

Conceção e desenvolvimento de equipamento de extrusão de filamento para impressora 3D

Tiago Filipe Santos Pedrosa

Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. Paulo Augusto Ferreira de Abreu

Coorientador: Eng. Carlos Manuel de Sousa Moreira da Silva



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Ramo de Automação

Setembro de 2015

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”.

(George Bernard Shaw)

Resumo

A indústria da impressão 3D está em grande expansão, não só a nível industrial, mas também a nível de mercado doméstico.

Atualmente, o processo de impressão 3D ainda não se encontra de tal maneira automatizado para que seja possível que qualquer pessoa imprima peças sem que ocorram erros ou defeitos. É necessário adequar velocidades de extrusão, temperaturas e até adequar a geometria das peças para poderem ser feitas através de tecnologias de impressão. O próprio material de impressão apresenta variações de características, sendo dependente do fornecedor bem como das condições de armazenamento. Assim sendo, todos estes parâmetros contribuem para, que seja produzido um número significativo de peças defeituosas. Como o material de impressão é reciclável, há todo o interesse em dispor de equipamentos que permitam a sua reutilização.

O presente trabalho apresenta o estudo e o desenvolvimento de um sistema de reciclagem desse material. É adoptada uma estrutura modular apresentando um módulo de trituração para transformar as peças em granulado, facilitando a sua fusão, e um módulo de extrusão para transformação desse granulado em filamento de qualidade equiparável ao disponível no mercado.

O projeto foi realizado tendo sempre em vista duas filosofias: a utilização de materiais o mais standard possível e a utilização de peças fabricadas através de impressão 3D, como é a prática utilizada no mercado doméstico de impressoras. Quando a peça começa a apresentar desgaste é possível fabricar outra e reciclar a antiga não havendo despesas na manutenção destas.

Foi estudado um processo de produção por extrusão por êmbolo em alternativa à utilização de um fuso de extrusão, que é a solução mais comum disponível no mercado. Este processo tem como principal vantagem a possibilidade de reciclagem de peças de várias cores possuindo um sistema de mistura que garante a homogeneidade do filamento final, havendo também a possibilidade de coloração do filamento de acordo com o interesse do utilizador.

Foi realizado o projeto mecânico e selecionados os sistemas de acionamento e controlo para o equipamento. O módulo de trituração é acionado manualmente, estando projetado para que seja possível a incorporação de um motor elétrico. Este possui um sistema

de gaveta para fácil armazenamento e facilidade de transporte para o módulo de extrusão do granulado obtido.

O módulo de extrusão é constituído por dois submódulos, a câmara de fusão e a câmara de extrusão. A câmara de fusão tem como função a fusão e homogenizando o material fundido. O movimento do êmbolo da câmara de extrusão é assegurado por um sistema parafuso/porca e engrenagens acionado através de um motor eléctrico.

O sistema mecânico foi concebido com o recurso ao *software SolidWorks* e as engrenagens foram concebidas com recurso ao *software KISSsoft*.

Abstract

The 3D printing is expanding, not only in industry, but also in terms of domestic market. Currently, the 3D printing process has not yet reached a state that makes it possible for anyone to print parts without the occurrence of errors or defects. It is necessary to experiment and adapt extrusion speed, temperatures and geometry of the parts to make it possible to produce them through printing technology. The printing material itself shows a great variation of characteristics, depending on the provider and on the storage conditions. Thus, all these parameters contribute to the domestic user to produce a large number of defective parts. The printing material is recyclable, so there is an interest in having equipment to enable their reuse.

This dissertation presents the study and development of a recycling system to produce printing material. The system adopts a modular structure, having a grinding module, to transform printed objects in granular particles to be easily melted. The extrusion module allows the production of filament with equivalent quality as the one available in the market.

The project was carried out keeping in view the domestic market, the need to use standard materials, as much as possible, and the use of manufactured parts through 3D printers. When the parts start to show signals of wear it's possible to manufacture another one and recycle the older one with reduced cost.

The adopted production process uses extrusion with a piston instead of the using the traditional screw extruder. This process has the major advantage of simplifying the design and reducing the production costs. It has also a mixing system that ensures the homogeneity of the melted material. This allows using recycled material with different colors and producing a filament with uniform color.

The project involved the mechanical design and the selection of the driving and control system. The mechanical system was designed with the use of SolidWorks software and the gears were designed using the KISSsoft software. The grinding module is operated manually but it was designed to use an electric motor according to the user's interest. This module has a drawer system for easy storage and portability of the grainy parts to be used in the extrusion module. The extruder module is made of two parts, the melting chamber and the extrusion chamber. The melting chamber has the function of melting and mixing the grainy parts. The extrusion chamber uses a piston that is driven by an electric motor that uses gears and a screw / nut system.

Agradecimentos

Quero agradecer, em primeiro lugar, aos orientadores, Professor Paulo Abreu e ao Engenheiro Carlos Moreira da Silva, pelos conhecimentos transmitidos e apoio prestado ao longo de todo o trabalho.

A todos os colegas que comigo partilharam o espaço de trabalho ao longo do período de realização deste trabalho, pela paciência e companheirismo demonstrados.

À minha família e namorada que, com o seu apoio, contribuíram para a conclusão desta fase da minha vida.

Índice de Conteúdos

1	Introdução e objetivos gerais	1
1.1	Evolução	1
1.2	Tecnologias de impressão	2
1.3	Mercado do “Hobby”	3
1.4	Objetivos do trabalho	5
2	Estado da arte	7
2.1	Princípio de funcionamento	7
2.2	Acionamento mecânico	9
2.3	Sistemas de controlo de temperatura	10
2.4	Sistemas de aquecimento	10
3	Estudo de conceção.....	11
3.1	Introdução	11
3.2	Preparação para o projeto.....	11
3.3	Teste de fusão de material.....	14
3.4	Estratégia de extrusão por êmbolo	17
3.5	Testes de validação da extrusão por êmbolo.....	17
4	Projeto e conceção de equipamento.....	19
4.1	Introdução	19
4.2	Módulo de extrusão.....	20
4.3	Módulo de trituração	43
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	51
6	Referências.....	53
7	Anexos	55

Índice de figuras

Figura 1- Configuração da tecnologia de impressão 3D, estereolitografia[3].....	3
Figura 2- Configuração da tecnologia de impressão 3D, FDM.....	3
Figura 3- Impressora 3D RepRap BCN 3D+ [7].....	4
Figura 4- Diagrama de funcionamento de extrusora industrial [9]	8
Figura 5- Geometria tradicional de um fuso de extrusão	9
Figura 6- Esquema representativo da conversão de impulso em movimento	9
Figura 7- Esquema do circuito de controlador de temperatura[13].....	10
Figura 8- Deformação em filamento provocada pelo sistema de alimentação função da velocidade de extrusão.....	12
Figura 9- Caudais de extrusão para diferentes temperaturas na câmara de fusão[15]	13
Figura 10- Equipamento para fusão do material	14
Figura 11- a) Material triturado b) forno utilizado na fusão do material	15
Figura 12- a) Material a fundir em disco elétrico sem compactação b) Material a fundir em disco elétrico com compactação c) Material a fundir em disco elétrico com mistura manual .	16
Figura 13- a) Material fundido b) cilindro a ser aquecido com pistola de ar quente c) filamento obtido	18
Figura 14- Conjunto de equipamentos projetados	19
Figura 15- Módulo de extrusão	20
Figura 16- Câmara de fusão.....	22
Figura 17- Câmara de extrusão.....	22
Figura 18- Figura ilustrativa da válvula de esfera utilizada	24
Figura 19- Esquema da transmissão do movimento ao êmbolo	24
Figura 20- Comprimento de encurvadura em função das condições de fronteira[22]	27
Figura 21- Esquema do cilindro de extrusão	29
Figura 22- Motor escolhido e tabela de especificações [25]	30
Figura 23- Introdução de um novo material na base de dados do KISSsoft	31

Figura 24- Introdução de potência e binários pretendidos e listagem de possíveis soluções...	32
Figura 25- Introdução de parâmetros pretendidos e limites para os mesmos parâmetros	33
Figura 26- Engrenagem das rodas dentadas projetadas.....	34
Figura 27- Modelo 3D do pinhão projetado	34
Figura 28- Engrenagem modificadas após dimensionamento A- pinhão B- roda (escalas diferentes).....	35
Figura 29- Conjunto de roda dentada, insert metálico com respetivos parafusos de fixação e apoio da roda	36
Figura 30- Esquema com cotas do insert metálico	37
Figura 31- Esquema cotado do conjunto de apoio da roda, meios discos e pinos	38
Figura 32- Quatro passos simples de configuração do controlador de temperatura.....	42
Figura 33- Módulo de trituração.....	43
Figura 34- Perfil do disco de corte	44
Figura 35- Veio com 5 discos de cortes e 3 pinos longitudinais	46
Figura 36- Esquema de forças atuantes no volante	50

1 Introdução e objetivos gerais

A indústria da impressão 3D está cada vez mais presente na vida de todos. Esta tecnologia tem sido adotada não só pela indústria, mas também pelo mercado doméstico. Trata-se de uma tecnologia de produção relativamente recente, com cerca de 30 anos, que utiliza um processo de deposição de material para a fabricação de peças.

Este trabalho surge como resposta à necessidade demonstrada pelos utilizadores domésticos, e não só, de fazer face aos custos elevados do material utilizado na produção de objetos tridimensionais recorrendo a impressoras 3D. Sendo frequentes as falhas durante o processo, gerando-se um número elevado de peça defeituosas, e sendo o material reciclável, existe a possibilidade de recuperar o material, produzindo um novo material de qualidade equiparável para impressão.

Também da necessidade de eliminar, ou pelo menos reduzir, os desperdícios produzidos surge o interesse de reaproveitamento dos mesmos. O trabalho envolve a conceção de um equipamento para preparar estes resíduos e posterior processamento sob a forma de filamento, com as dimensões apropriadas, compatível com os processos utilizados nas impressoras 3D.

1.1 Evolução

A primeira impressora 3D foi projetada em 1983 por Chuck Hull, um norte-americano do estado da Califórnia que, um ano mais tarde, fabricou a primeira impressora 3D funcional usando a estereolitografia para a produção dos seus modelos. Com a criação da empresa 3D Systems [1], que nos dias de hoje ainda é uma das principais produtoras desta tecnologia, Chuck Hull lançou comercialmente a impressora Stereolithography Apparatus. No entanto, para o público geral, a primeira impressora 3D colocada à venda foi SLA-250, pela mesma empresa em 1988.

Scott Crump, no mesmo ano que foi lançada a SLA-250, desenvolveu uma outra técnica de impressão chamada Fused Deposition Modeling (FDM). A empresa Stratasys [2]

foi fundada no ano seguinte e foi responsável pelo lançamento da 3D Modeler, a primeira impressora que usava um sistema FDM.

Após a chegada da 3D Modeler ao mercado, muitas empresas desenvolveram novos equipamentos usando técnicas diferentes, sendo este um período em que diversas patentes foram registadas.

Ao longo dos anos houve algumas impressoras que marcaram a história da impressão 3D de alguma forma, que por isso devem ser mencionadas:

- SD 300 desenvolvida pela empresa Solidmension em 2001, sendo a primeira impressora a ser desenvolvida como equipamento *desktop*;
- Spectrum Z510 desenvolvida pela empresa Z Corporation em 2005, possuindo a capacidade de imprimir objetos em cores;
- Connex500 primeira impressora capaz de imprimir usando dois materiais diferentes;
- iBox Nano projecto lançado através do Kickstarter em 2015, pesa apenas 1 kg, tamanho muito reduzido, autonomia de 10 h e preço muito baixo, comparando com a concorrência;
- 3D Multi Jet Fusion desenvolvida pela empresa HP, com lançamento previsto para 2016, com sistema novo de produção e capaz de produzir três objectos ao mesmo tempo;

1.2 Tecnologias de impressão

Dentro das tecnologias de impressão existem duas que sobressaem e que são as mais utilizadas: a estereolitografia (SLA) e a *Fused Deposition Modeling* (FDM).

A estereolitografia é um processo de fabricação aditiva que utiliza fotopolímeros líquidos que solidificam quando expostos a um raio laser ultravioleta. O modelo 3D é construído camada a camada sobre uma plataforma móvel. O raio atinge o material, solidificando-o, e após a conclusão de uma camada a plataforma movimenta-se submergindo a camada anterior e uma nova camada é produzida como pode ser verificado na Figura 1. Após produção total da peça, esta é enxaguada para retirar o excesso de material e curada num forno para lhe conferir as propriedades finais.

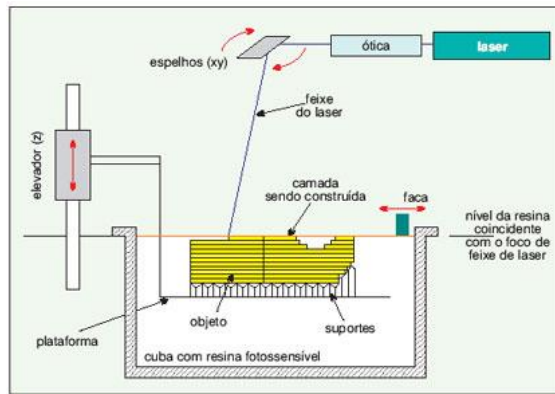


Figura 1- Configuração da tecnologia de impressão 3D, estereolitografia[3]

O processo “Fused Deposition Modeling” (FDM) utiliza a deposição de um material em camadas.[4] O material é fundido e começa a ser distribuído sobre a plataforma de impressão de acordo com o desenho introduzido no sistema. Após o fabrico da primeira camada, a cabeça de extrusão sobe a distância correspondente à altura da camada depositada e repete o processo até a peça estar concluída, Figura 2.[5]

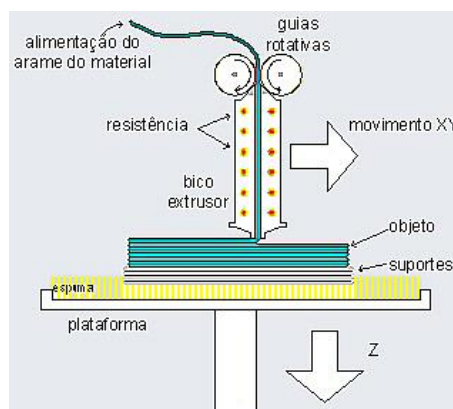


Figura 2- Configuração da tecnologia de impressão 3D, FDM

1.3 Mercado do “Hobby”

Atualmente, as impressoras 3D estão presentes na casa de um grande número de pessoas. Estas impressoras têm como tecnologia de impressão a FDM uma vez que esta permite implementações económicas.

Para redução ainda maior dos custos de uma impressora e criando uma possibilidade de personalização das suas próprias impressoras, que agrada, bastante aos entusiastas desta área, as empresas têm disponibilizado kits “do it yourself” no qual são os clientes que fazem a montagem da impressora.

Em contrapartida, esta tecnologia ainda não atingiu um grau de automação que permita que qualquer pessoa, sem nenhum conhecimento, como acontece quando desejamos imprimir um documento em papel, consiga imprimir uma peça 3D de forma totalmente expedita. Parâmetros como temperaturas, velocidades de extrusão, pré-aquecimento das plataformas e geometria das peças pretendidas devem ser ajustados de acordo com a peça e o material que é utilizado para o seu fabrico.

Diferentes fornecedores de filamento disponibilizam “*datasheets*”[6] que possuem esses dados, mas muitas vezes as situações de armazenamento do material podem alterar essas propriedades, o que faz com que este seja um processo de tentativa e erro até serem encontrados os parâmetros que permitem dar resposta aos requisitos que o mercado doméstico de impressoras 3D necessita.

Os materiais de adição utilizados em impressoras 3D são tipicamente PLA e ABS. Estes materiais são fornecidos em bobinas de fio, de diâmetro 1,75 mm ou 3 mm e tem o peso aproximado de 1 kg.

A natureza deste processo faz com que seja comum a produção de um volume significativo de peças defeituosas. Daí surge a necessidade de fazer a reciclagem desse mesmo material num outro de qualidade equiparável para reutilização na mesma função.

A reciclagem deste material envolve a sua trituração, fusão e extrusão para produção de um novo filamento.

Na Figura 3 é apresentada uma impressora típica do mercado do *hobby*. A impressora apresentada recorre a “*software* opensource”, tem um volume de trabalho de 250 mm x200 mm x200 mm e possui uma cabeça de extrusão que utiliza um filamento de $\varnothing= 3$ mm.

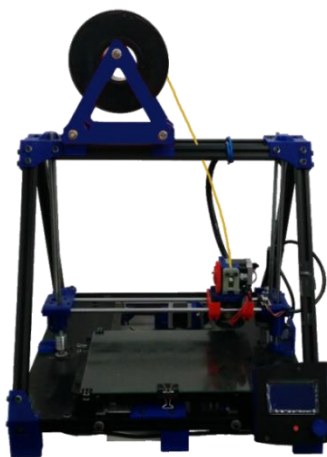


Figura 3- Impressora 3D RepRap BCN 3D+ [7]

1.4 Objetivos do trabalho







Surge assim a oportunidade de conceber e projetar um equipamento de reciclagem/produção de filamento para impressoras 3D. O equipamento a conceber, direcionado para o mercado do *hobby*, deverá possuir uma estrutura modular sendo constituído por um módulo de trituração e um módulo de extrusão. O módulo de trituração deverá permitir a produção de granulado a partir de desperdícios. O módulo de extrusão deverá possuir um sistema de alimentação que permitirá a produção de uma bobina *standard* de filamento de 1 kg. Outros requisitos para o equipamento a conceber incluem:

- Equipamento economicamente adequado para esse mercado;
- Equipamento robusto;
- Montagem e limpeza fácil do equipamento;
- Capacidade de produção de filamento a partir de material reciclado ou de granulado;
- Construção com utilização de componentes o mais *standard* possível;
- Possibilidade de ser operado por pessoas não especializadas;
- Capacidade de trabalho em segurança sem colocar o operador em perigo;

2 Estado da arte

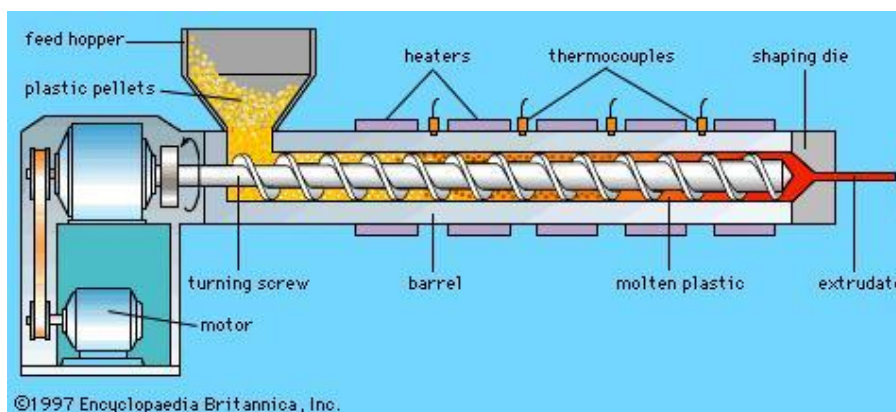
Para o mercado do “*hobby*” estão disponíveis vários equipamentos de reciclagem e produção de filamento. Uma pesquisa permitiu identificar várias empresas recém-criadas cujos projetos foram alvo de divulgação em sites de “*crowd funding*” que disponibilizam equipamentos para produção de filamento. A Tabela 1 apresenta uma lista, não exaustiva, de alguns desses equipamentos.

Tabela 1- Equipamentos para produção de filamento [8]

	 ProtoCycler	 Filastruder	 Filabot	 ExtrusionBot 2	 Noztek Pro	 Strooder
Preço	\$799	\$300	\$650-\$950	\$725	\$400	\$1250
Trituração	✓	X	\$440 Extra	\$475 Extra	X	X
Tolerância	+/- 0,02 mm	—	—	—	+/- 0,10 mm	+/-0,04 mm
Velocidade de extrusão	50 mm/s	10 mm/s	10 mm/s	30 mm/s	25 mm/s	15 mm/s
Pré-montagem	✓	X	X / ✓	✓	✓	✓
Bobinagem	✓	\$160 Extra	X	\$195 Extra	\$110 Extra	\$930 Extra

2.1 Princípio de funcionamento

Verifica-se que nos equipamentos listados na tabela se utilizam sistemas de extrusão por fuso, para a obtenção do filamento. Este princípio de funcionamento (Figura 4) é semelhante ao que é utilizado na fabricação industrial de filamento.



©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Figura 4- Diagrama de funcionamento de extrusora industrial [9]

Este elemento desempenha, essencialmente, três principais funções:

- Proporcionar um fluxo regular de material (Fluxos irregulares de material provocam variações de pressão e, em consequência, variações dimensionais do extrudido);
- Plastificar e homogeneizar o material a extrudir;
- Criar a pressão suficiente e uniforme para forçar a passagem do material através da ponteira;[10]

O funcionamento da extrusão por fuso é relativamente simples. Começando com a entrada de material plástico na área de alimentação através de um canal de admissão, normalmente por gravidade, onde irá ser ligeiramente comprimido entre o fuso e o tubo. Forças de atrito na superfície interior do tubo e da superfície em rotação do fuso são responsáveis pelo deslocamento do material entre os filetes do fuso enquanto o material ainda se encontra no estado sólido (abaixo da temperatura de fusão).

O aumento da temperatura, devido às forças de atrito e as resistências elétricas no corpo do tubo, vai formar uma camada de filme de plástico junto da superfície do cilindro. É de notar que esta zona, geralmente, não coincide com o início da zona de compressão, uma vez que estes limites são determinados pelas propriedades do polímero, a geometria da máquina e as condições de trabalho.

À medida que o polímero avança no fuso, mais material irá ser fundido até que passa a haver apenas material totalmente fundido (Figura 5). A partir deste ponto, o material é extrudido pelo orifício da ponteira. O material vai adquirir assim o formato da ponteira ao ser extrudido. Devido à diminuição da secção é necessário dispor de uma pressão para que o material seja extrudido. Essa pressão é determinada pelo formato do orifício, a temperatura a que o polímero se encontra, o caudal da extrusão e as propriedades viscosas do material.[11]

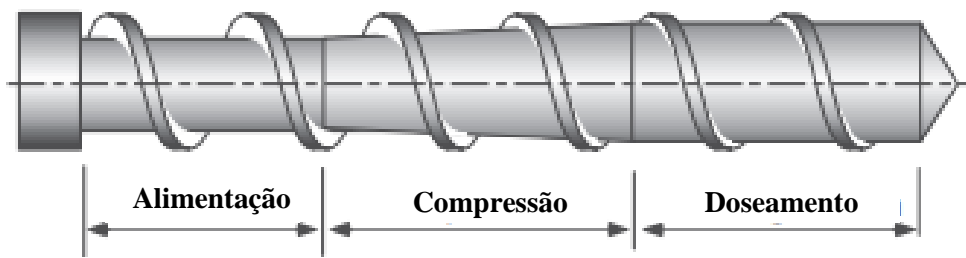


Figura 5- Geometria tradicional de um fuso de extrusão

A geometria dos fusos de extrusão é normalmente complexa e deve ser otimizada para o tipo de material a extrudir e condições de extrusão. A sua adoção em equipamentos de uso doméstico aumenta o custo de produção do sistema.

2.2 Acionamento mecânico

Tipicamente, as soluções apresentadas nos equipamentos listados na tabela 1 utilizam, como acionamento mecânico do fuso, um motor passo a passo. Estes motores podem ser controlados em anel aberto, usando um “*indexer*” e um “*driver*”.

O *indexer* é um sistema baseado em microprocessador capaz de gerar funções de comando para o driver, sinais como a direção e sinais de impulsos de passo. O *driver* funciona como um amplificador convertendo os sinais de comando do *indexer* em sinais de potência (tensão/corrente) para alimentação do motor. Como pode ser verificado na Figura 6 o número de impulsos é diretamente proporcional ao número de passos e este diretamente relacionado com a posição relativa do motor e a sua velocidade.



Figura 6- Esquema representativo da conversão de impulso em movimento

Relativamente aos parâmetros do motor, os mais utilizados são os motores de duas fases mas também podem existir de três e cinco fases. Um motor bipolar com duas fases tem

um enrolamento por fase e um motor unipolar tem um enrolamento com um acesso a um ponto intermédio por fase.

Estes motores têm como principais vantagens serem motores robustos, sem necessidade de manutenção, terem a possibilidade de funcionamento em anel aberto em controlo de posição ou velocidade. Dispõem de binário elevado a baixas velocidades havendo assim a possibilidade de dispensar o uso de redutores em algumas das suas aplicações.[12]

2.3 Sistemas de controlo de temperatura

Nos equipamentos de extrusão há necessidade de controlar a temperatura a que se deve encontrar o material fundido, dentro da câmara de fusão.

Para o controlo de temperatura são normalmente utilizados controladores PID de uso industrial (Figura 7) que permitam a utilização de sensores de temperatura *standard* (termopares ou RTD) e que disponibilizam uma saída de relé do estado sólido utilizada para comandar a resistência de aquecimento.

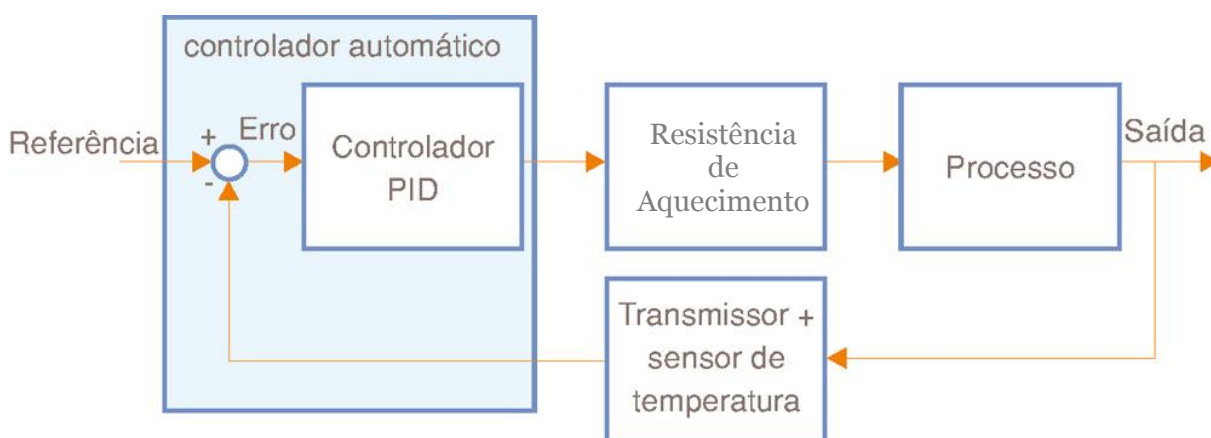


Figura 7- Esquema do circuito de controlador de temperatura[13]

2.4 Sistemas de aquecimento

No processo de extrusão, como já referido, é necessário fundir o material pelo que são utilizadas resistências eléctricas de aquecimento associado ao corpo da extrusora. Tipicamente, são utilizadas resistências eléctricas na casa dos 300 W alimentadas a 230 VAC.

Existem alguns equipamentos que utilizam apenas resistências de 60 W [8], uma vez que só necessitam de fundir um pequeno volume de material, já junto da parte terminal do tubo de extrusão.

3 Estudo de conceção

3.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os estudos efetuados na preparação para o projeto. São abordadas as temáticas do processo de extrusão, discutidas a validade da arquitectura considerada para o sistema em estudo e, por fim, é apresentada a validação experimental da solução abordada.

3.2 Preparação para o projeto

Como preparação para a conceção do equipamento é necessário saber as propriedades do material que será utilizado. Foram considerados os dois materiais de adição mais comuns no uso de impressoras 3D: o PLA e o ABS.

É possível obter um acabamento superficial melhor com ABS do que com PLA, mas o PLA apresenta um funcionamento melhor no equipamento, requerendo temperaturas mais baixas e fornecendo peças com melhor propriedades. Este material apresenta coeficientes de atrito mais elevados, no seu transporte até à ponta de extrusão mas, este efeito é compensado com uma viscosidade mais baixa, após a sua fusão, o que leva a pressões mais baixas na câmara de fusão.

É o material recomendado pelos fabricantes de impressoras 3D, por ser dimensionalmente estável e não necessitar de impressoras com base de trabalho aquecida[14].

Extrusão em impressoras 3D

O caudal de extrusão é medido pelo volume de material extrudido pela ponteira em cada segundo, pelo que considerando que a extrusora possui uma ponteira de dimensão fixa pode-se então falar de velocidade de extrusão.

Em impressoras 3D a capacidade de extrusão da máquina está limitada pela capacidade de fusão do filamento, pela velocidade de extrusão e temperatura na câmara de fusão. Testes realizados por Simon [15] com uma impressora Ultimaker dotada de uma ponteira de 0,65 mm permitem identificar as limitações na capacidade de extrusão.

A utilização de velocidades de extrusão elevadas, pode provocar um aumento da quantidade de material que é introduzido na câmara de fusão, que pode não ser compatível com a capacidade de extrusão da máquina. Isto leva a que o sistema de alimentação de filamento provoque uma deformação excessiva (no filamento) que poderá dar origem a problemas de extrusão.

Na Figura 8 é possível visualizar a deformação introduzida num filamento em condições normais (a) e em condições de velocidade de extrusão excessiva (b).

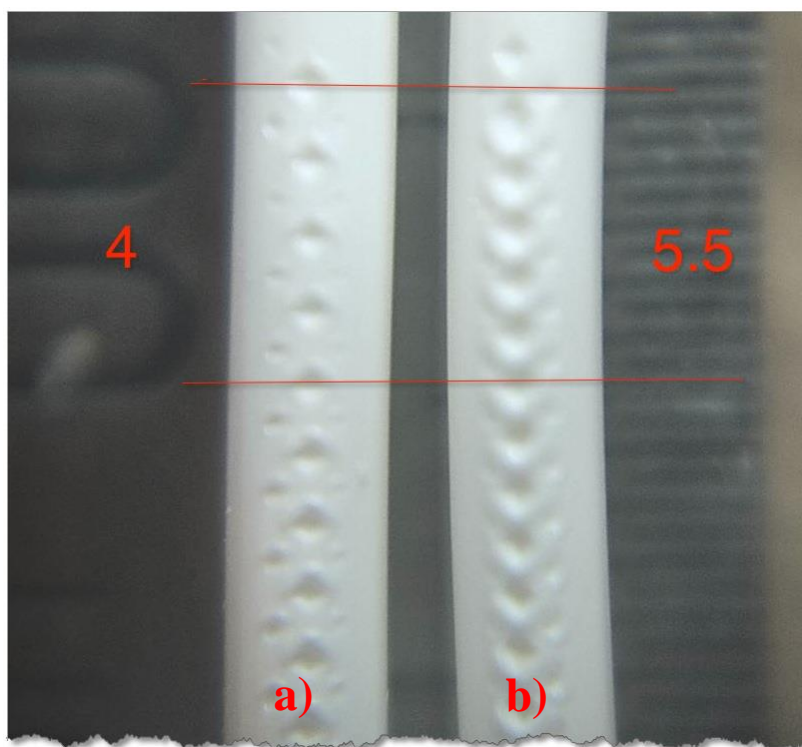


Figura 8- Deformação em filamento provocada pelo sistema de alimentação função da velocidade de extrusão

A temperatura na câmara de fusão da ponteira de extrusão também condiciona a capacidade de extrusão.

No gráfico da Figura 9 são apresentados os caudais de extrusão efetivos obtidos para diferentes temperaturas na câmara de fusão. Nos testes efetuados foi utilizado uma ponteira de 0,65 mm de diâmetro e o material é PLA branco.

Verifica-se que a impressora tem uma limitação na capacidade de cumprir o caudal de extrusão desejado. O erro é tanto maior quanto maior for o caudal desejado e menor a temperatura na câmara de fusão.

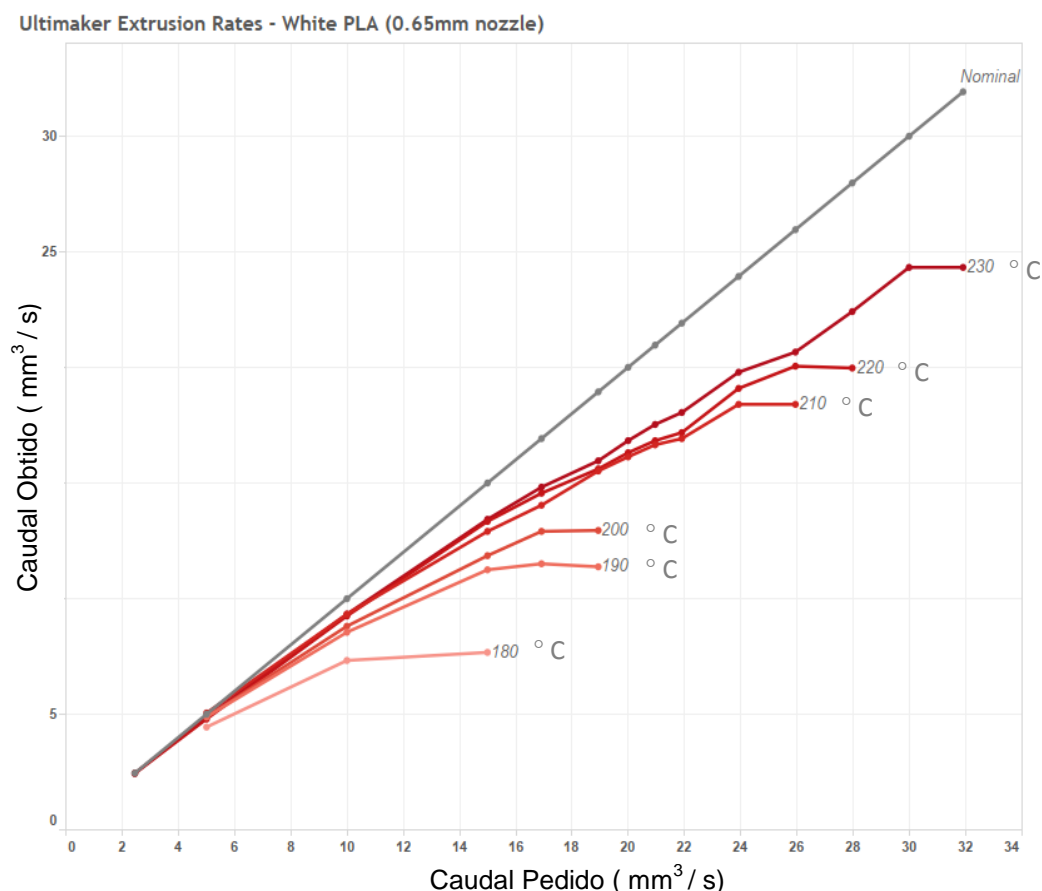


Figura 9- Caudais de extrusão para diferentes temperaturas na câmara de fusão[15]

Os dados destes ensaios ilustram os problemas encontrados no processo de extrusão que ocorre numa impressora 3D, e que naturalmente, também serão sentidos num equipamento de produção de filamento.

Superfícies de trabalho em impressoras 3D

Estão disponíveis no mercado vários tipos de superfícies de trabalho para as impressoras 3D. Este componente tem influência no resultado final da impressão que está condicionada também pelo tipo de material utilizado.

Para o material de adição PLA, um estudo publicado pela organização RepRap [16] refere que o uso de superfície aquecida (até aos 60° C) feita á base de material PEI (Polyetherimide) permite obter os melhores resultados, quando comparado com outros sistemas (superfície não aquecida, de vidro, de PEI e da utilização de fitas).

Humidade

O PLA é um material que absorve a humidade do ar. Quando é aquecido a humidade presente é transformada em vapor de água e pode interferir com a extrusão. Frequentemente após paragem na impressão e posterior recomeço, verifica-se que bolhas de vapor de água explodem.

Para pequenas quantidades de PLA pode ser removida alguma humidade, colocando o material envolto num pedaço de papel de alumínio num forno, à temperatura de 75° C por uma hora. Recomenda-se o uso de forno eléctrico uma vez que o forno a gás natural produz vapor de água como produto da queima. Com este método um filamento passou de 120,5 g para 120 g, ou seja, uma redução de 0,5 %. [16]

Esta solução não pode ser usada em bobinas de material correndo o risco do material colar entre si, tornando-o inutilizável.

3.3 Teste de fusão de material

Os testes de fusão do material destinam-se a avaliar qualitativamente o comportamento do material fundido e o processo de desgaseificação. Para a realização destes testes foi fabricado um cadinho, para permitir a fusão do material, como pode ser observado na Figura 10.



Figura 10- Equipamento para fusão do material

A fusão foi realizada recorrendo a diferentes fontes de calor e procedimentos a saber:

- Fusão em forno de indução;
- Fusão em disco elétrico sem compactação do material fundido;
- Fusão em disco elétrico com compactação do material fundido;
- Fusão em disco elétrico com mistura manual do material;

Na fusão em forno de indução foram seguidos os seguintes passos:

1. Trituração manual do material reciclado (Figura 11);
2. Colocação no interior no forno, regulado para temperaturas de 220 °C (ao fim de 3 min o forno encontrava-se a 220 °C);
3. Remoção do material ao fim de 25 min;



a)



b)

Figura 11- a) Material triturado b) forno utilizado na fusão do material

Na fusão em disco elétrico sem compactação do material, foram seguidos os seguintes procedimentos:

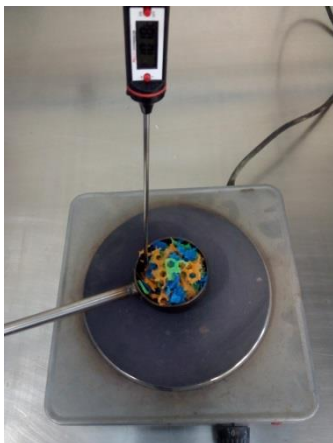
1. Trituração manual do material reciclado;
2. Medição e regulação da temperatura do cadinho;
3. Remoção do material 3 min após ter sido atingida a temperatura de 220 °C;

Na fusão em disco elétrico com compactação, foram seguidos os seguintes procedimentos:

1. Trituração manual do material reciclado;
2. Material previamente compactado usando um torno de bancada;
3. Medição e regulação da temperatura do cadinho;
4. Remoção do material 3 min após ter sido atingida a temperatura de 220°C;

Na fusão em disco elétrico com mistura manual do material, foram seguidos os seguintes procedimentos:

1. Trituração manual do material reciclado;
2. Medição e regulação da temperatura do cadinho;
3. Mistura do material com recurso a uma vareta metálica após ter sido atingida a temperatura de 220°C;
4. Remoção do material 1 min após o material estar totalmente fundido.



a)



b)



c)

Figura 12- a) Material a fundir em disco elétrico sem compactação b) Material a fundir em disco elétrico com compactação c) Material a fundir em disco elétrico com mistura manual

Foi facilmente identificado o problema esperado de retenção de humidade no interior do material fundido, formando bolhas de vapor de água. Verifica-se que a solução de fusão com uso de disco elétrico permite obter resultados satisfatórios, mesmo tendo em consideração a necessidade de aquecer o recipiente que contém o material.

Conclui-se também que é necessário dispor de um sistema para misturar o material fundido, para permitir a libertação do ar, assim como permitir conferir uma cor homogénea ao

material fundido. Desta maneira pode ser reciclado material de várias cores em simultâneo obtendo sempre um produto final com cor homogénea.

3.4 Estratégia de extrusão por êmbolo

Baseado na informação reportada no estado da arte foi ponderada a adoção de uma solução de extrusão alternativa à utilização de fuso, que recorre a um sistema de extrusão por êmbolo [17].

Na extrusão por fuso, que é aplicada na indústria do plástico há mais de um século, a maioria das suas patentes já expirou mas ainda existem patentes recentes em número suficiente. A decisão de usar uma solução diferente do uso de fuso de extrusão evita complicações relacionadas com patentes para além de permitir alcançar outras vantagens.[18]

O uso de uma solução de extrusão por êmbolo permite uma redução nos custos de aquisição/fabrico dos componentes. Este processo é também um processo mais flexível pois permite a mistura de desperdícios de diferentes cores, com eventual possibilidade de coloração da mistura. Um dos inconvenientes deste processo é que não permite o funcionamento em contínuo, comparativamente com a extrusão por fuso. Porém, como se pretende dispor de um processo de extrusão direcionado para o mercado doméstico, em que se pretende produzir bobinas de filamento de 1 kg, esta limitação não é relevante.

3.5 Testes de validação da extrusão por êmbolo

Para validar o processo de extrusão por êmbolo foram realizados testes experimentais. Foi necessária a adaptação de um cilindro pneumático de forma a permitir a introdução de material fundido na câmara do mesmo para posterior extrusão. Assim sendo, foi utilizado um cilindro de 20 mm de diâmetro nominal onde foi aberto um orifício, para que fosse possível a introdução do material fundido para posterior extrusão (Figura 13 b). Foi também adaptada uma ponteira ao cilindro, para ser possível verificar a viabilidade deste método para obtenção de um diâmetro uniforme de filamento.

Os procedimentos dos testes realizados foram:

1. Realização do procedimento mencionado acima, na fusão em disco eléctrico com mistura manual do material;

2. Aquecimento do cilindro pneumático com recurso a uma pistola de ar quente até que este atinja a temperatura de 220°C . Manter a temperatura constante medindo através de um termómetro;
3. Alimentação de material na câmara de extrusão do cilindro;
4. Avanço manual do êmbolo para extrusão do material;
5. Com a ajuda de um dinamómetro, medição da força necessária á extrusão;

A Figura 13 apresenta imagens da realização de um teste de extrusão por êmbolo.



a)



b)



c)

Figura 13- a) Material fundido b) cilindro a ser aquecido com pistola de ar quente c) filamento obtido

O teste de extrusão validou a continuação do projeto. O filamento produzido neste teste apresentou boas características, como por exemplo a não existência de bolhas ao longo da amostra. Como ponto negativo destes testes, verificou-se que apenas foi possível efectuar 2 ensaios uma vez que, devido às temperaturas elevadas, os vedantes do cilindro ficaram danificados, não sendo assim possível a realização de mais testes. Estes resultados permitiram determinar que no protótipo real será necessário a utilização de segmentos ou vedantes revestidos a teflon. Com a determinação da força usada no ensaio de 270 N e usando um coeficiente de segurança de 1.5, foi considerado que para cálculos futuros será utilizado o valor de 400 N para a força a aplicar.

4 Projeto e conceção de equipamento

4.1 Introdução

Após a definição do princípio de funcionamento do sistema, foi realizado o seu projeto mecânico e desenvolvido do sistema de acionamento e controlo. O sistema projetado recorre a componentes e equipamentos o mais *standard* possível.

O equipamento de extrusão de filamento para impressora 3D adopta uma estrutura modular sendo constituído por um módulo de extrusão e um módulo de trituração. Estes módulos são dimensionados para permitirem produzir um volume de material correspondente a 1 kg, pelo que se trata de um equipamento de bancada.

Na Figura 14 é apresentada uma imagem dos dois módulos concebidos. Numa primeira parte é apresentado o princípio de funcionamento do sistema desenvolvido. Posteriormente, é discutido o projeto mecânico do equipamento.

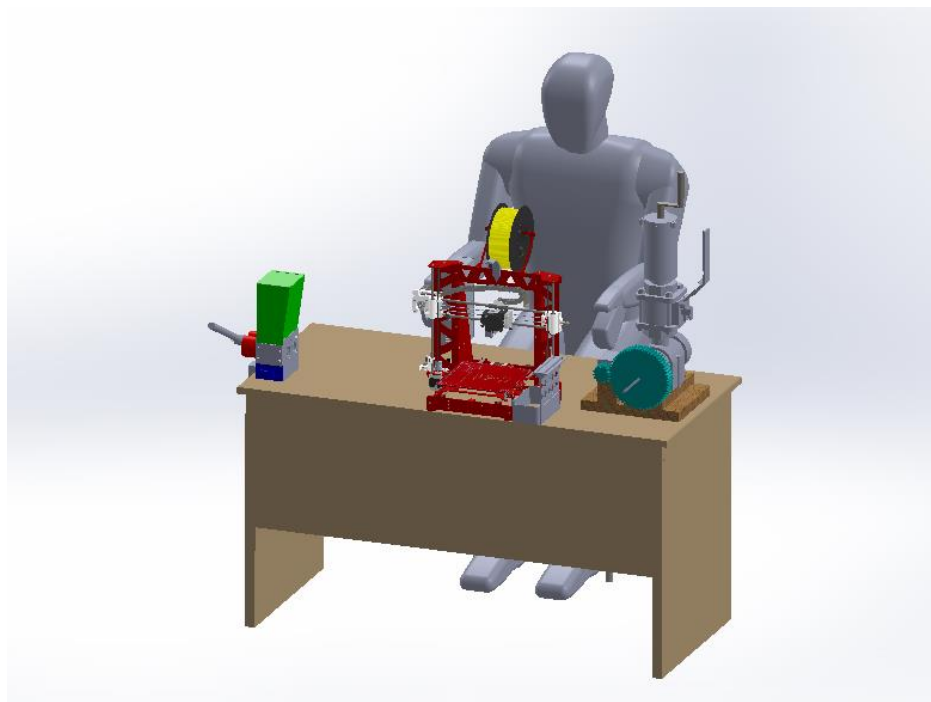


Figura 14- Conjunto de equipamentos projetados

4.2 Módulo de extrusão

Princípio de funcionamento

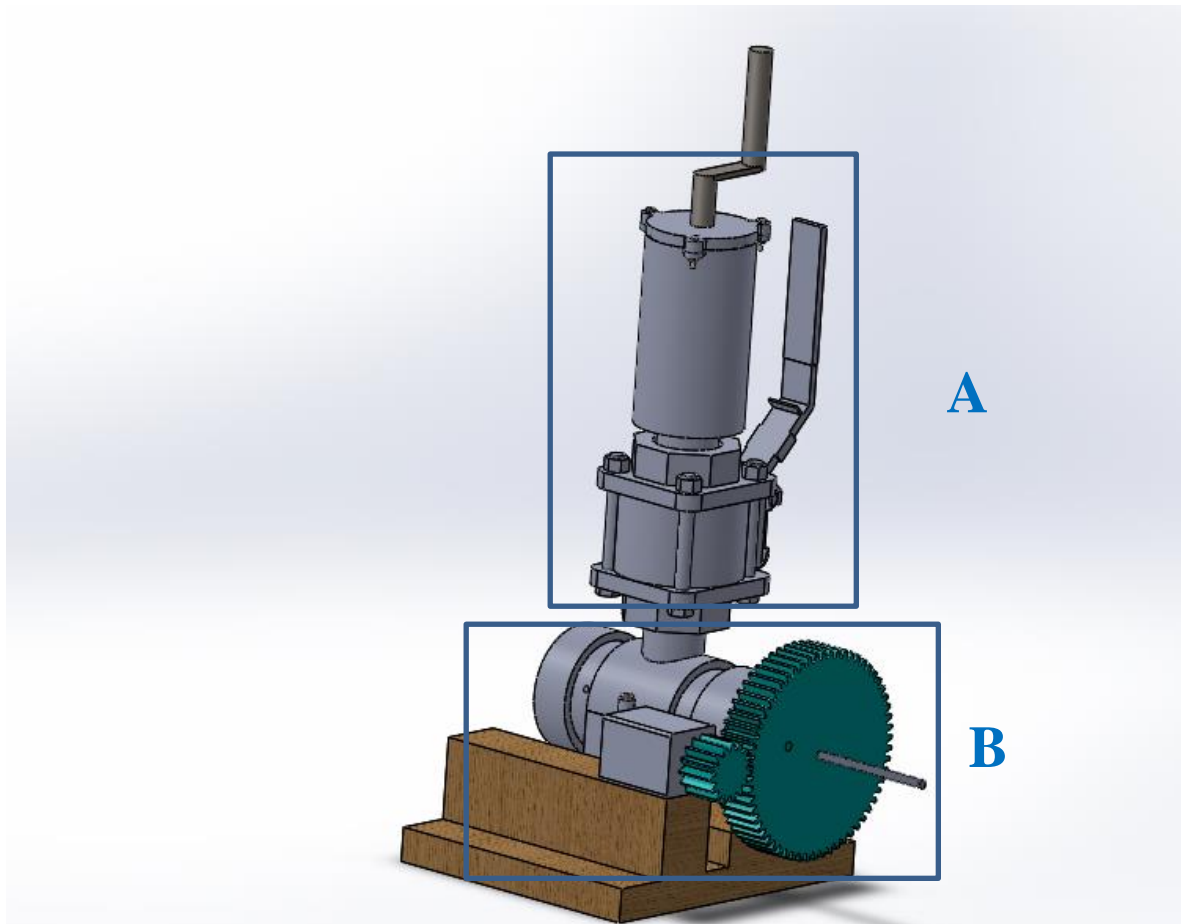


Figura 15- Módulo de extrusão

O módulo de extrusão desenvolvido é composto por dois subconjuntos principais, identificáveis na Figura 15:

- Câmara de fusão (A)
 - Responsável pela fusão do material, possui um sistema de mistura do material para garantir a extrusão de um material homogéneo. O seu acionamento é feito manualmente.

- Câmara de extrusão (B)
 - Responsável pela extrusão do material. O movimento linear do êmbolo do cilindro de extrusão é assegurado por um sistema de transmissão por fuso/porca. O acionamento da porca é feito a partir de um motor passo a passo e utiliza um sistema de transmissão por rodas dentadas. A câmara de extrusão é dotada de resistências eléctricas para manter o material fundido.

Dimensionamento da câmara de extrusão

Tendo em consideração a escolha do princípio de extrusão por êmbolo foi adoptada uma solução construtiva baseada num cilindro pneumático de êmbolo circular. Decidiu-se assim usar tubos normalizados de pneumática ou hidráulica e uma vez que era necessário algo compacto sem aumentar demasiado o curso necessário à extrusão.

A escolha recaiu assim por um diâmetro de 80 mm após o estudo entre as dimensões disponibilizados pelo mercado e as forças necessárias para atingir a pressão de extrusão de cada um. Como o objetivo é fazer uma bobina “*standard*” de material de cada vez que se utiliza o equipamento, tem-se como volume útil da câmara do cilindro 806,45 cm³, após a consideração da massa específica do material.

(1) Determinação do volume ocupado pelo material

$$m_{material} = 1000 \text{ g}$$

$$\rho_{material} = 1,24 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$V_{cilindro} = \frac{m_{material}}{\rho_{material}}$$

$$V_{cilindro} = 806,45 \text{ cm}^3$$

(2) Determinação do comprimento de cilindro necessário

$$V_{cilindro} = A_{cilindro} \times l_{cilindro} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow l_{cilindro} = \frac{V_{cilindro}}{A_{cilindro}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow l_{cilindro} = \frac{806,45}{\pi \times 4^2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow l_{cilindro} = 16,04 \text{ cm} \cong 160 \text{ mm}$$

Onde:

$V_{cilindro}$, é o volume interno do cilindro [cm^3]

$A_{cilindro}$, é a área do êmbolo do cilindro [cm^2]

$l_{cilindro}$, é o comprimento do cilindro [cm]

Uma vez que a câmara de fusão possui um misturador, estas dimensões serão utilizadas no cilindro de fusão (Figura 16) com algumas modificações em relação ao cilindro de extrusão (Figura 17) e os seus desenhos de conjunto podem ser consultados nos Anexos A e Anexos B respectivamente.

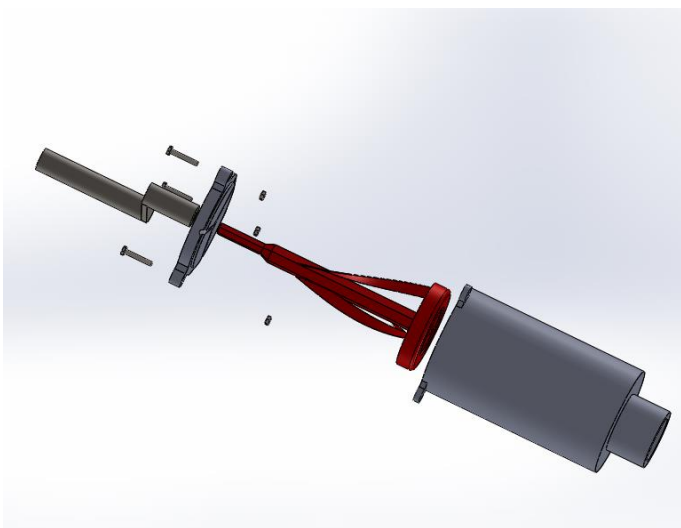


Figura 16- Câmara de fusão

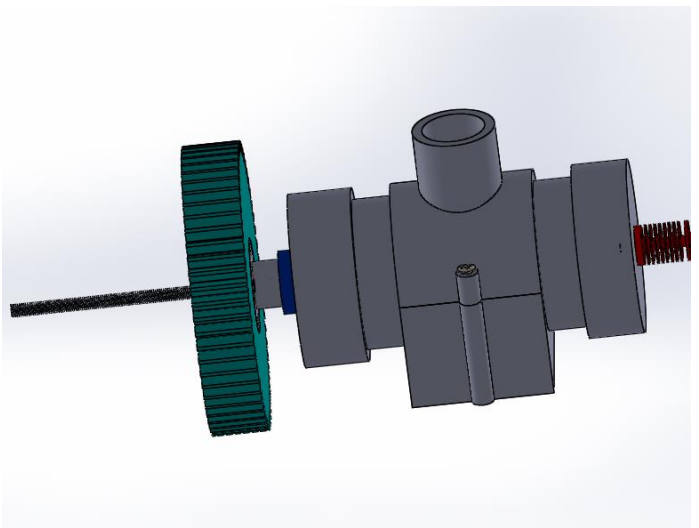


Figura 17- Câmara de extrusão

O cilindro de fusão utiliza uma tampa para impedir que o material seja projectado para o exterior do cilindro protegendo assim o utilizador deste perigo. A tampa como é visível no desenho em anexo, tem 3 orifícios que têm como função a libertação do ar dentro da câmara impedindo assim o aumento da pressão no seu interior, causada pelo aumento da temperatura, e reduzindo o risco de explosão.

Misturador do material

Para efetuar a mistura e desgaseificação do material durante a fusão, garantindo assim uma homogeneização do material a ser extrudido em termos de propriedades e cor, recorreu-se a um misturador de tinta industrial de dimensões coincidentes com as dimensões na câmara. Na Figura 16 o misturador encontra-se representado pela peça de cor vermelha.

Este misturador funciona com acionamento manual uma vez que não são necessárias forças elevadas para efectuar esta função.

Sistema de fecho da câmara de fusão

Para efetuar o fecho/abertura da câmara de fusão foi escolhido um sistema de porca e parafuso obrigando assim o uso de ferramentas para o fecho/abertura. Esta opção garante que o utilizador não entra em contacto com uma superfície que pode estar a temperatura elevadas colocando-o em risco.

Uma vez que estes parafusos apenas estão a servir como sistema de fecho/abertura não suportam forças significativas, não sendo necessário um dimensionamento. Foram escolhidos então parafusos M4 com uma porca correspondente.

Sistema de passagem de material da câmara de fusão para a câmara de extrusão

Para assegurar o bloqueio e passagem de material entre as duas câmaras foi utilizado uma válvula tipo esfera. As válvulas tipo esfera são adequadas para aplicações de bloqueio em linhas, garantindo abertura e fechamento, rápido e macio, através da sua alavanca de $\frac{1}{4}$ de

volta. Apresentam desenho compacto e ao mesmo tempo robusto como pode ser identificado na Figura 18. Uma vez que estas válvulas têm no seu interior uma esfera revestida de teflon, este aguenta temperaturas de até 260° C, o que o torna um componente que pode ser introduzido no sistema sem que haja dano nos seus componentes.[19]

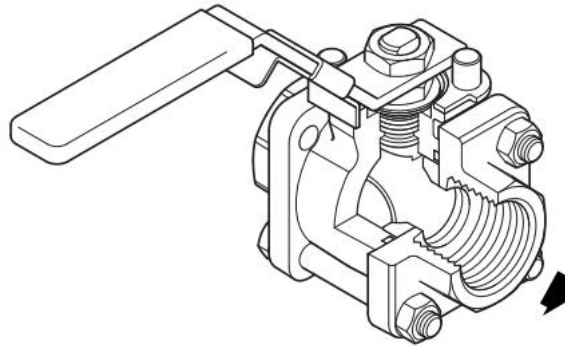


Figura 18- Figura ilustrativa da válvula de esfera utilizada

Sistema de transmissão do movimento

O acionamento do movimento do êmbolo da câmara de extrusão utiliza um sistema de fuso/porca. Desta forma é possível conceber uma solução compacta bem como dispor de uma necessidade de binário de atuação, ao nível do motor elétrico, mais reduzido por utilização de um redutor de engrenagens. O motor transmite o movimento de rotação à porca do fuso através de uma engrenagem de dentes retos. A porca roda solidária com a engrenagem e o fuso, impedido de rodar, translada e move o êmbolo como é visível na Figura 19.

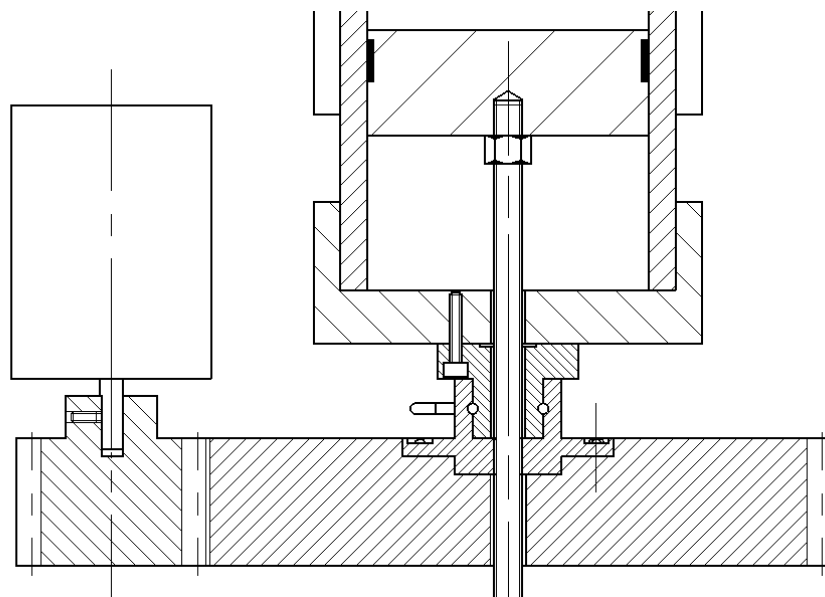


Figura 19- Esquema da transmissão do movimento ao êmbolo

Uma vez que foi decidido usar um êmbolo de 80 mm de diâmetro e uma velocidade de extrusão de 50 mm/s, foi necessário determinar a força necessária no movimento. Os cálculos foram feitos a partir dos valores obtidos nos ensaios experimentais realizados, que envolvem a utilização de um cilindro de 20 mm de diâmetro e a necessidade de dispor de uma força de 400 N.

Pela igualdade de pressões obteve-se:

$$\frac{F_{ensaio}}{A_{ensaio}} = \frac{F_{real}}{A_{real}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow F_{real} = \frac{F_{ensaio} \times A_{real}}{A_{ensaio}} = 6400 \text{ N}$$

Onde:

F_{ensaio} , é a força obtida no ensaio de extrusão (400 N)

A_{ensaio} , é a área do êmbolo usado no ensaio (d=20 mm)

A_{real} , é a área do êmbolo que foi decidido usar

F_{real} , é a força necessária para extrudir com o novo êmbolo

Para o cálculo do binário de acionamento numa transmissão deste tipo, usaram-se as fórmulas das Eq. 1 e Eq. 2:[20, 21]

$$M_t = F \frac{d_m}{2} \frac{\tan \phi \sec \beta_n + \tan \gamma}{1 - \tan \phi \tan \gamma \sec \beta_n} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\tan \beta_n = \tan \beta \cos \gamma \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

M_t , é o binário [Nm]

F , é a força a vencer [N]

d_m , é o diâmetro médio da rosca [m]

$\tan \phi$, é o coeficiente de atrito

γ , é o ângulo da hélice [graus]

β , é o ângulo de flanco [graus]

β_n , é o ângulo de flanco medido num plano normal à hélice [graus]

Para seleccionar o veio a ser utilizado é necessário ter em consideração o binário a transmitir (Eq. 1), bem como garantir que o veio resiste à encurvadura (Eq. 3,Eq. 4,Eq. 5,Eq. 6 e Eq. 7 e Figura 20) e à torção (Eq. 8 e Eq. 9) sendo este um processo iterativo.

(1) Dimensionamento à encurvadura

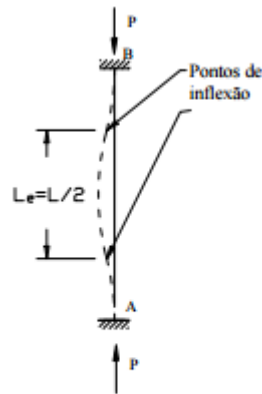
$$\sigma_{ced} = \frac{F}{A \times \varphi} \quad \text{Eq. 3}$$

$$\varphi = \frac{3179}{\lambda^2} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\lambda = \frac{l_e}{i} \quad \text{Eq. 5}$$

$$i = \sqrt{\frac{E}{A}} \quad \text{Eq. 6}$$

$$E = \frac{\pi d_m^4}{64} \quad \text{Eq. 7}$$



$$\mu = 0,5$$

Figura 20- Comprimento de encurvadura em função das condições de fronteira[22]

(2) Dimensionamento à torção[23]

$$\tau = \frac{M_t}{\frac{\pi d_m^3}{16}} \quad \text{Eq. 8}$$

$$\tau = 0.8 \times \sigma_{ced} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

M_t , é o momento torsor [Nm]

F, é a força a vencer [N]

d_m , é o diâmetro médio da rosca [m]

φ , é o coeficiente de encurvadura

λ , é o coeficiente de esbelteza

i, é o raio de giração [m]

E, é o momento de inércia

σ_{ced} , é a tensão de cedência do material [Pa]

τ , é a tensão de corte do material [Pa]

O dimensionamento à encurvadura conduz a um valor mínimo do diâmetro do veio de 5 mm. A escolha recaiu por um veio M8 x 1,25. Com este veio, para ter disponível uma força de 6400 N é necessário dispor de um binário de atuação de 7,9 Nm ao nível do fuso. No dimensionamento à torção para este nível de binário aplicado necessita-se de um veio com um diâmetro superior a 5 mm pelo que o diâmetro escolhido cumpre os requisitos de resistência à torção. No dimensionamento à encurvadura estes requisitos de resistência são também cumpridos obtendo-se um coeficiente de esbelteza de 62.

Dimensionamento/Escolha do motor

Decidiu-se usar um motor passo a passo, pois como foi mencionado no estado da arte são motores que produzem um binário elevado a baixas velocidades e têm dimensões reduzidas.

Para a escolha do motor é necessário identificar duas grandezas: velocidade e binário. Em relação ao binário já foi calculado o valor que é necessário dispor no fuso tendo em consideração o sistema de transmissão utilizado (7,9 Nm). A determinação da velocidade do êmbolo é função da velocidade de extrusão e das secções da fieira e do cilindro (Figura 21), sendo dada pela Eq. 10. Na análise de bibliografia foi concluído que uma velocidade aceitável de extrusão é 50 mm/s pelo que para uma fieira de 3,5 mm de diâmetro e tendo em consideração o diâmetro do êmbolo seleccionado (80 mm), é necessário dispor de uma velocidade de êmbolo de 0,071 mm/s.

$$v_{\text{êmbolo}} = \frac{v_{\text{fieira}} \times A_{\text{fieira}}}{A_{\text{êmbolo}}} \quad \text{Eq. 10}$$

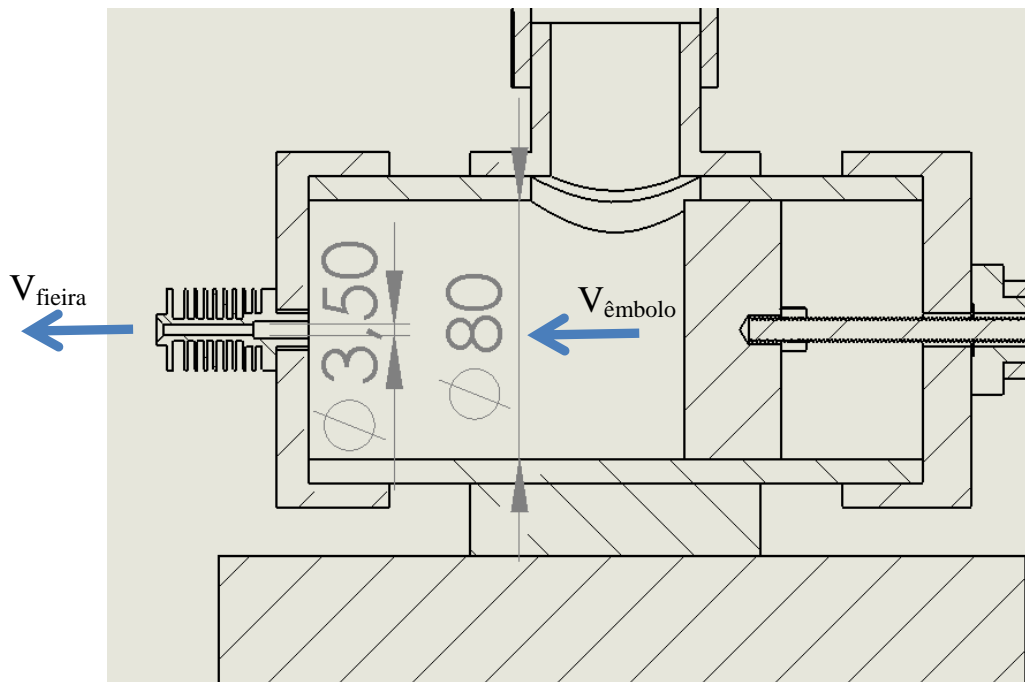


Figura 21- Esquema do cilindro de extrusão

Para o cálculo da velocidade de accionamento do motor há que determinar qual a velocidade necessária de movimento do êmbolo tendo em consideração o passo do fuso (Eq. 11)[24]

$$w_{motor} = \frac{v_{êmbolo} \times 60}{p} \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

V_{fieira} , é a velocidade de extrusão do filamento [m/s]

A_{fieira} , é a área do orifício de extrusão [m²]

$V_{êmbolo}$, é a velocidade linear do êmbolo [m/s]

$A_{êmbolo}$, é a área do êmbolo [m²]

W_{motor} , é a velocidade angular no motor [rpm]

P , é o passo do veio roscado [m]

Assim para uma velocidade de êmbolo de 0,071 m/s e um passo do fuso de 1,25 mm, a velocidade do motor deve ser de 3,43 rpm.

Verifica-se que o fuso necessita de um acionamento que disponibilize 7,9 Nm e uma velocidade de 3,4 rpm. Assim, o motor deve ser acoplado ao fuso através de um sistema de engrenagens que permita a utilização de um motor que disponibilize um menor binário. A opção recaiu sobre a utilização de um sistema de transmissão por engrenagens de dentes paralelos, com uma relação de transmissão de 4:1.

$$w_{motor\ final} = 3,43 \times 4 = 13,72\ rpm$$

$$B_{motor\ final} = \frac{7,88}{4 * 0,9} = 2,19\ Nm$$

Assim o motor deve disponibilizar um binário aproximado de 2,2 Nm e uma velocidade de 14 rpm. Atendendo a estas características foi escolhido o motor produzido pela SHINANO KENSHI e correspondente driver apresentado na Figura 22:



Manufacturer's model number	CSA-UC-56D5
Current rating	2A
Depth	69mm
Frame Size	56.4 x 56.4mm
Holding Torque	2440mNm
Resistance Per Phase	1.3Ω
Shaft Diameter	6.35mm
Shaft Length	15mm
Step Angle	1.8°
Stepper Motor Type	Hybrid
Voltage Rating	24 V dc
Winding Arrangement	Unipolar

Figura 22- Motor escolhido e tabela de especificações [25]

Dimensionamento da engrenagem

O dimensionamento do sistema de transmissão de movimento do motor para o fuso utilizou o programa KISSsoft. Este programa permite o dimensionamento de engrenagens. O processo envolve a especificação do material das engrenagens a partir de uma base de dados disponível, sendo também possível a inserção de novos materiais desde que conhecidas as suas características mecânicas, e a especificação dos parâmetros das transmissões tais como binários, reduções e potência a transmitir. O programa disponibiliza então um conjunto de possíveis soluções que cumprem os requisitos introduzidos, podendo depois o utilizador avaliar e refinar as soluções propostas, [26].

Na Figura 23 é apresentado o menu para introdução de dados de um novo material a considerar na análise de engrenagens. No caso presente, foi utilizado as propriedades do PLA para o dimensionamento da engrenagem, uma vez que esta será impressa por uma impressora 3D.

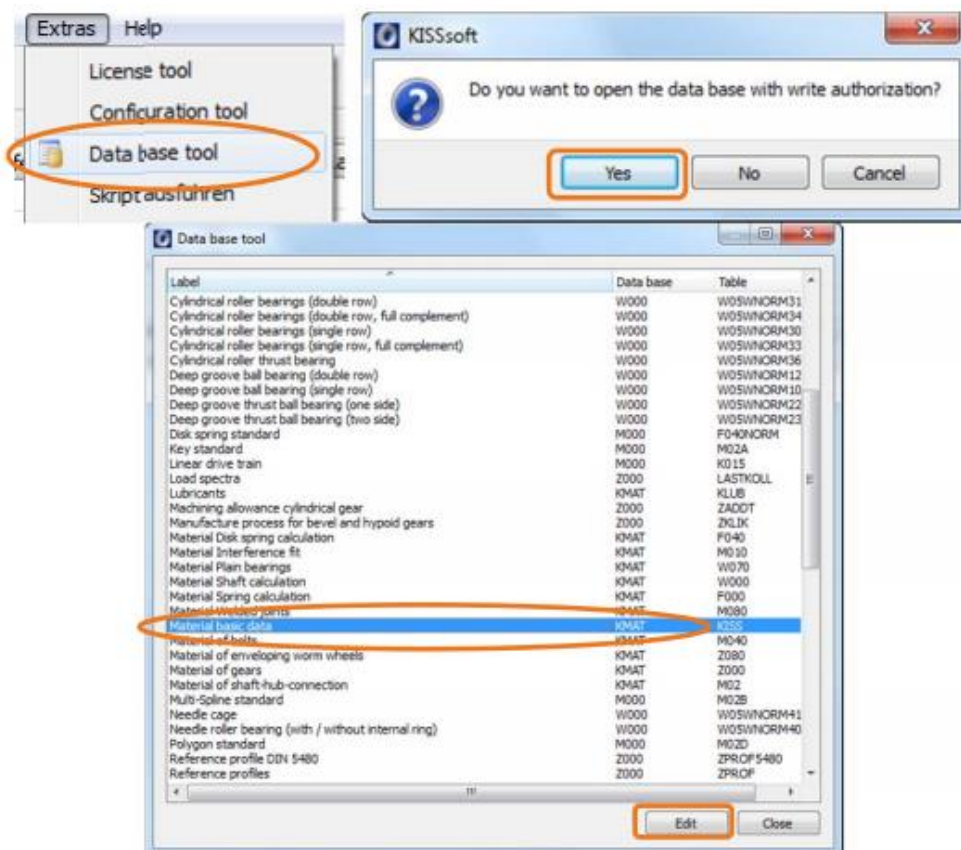


Figura 23- Introdução de um novo material na base de dados do KISSsoft

Na Figura 24 é apresentado a interface para definição dos parâmetros de transmissão pretendidos para a engrenagem e a respetiva lista de possíveis soluções geradas pelo programa. Nessa lista é apresentado um parâmetro de avaliação que pode ser configurado de acordo com o utilizador onde é introduzido a percentagem de relevância dos diferentes parâmetros no projeto.

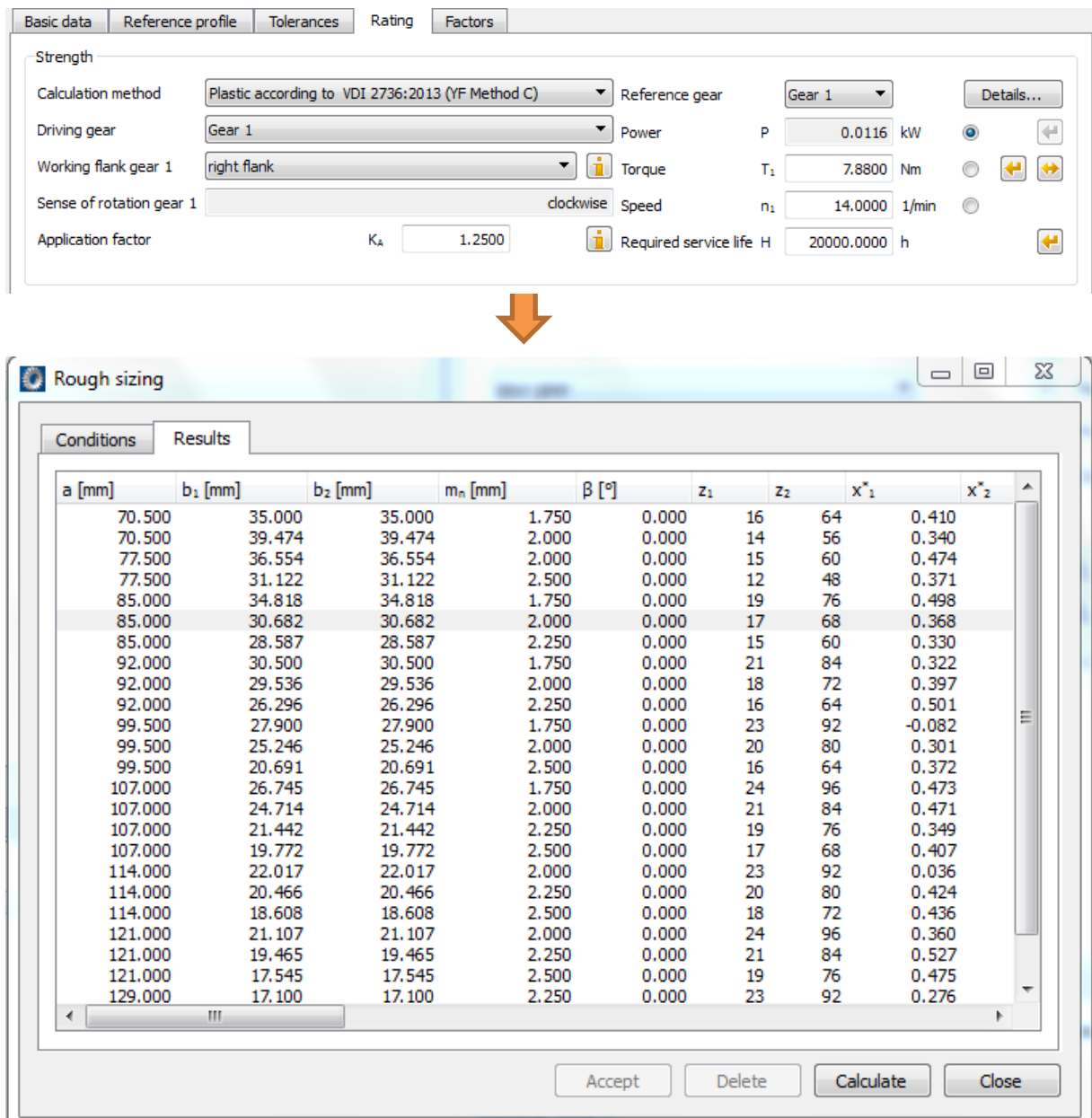


Figura 24- Introdução de potência e binários pretendidos e listagem de possíveis soluções

As soluções propostas pelo programa, pode ser alteradas definindo valores e limites de variação para diferentes parâmetros como o módulo, distância entre eixos e, neste caso de dimensionamento de engrenagem de plástico, mudar as próprias definições de cálculo. O

programa considera, por pressuposto, que a espessura mínima do perfil do dente deve ser $0,2 \times$ módulo, devendo no entanto ser alterado para $0,4 \times$ módulo no caso de dimensionamento de engrenagens de plástico. Valor este aconselhado pela literatura para que não ocorra desgaste prematuro da extremidade do dente. [27]

The screenshot shows the 'Fine Sizing' software window with the following parameters and values:

Parameter	Minimum	Maximum	Step
Maximal no of solutions	250		
Nominal ratio/deviation in +/-%	i, i_z	4.0000 / 2.0000	
Normal module	m_n	3.0000 mm	0.0000 mm
Pressure angle at normal section	α_n	20.0000 °	0.0000 °
Helix angle at reference circle	β	0.0000 °	0.0000 °
Center distance	a	112.5000 mm	0.0000 mm
Range for profile shift coefficient	x^*	-0.6000 / 1.0000	

	Gear 1	Gear 2
Maximum tip diameter	$d_{a, max}$ 999999.0000 mm	999999.0000 mm
Minimum root diameter	$d_{f, min}$ 0.0000 mm	0.0000 mm
Fix number of teeth	z 0	0
Fix profile shift coefficient	x^* 0.0000	0.0000
Facewidth	b 36.0000 mm	36.0000 mm

Buttons at the bottom: Accept, Delete, Report, Calculate, Close.

Figura 25- Introdução de parâmetros pretendidos e limites para os mesmos parâmetros

Com estes ajustes dos parâmetros e avaliação das situações é possível escolher a engrenagem que mais se adequa a uma dada aplicação. No presente caso, rodas dentadas de módulo 3 mm era o menor módulo que permite obter coeficientes de segurança adequados. O valor de entre-eixo foi escolhido de entre os valores sugeridos, tendo sido adotado o valor de 112,5 mm o que permite manter uma dimensão global da engrenagem de tamanho adequado. Assim foram escolhidas duas rodas dentadas de dentes rectos, de 15 e 60 dentes, com diâmetro primitivo 45 e 180 mm respetivamente.

Após a escolha da engrenagem é aconselhável verificar o engrenamento aplicado neste projeto. O programa possui essa função o que torna esta análise rápida e eficaz. Como se pode ver na Figura 26, o engrenamento do conjunto faz-se corretamente no ponto 1. Caso se

verificasse alguma colisão de engrenagem esta seria assinalada por um círculo vermelho nessa mesma área.

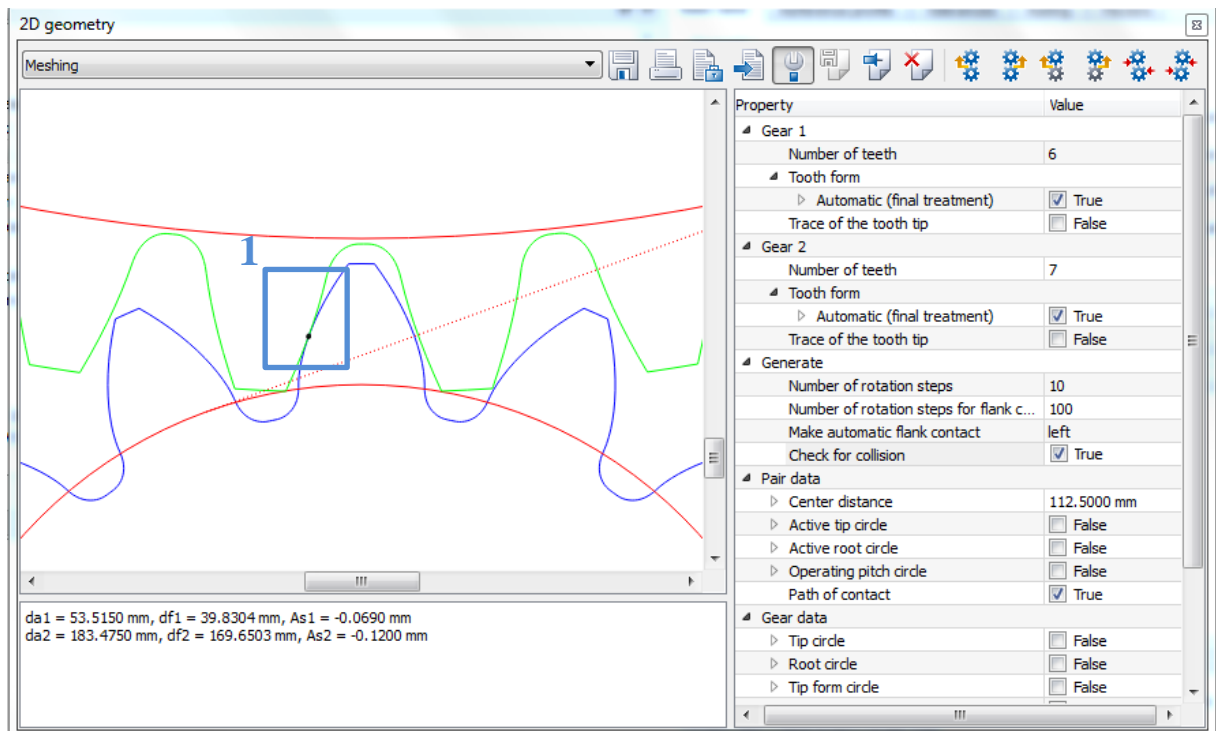


Figura 26- Engrenagem das rodas dentadas projetadas

Concluído todo o dimensionamento, este programa facilita ainda a possibilidade de exportação das engrenagens produzidas para um *software* de CAD. A Figura 27 ilustra um modelo 3D do pinhão projetado

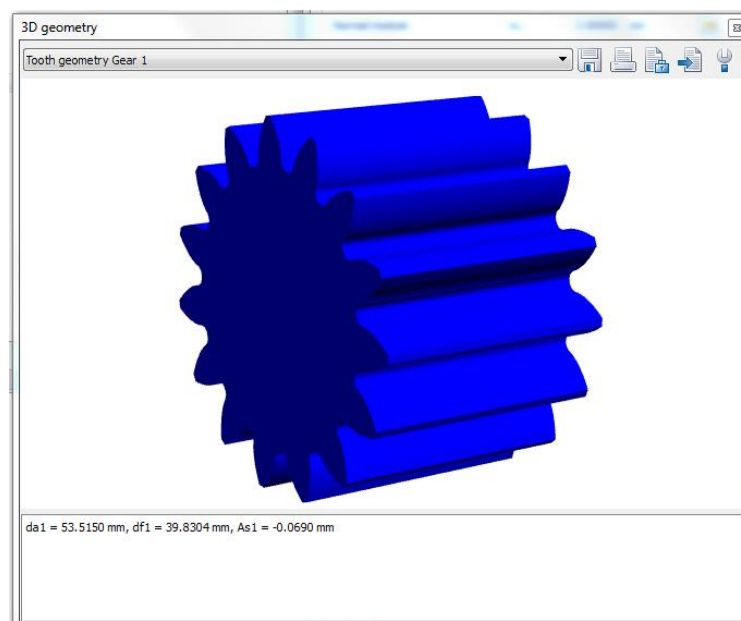


Figura 27- Modelo 3D do pinhão projetado

Após a exportação dos desenhos para o *software SolidWorks* é possível editar as engrenagens de forma a permitir uma ligação ao motor, no caso do pinhão, e ligação ao *insert* metálico, no caso da roda, como pode ser verificado na Figura 28.

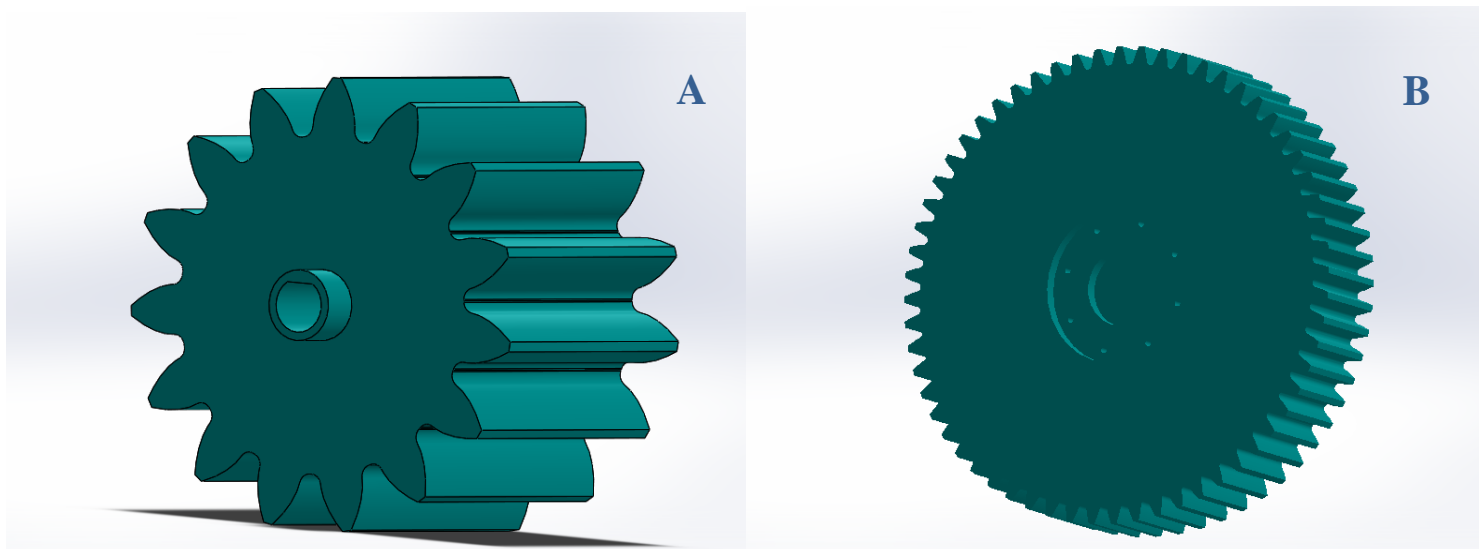


Figura 28- Engrenagem modificadas após dimensionamento A- pinhão B- roda (escalas diferentes)

Acoplamento do interior roscado à roda dentada

A transformação do movimento do motor no movimento do êmbolo é assegurada por um sistema fuso/porca como mencionado anteriormente, em que uma porca está acoplada na engrenagem (Figura 29). Para que tal funcione, foi estudada a pressão que esta porca exerce na roda dentada uma vez que esta recebe uma reacção do veio de 6400 N resultante da força que este faz no material a extrudir.

Esta pressão revela-se demasiado alta. Como o material da roda (PLA) apresenta uma resistência à compressão de 51 MPa [28], foi necessário substituir a porca por um insert metálico acoplado à engrenagem. Deste modo é aumentada a área de contacto e diminuída a pressão de contacto garantindo uma ligação ao apoio da roda. Assegura-se assim uma ligação com menor desgaste, uma vez que o interior metálico tem propriedades mecânicas superiores ao PLA.

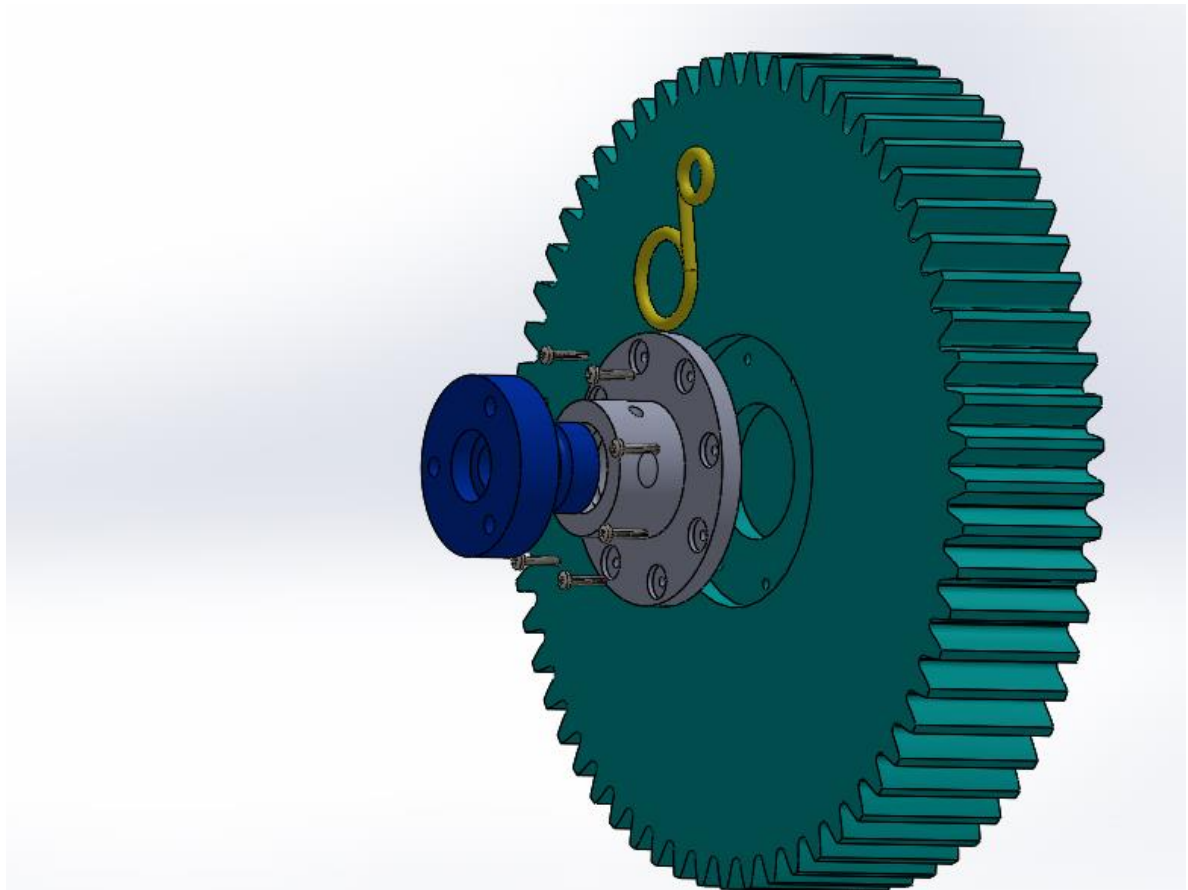


Figura 29- Conjunto de roda dentada, insert metálico com respetivos parafusos de fixação e apoio da roda

A fixação do insert metálico à engrenagem é feita através de parafusos. Usam-se vários de dimensões reduzidas para que as tensões na engrenagem sejam distribuídas por uma área maior não havendo concentrações elevadas de tensões[29]. Escolhendo 8 como o número de parafusos a usar, foram dimensionados usando as expressões das Eq. 12, Eq. 13, Eq. 14 e Eq. 15 e as dimensões mostradas na Figura 30.

$$F = \frac{B}{r_{furos}} \quad \text{Eq. 12}$$

$$N_p \times n_p = K \times F \quad \text{Eq. 13}$$

$$\frac{N_p}{N} = \frac{\sigma \times A}{1,6} \quad \text{Eq. 14}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde:

B, é o binário a transmitir [Nm]

F, é a força resultante do binário a transmitir [N]

r_{furos} , é o raio de localização dos furos [m]

N_p , é o pré- esforço [N]

n_p , é o número de parafusos

K, – é uma constante (1.25)

N, é o coeficiente de segurança

A, é a área de secção do parafuso [mm²]

σ , é a tensão de cedência do parafuso [Pa]

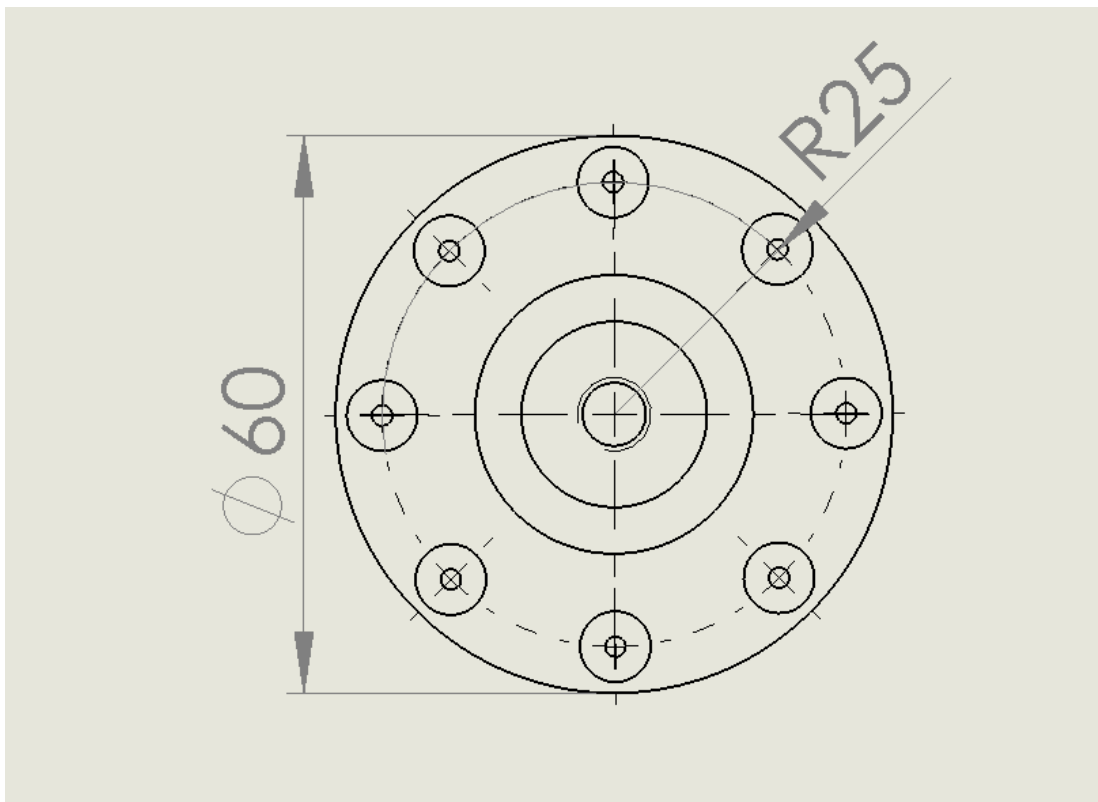


Figura 30- Esquema com cotas do insert metálico

O cálculo dos parafusos conduz à necessidade de utilização de parafusos de diâmetro superior ou igual a 1mm, pelo que se adotou pela utilização de 8 parafusos M2.

Dimensionamento dos pinos de posicionamento do veio

A solução mecânica adotada obriga à prevenção da rotação do veio roscado. Para esse fim, o veio é maquinado para dispor de duas faces planas e é utilizado um sistema de dois meios discos planos para imobilizar a rotação do veio. Cada um dos meios discos é posicionado por meio de um pino (Figura 31).

Assim, sendo foi necessário o dimensionamento dos pinos a utilizar. Este pino está exclusivamente solicitado ao corte, provocado pelo disco. Como tal, o dimensionamento é baseado na análise das tensões de corte, recorrendo-se ao critério de Tresca [30].

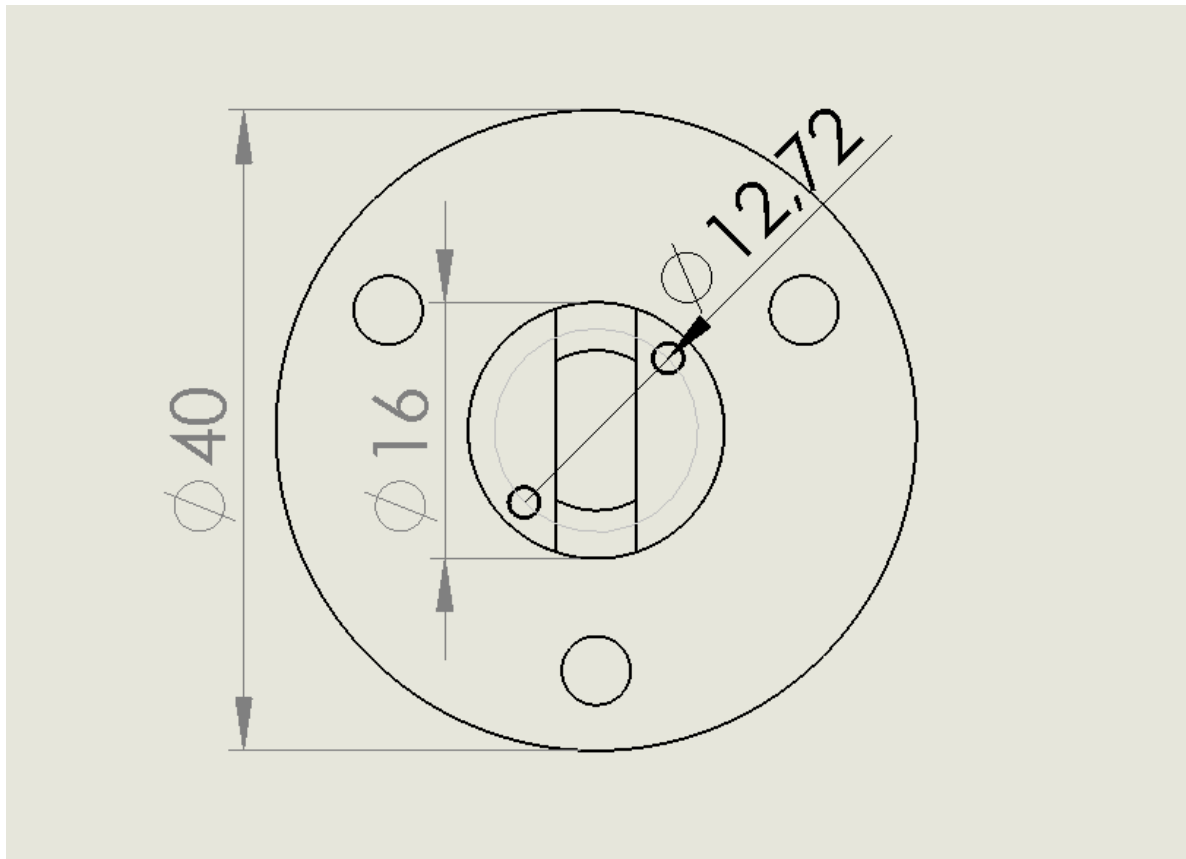


Figura 31- Esquema cotado do conjunto de apoio da roda, meios discos e pinos

(1) Determinação da força a suportar por cada pino

$$F_{total} = \frac{B}{r} = \frac{7,88}{6,36 \times 10^{-3}} = 1239N$$

$$F_{pino} = \frac{F_{total}}{n_{pino}} = 620 N$$

(2) Determinação do diâmetro do pino (coeficiente de segurança N=3).

$$\frac{\tau_{ced}}{N} = \frac{F}{2A} \Leftrightarrow \frac{\sigma_{ced}}{2N} = \frac{F}{2\pi \times \left(\frac{d^2}{4}\right)} \Rightarrow d \geq 1,857 mm$$

Onde:

F_{total} , é a força produzida pelo veio [N]

F_{pino} , é a força a que cada pino está sujeito [N]

n_{pino} , é o número de pinos utilizados

B , é o binário no veio [Nm]

R , é o raio de localização do pino [m]

τ_{ced} , é a tensão de corte do material [Pa]

σ_{ced} , é a tensão de cedência do material [Pa]

A , é a área da superfície do pino [m²]

d , é o diâmetro do pino [m]

Assim sendo, e atendendo aos diâmetros normalizados existentes foi escolhido um pino de diâmetro 2 mm.

Sistema de aquecimento do material

Neste equipamento é utilizado como sistema de aquecimento/fusão do material resistências elétricas, como é normalmente usado nestas aplicações.

Para obter um valor de potência mínimo que é necessário dispor nesta aplicação foi feito um estudo térmico usando as Eq. 16 a Eq. 21. Para o uso destas equações foram tomados os valores de temperatura ambiente de 15° C e foi admitido como tempo admissível para o processo de fusão de 30 min.

$$V_{material\ do\ cilindro} = (A_{exterior} - A_{interior}) \times l_{cilindro} \quad \text{Eq. 16}$$

$$m_{cilindro} = \rho_{aluminio} \times V_{material\ do\ cilindro} \quad \text{Eq. 17}$$

$$E_{cilindro} = c_{aluminio} \times m_{cilindro} \times (T_{desejada} - T_{ambiente}) \quad \text{Eq. 18}$$

$$E_{PLA} = c_{PLA} \times m_{PLA} \times (T_{desejada} - T_{ambiente}) \quad \text{Eq. 19}$$

$$E_{total} = E_{cilindro} + E_{PLA} \quad \text{Eq. 20}$$

$$P_{total} = \frac{E_{total}}{t_{aquecimento} \times n} \quad \text{Eq. 21}$$

Onde:

$V_{material\ do\ cilindro}$, é o volume do material do cilindro [mm³]

$A_{interior}$, é a área interior do cilindro [mm²]

$A_{exterior}$, é a área exterior do cilindro [mm²]

$l_{cilindro}$, é o comprimento do cilindro [m]

m_{cilindro} , é a massa do cilindro [kg]

m_{PLA} , é a massa do PLA [kg]

ρ_{aluminio} , é a massa específica do alumínio [kg/mm³]

E_{cilindro} , é a energia necessária para aquecer o cilindro [J]

E_{PLA} , é a energia necessária para aquecer o PLA [J]

c_{aluminio} , é o calor específico do alumínio [J/kg.K]

c_{PLA} , é o calor específico do PLA [J/kg.K]

T_{desejada} , é a temperatura que se pretende atingir [K]

T_{ambiente} , é a temperatura ambiente [K]

$T_{\text{aquecimento}}$, é o tempo necessário para atingir a temperatura pretendida [s]

N , é o rendimento do processo

P_{total} , é a potência necessária para atingir a temperatura pretendida [W]

Como revestimento de ambos os cilindros de fusão e extrusão será utilizado uma camada de massa refratária para efetuar o isolamento térmico, assim sendo e prevendo perdas pelos topos e até pelos orifícios de desgaseificação é admitido como rendimento do processo o valor de 70 %. Obtém-se uma potência mínima necessária de 400 W.

Para o controlo da temperatura pretendida é utilizado um controlador de temperatura comercial. Foi escolhido o controlador de temperatura da gama E5CSV da OMRON[31]. Este modelo está disponível no mercado para opções de controlo simples e a baixo custo.

Este equipamento possui como principais características:

- Não ser necessário qualquer conhecimento avançado para otimizar o desempenho, devido às funções de ajuste automático ideal para o uso doméstico como pode ser verificado na Figura 32;
- Probabilidade reduzida de avaria, graças à proteção do valor definido;
- Boa legibilidade com um ecrã Led de 7 segmentos, 3,5 dígitos;
- Visão geral clara do estado graças ao indicador de desvio PV-SV, indicador de alarme e saída;
- Ligação fácil a uma vasta gama de tipos de sensor de temperatura;

A linha E52-EL Lite de sensores de temperatura da empresa OMRON proporciona a melhor relação preço/desempenho para aplicações básicas. Estes modelos englobam os tipos de alojamento e ligação mais populares.[32]

Para a medição da temperatura no módulo de fusão seleccionou-se então um sensor de temperatura da linha E52-EL Lite compatível com a gama de temperatura a ler e um sistema de controlo de temperatura com um relé de estado sólido.

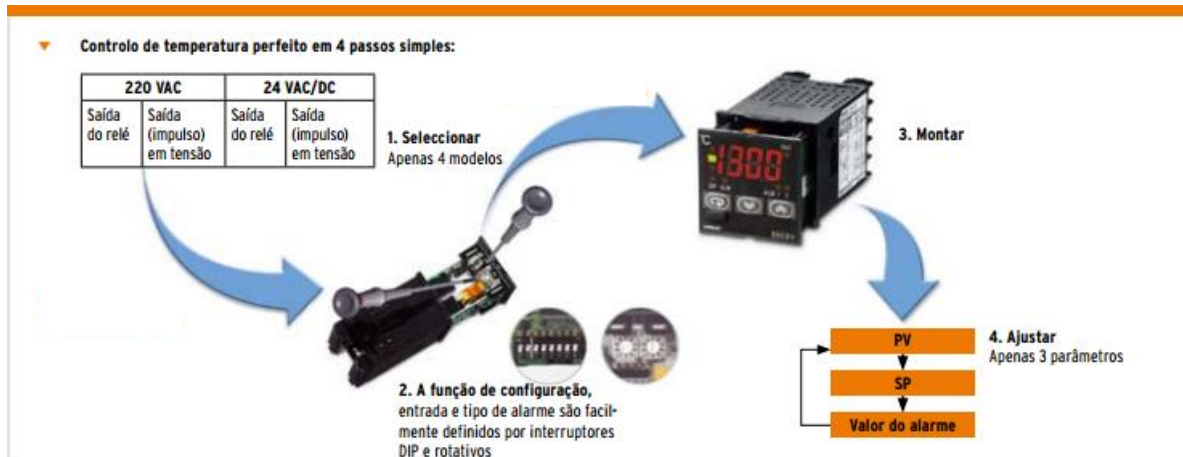


Figura 32- Quatro passos simples de configuração do controlador de temperatura

4.3 Módulo de trituração

Para que seja possível reciclar o material de peças produzidas, defeituosas ou não, é necessário proceder à sua trituração para produzir granulado que facilite a sua fusão. Assim, foi concebido um triturador para realização dessa função com os seguintes requisitos:

- Compacto
- Capaz de triturar vários tipos de plástico
- Boa resistência ao desgaste
- Baixo custo de produção
- Facilidade de limpeza e montagem
- Segurança na operação

Na Figura 33 é apresentado uma imagem do módulo de trituração desenvolvido.

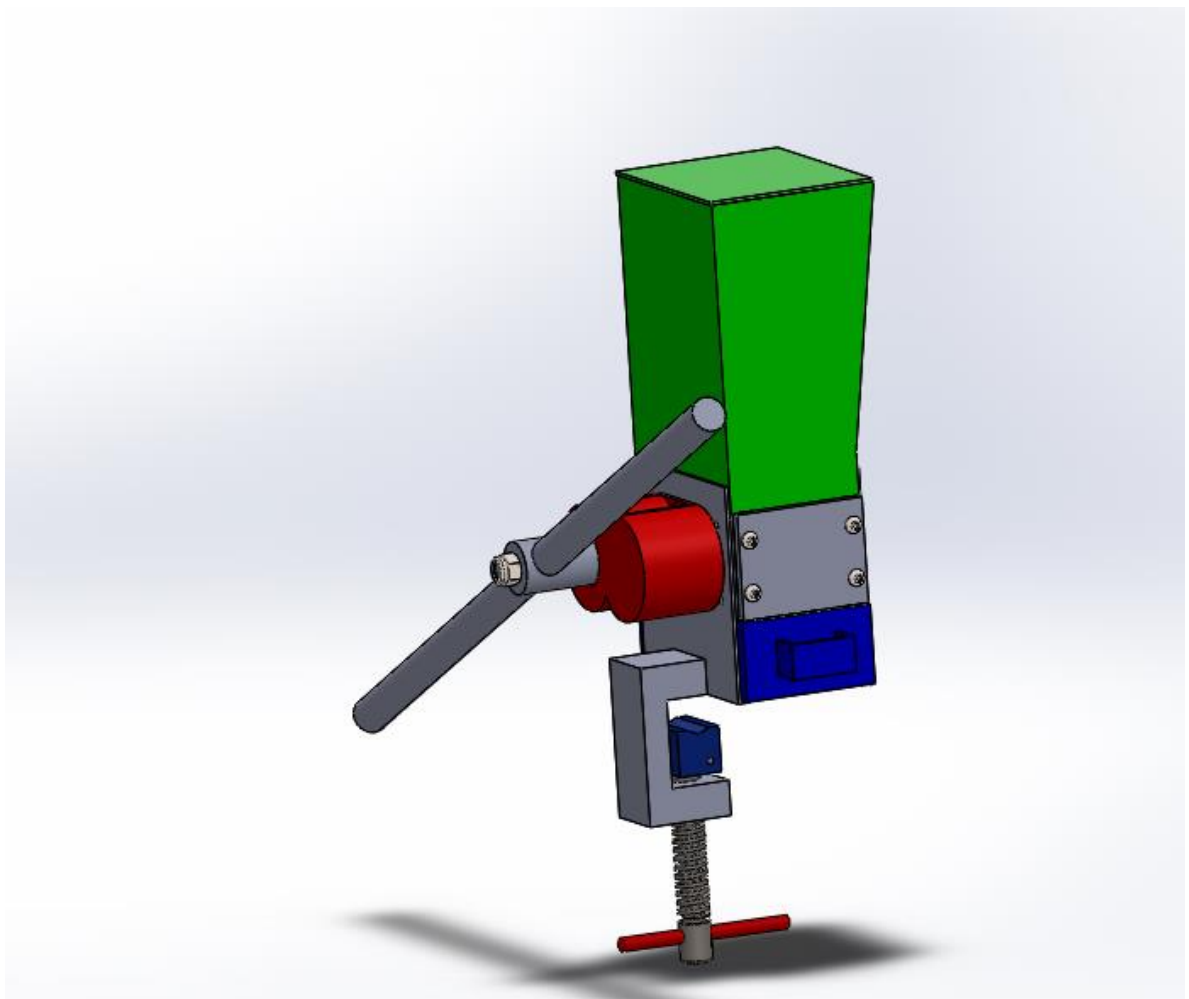


Figura 33- Módulo de trituração

Para responder a estes requisitos, foi projetado um sistema de forma a que este seja compacto, para ser transportável e ter a capacidade de adaptação à banca de trabalho para maior segurança no trabalho. O triturador está projetado para ser construído em aço tendo assim uma boa resistência ao desgaste. O equipamento apresenta um sistema de recolha de detritos por gaveta que facilita o transporte do material triturado para a câmara de fusão da extrusora.

O acionamento do triturador utiliza um sistema manual, o que permite diminuir os custos de produção. O sistema de acionamento manual por alavanca impede que o utilizador efectue a alimentação de material e o acionamento simultaneamente impedindo assim que o utilizador esteja em perigo. O sistema de alimentação possui também uma tampa para que o utilizador não seja atingido por nenhum fragmento de material que possa ser projetado durante a trituração.

Dimensionamento do disco de corte

O desenho dos discos de corte segue a prática comum neste tipo de equipamento mas foi introduzido uma modificação no processo de fixação dos discos (Figura 34). A solução adotada permite que o disco seja fabricado por fresagem baixando assim os seus custos de produção. O sistema de transmissão de binário dos eixos de movimento para os discos é assegurado por 3 pinos cilíndricos, o que facilita a montagem/desmontagem.



Figura 34- Perfil do disco de corte

Dimensionamento do veio

O veio do triturador, uma vez que é responsável pela transmissão do binário ao sistema, está solicitado em termos de torção de forma crítica, estando dimensionado para suportar um binário máximo de 150 Nm[33].

Assim, a determinação do diâmetro do veio vem dada pela Eq. 22 o que conduz à necessidade de dispor de um diâmetro superior a 11,6 mm. Para o efeito de projeto adotou-se como diâmetro mínimo 15 mm.

(1) Dimensionamento à torção

$$\sigma_{ced} = \frac{M_t}{\frac{\pi d^3}{16}} \Rightarrow d \geq 11,6 \text{ mm} \quad \text{Eq. 22}$$

Onde:

M_t , é o momento torsor [Nm]

d , é o diâmetro do veio [m]

σ_{ced} , é a tensão de cedência do material [Pa]

Dimensionamento dos pinos de transmissão

Cada veio está acoplado a 5 discos de corte, sendo a transmissão do binário garantida por 3 pinos cilíndricos longitudinais (Figura 35). Estes pinos funcionam como chavetas trabalhando exclusivamente ao corte. Como tal, o dimensionamento baseou-se na análise das tensões de corte, recorrendo-se ao critério de Tresca[30].

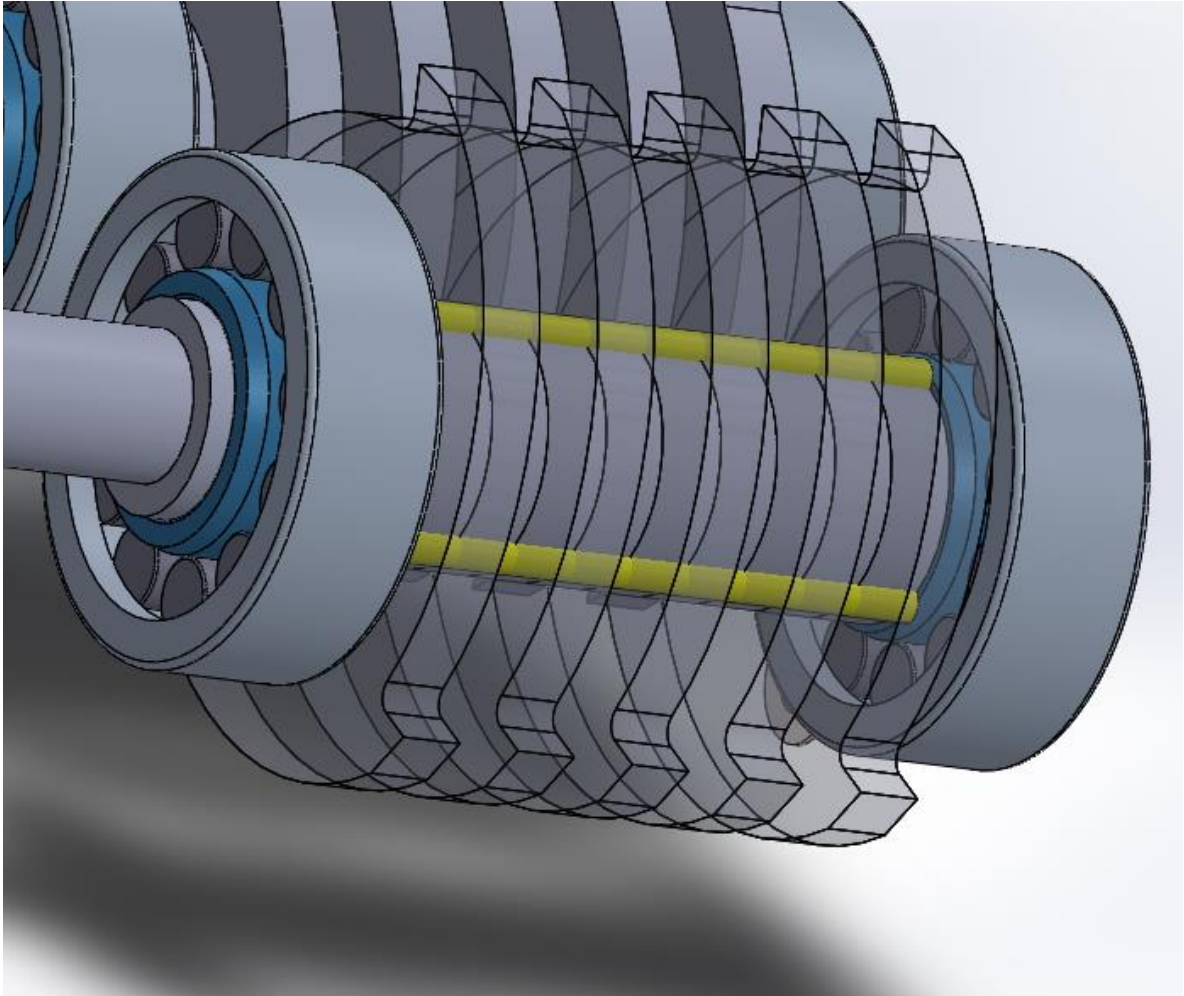


Figura 35- Veio com 5 discos de cortes e 3 pinos longitudinais

(1) Determinação da força a suportar por cada pino

$$F_{total} = \frac{M}{r} = \frac{150}{20 \times 10^{-3}} = 7500 \text{ N}$$

$$F_{pino} = \frac{F_{total}}{n_{pino}} = 2500 \text{ N}$$

Uma vez que a peça a triturar pode não estar uniformemente distribuída por todas as ferramentas de corte iremos utilizar como força em cada ferramenta o total da força para proteger da situação de carga num número reduzido de ferramentas de corte.

(2) Determinação do diâmetro do pino (coeficiente de segurança N=3).

$$\tau_{ced} = \frac{F}{2A} \Leftrightarrow \frac{\sigma_{ced}}{2} = \frac{F}{2 \times b \times d} \Rightarrow d \geq 1,458 \text{ mm}$$

Onde:

F_{total} , é a força produzida pelo veio [N]

F_{pino} , é a força a que cada pino está sujeito [N]

n_{pino} , é o número de pinos utilizados

M , é o binário no veio [Nm]

r , é o raio do veio [m]

τ_{ced} , é a tensão de corte do material [Pa]

σ_{ced} , é a tensão de cedência do material [Pa]

A , é a área da superfície sujeita ao corte [m²]

b , é a espessura da ferramenta de corte [m]

d , é o diâmetro do pino [m]

Assim sendo, e atendendo aos diâmetros normalizados existentes escolheu-se o pino de diâmetro 2 mm.

Dimensionamento/Escolha dos rolamentos

Para diminuição do atrito nos veios são utilizados rolamentos. Para um diâmetro interno mínimo do rolamento de 15 mm (diâmetro do veio) é possível determinar a força a que o rolamento está sujeito pela Eq. 23.

$$F = \frac{B}{r} = \frac{150}{15 \times 10^{-3}} = 10 \text{ kN} \quad \text{Eq. 23}$$

Por outro lado é necessário escolher se o rolamento vai ser dimensionado para uma solicitação dinâmica ou estática. No caso presente, é possível adotar um dimensionamento estático uma vez que o accionamento é manual. No entanto, prevendo que o equipamento possa, posteriormente, vir a dispor de um acionamento por motor elétrico é adotado um processo de cálculo que envolva condições de dimensionamento dinâmico com uma velocidade de rotação de 100 rpm. Para o cálculo de vida nominal de um rolamento é usada a Eq. 24.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p [10^6 \text{ rotações}] \quad \text{Eq. 24}$$

Podendo este valor ser transformado em horas de serviço.

$$L_h = \frac{L_{10} \times 10^6}{n \times 60}$$

Onde:

L_{10} , é a vida nominal do rolamento em 10^6 rotações

L_h , é a vida nominal do rolamento em horas

n , é a velocidade de rotação

C , é a capacidade dinâmica

P , é a carga dinâmica

p , é o expoente de duração da vida

Após a escolha da vida nominal e o tipo de rolamento é possível determinar o índice dinâmico e o factor de rotação obtendo assim uma equação da vida nominal simplificada. Assim sendo, foi escolhido como um valor aceitável para vida nominal do rolamento 500h de trabalho e foi escolhido rolamento de rolos uma vez que apenas temos solicitação radial no rolamento devido ao binário introduzido. Resultado desta escolha temos como expoente de duração de vida do rolamento de 10/3.

$$f_L = \sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} \quad \text{Eq. 25}$$

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33,3}{n}} \quad \text{Eq. 26}$$

$$f_L = \frac{C}{P} \times f_n \quad \text{Eq. 27}$$

Onde:

L_h , é a vida nominal do rolamento em horas

n , é a velocidade de rotação

p , é o expoente de duração da vida

f_L , é o índice dinâmico

f_n , é o factor de rotação

C , é a capacidade dinâmica

P , é a carga dinâmica

Recorrendo às Eq. 25a Eq. 27, retira-se assim o valor de capacidade dinâmica de 14,43 kN. Com este valor de capacidade dinâmica e um diâmetro interno mínimo de 15 mm foi escolhido o rolamento NU203E.TVP2 produzido pela FAG[34], este rolamento tem um diâmetro interno de 17 mm e uma capacidade de carga dinâmica de 17,6 kN.

Dimensionamento do sistema de accionamento

O módulo de trituração usa um accionamento manual recorrendo a um volante, em vez de uma alavanca, o que permite diminuir o espaço ocupado por este. Para um binário de accionamento de 150 Nm, é utilizado um volante com um raio de 250 mm, pelo que é necessário que a pessoa numa situação de limite exerça no equipamento uma força de 300 N. Como é demonstrado nas Eq. 28 a Eq. 30 e Figura 36.

$$F_1 = F_2 \quad \text{Eq. 28}$$

$$b_1 = b_2 \quad \text{Eq. 29}$$

$$T = 2 \times F_1 \times b_1 \quad \text{Eq. 30}$$

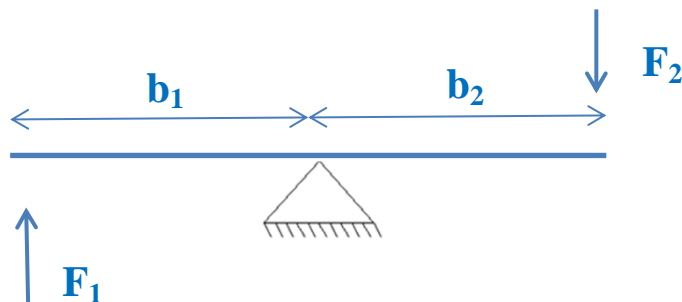


Figura 36- Esquema de forças atuantes no volante

Onde:

F_1 , é a força exercida

b_1 , é o braço da força aplicada

T , é o binário produzido

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho envolveu o estudo e desenvolvimento de uma solução para produção, por extrusão, de filamento para impressoras 3D. O sistema desenvolvido permite a reciclagem de material impresso nas impressoras 3D e constitui uma solução vocacionada para o mercado doméstico.

A pesquisa por equipamentos similares no mercado, permitiu verificar que todas utilizam a mesma tecnologia de extrusão por fuso, mas não há informação sobre os detalhes do processo.

Foi analisado o processo de extrusão por êmbolo, em alternativa ao processo por fuso que é adoptado, usando preferencialmente materiais o mais standard possível.

Foi concebido um sistema modular composto por um módulo de trituração e um módulo de extrusão. O módulo de extrusão é composto por 2 submódulos, a câmara de fusão e a câmara de extrusão. A câmara de fusão possui um misturador para garantir uma homogeneidade do material assim como ajudar à desgaseificação. Esse misturador é acionado manualmente. O submódulo de extrusão é acionado através de um motor eléctrico no qual foi necessário implementar um sistema de engrenagens de plástico e um sistema de parafuso/porca para transmitir o movimento ao êmbolo. A velocidade de translação do êmbolo é muito baixa (0,071 mm/s) e requer um binário elevado (7,9 Nm).

A fusão no material é garantida através de resistência eléctricas acopladas ao corpo da câmara de fusão e câmara de extrusão. A temperatura é controlada através de um controlador de temperatura standard.

O módulo de trituração é acionado manualmente através de um volante. Permite produzir granulado o que facilita a fusão do material. Este sistema recorre a discos de corte para efectuar a trituração e possui um sistema de gaveta no qual é acumulado o granulado para um fácil transporte para o módulo de extrusão.

Com este equipamento é então possível uma reciclagem de material defeituoso assim como é possível produzir filamento a custo inferior ao disponível no mercado usando granulado.

Sugestão de trabalhos futuros

Deve ser construído um protótipo do sistema, ou dos seus subconjuntos, a fim de validar o princípio de funcionamento adotado.

A realização de um estudo experimental aprofundado sobre o processo de extrusão de filamento deverá ser levado a cabo com o objectivo de otimizar parâmetros de funcionamento, como velocidade de extrusão e temperaturas, assim como, ajuste das dimensões da ponteira de extrusão.

Dever-se-á levar a cabo a concepção de um sistema de acondicionamento do filamento em bobine, de forma a facilitar a sua utilização após produção.

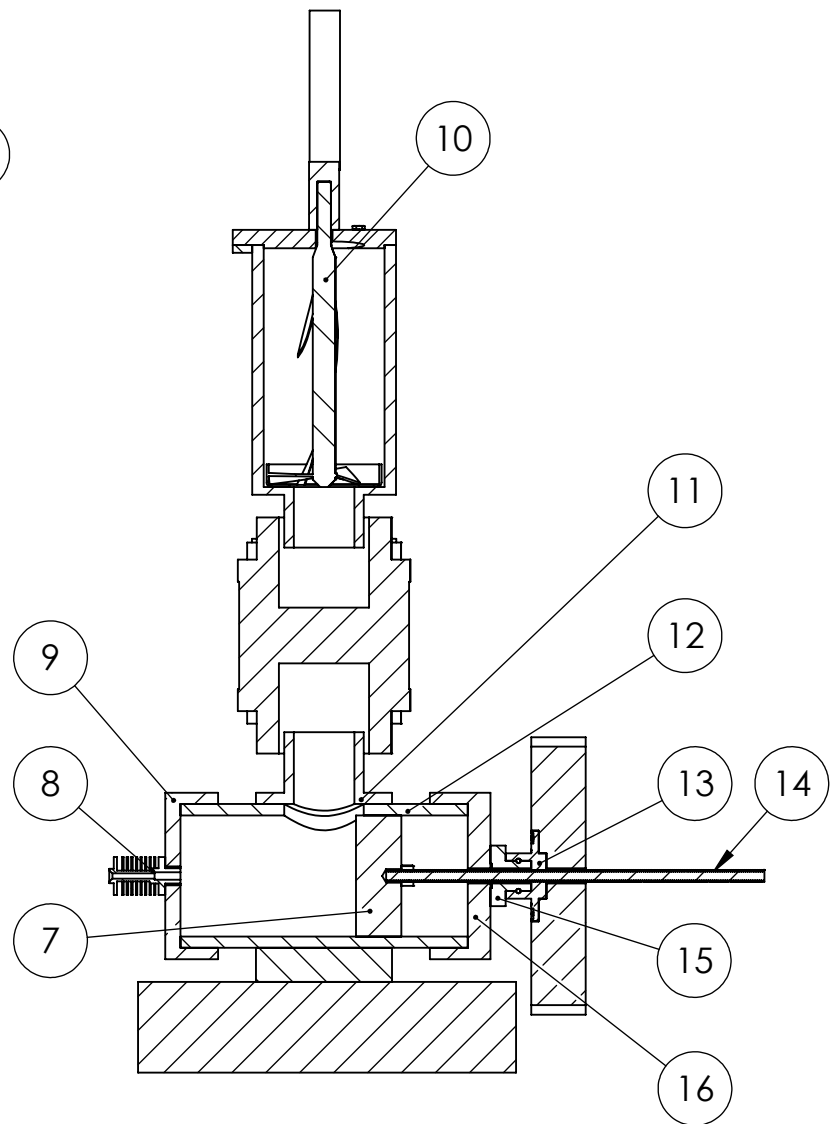
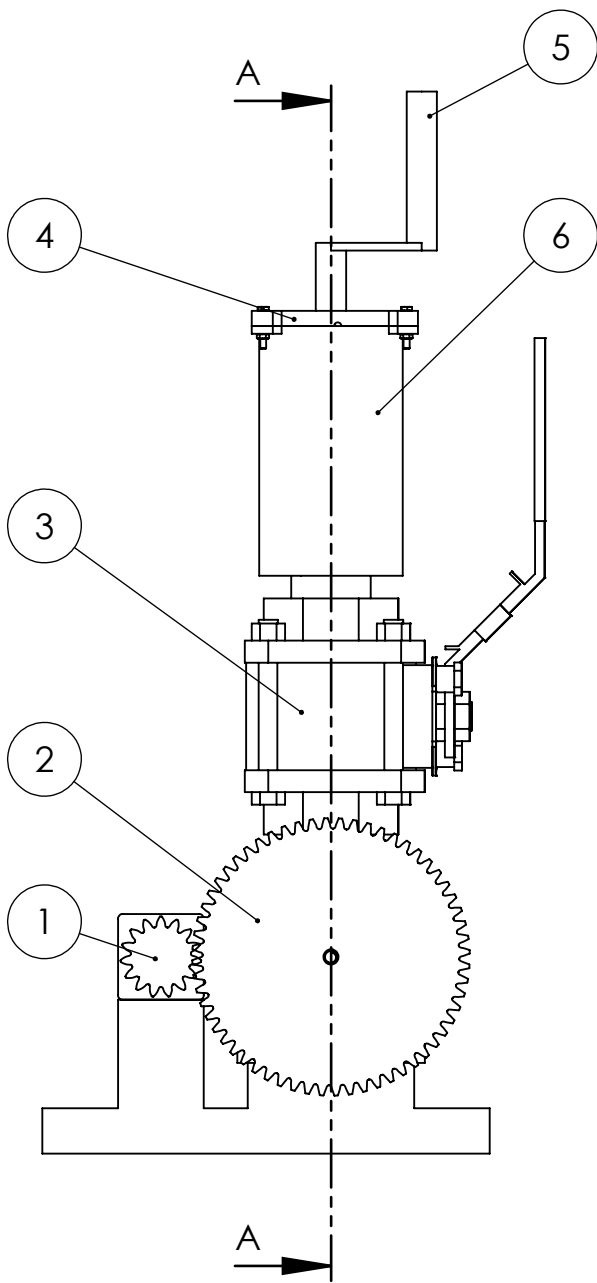
6 Referências

1. *Stratasys Website*. Available from: <http://www.stratasys.com/>.
2. *iBoxPrinters Website*. Available from: <http://www.iboxprinters.com/>.
3. Assis, A.F.d., *Imprimindo no vazio – uma série sobre a impressão 3D - #05 Estereolitografia*. 2015: KeepCAD Tecnologia.
4. Pupo, R. and G. Celani, *Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades*, in *XIV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*. 2008.
5. Luiz Koiti Takagaki, *CAPITULO 3. TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D*. Revista Inovação Tecnológica, 2012.
6. *Ingeo™ Biopolymer 4032D Technical Data Sheet*, NatureWorks, Editor.
7. *BCN3D Technologies catalog*. Available from: <http://www.bcn3dtechnologies.com/es/catalog/product/kit-bcn3d>.
8. *ReDeTec website*. Available from: <http://www.redetec.com/product/>.
9. *Extruder: longitudinal section of a screw extruder*, in *Encyclopedia Britannica*.
10. Caetano, M.J.L., *Fuso ou Parafuso*, in *Ciência e Tecnologia da Borracha*.
11. Rauwendaal, C., *Polymer Extrusion 5E*. Hanser Publishers.
12. Quintas, M.R. and P.A.F.d. Abreu, *Motores eléctricos - Acetatos de apoio*. 2013/2014, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
13. *Economize tempo e dinheiro no ajuste de controladores PID*. Mecatrônica Atual. **26**.
14. Powell, I., *ABS or PLA? Choosing The Right Filament*, in *Make*:. 2014: Makezine.com.
15. Oliver, S.J., *Exploring Extrusion: Variability and Limits*, in *Extrudable.Me*.
16. RepRap, *PLA*. 2015: RepRap Wikipedia.
17. Bettoni, D., *Extrusora Portátil para fabricação de eletrodo revestido*. 2011, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
18. Craig, B., et al., *3D Printer Filament Machine*. Georgia Institute of Technology.
19. Sarco, S., *Válvula Esfera DN ¼" a 2½"*. 2012.
20. Castro, P.M.S.T.d., *Parafusos de Transmissão de Potência e de Ligação*. 2014.
21. Wentzell, T.H., *Machine Design - Power Screws and Ball Screws*. University of NorthernIowa.

22. Gomes, C.M.B.R., *Mecânica das Estruturas - Encurvadura*.
23. Gomes, C.M.B.R., *Mecânica das Estruturas - Torção*.
24. Ferramentas, M., *TABELA PARA PRIMITIVO DE ROSCAS*.
25. UK, R.f., *SHINANO KENSHI Unipolar Hybrid Stepper Motor*
26. KissSoft, *Cylindrical Gear Fine Sizing*. 2015.
27. KissSoft, *Tooth Form Optimizations, Tooth Form Modifications specifically for Plastic, Sintered, Wire-eroded and Form-forged Gears*. 2015.
28. Lanema, *Poliâmidas - Plásticos de Engenharia*.
29. Castro, P.M.S.T.d., *Parafusos de Transmissão de Potência e de Ligação*, in *Orgãos de Máquinas e Anteprojecto*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
30. Gomes, C.M.B.R., *Mecânica das Estruturas - Critérios de Resistência*.
31. OMRON, *Soluções de Regulação - Controlo de processo e temperatura*.
32. *OMRON Website*. Available from:
https://industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/control_components/temperature_controllers/temperature_sensors/e52_el/default.html.
33. Tymark, M., *User Manual for Shredder KIT*. 2014.
34. FAG, *Rolamentos FAG - Catálogo WL 41 520/3 PB*.

7 Anexos

Anexo A



SECTION A-A

Nr.	Nome	Nr.	Nome
1	Pinhão	9	Tampa inicial câmara de extrusão
2	Roda	10	Misturador
3	Passador de esfera	11	Apoio de cilindro
4	Tampa de câmara de fusão	12	Corpo da câmara de extrusão
5	Manivela	13	Insert metálico
6	Corpo de câmara de fusão	14	Veio
7	Embolo	15	Apoio da roda
8	Cold End	16	Tampa final da câmara de extrusão

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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

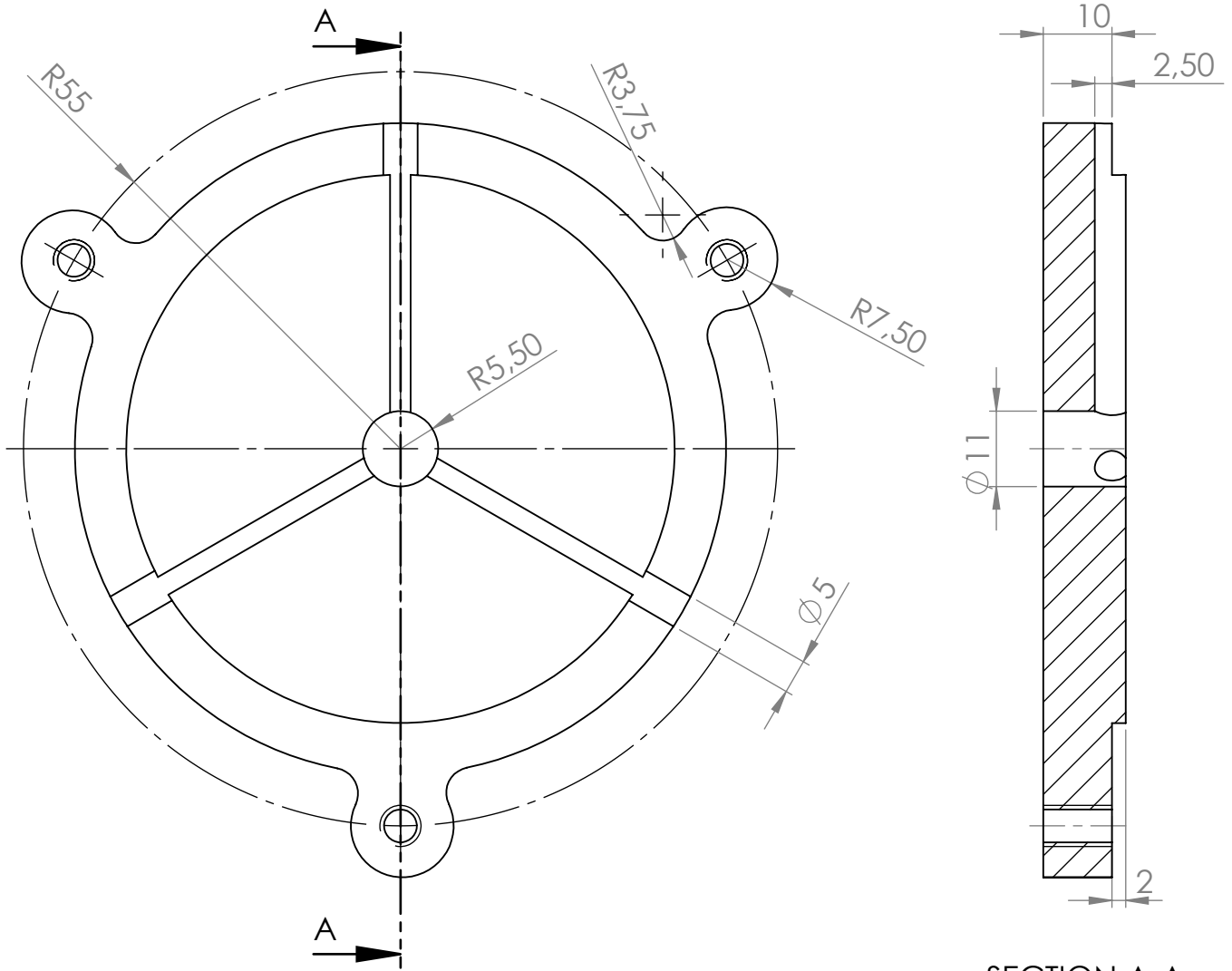
Desenho de conjunto do
Módulo de extrusão

DWG NO.

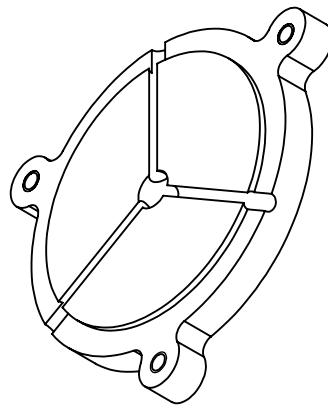
A4

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1



SECTION A-A



SCALE 1 : 2

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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Tampa da câmara de fusão

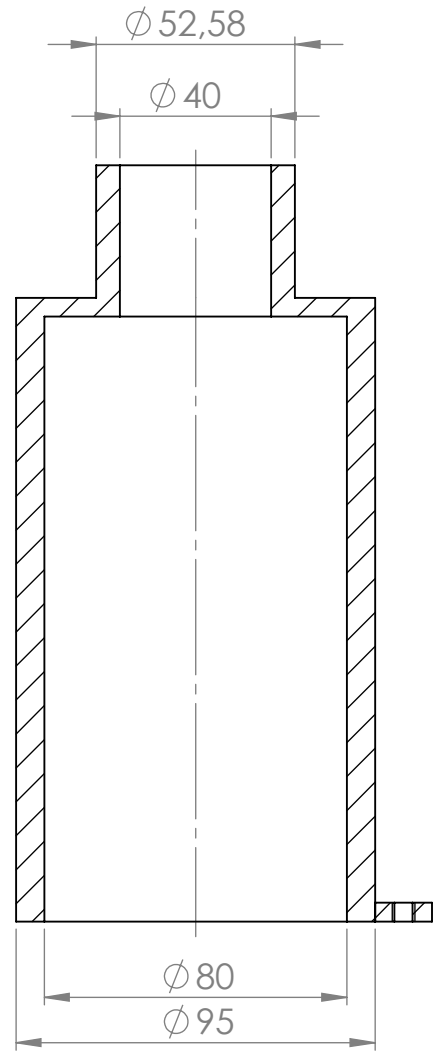
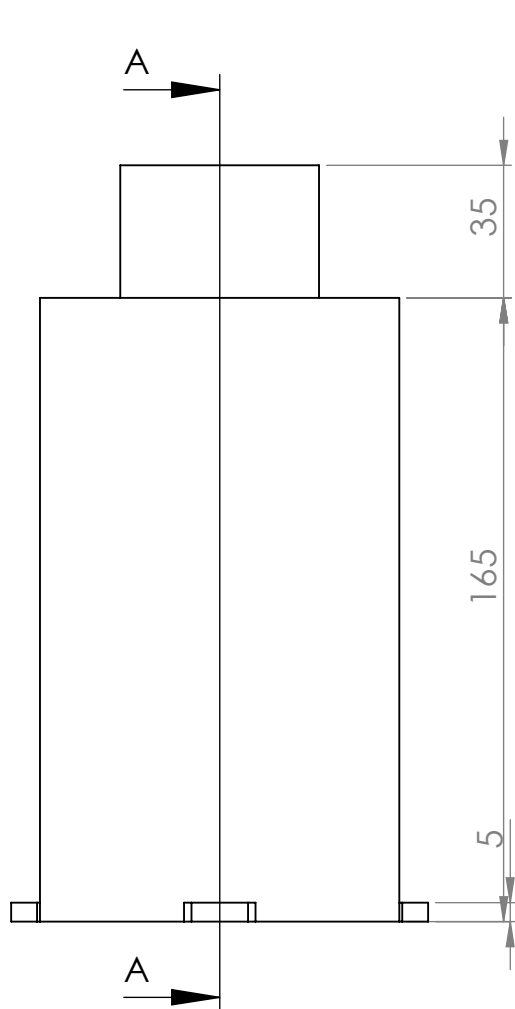
DWG NO.

4

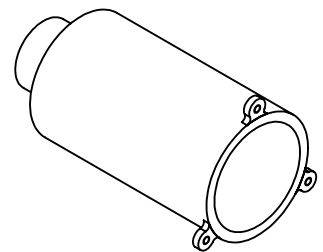
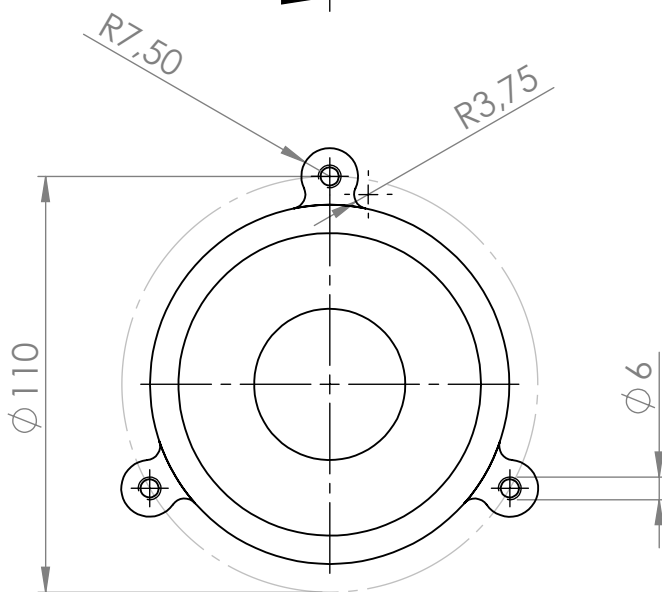
A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



SECTION A-A



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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

cilindro fusão

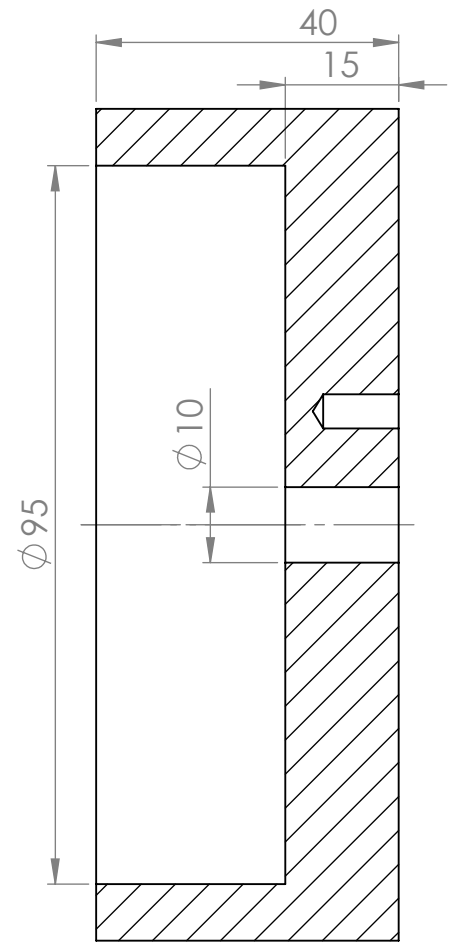
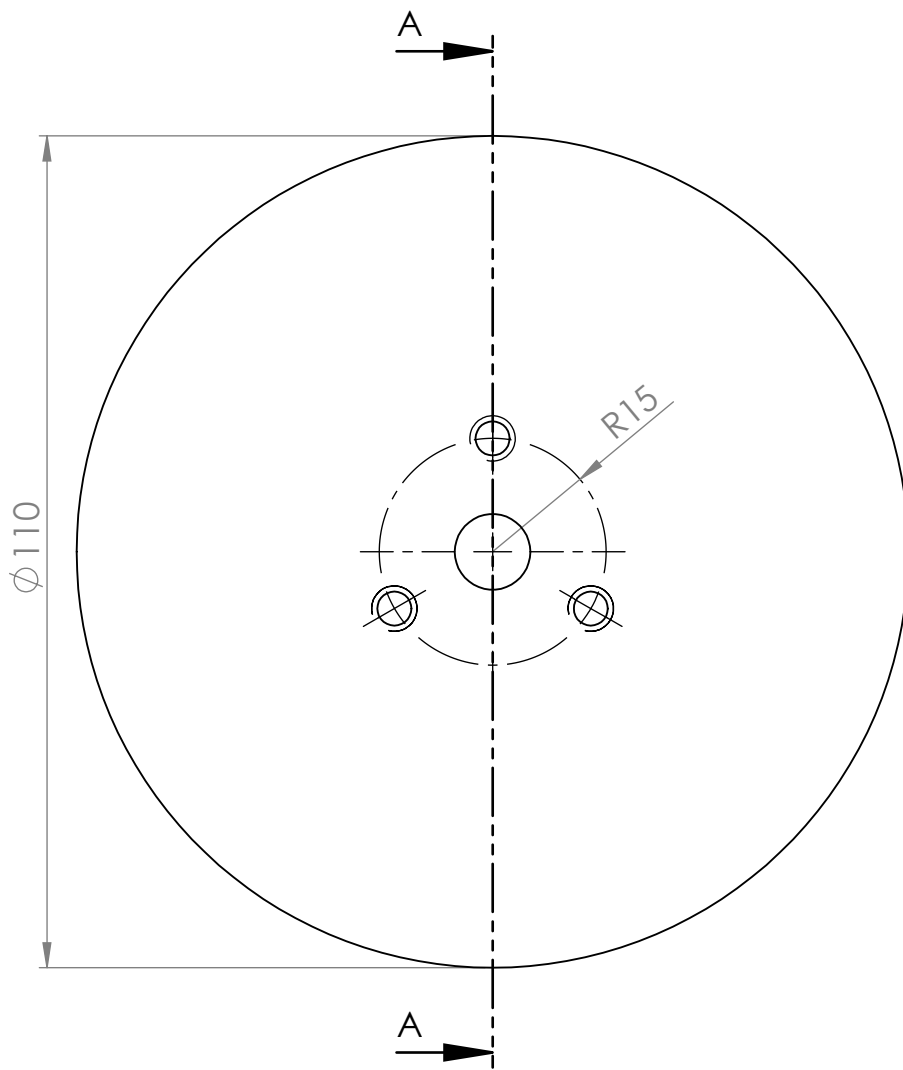
DWG NO.

6

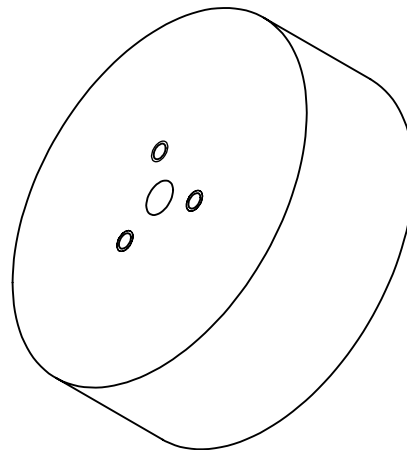
A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



SECTION A-A



SCALE 1 : 2

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

FINISH:

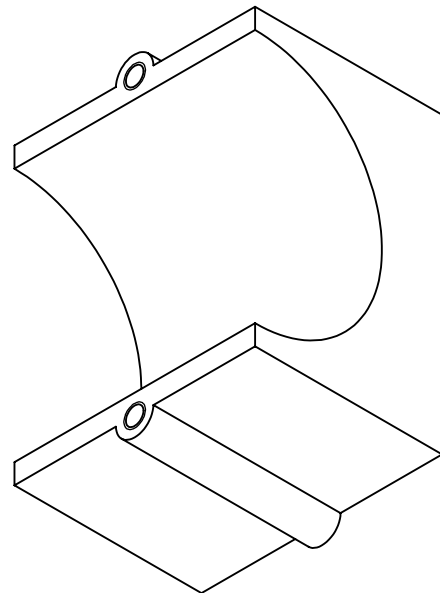
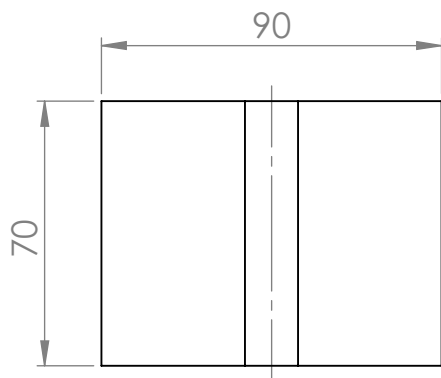
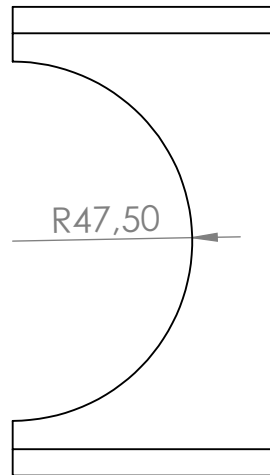
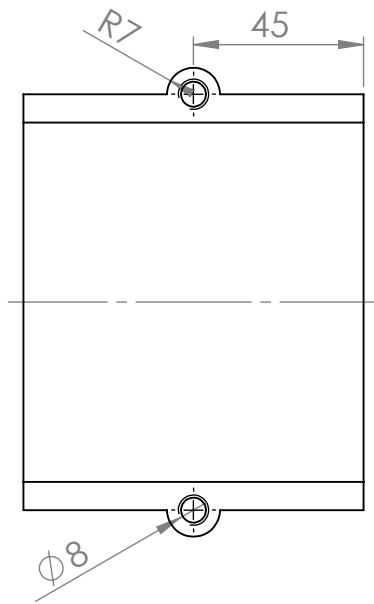
DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:	tampa do cilindro de extrusão	
DWG NO.	9	A4
SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Apoio do cilindro A

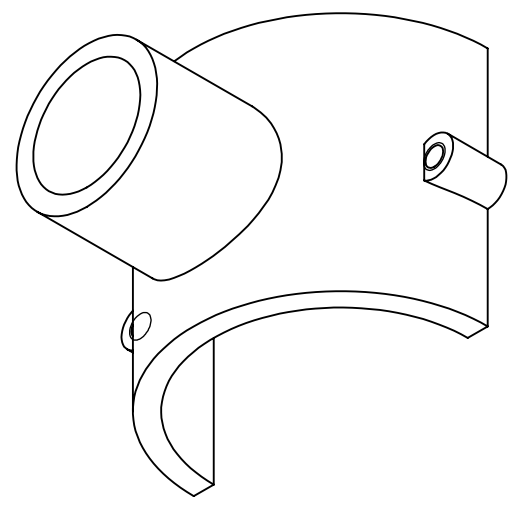
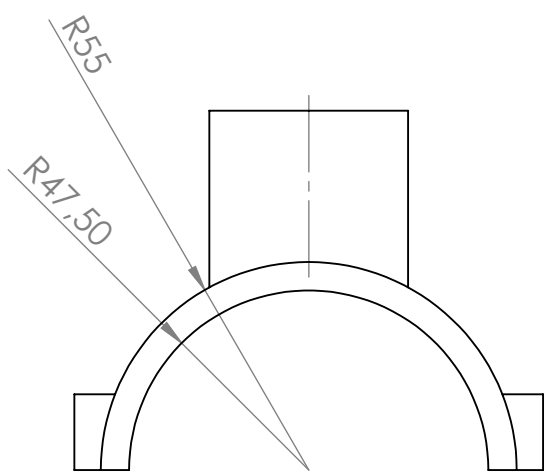
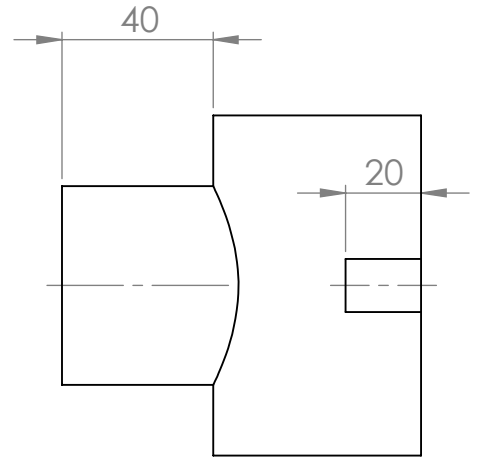
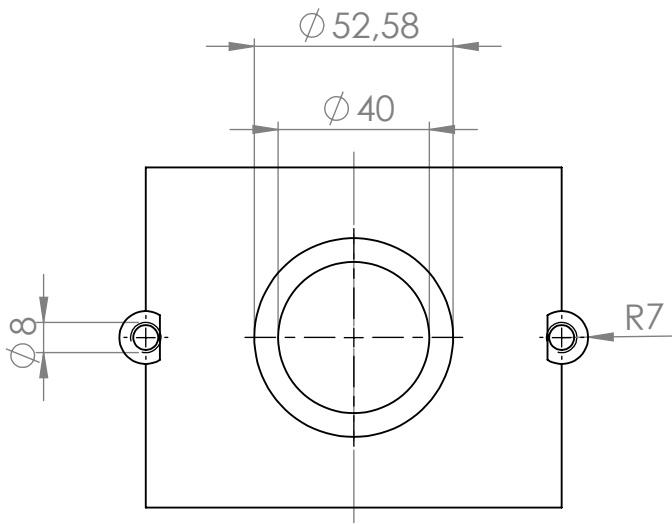
DWG NO.

11 A

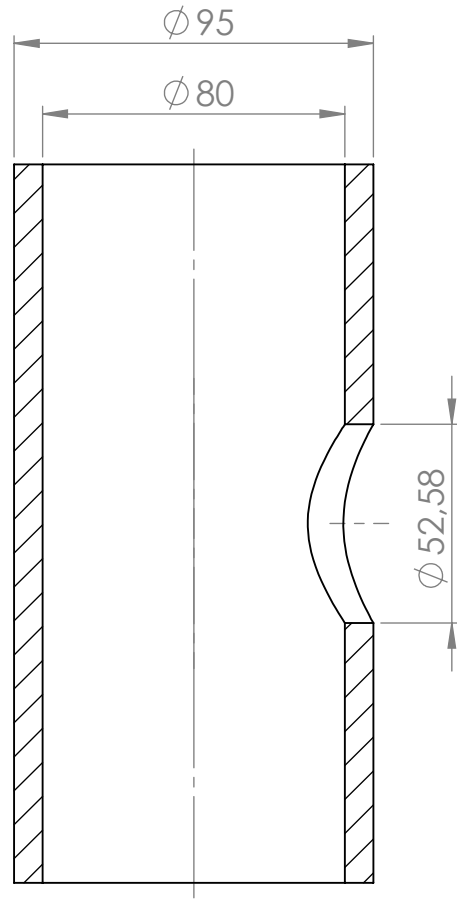
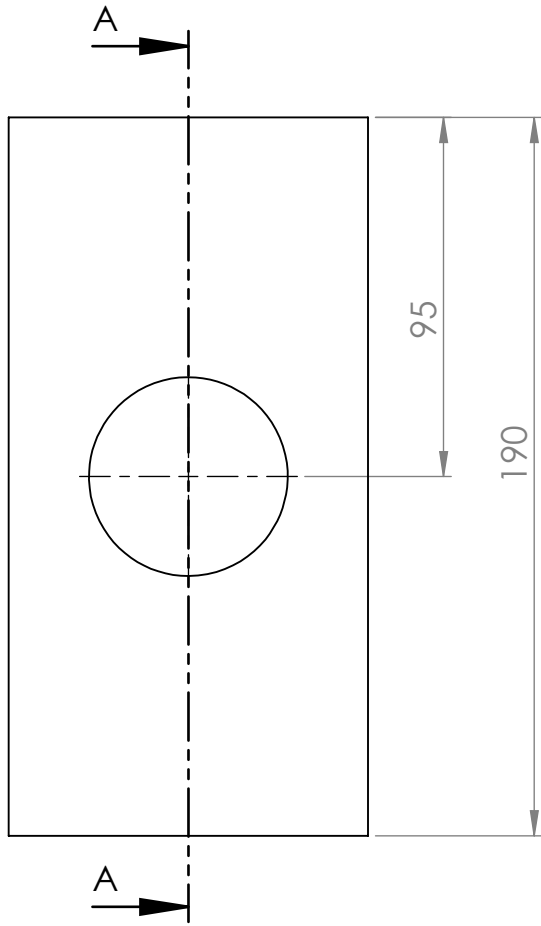
A4

SCALE:1:2

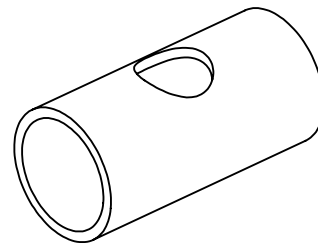
SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE: Apoio de cilindro B			
CHK'D								DWG NO. 11 B			
APPV'D											
MFG								A4			
Q.A						MATERIAL:					
						WEIGHT:		SCALE:1:2			
								SHEET 1 OF 1			

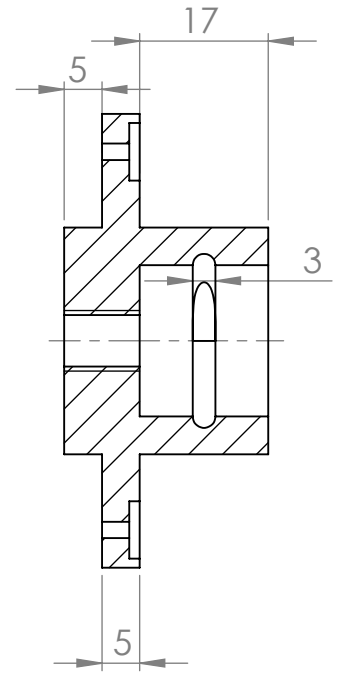
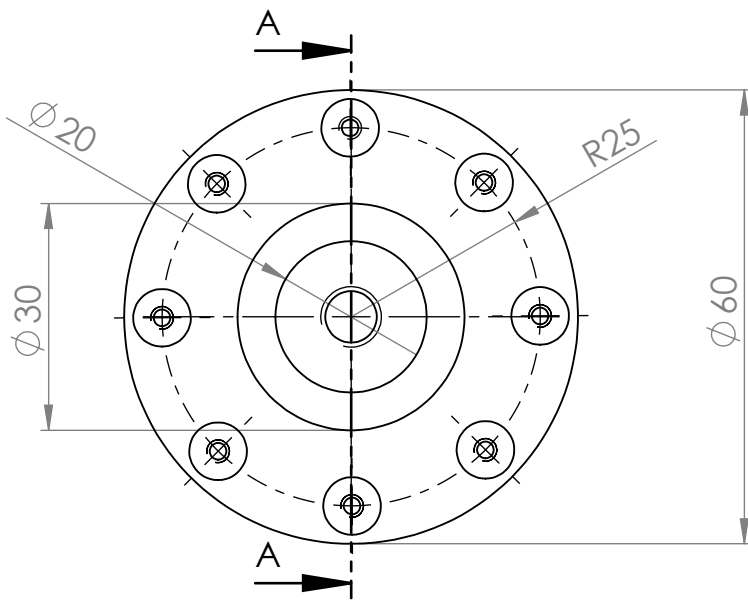


SECTION A-A

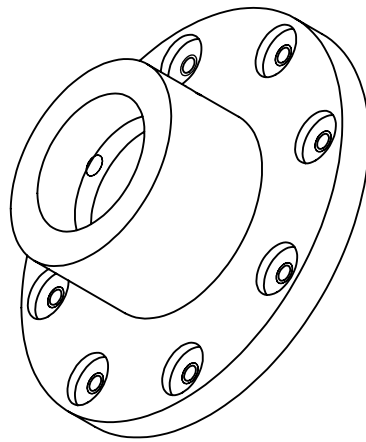


SCALE 1 : 5

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE: Cilindro de extrusão			
CHK'D								DWG NO. 12			
APPV'D											
MFG								A4			
Q.A						MATERIAL:					
						WEIGHT:		SCALE:1:2 SHEET 1 OF 1			



SECTION A-A



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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Insert metálico

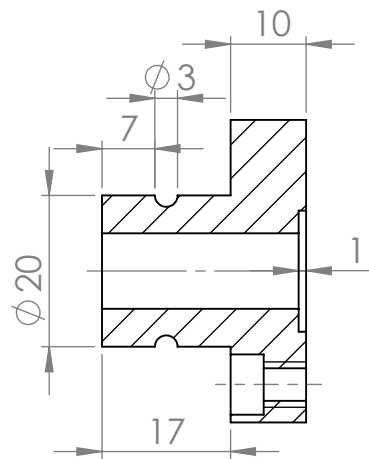
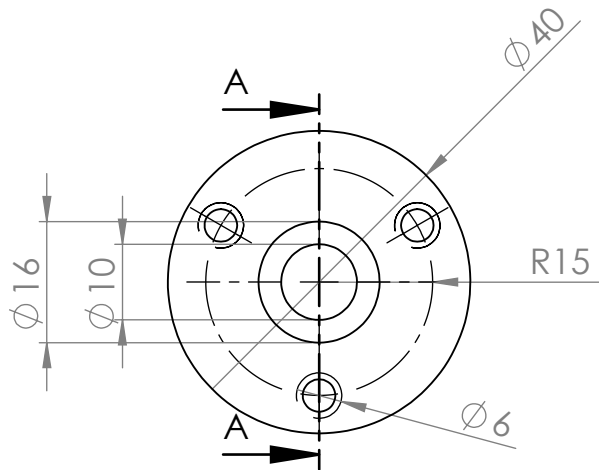
DWG NO.

13

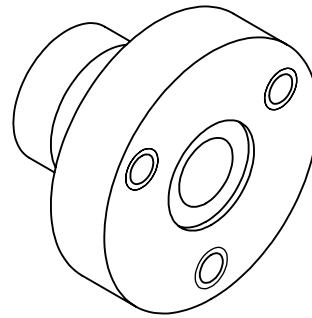
A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



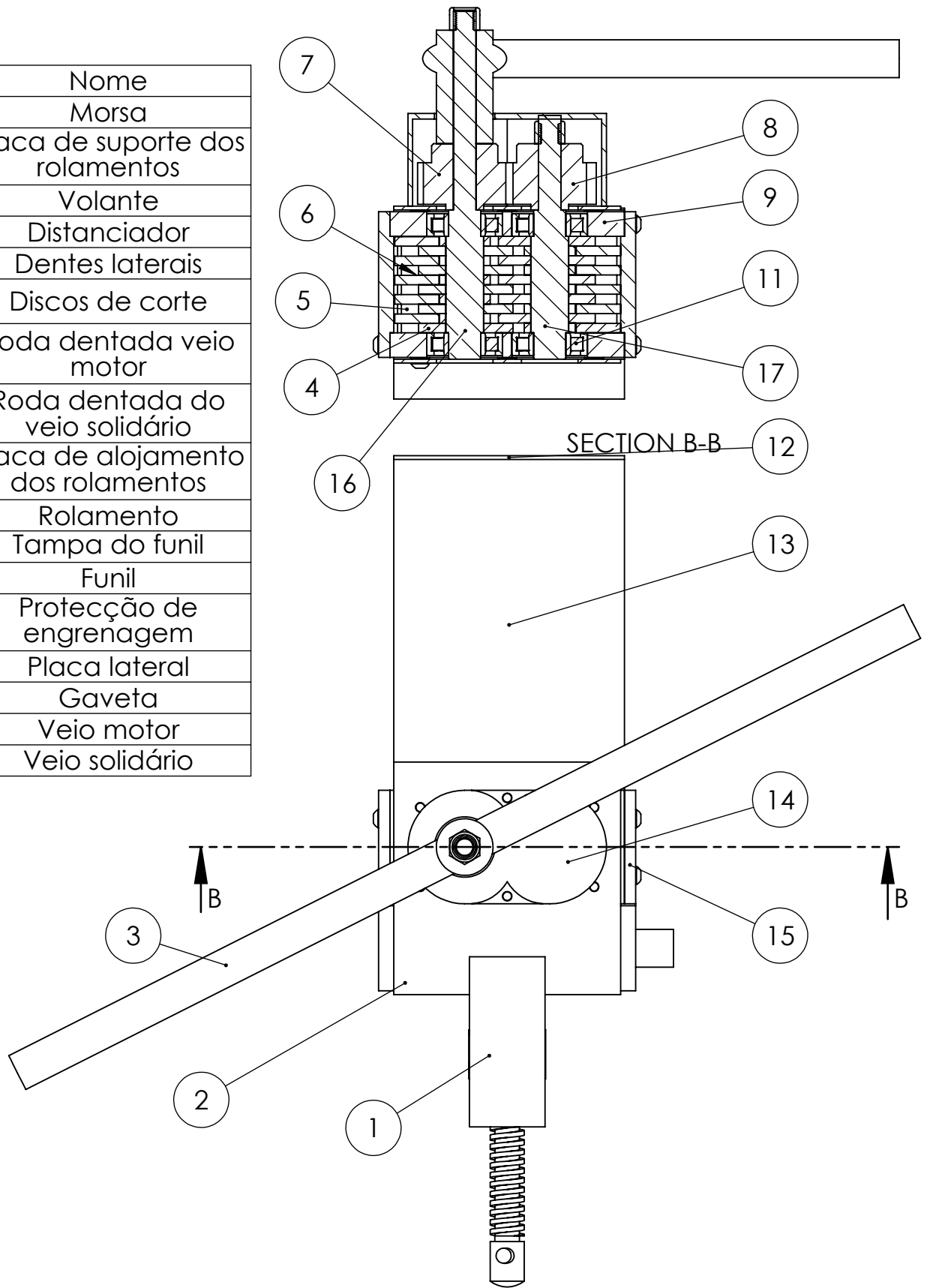
SECTION A-A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME				SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN								Apoio da roda			
CHK'D											
APPV'D								DWG NO. 15			
MFG											
Q.A						MATERIAL:		A4			
						WEIGHT:		SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	

Anexo B

Nr.	Nome
1	Morsa
2	Placa de suporte dos rolamentos
3	Volante
4	Distanciador
5	Dentes laterais
6	Discos de corte
7	Roda dentada veio motor
8	Roda dentada do veio solidário
9	Placa de alojamento dos rolamentos
10	Rolamento
11	Tampa do funil
12	Funil
13	Protecção de engrenagem
14	Placa lateral
15	Gaveta
16	Veio motor
17	Veio solidário



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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A			MATERIAL:	
			WEIGHT:	

TITLE:

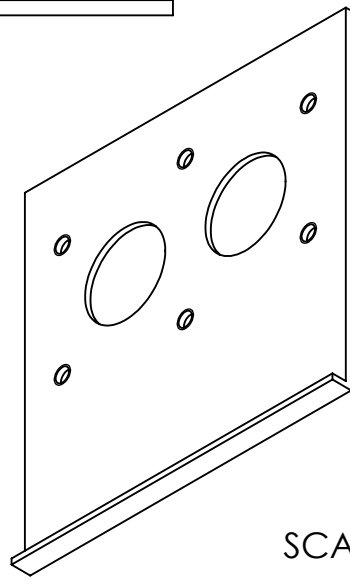
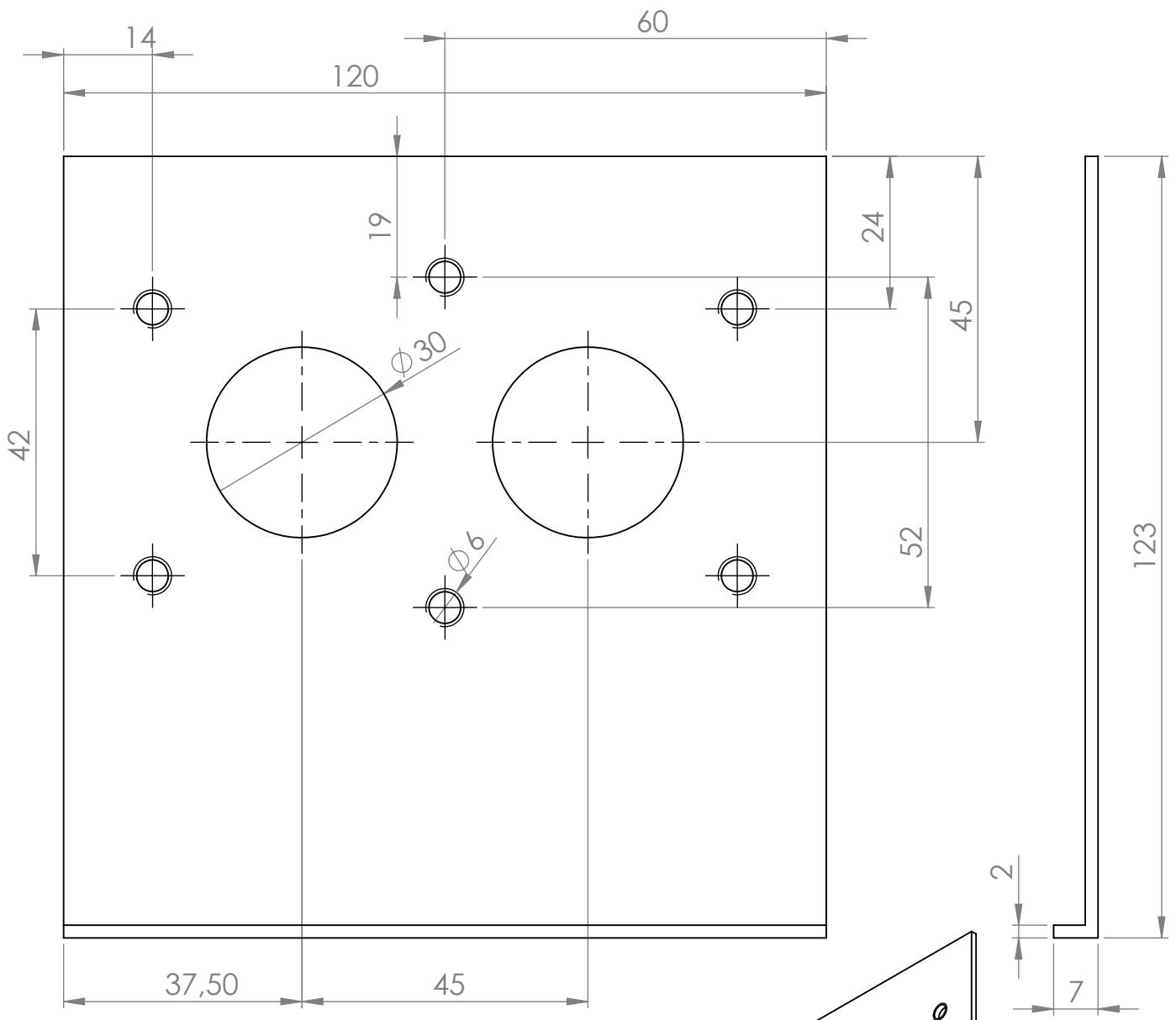
Desenho de conjunto do
Módulo de trituração

DWG NO.

A4

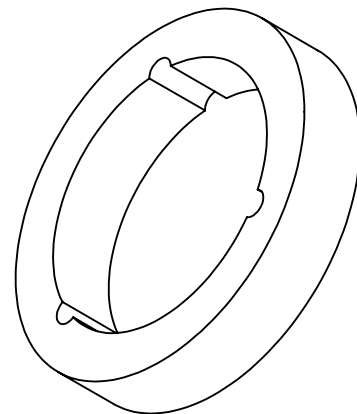
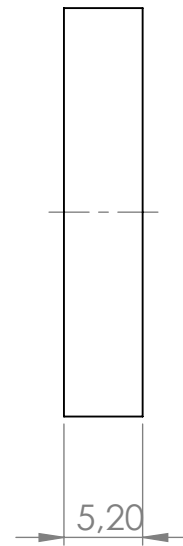
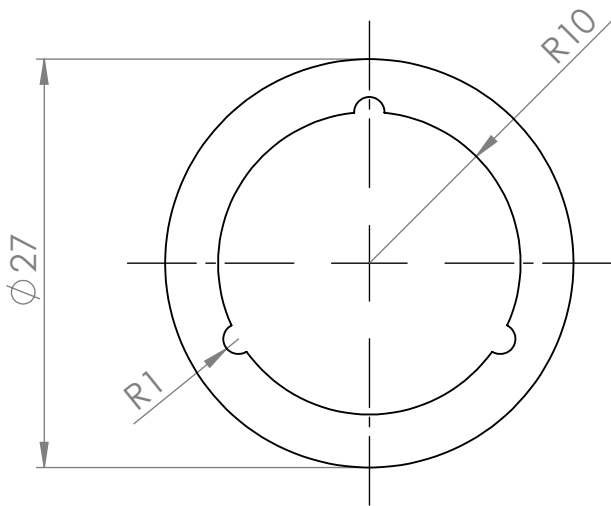
SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1



SCALE 1 : 2

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN				SIGNATURE		DATE		TITLE: Placa de suporte do rolamento			
CHK'D								DWG NO. 2			
APPV'D								A4			
MFG								SCALE:1:1			
Q.A				MATERIAL:				SHEET 1 OF 1			
				WEIGHT:							



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

FINISH:

DEBUR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Distanciador

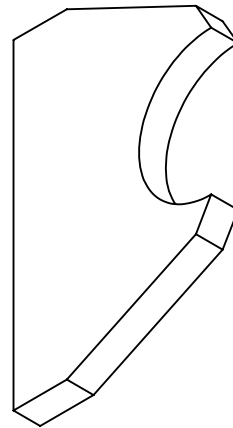
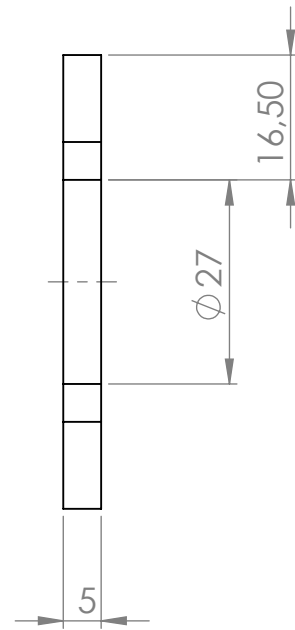
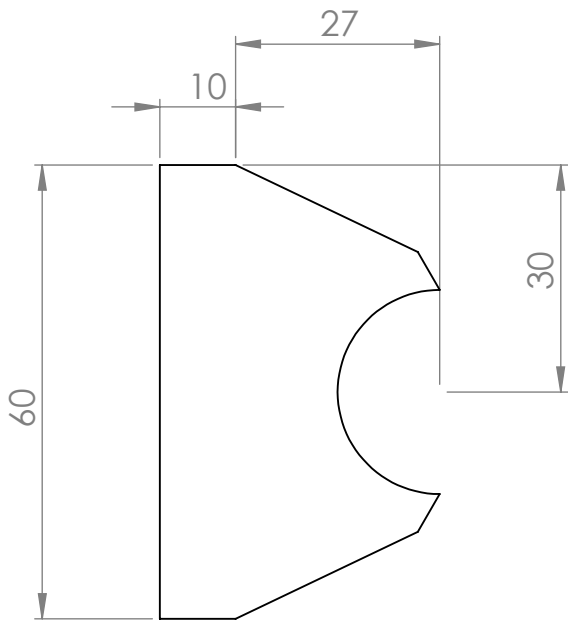
DWG NO.

4

A4

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

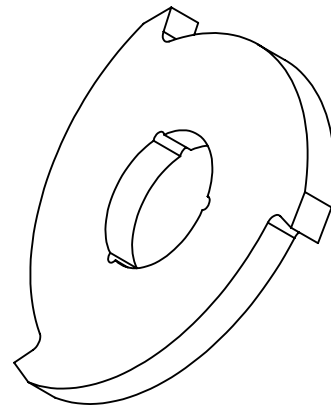
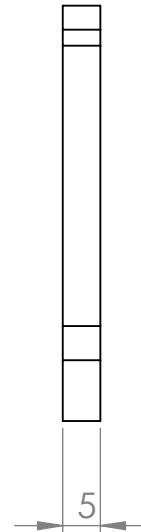
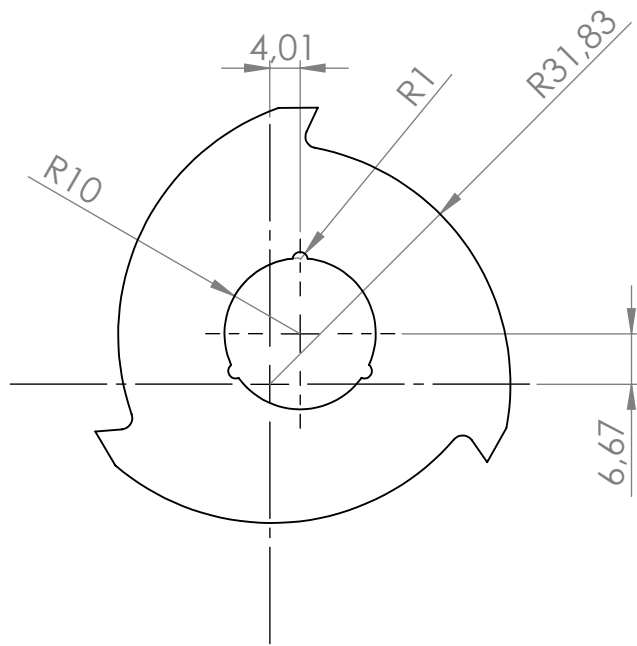
DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:	
Dentes laterais	
DWG NO.	5
	A4
SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Disco de corte

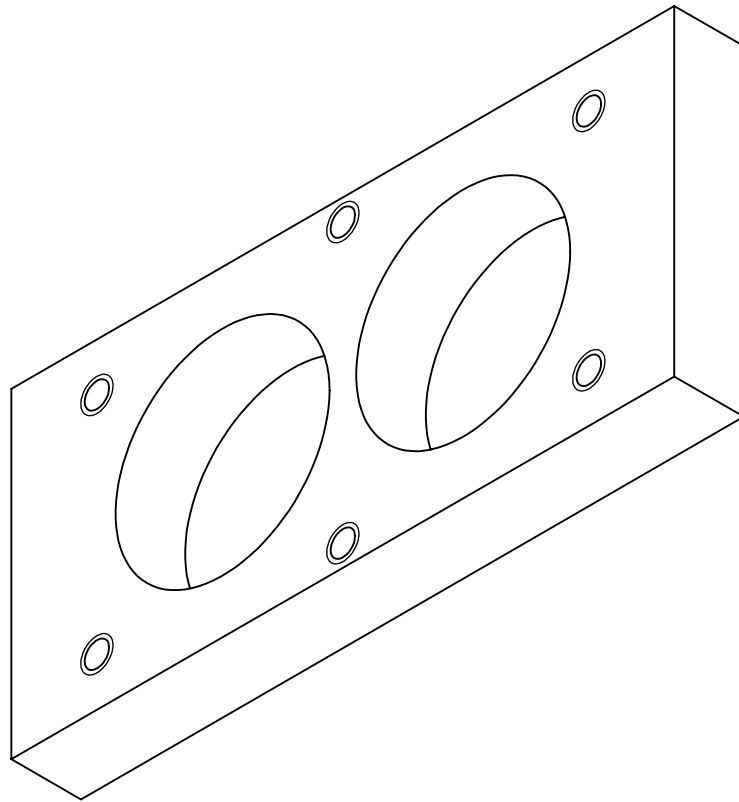
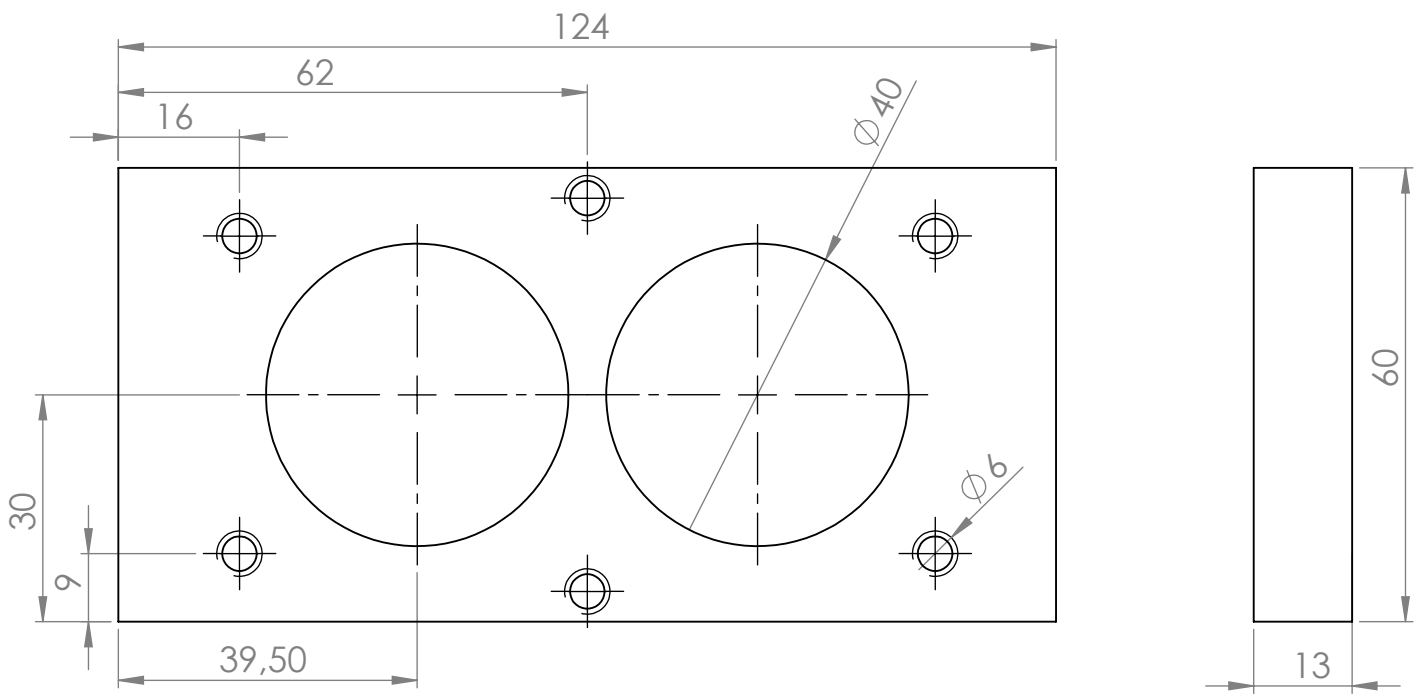
DWG NO.

6

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Placa de alojamento dos rolamentos

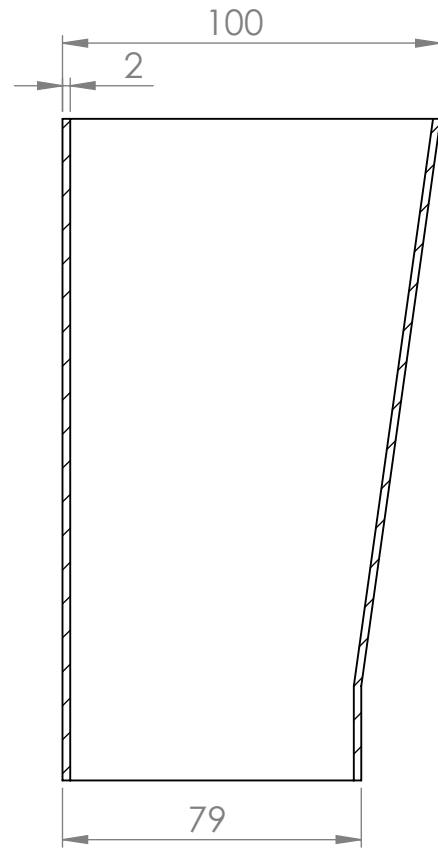
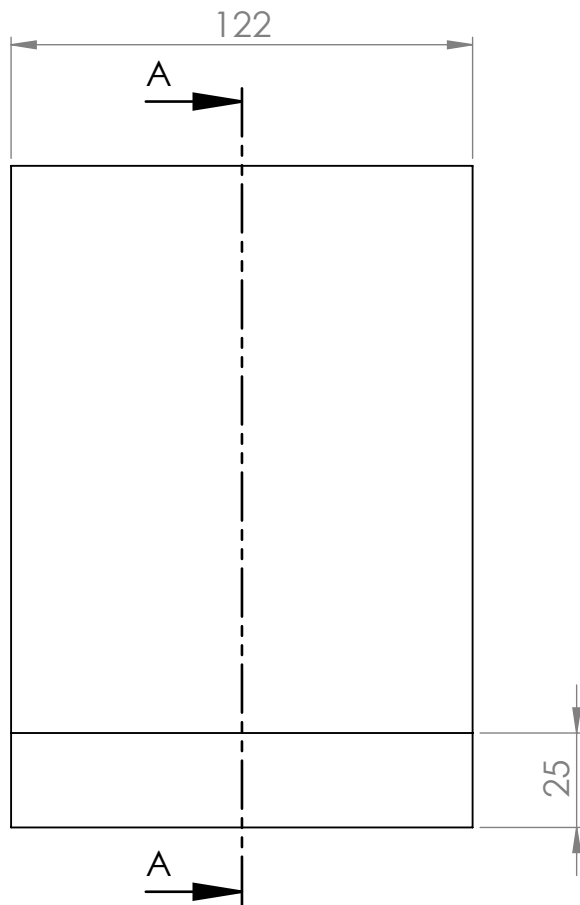
DWG NO.

9

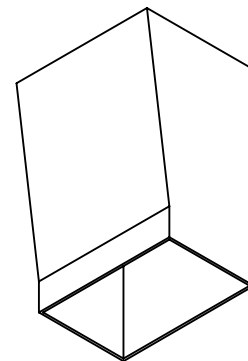
A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



SECTION A-A



SCALE 1 : 5

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

FINISH:

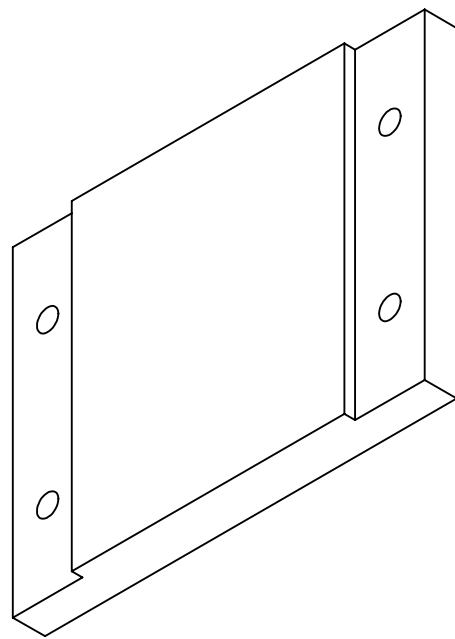
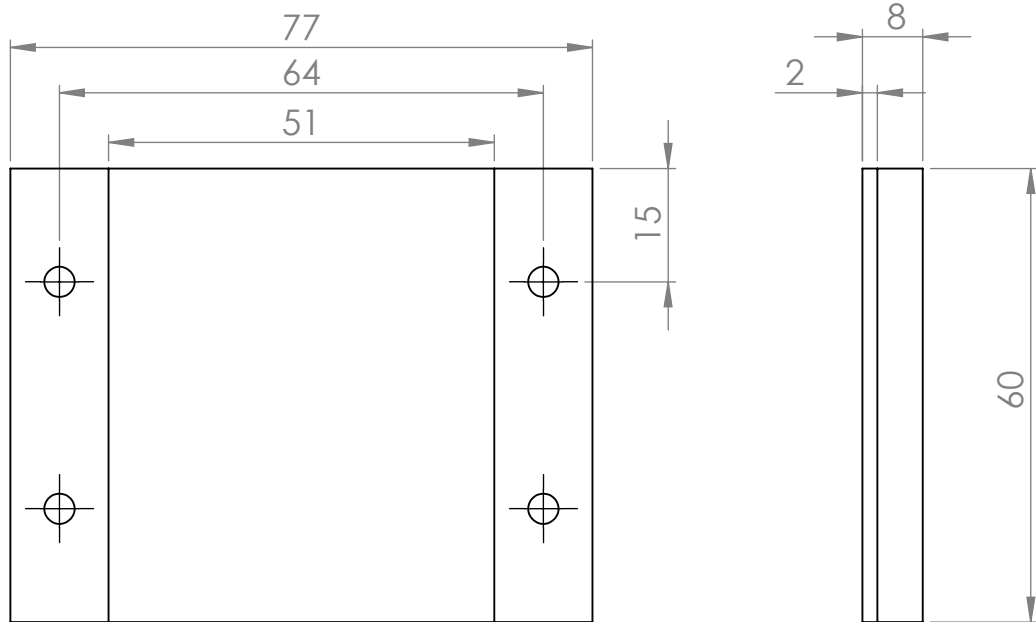
DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:		Funil de alimentação	
DWG NO.	12	A4	
SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1		



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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Placa lateral

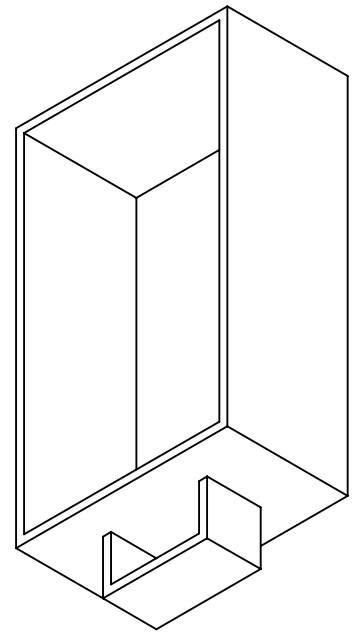
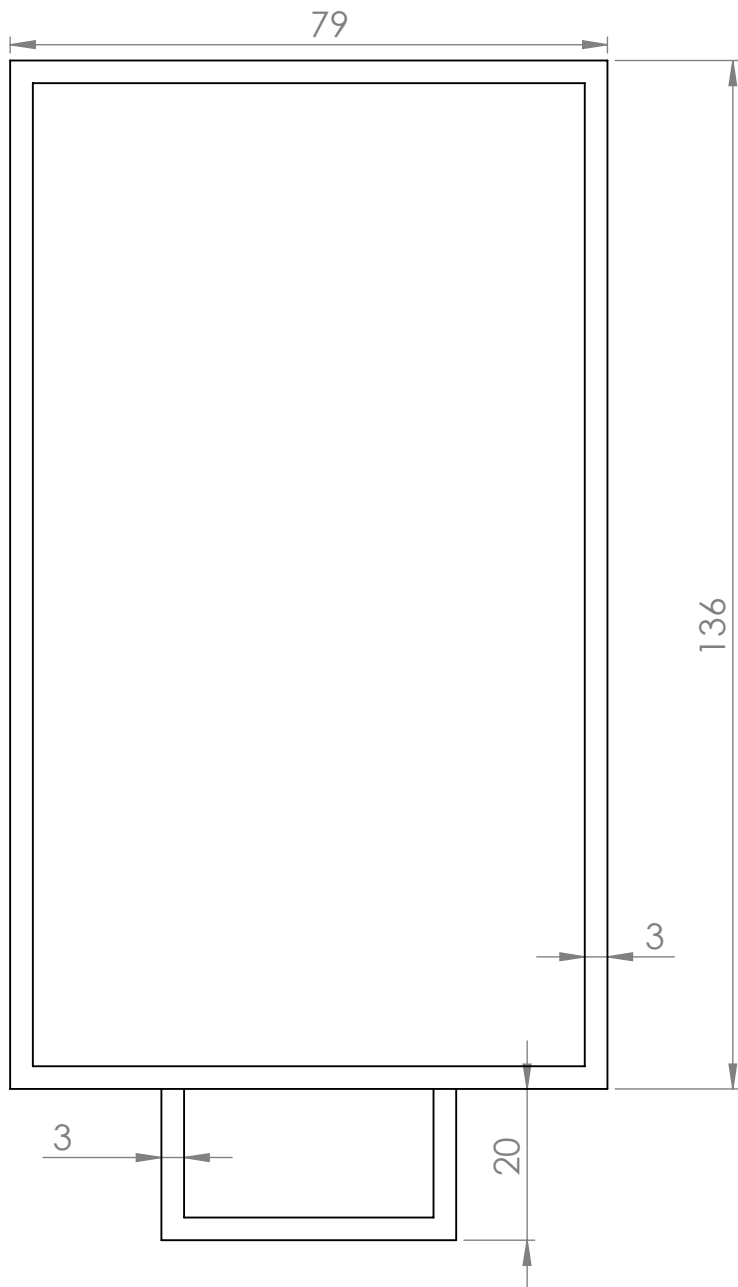
DWG NO.

14

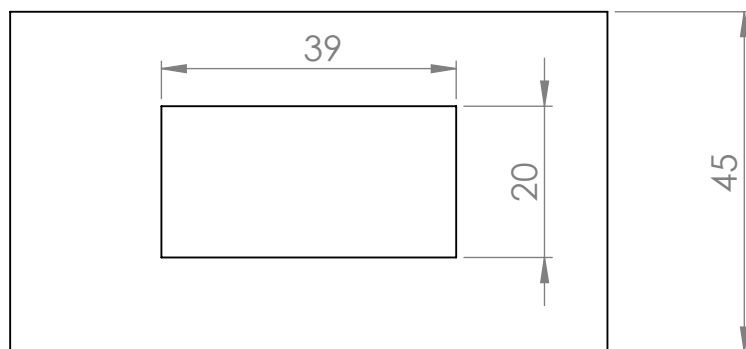
A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



SCALE 1 : 2



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

FINISH:

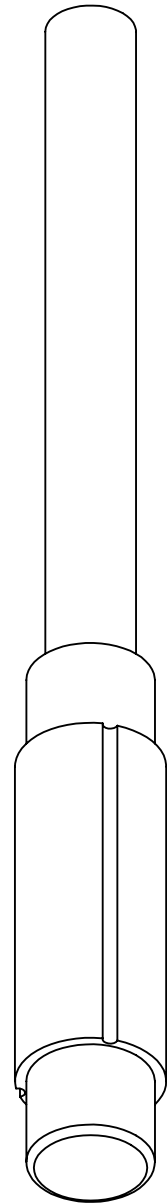
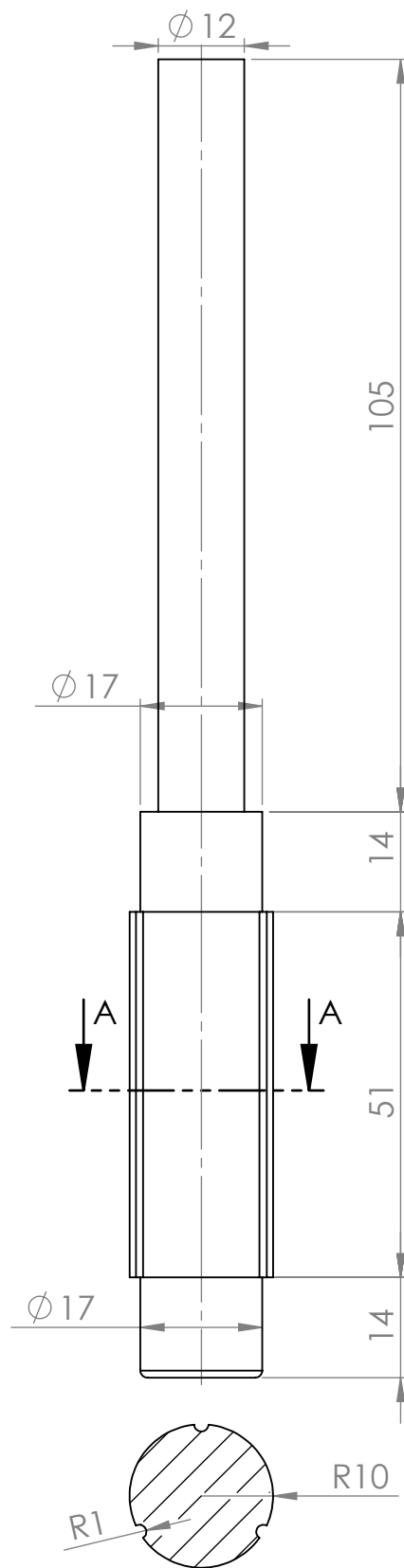
DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:		Gaveta de triturador	
DWG NO.	15	A4	
SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	



SECTION A-A

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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Veio motor

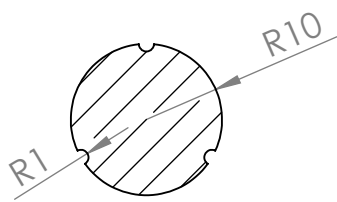
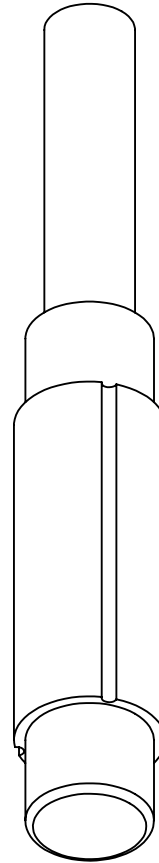
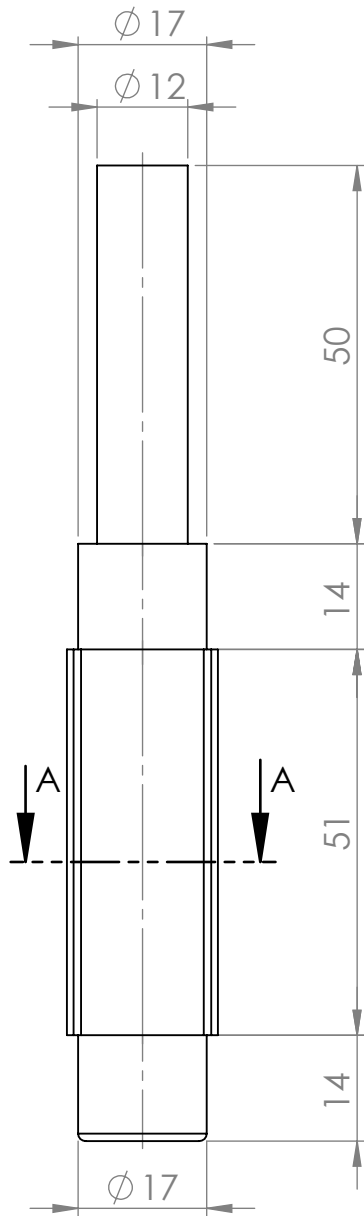
DWG NO.

16

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



SECTION A-A

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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Veio solidário

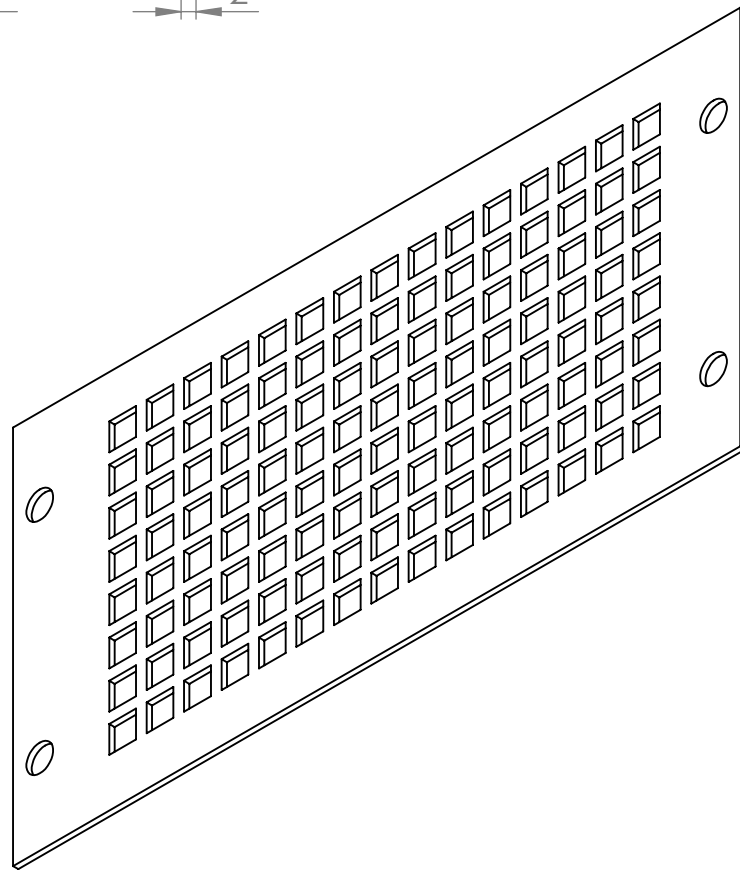
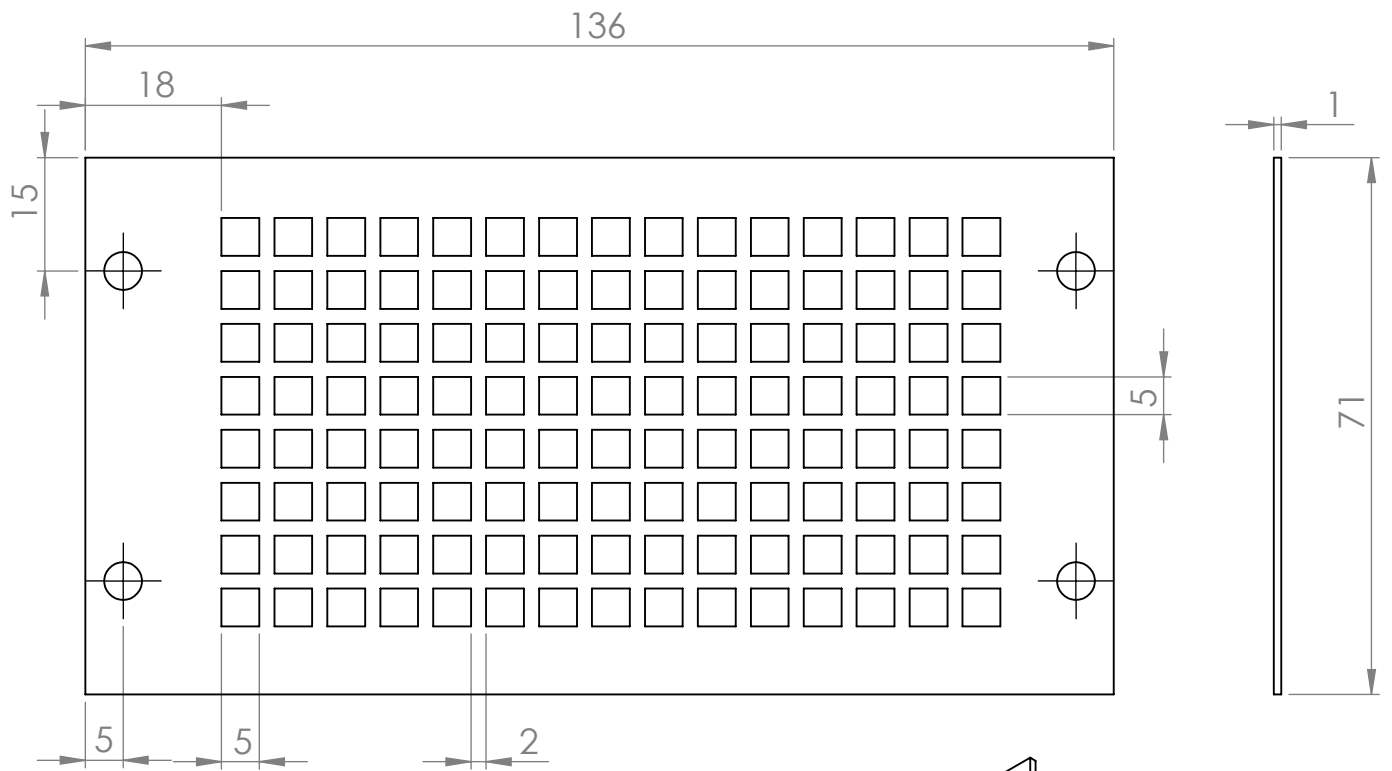
DWG NO.

17

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



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

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:

Placa de controlo de grão

DWG NO.

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1