
bloco3_4eixo

MATERIAL:
 6061 Alu
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only
 WEIGHT: 6821.47 g

DWG NO.
bloco3_4eixo
 A4
 SCALE 1:5 SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		05/12/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

TITLE:
placa_apoio_nema_4eixo

MATERIAL:
6061 Alu

WEIGHT: 440.75 g

DWG NO.
placa_apoio_nema_4eixo

A4

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

SCALE 1:2

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

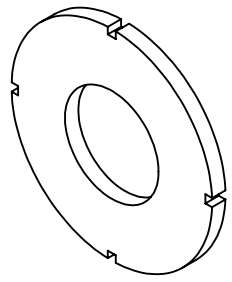
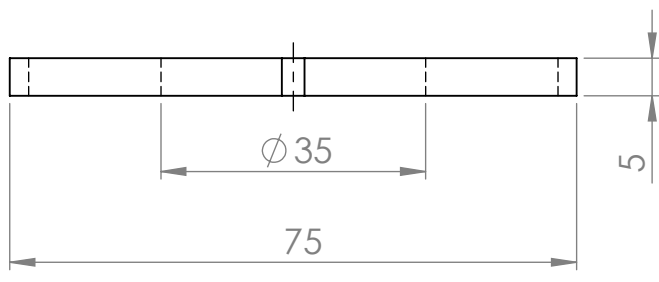
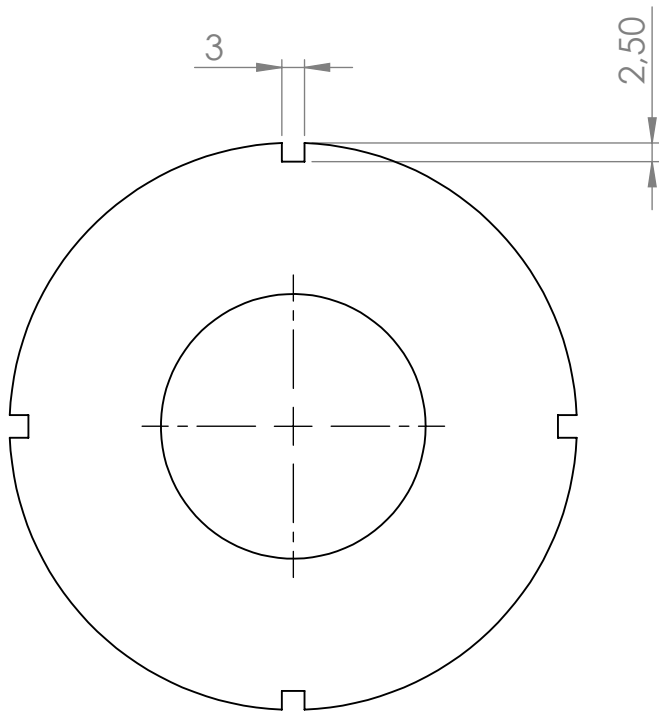
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES: IT12
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Machined

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION **A**



	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		05/12/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			

TITLE:
porca_rolamento

MATERIAL:
AISI 1035 Steel (SS)

WEIGHT: 134.47 g

DWG NO.
porca_rolamento

SCALE 1:1

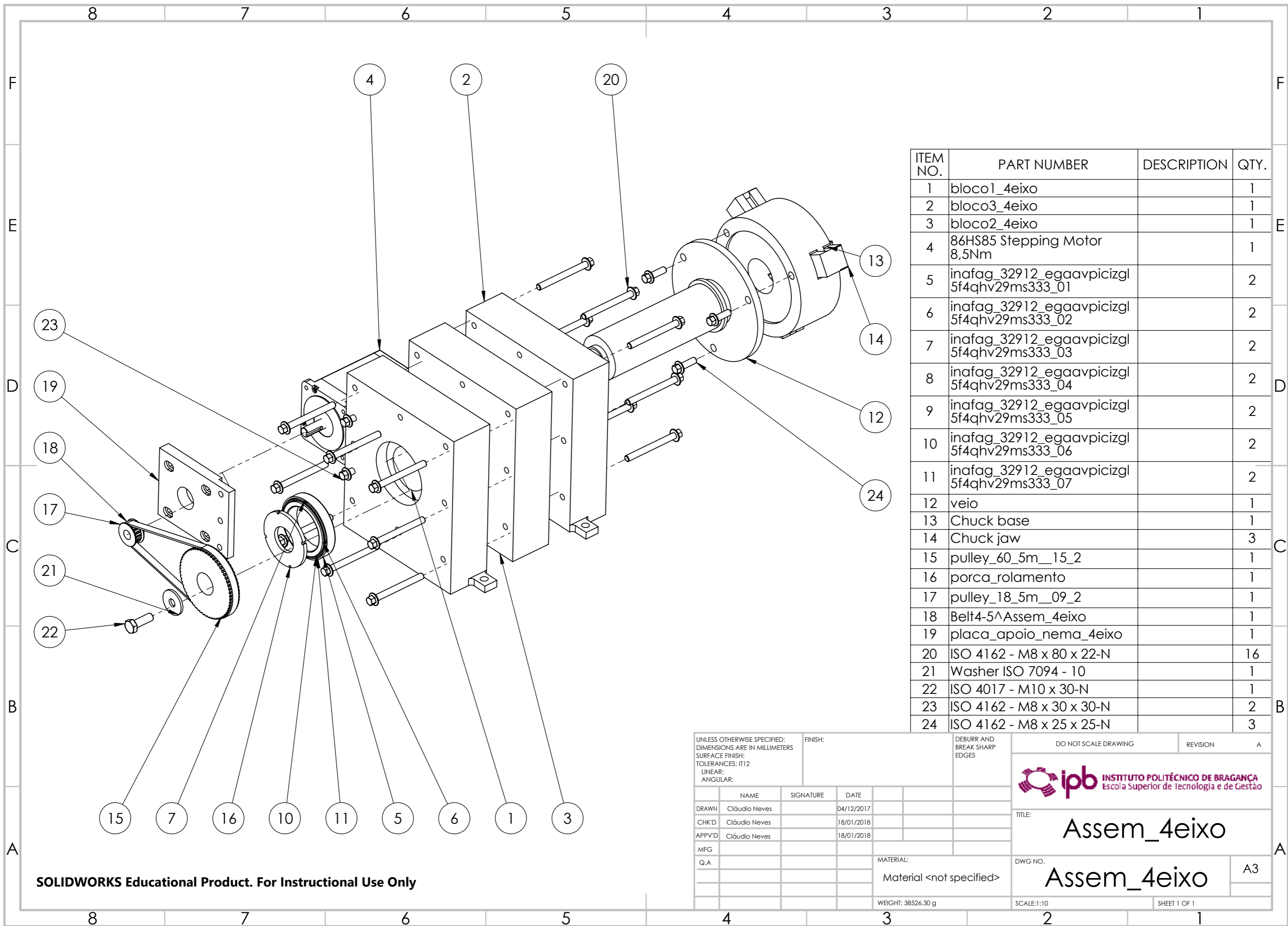
A4

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	bloco1_4eixo		1
2	bloco3_4eixo		1
3	bloco2_4eixo		1
4	86HS85 Stepping Motor 8,5Nm		1
5	inafag_32912_egaavpicizgl 5f4qhv29ms333_01		2
6	inafag_32912_egaavpicizgl 5f4qhv29ms333_02		2
7	inafag_32912_egaavpicizgl 5f4qhv29ms333_03		2
8	inafag_32912_egaavpicizgl 5f4qhv29ms333_04		2
9	inafag_32912_egaavpicizgl 5f4qhv29ms333_05		2
10	inafag_32912_egaavpicizgl 5f4qhv29ms333_06		2
11	inafag_32912_egaavpicizgl 5f4qhv29ms333_07		2
12	veio		1
13	Chuck base		1
14	Chuck jaw		3
15	pulley_60_5m_15_2		1
16	porca_rolamento		1
17	pulley_18_5m_09_2		1
18	Belt4-5^Assem_4eixo		1
19	placa_apoio_nema_4eixo		1
20	ISO 4162 - M8 x 80 x 22-N		16
21	Washer ISO 7094 - 10		1
22	ISO 4017 - M10 x 30-N		1
23	ISO 4162 - M8 x 30 x 30-N		2
24	ISO 4162 - M8 x 25 x 25-N		3

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES: IT12
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION A

ipb INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
 Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

TITLE:
Assem_4eixo

DWG NO.
Assem_4eixo

A3

WEIGHT: 38526.30 g

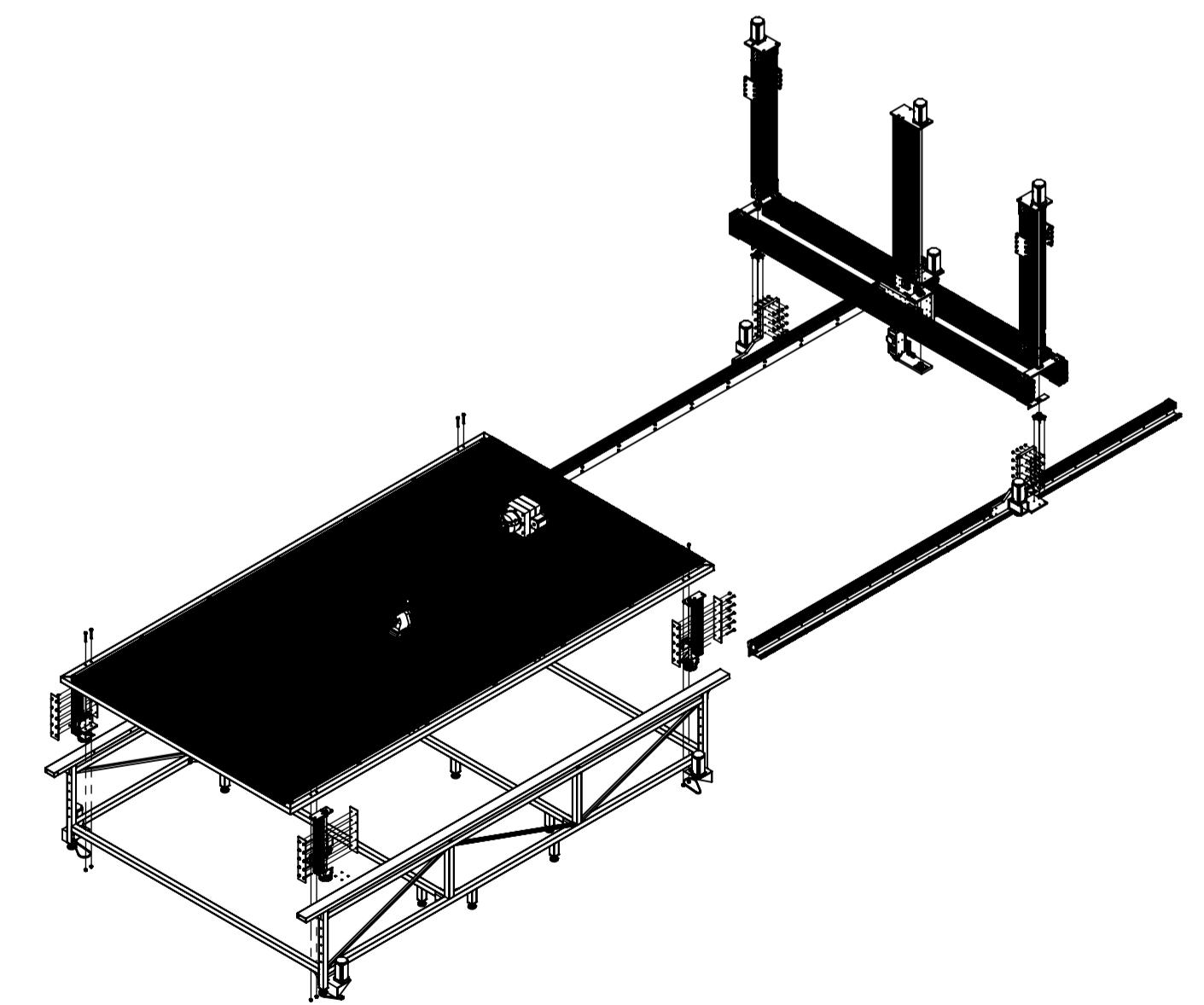
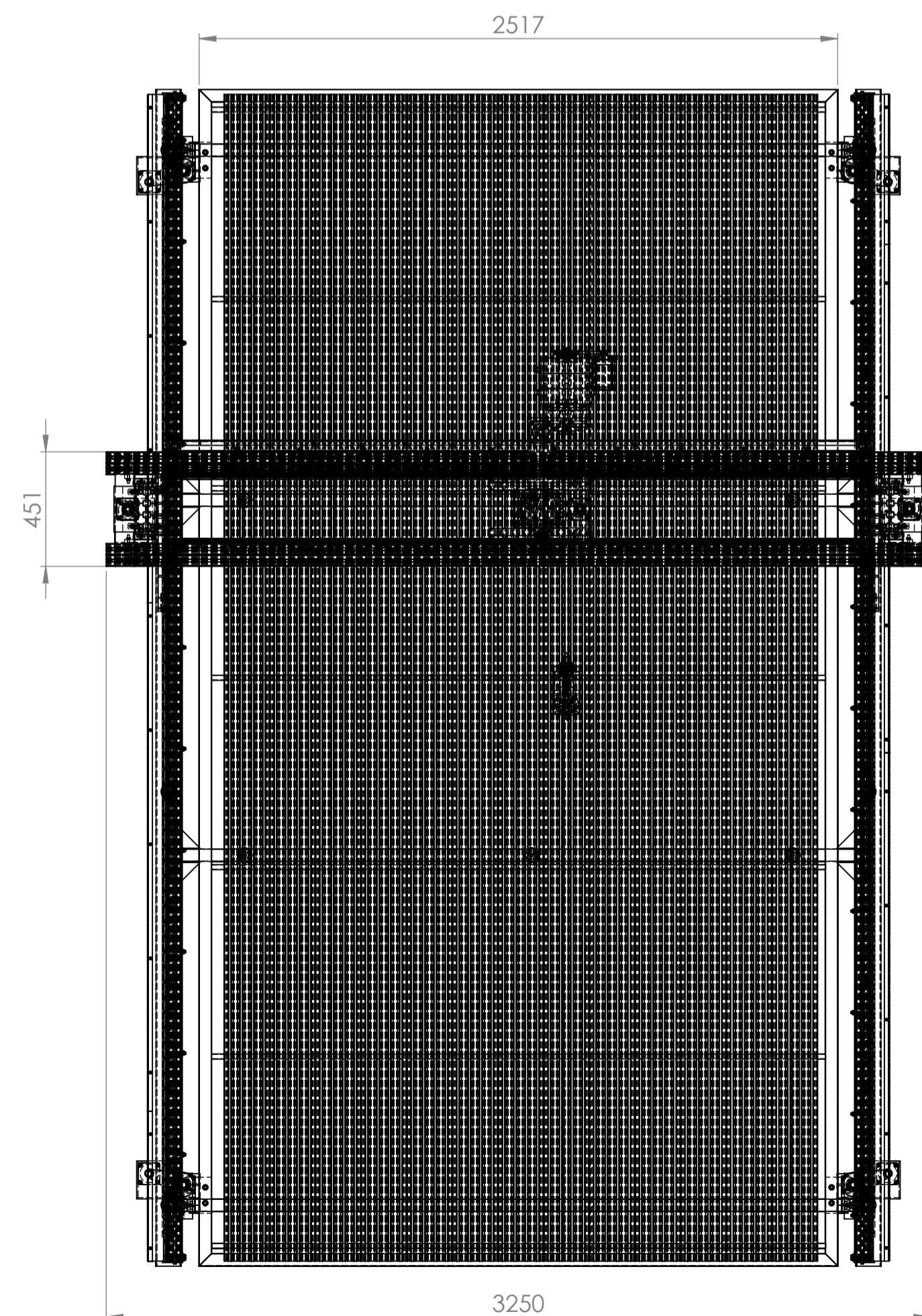
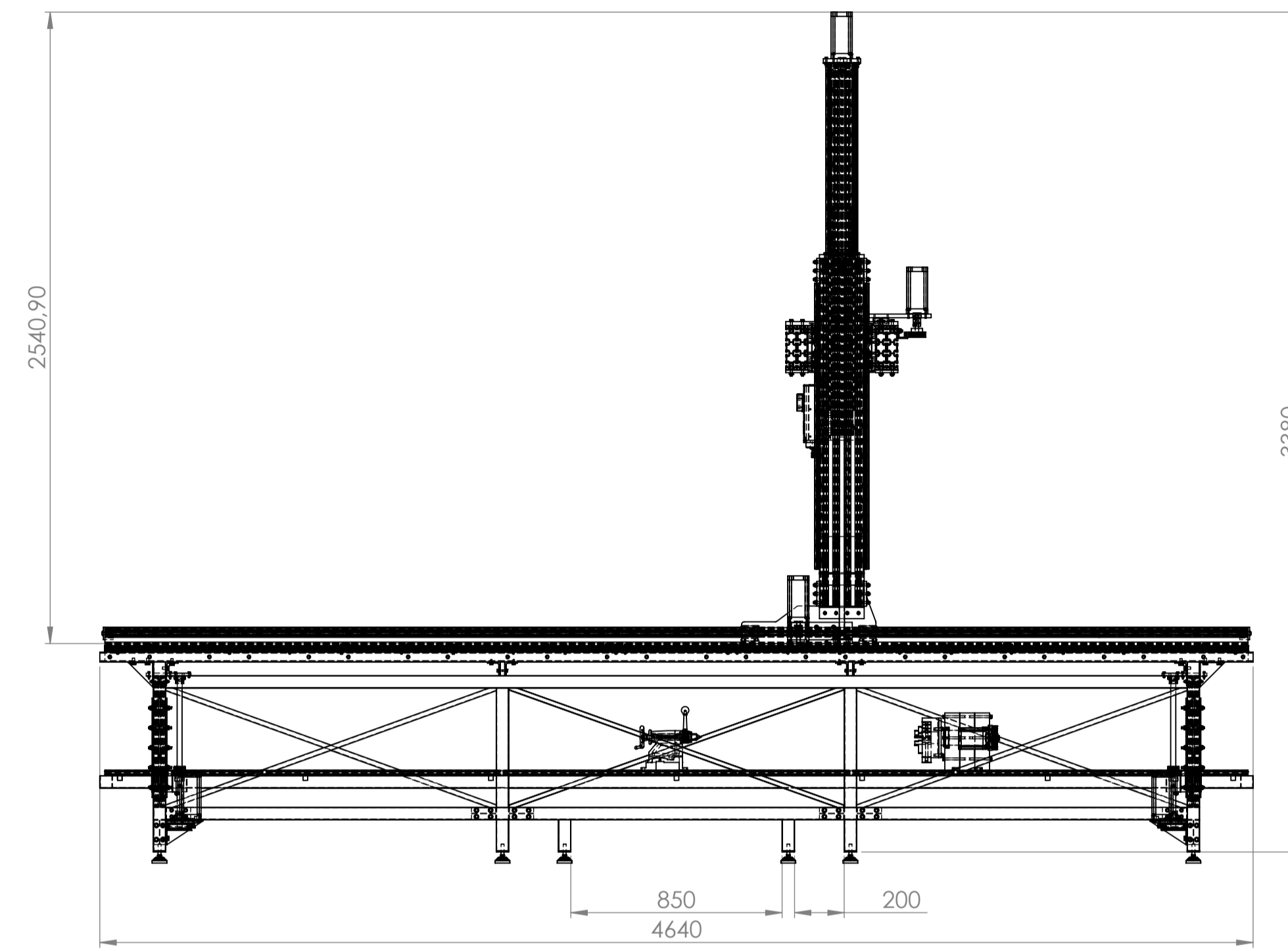
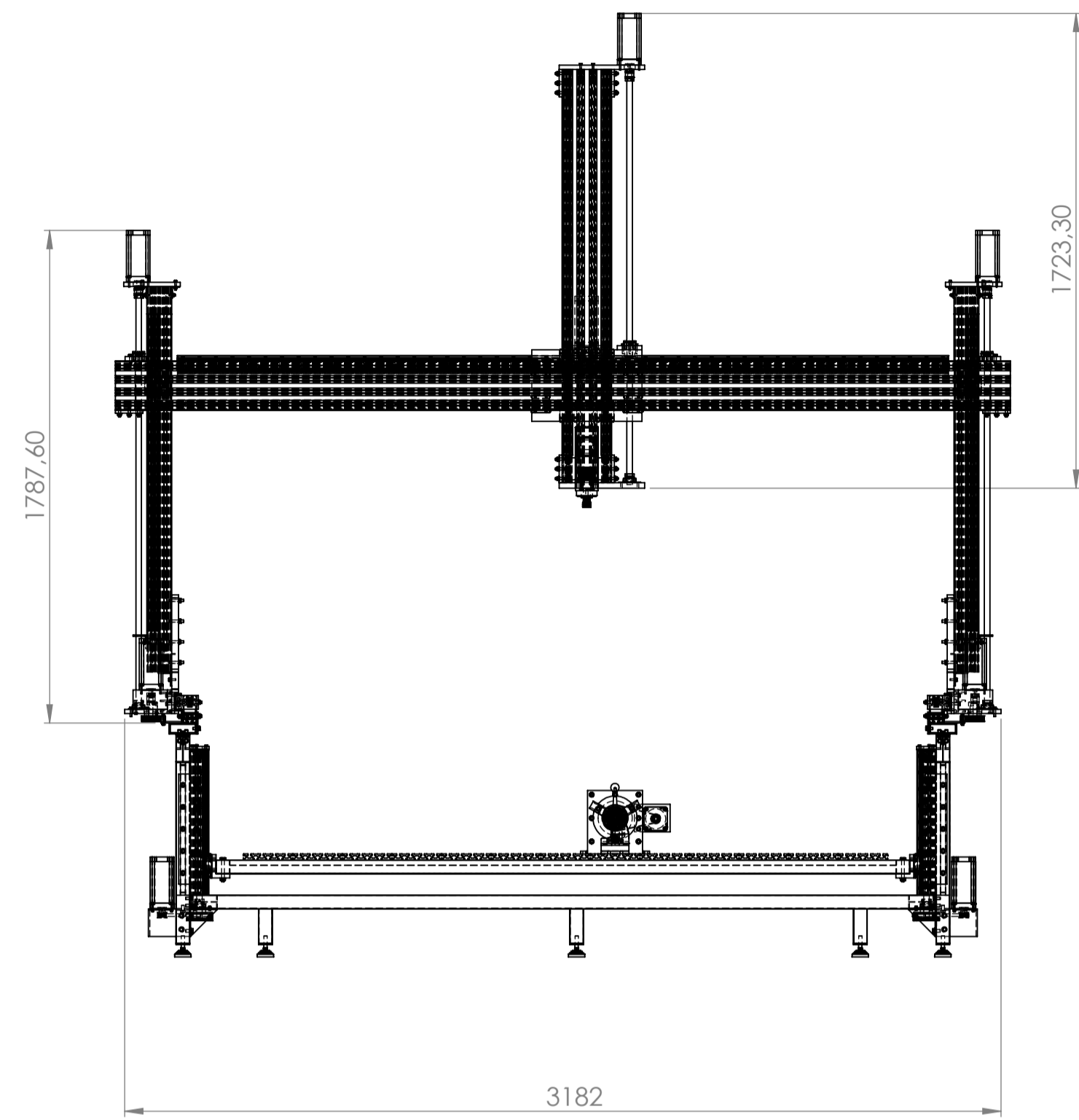
SCALE: 1:10


SHEET 1 OF 1

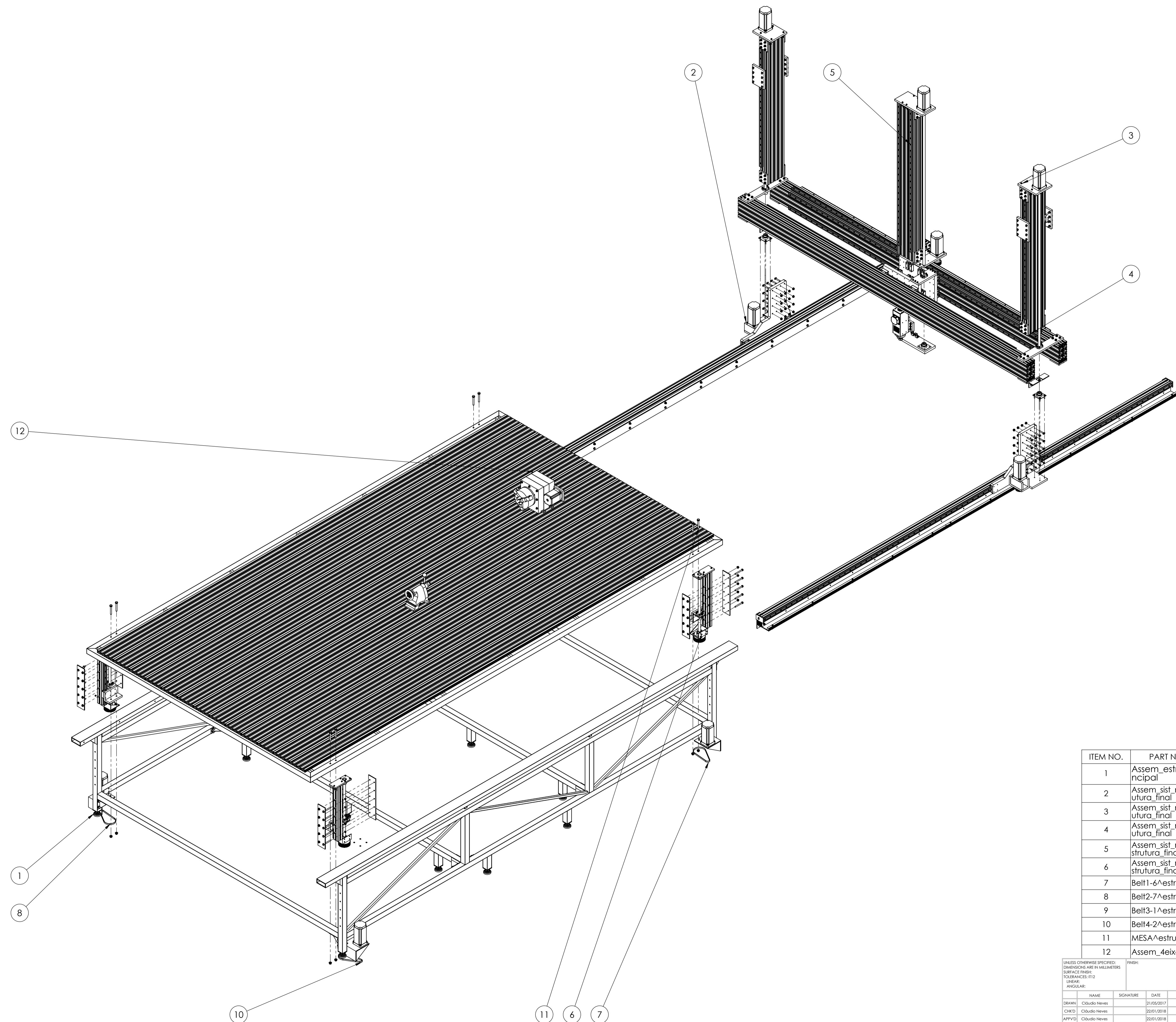
	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Cláudio Neves		04/12/2017
CHK'D	Cláudio Neves		18/01/2018
APPV'D	Cláudio Neves		18/01/2018
MFG			
Q.A			

MATERIAL:
 Material <not specified>

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	A
SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12					 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e de Gestão		
LINEAR:					TITLE: estrutura_final		
ANGULAR:					DWG NO.: estrutura_final		
NAME	SIGNATURE	DATE			MATERIAL: Material <not specified>		
DRAWN: Cláudio Neves		21/05/2017			SCALE: 1:50		
CHECKED: Cláudio Neves		22/01/2018			SHEET 1 OF 1		
APPROVED: Cláudio Neves		22/01/2018					
MFG:							
Q.A.							
					WEIGHT: 850373.91 g		



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Assem_estrutura_principal		1
2	Assem_sist_mov_x^estrutura_final		1
3	Assem_sist_mov_z^estrutura_final		1
4	Assem_sist_mov_y^estrutura_final		1
5	Assem_sist_mov_z_2^estrutura_final		1
6	Assem_sist_mov_z_3^estrutura_final		1
7	Belt1-6^estrutura_final		1
8	Belt2-7^estrutura_final		1
9	Belt3-1^estrutura_final		1
10	Belt4-2^estrutura_final		1
11	MESA^estrutura_final		1
12	Assem_4eixo		1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: IT12 LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	A
NAME	SIGNATURE	DATE					
DRAWN: Cláudio Neves		21/05/2017					
CHECKED: Cláudio Neves		22/01/2018					
APPROVED: Cláudio Neves		22/01/2018					
MFG:							
G.A.							
MATERIAL: Material <not specified>			DWG NO.:		estruutura_final_explode		A1
WEIGHT: 850373.91 g			SCALE: 1:50		SHEET 1 OF 1		