



Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

João Filipe Lopes

Estudo e conceção de um equipamento de
reciclagem de material resultante de impressão 3D

Novembro de 2021

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



João Filipe Lopes

Estudo e conceção de um equipamento de
reciclagem de material resultante de impressão 3D

Trabalho de Iniciação à Dissertação

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Orientador: Professor Eng. Daniel Gaspar

Novembro de 2021

RESUMO

A impressão 3D é uma tecnologia em constante desenvolvimento e será uma arma forte da indústria 4.0. A massificação da utilização do plástico em geral, acarreta uma maior responsabilidade pelo ciclo de vida destes materiais. Assim sendo, a reciclagem tem um papel fundamental na sustentabilidade destes recursos e na gestão de resíduos.

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo e projeto de uma solução que permita a reciclagem de resíduos resultantes do processo de impressão 3D, tornando-os reutilizáveis para equipamentos correntes de fabricação aditiva de PLA.

O projeto prático em questão, recorreu ao dimensionamento de elementos críticos do equipamento, que exigiram uma pesquisa exaustiva, tanto dos processos de corte envolvidos na trituradora, como no processo de extrusão de plástico que ocorre na extrusora. Para isso, foram utilizados métodos analíticos, suportados pela bibliografia existente, e com o auxílio de software de elementos finitos.

Os resultados obtidos neste estudo, apesar de não comprovados praticamente, mostraram-se credíveis, comparativamente com equipamentos similares, já existentes no mercado.

Ao longo deste estudo foi demonstrado, que esta é uma solução teoricamente viável e exequível de ser posta em prática, no entanto, carece de ensaios experimentais que avaliem o comportamento do PLA reciclado no processo de impressão 3D, bem como, das propriedades físicas do material impresso.

A reciclagem e utilização de materiais orgânicos, como o PLA, são objeto de estudo desta dissertação e são dois tópicos importantes, contribuintes para a sustentabilidade dos recursos e redução da poluição do planeta em que vivemos.

ABSTRACT

3D printing is an ever-evolving industry. It promises to be a strong weapon of industry 4.0 and to contribute to the global shortage of resources, making access to housing, transportation and even food easier by reducing costs and improving process flexibility.

However, this technology presents some limitations in terms of materials and in the process itself that are constantly being researched and developed for the potential it demonstrates in the various sectors in which it already operates in the areas of health, construction, architecture, automobile, aerospace, among others.

In the FDM (Fused Deposition Modeling) process, PLA (lactic polyacid) plastic is considered as the material of choice for its price-quality relation associated with an interesting ecological aspect, since it is of vegetal origin and biodegradable.

The widespread use of plastic in general leads to greater responsibility for the life cycle of these materials. Therefore, recycling plays a fundamental role in the sustainability of these resources and waste management.

Therefore, the main objective of this dissertation is the study, design and construction of a solution that allows the recycling of residues resulting from the 3D printing process, making them reusable for current PLA additive manufacturing equipment.

PALAVRAS-CHAVE

Extrusora de plástico
Impressão 3D
PLA
Projeto mecânico
Reciclagem
Trituradora de plástico
CAD

KEY WORDS

Plastic extruder
3D Printing
PLA
Mechanical project
Recycling
Plastic Shredder
CAD

Agradecimentos

A realização deste trabalho de mestrado, só foi possível com o apoio de algumas pessoas. A todas elas, manifesto o meu profundo agradecimento, com a certeza, que em cada parte deste documento está, direta ou indiretamente, o seu contributo. Assim, dedico e manifesto os meus especiais agradecimentos:

Ao Professor Engenheiro Daniel Gaspar, meu incansável orientador, por toda a dedicação, paciência e conhecimento transmitido, pela amizade e apoio em todos os momentos, pelo entusiasmo e palavras motivadoras que foram os alicerces que tornaram possível a conclusão deste projeto.

Ao Professor Engenheiro José Salgueiro, pelo rigor, sabedoria e conhecimento transmitido, pela sua visão crítica e oportuna, contribuindo consideravelmente para o enriquecimento científico do trabalho realizado.

À Enfermeira Mafalda Mendes, minha namorada, por toda a dedicação, companheirismo e apoio incondicional, pelo encorajamento nos momentos mais difíceis, pela preocupação e conselhos sempre oportunos, pela ajuda na estruturação, aperfeiçoamento e correção do documento. Sem ela, nada seria possível.

Ao Engenheiro Fernando Lopes, meu irmão e companheiro de uma vida, pelo conhecimento partilhado e ideias discutidas, pela paciência e disponibilidade, pela ajuda preciosa na elaboração dos esquemas elétricos.

Aos meus avós João e Rosa Filipe e à minha mãe, Cristina Lopes, pelas palavras encorajadoras e motivadoras, pelo seu apoio constante e incondicional e por tudo o que sou hoje. Um grande obrigado.

ÍNDICE GERAL

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento teórico.....	1
1.2. Objetivo geral	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Cronograma	3
1.5. Estrutura da tese	3
2. A Impressão 3D	5
2.1. História e evolução.....	5
2.2. Aplicações e limitações	6
2.3. Estado atual - As impressoras e os extrusores.....	8
2.4. O Software de impressão 3D.....	13
2.5. Materiais mais utilizados na impressão 3D – FDM	15
2.6. O PLA, a sua origem e características.....	16
2.7. Os diversos tipos de PLA	16
2.8. O processo de reciclagem de plástico.....	17
2.9. Aditivos utilizados na reciclagem de plástico	18
3. Estudo e análise do projeto (de conceção do equipamento de reciclagem).....	19
3.1. Os projetos, estudos e patentes.....	19
3.2. Definição e requisitos do projeto.....	22
3.3. Trituradora.....	22
3.4. Extrusora	34
4. Conceção do equipamento de reciclagem.....	43
4.1. Triturador/Moinho de facas.....	43
4.2. Extrusora/Bobinadora.....	47
4.3. Layout geral.....	52
5. Conclusões e trabalhos futuros	55
Referências bibliográficas.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	LSEV veículo elétrico fabricado em impressão 3D	6
Figura 2-1	Impressora 3D FDM com descrição dos vários constituintes	8
Figura 3-1	Distinção entre impressoras cartesianas core xy e modelo comum	9
Figura 4-1	Arquitetura Delta com ilustração dos movimentos	10
Figura 5-1	Impressora 3D Delta	10
Figura 6-1	Impressora 3D Polar	11
Figura 7-1	Ilustração dos constituintes de um extrusor	11
Figura 8-1	Extrusor direto vs Extrusor de Bowden	12
Figura 9-1	Impressora equipada com Extrusor direto	12
Figura 10-1	Impressora equipada com Extrusor de Bowden	12
Figura 11-1	Software Cura	13
Figura 12-1	Software Slic3r	13
Figura 13-1	Software 3D Slash	14
Figura 14-1	Software Netfabb 2018	14
Figura 15-1	Linha de reciclagem de plástico	18
Figura 16-1	Capa do fascículo da parede de invenção PT2853374 T	19
Figura 17-1	Esquema de máquina de reciclagem de plástico	20
Figura 18-1	Módulo de trituração da tese “Conceção e desenvolvimento...”	21
Figura 18-2	Módulo de extrusão da tese “Conceção e desenvolvimento...”	21
Figura 19-1	Máquina de trituração de plástico	21
Figura 20-1	Moinho triturador de facas	23
Figura 21-1	Diferentes geometrias de facas	23
Figura 22-1	Peneiras de diferentes calibres	23
Figura 23-1	Sensor e relé de segurança PILZ	24
Figura 24-1	Interação faca/peça PLA	25
Figura 25-1	Área de corte faca/peça PLA	26
Figura 26-1	Análise de elementos finitos aplicando 170N de força à faca – Tensão de Von Mises	28
Figura 26-2	Análise de elementos finitos aplicando 170N de força à faca – Tensão máxima principal	28
Figura 26-3	Análise de elementos finitos aplicando 170N de força à faca – Tensão mínima principal	28

Figura 26-4	Análise de elementos finitos aplicando 170N de força à faca – Deformação	28
Figura 27-1	Disposição das facas e veios de transmissão	29
Figura 28-1	Ilustração das cargas aplicadas no veio	30
Figura 28-2	Ilustração das cargas aplicadas no veio	30
Figura 28-3	Diagrama de corpo livre do veio, diagrama de momentos tensores e de tensões de corte à torção	31
Figura 28-4	Diagrama de corpo livre do veio, diagrama de esforços cortantes, diagrama de tensões de corte e de tensões de flexão	32
Figura 29-1	Dados do moto redutor SEW-Eurodrive R27DRM100LS4	33
Figura 30-1	Esquema de uma extrusora de plástico	34
Figura 31-1	Componentes e características de um extrusor de rosca única	34
Figura 32-1	Resistência de banda	35
Figura 33-1	Esquema de parâmetros geométricos do fuso	36
Figura 34-1	Diagrama para determinação da altura do canal do fuso	37
Figura 35-1	Perfil do fuso de acordo com os parâmetros determinados	38
Figura 36-1	Curvas características da extrusora e do <i>nozzle</i>	39
Figura 37-1	Motor stepper NEMA 34	42
Figura 38-1	Linha de reciclagem de plástico	43
Figura 39-1	Vista explodida do triturador	44
Figura 40-1	Detalhe tremonha	45
Figura 41-1	Detalhe conjunto de rolos e facas	45
Figura 42-1	Funcionamento conjunto de rolos e facas	46
Figura 43-1	Disposição das facas a 120°	46
Figura 44-1	Tremonha, fuso e resistências elétricas	47
Figura 45-1	Sistema de transmissão de movimento	48
Figura 46-1	Sistema de segurança e proteção	48
Figura 47-1	Movimento do filamento à saída da extrusora	49
Figura 47-2	Movimento do filamento até á bobinadora	50
Figura 48-1	Sistema de arrefecimento de filamento	50
Figura 49-1	Sistema de tração de filamento	51
Figura 50-1	Sistema de orientação de filamento	51
Figura 50-2	Sistema de orientação de filamento	52
Figura 51-1	Layout equipamento de reciclagem de PLA	52

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
FDM	Fused Deposition Modeling
HTPLA	High Temperature Poliacido Láctico
PA	Poliamida
PET	Polietileno Tereftalato
PLA	Poliacido Láctico
PP	Polipropileno
3D	3 Dimensões

1. Introdução

1.1. Enquadramento teórico

Num mercado cada vez mais global e competitivo, aliado a uma crescente preocupação ambiental, torna-se essencial a eliminação de desperdícios no processo produtivo. Um exemplo de um processo produtivo que produz desperdícios relativamente elevados, é a impressão 3D de polímeros.

A impressão 3D é uma indústria em constante desenvolvimento. Promete ser uma arma forte da indústria 4.0 e ser um contributo para combater a escassez de recursos a nível mundial, tornando mais fácil o acesso a habitação, transportes e até alimentação pela redução de custo e melhoria da flexibilidade dos processos.

No entanto, esta tecnologia apresenta algumas limitações a nível de materiais e no próprio processo que são alvo de constante investigação e desenvolvimento pelo potencial que demonstra nos vários setores em que já atua como a área da saúde, construção, arquitetura, automóvel, aeroespacial, entre outros.

No processo FDM (Fused Deposition Modeling), o plástico PLA (poliácido láctico) assume-se como o material de eleição pela sua relação qualidade preço associada a uma vertente ecológica interessante, uma vez que este é de origem vegetal e biodegradável.

A massificação da utilização do plástico em geral, acarreta uma maior responsabilidade pelo ciclo de vida destes materiais. Assim sendo, a reciclagem tem um papel fundamental na sustentabilidade destes recursos e gestão de resíduos.

A impressão 3D tem sido alvo de evoluções constantes e afirma-se como uma tecnologia de potencial “ilimitado” pela sua ampla aplicação, precisão, simplicidade, flexibilidade, e reduzido custo associado. No entanto, este método de fabrico produz geralmente elevadas quantidades de resíduos, inerentes ao próprio processo e que, muitas vezes, não podem ser evitados.

1.2. Objetivo geral

A presente dissertação tem como principal objetivo estudar e projetar uma solução que permita a reciclagem de resíduos resultantes do processo de impressão 3D, tornando-os reutilizáveis para equipamentos correntes de fabricação aditiva de polímeros. Para tal, é determinante:

1. Conhecer as propriedades dos principais materiais utilizados no fabrico por filamento fundido;
2. Compreender os principais parâmetros envolvidos no processo de impressão 3D;
3. Prever o comportamento destes materiais durante o processo de reciclagem, quando sujeitos a determinados valores de temperatura e pressão;

1.3. Objetivos

Desenvolvimento de desenho 3D e dimensionamento de peças e componentes mecânicos de um equipamento modular de reciclagem, com zona de trituração e extrusão de filamento de PLA;

- Análise funcional dos equipamentos e respetivos componentes através da informação existente na bibliografia e das várias ferramentas de simulação numérica disponíveis;
- Dimensionamento e seleção de componentes elétricos e eletrónicos necessários para controlo dos equipamentos;
- Desenho e modelação da peças e componentes do equipamento
- Modelação e montagem do equipamento
- Redação do documento final.

1.4. Cronograma

Tarefa	Mês												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun							
Análise do tema, estado da arte	■	■											
Desenvolvimento de desenho e dimensionamento		■	■	■	■	■							
Análise funcional dos equipamentos e respetivos componentes						■	■						
Dimensionamento e seleção de componentes elétricos						■	■						
Relatório de projeto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tabela 1: Cronograma

1.5. Estrutura da tese

Este documento está organizado em cinco capítulos, sendo que o primeiro consiste numa revisão bibliográfica dos conceitos de destaque e de compreensão fulcral para este projeto e, os restantes, consistem no projeto e conceção do equipamento em questão.

No primeiro capítulo, é feito um breve enquadramento sobre o tema, são apresentados os objetivos e motivações que conduziram o trabalho de projeto, a metodologia utilizada na investigação e explicada a relação da metodologia com o restante corpo do documento.

No seguimento desta introdução, o segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica que descreve a história e evolução da impressão 3D, em paralelo com os benefícios e limitações desta tecnologia. É, também, dado destaque aos diversos tipos de materiais utilizados no processo de impressão, bem como a sua origem e principais características, com especial destaque para o PLA.

Ainda no capítulo 2, aborda-se o processo de reciclagem de plásticos, com a descrição das várias etapas numa linha de reciclagem e os aditivos utilizados neste processo.

De seguida, nos capítulos 3 e 4, encontra-se uma breve contextualização do projeto prático, assim como a descrição detalhada e com recurso a figuras demonstrativas dos elementos constituintes do equipamento de reciclagem, que inclui projeto e dimensionamento da trituradora e da extrusora.

Por fim, no capítulo 5 constam as conclusões do trabalho desenvolvido, além de serem propostos trabalhos a realizar no futuro.

2. A Impressão 3D

A impressão 3D pode ser conhecida por variados termos como manufatura aditiva, fabricação aditiva, fabrico aditivo, fabrico por camadas, fabrico por forma livre, entre outros [1]. Neste capítulo será explorada a origem da impressão 3D, a sua evolução e desenvolvimento que tem sofrido, bem como o estado atual desta tecnologia e as limitações que ainda existem.

2.1. História e evolução

Foi em 1984 que Chuck Hull, engenheiro norte-americano, criou a primeira impressora 3D. No entanto, quatro anos antes, o japonês Hideo Kodama desenvolveu uma tecnologia de “prototipagem rápida”, no Instituto Industrial de Investigação de Nagoya [2]. Este processo consistia no fabrico de um objeto a partir de deposição de camadas e foi denominado de estereolitografia (*stereolithography*, em inglês). Em 1986, Chuck Hull iniciou a comercialização da sua tecnologia, criando a *3D Systems Corp.* que ainda hoje é líder no fabrico destes equipamentos [3].

Em 1988, Carl Deckard da Universidade do Texas, patenteou o processo de fabrico por sinterização seletiva (*Selective Laser Sintering*, em inglês), produzindo peças 3D a partir de pó.

Alguns anos depois, Scott Crump, co-fundador da empresa *Stratasys*, desenvolveu uma técnica de deposição de material fundido FDM e patenteou-a. Desta invenção nasceu a impressão 3D que, ano após ano, tem sido alvo de evolução através da integração de novas tecnologias.

A década de 90 foi marcante devido ao aparecimento de várias empresas empenhadas no desenvolvimento de software, levando esta tecnologia à indústria da saúde para fabrico de próteses e órgãos humanos. Nos primeiros vinte anos do século XXI foram “fabricados” rins a partir da impressão 3D e utilizados em seres humanos.

O fim da patente da tecnologia FDM, juntamente com o aparecimento do projeto RepRap em 2005 pelo Dr. Adrian Bowyer, ajudaram a difundir e simplificar a utilização da impressão 3D, contribuindo para a evolução deste processo, pelo aparecimento de constantes inovações e melhorias [4].

2.2. Aplicações e limitações

Inicialmente, a impressão 3D era utilizada essencialmente para a realização de protótipos de forma rápida e barata, onde a resistência mecânica, questões estéticas e funcionais não eram requisitos. Hoje em dia, apresenta-se como uma tecnologia de potencial inesgotável, com grande interesse e aplicação nas áreas da medicina, automóvel, aeroespacial, joalheria, arte, arquitetura, construção civil, alimentar, entre outros [4].

Na área da medicina, o fabrico de próteses e a impressão de órgãos humanos já não é novidade e, os últimos desenvolvimentos consistem na produção de modelos pormenorizados e à escala real de órgãos ou de corpos humanos a partir de imagens obtidas através de ecografias 3D. Com estes modelos é possível estudar e planear cirurgias de elevado risco, aumentando exponencialmente as hipóteses de sucesso dos procedimentos médicos [5].

Por outro lado, no setor automóvel para além da importância da prototipagem, a impressão 3D possibilita a produção de peças sobressalentes ou de substituição, de forma flexível, o que evita a existência de stocks [4]. O LSEV (Fig. 1) desenvolvido pela start-up chinesa Polymaker em parceria com a italiana XEV, será o primeiro carro produzido em série, fabricado parcialmente através da impressão 3D, com todas as vantagens inerentes a este processo, como a redução considerável da massa do veículo, do número de peças e, consequentemente, do custo e tempo de fabrico [6].



Figura 1-1: LSEV veículo elétrico fabricado em impressão 3D [6]

Outra das áreas com grande interesse nesta vertente é a arquitetura/construção civil, onde a impressão tridimensional se assume como uma ótima ferramenta para enfrentar a escassez de recursos e possibilitar a produção em larga escala de habitações, a custo e tempo

reduzidos e excelente durabilidade. Uma das principais vantagens desta aplicação é a utilização de materiais recicláveis ou biodegradáveis, como matéria-prima [7].

Como exemplo do referido anteriormente, nos Estados Unidos, um grupo de investigadores da Universidade do Sul da Califórnia, criou uma tecnologia denominada “Contour Crafting”, que consiste na impressão 3D de casas em argamassa, em menos de 24 horas. Por sua vez, na China foi construído um prédio a partir de peças impressas tridimensionalmente, pela empresa WinSun que, previamente, já tinha produzido, através da mesma técnica, dez casas com material excedente de outras obras, em menos de 24 horas [7].

É notória a sua vasta aplicação nas mais variadas áreas, e esta não se resume à redução de custos e tempo de produção, nem à reciclagem de materiais. Na indústria aeroespacial, onde são exigidos os mais altos padrões de desempenho, esta tecnologia evolui a cada dia, possibilitando o fabrico de componentes com geometrias complexas, capazes de suportar condições extremas, como o calor, humidade e raios UV [5].

Contudo, apesar das inúmeras qualidades e vantagens supramencionadas, existem limitações nesta técnica, como acontece em qualquer processo de fabrico. Uma das principais lacunas é a dificuldade de garantir dois produtos exatamente iguais e com os mesmos padrões de qualidade. Esta característica é extremamente importante quando se trata de produção em grande escala, ao nível da indústria, devido aos rigorosos requisitos de qualidade impostos pelo cliente [8].

Outro aspeto limitante prende-se com a escassa gama de materiais possíveis de utilizar neste processo, no entanto, esta é uma área ainda subexplorada. O plástico apresenta-se como a matéria-prima de eleição, uma vez que é facilmente depositado em camadas para originar o produto final. Todavia, o plástico utilizado não confere as melhores características, uma vez que apresenta baixa resistência mecânica, baixo ponto de fusão e reduzida resistência química.

Para além destes importantes aspetos, o elevado consumo energético e a velocidade de produção são também um entrave ao uso desta tecnologia, quando comparados com os processos tradicionais, como a injeção de plástico em molde [9].

Por fim, quando pensamos em prototipagem rápida, a impressão 3D assume-se como uma tecnologia com custos reduzidos, no entanto, no caso de produção em massa, o custo unitário de cada peça produzida torna-se extremamente elevado, comparativamente aos processos tradicionais. Este facto deve-se ao custo elevado da matéria-prima [10].

2.3. Estado atual - As impressoras e os extrusores

Neste tópico será abordado em particular, a tecnologia de impressão 3D FDM que, atualmente, é a mais comum pela sua simplicidade e custos reduzidos.

Geralmente, uma impressora deste género é constituída por três eixos de movimento, um ou mais extrusores, um tracionador de filamento e uma base comumente designada por “cama quente”, onde é depositado o material que originará o produto final. Relativamente ao controlo eletrónico, este é constituído por uma fonte de alimentação, responsável por alimentar, para além dos motores, do extrusor e da cama quente, também um controlador.

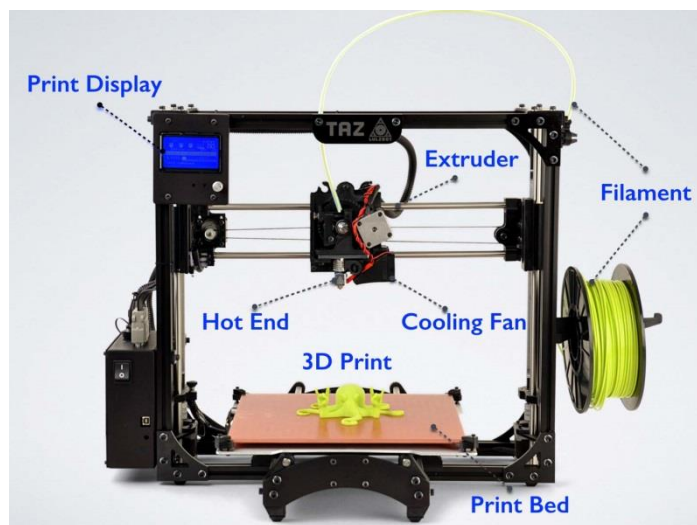


Figura 2-1: Impressora 3D FDM com descrição dos vários constituintes [11]

Hoje em dia é relativamente fácil adquirir uma impressora deste tipo e, o suporte técnico existente, é suficientemente sólido para que a sua utilização esteja ao alcance de qualquer indivíduo com conhecimentos básicos na área.

No universo da impressão 3D, existe uma vasta gama de equipamentos, desde a arquitetura cartesiana mais comum até braços robóticos, para utilização “doméstica” ou profissional/industrial.

As impressoras do tipo cartesiana, pela sua simplicidade, área de trabalho, robustez e elevada qualidade de impressão (superficial e geométrica) são a opção mais comum dos utilizadores. Esta designação refere-se ao sistema de coordenadas em que operam, que se traduzem em três eixos ortogonais. Na maioria dos casos, o extrusor movimenta-se segundo XZ e a cama quente em YY, no entanto existe uma variante designada “core XY” em que a cama quente se desloca segundo o eixo vertical ZZ, enquanto o extrusor trabalha no plano horizontal XY.

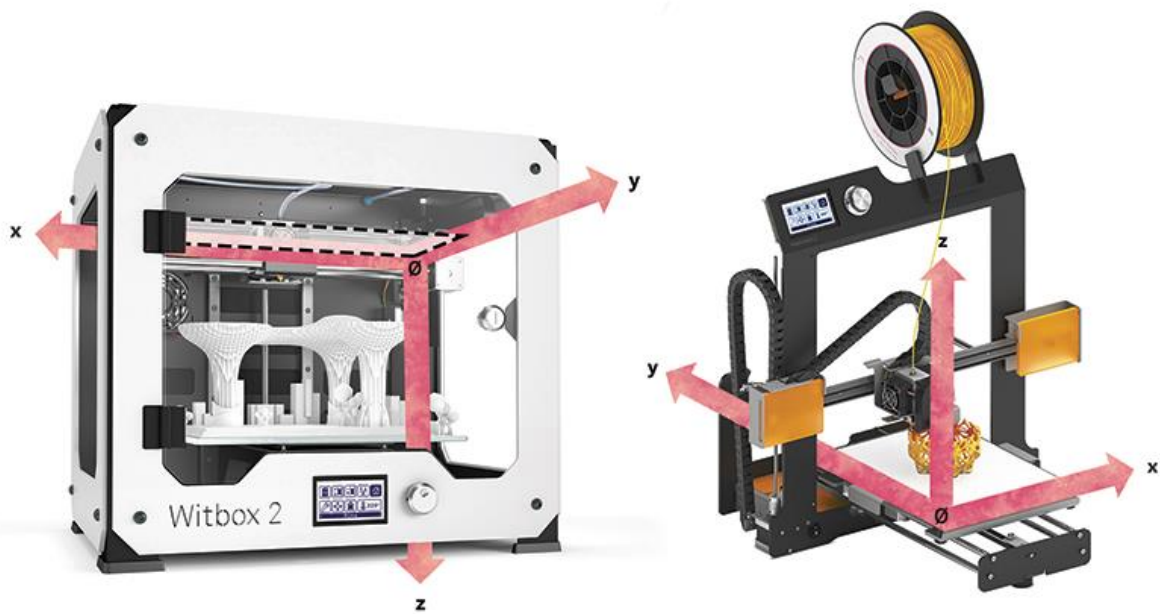


Figura 3-1: Distinção entre impressoras cartesianas core xy e modelo comum [12]

As impressoras com arquitetura Delta, possuem os mesmos componentes básicos das cartesianas. Nesta configuração, apenas o extrusor se desloca através do movimento relativo entre os três eixos dispostos verticalmente. A base é geralmente circular e o seu diâmetro define a área de trabalho. Comparativamente com as impressoras cartesianas, estas destacam-se pela maior velocidade e fiabilidade. Em contrapartida a menor qualidade superficial, dificuldades de calibração e o menor suporte bibliográfico, tornam esta opção menos usual.

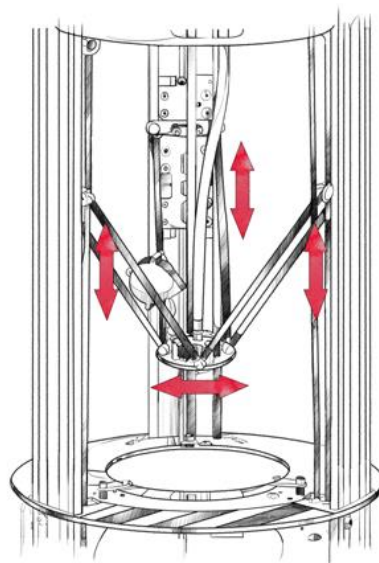


Figura 4-1: Arquitetura Delta com ilustração dos movimentos. [12]



Figura 5-1: Impressora 3D Delta. [13]

No mercado também é possível encontrar impressoras 3D que operam num sistema de coordenadas polares. A principal vantagem desta tecnologia é o facto de precisarem apenas de dois motores para realizar exatamente o mesmo resultado das cartesianas, que utilizam no mínimo um motor por cada eixo. Esta particularidade faz com que estes dispositivos sejam mais compactos, com uma área de trabalho relativamente extensa [14].

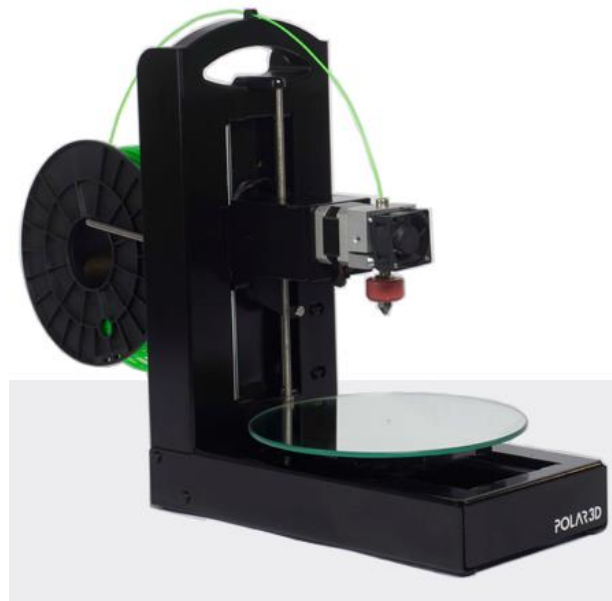


Figura 6-1: Impressora 3D Polar [15]

Qualquer que seja a configuração da impressora, existe pelos menos um componente que é transversal a qualquer equipamento de impressão 3D por FDM. O extrusor é responsável por tracionar o filamento, aquecê-lo até uma temperatura específica, acima da sua temperatura de fusão, e depositá-lo em camadas, sobre a cama quente. O diâmetro do material fundido que é injetado, é imposto pelo diâmetro do orifício do bico de extrusão (*nozzle*, em inglês).

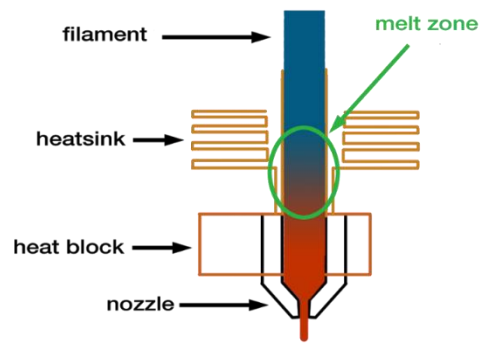


Figura 7-1: Ilustração dos constituintes de um extrusor [16]

Os extrusores desempenham um papel extremamente importante no processo de impressão, uma vez que é a zona onde ocorre a transformação do material e onde são definidos parâmetros como temperatura de extrusão, velocidade de alimentação e retração, diâmetro de filamento, entre outros.

Relativamente a este dispositivo, existem dois tipos de configuração, o extrusor direto (*direct drive extruder*, em inglês) e o extrusor de Bowden. As impressoras equipadas com este sistema ganham vantagem com filamentos plásticos de menor calibre (1,7 mm) e borrachas, uma vez que minimiza folgas e espaços para deformações. No extrusor de Bowden, o elemento de tração e o terminal aquecido estão unidos apenas por um tubo, pelo qual se desloca o filamento. Tornando o sistema mais leve, com menos inércia permitindo maiores velocidade e acelerações [17].

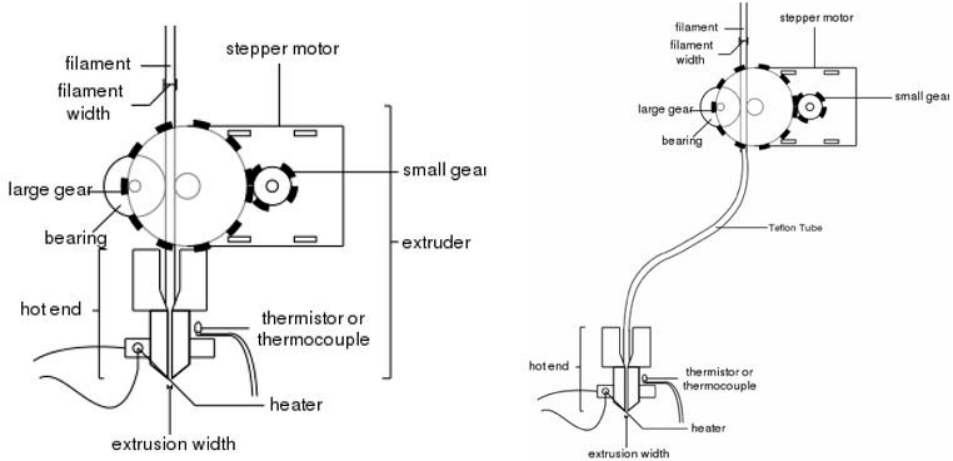


Figura 8-1: Extrusor direto vs Extrusor de Bowden [17]

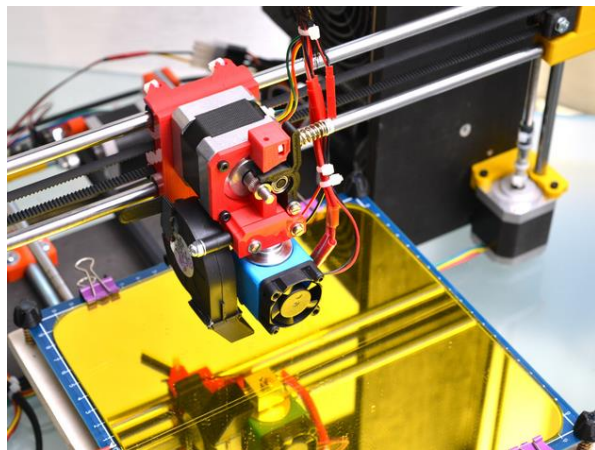


Figura 9-1: Impressora equipada com Extrusor direto[18]

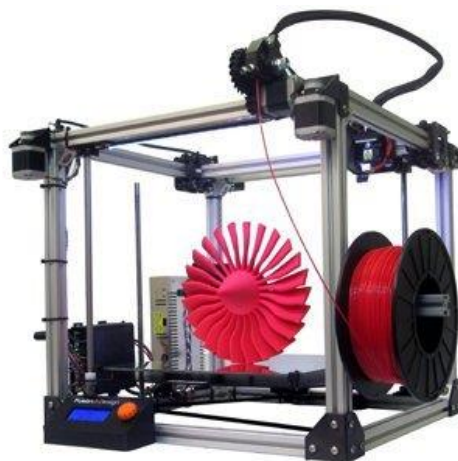


Figura 10-1: Impressora equipada com Extrusor de Bowden [19]

2.4. O Software de impressão 3D

Todo o processo de impressão 3D começa com um modelo virtual designado CAD, que pode ser criado a partir de softwares de modelação 3D como o Autodesk Inventor, SolidWorks, entre outros. Após a obtenção deste modelo, geralmente em formato “.stl”, é necessário traduzi-lo para uma linguagem de código “GCODE”, compatível com o controlador da impressora. Para tal, é utilizado um software responsável por transformar o modelo 3D em “fatias” que serão impressas camada a camada. Do arquivo CAD apenas é aproveitado o contorno das camadas, sendo o preenchimento de cada camada e o caminho percorrido pelo bico extrusor determinado pelo software [20].

O Cura, produto da empresa Ultimaker é um software de “corte” open-source, conhecido pela facilidade de utilização e vasta compatibilidade com várias marcas de impressoras e sistemas operativos.

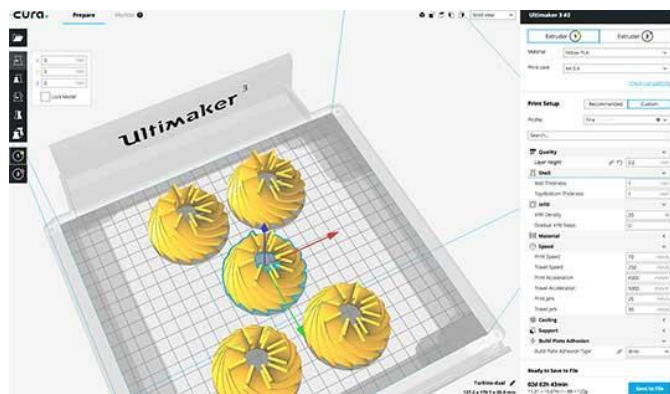


Figura 11-1: Software Cura [21]

O Slic3r, à semelhança do Cura, é um software open-source com a vantagem de fornecer ao utilizador vários modos de visualização do modelo 3D a imprimir.

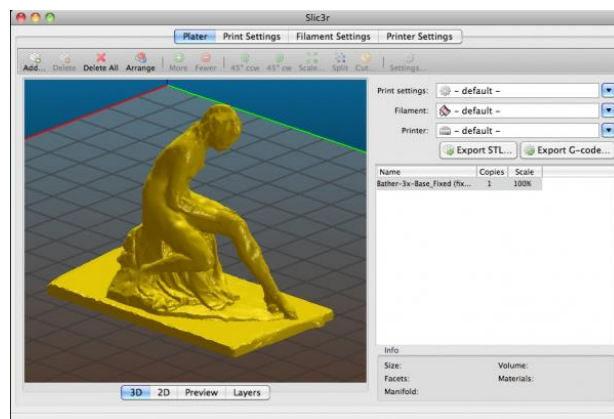


Figura 12-1: Software Slic3r [22]

O 3D Slash é mais um software de “slicing”, que se apresenta como sendo extremamente intuitivo e de fácil utilização. Permite modelar peças a partir dos comandos básicos de edição e utilizar imagens como modelos. Apesar de ser uma ferramenta de modelação mais limitada, pode ser uma opção à utilização dos softwares de modelação anteriormente apresentados, especialmente para elaboração de modelos geometricamente mais simples.

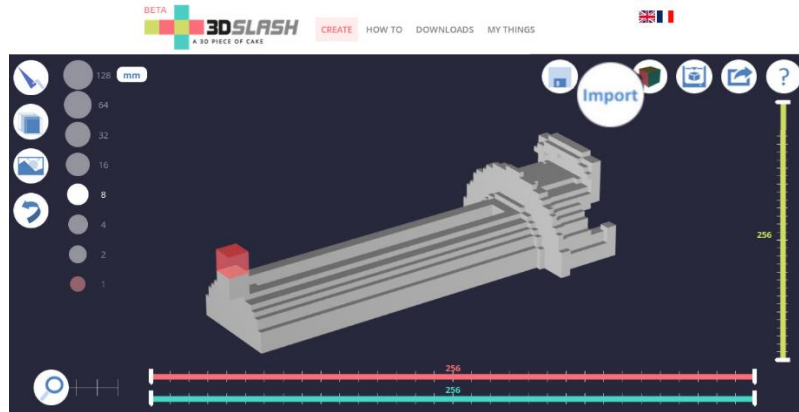


Figura 13-1: Software 3D Slash [23]

O último exemplo destas ferramentas é o Netfabb, adquirido pela Autodesk em 2015, é um software orientado para utilizadores semi-profissionais que permite entre outras funcionalidades, analisar, reparar e editar arquivos em formato “.stl” antes do processo de transformação em “fatias” [24].

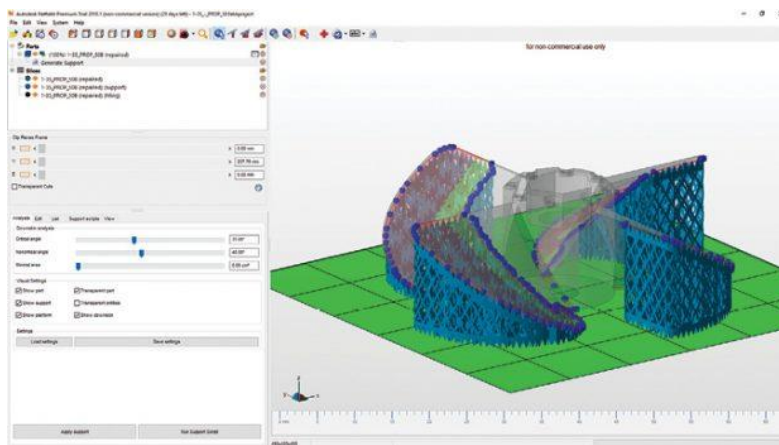


Figura 14-1: Software Netfabb 2018 [25]

2.5. Materiais mais utilizados na impressão 3D – FDM

Na impressão 3D por FDM, destacam-se quatro materiais mais utilizados, o ABS (Acrilonitrila butadieno estireno), o PLA (poliácido láctico), o PET (Polietileno tereftalato) e o Nylon.

O ABS é um copolímero termoplástico constituído por acrilonitrila, butadieno e estireno nas proporções específicas para cada aplicação [26]. Inicialmente, este era o material mais utilizado no processo de impressão 3D pelo seu custo relativamente baixo, pelo suporte científico existente na indústria e pelo seu razoável comportamento mecânico. No entanto, este polímero apresenta elevado grau de deformabilidade, ficando excluído de algumas aplicações [1].

Como alternativa a este material, surgiu o PLA, um polímero com propriedades semelhantes ao PET e constituído por moléculas de ácido láctico, provenientes do amido de milho que o tornam ecologicamente mais interessante [27]. Uma das vantagens do PLA relativamente ao ABS é o facto de ser menos influenciado pelas diferenças de temperatura durante a impressão, não necessitando em alguns casos de cama quente para resultar numa impressão de qualidade, ao contrário do ABS que obriga à utilização de uma plataforma aquecida a cerca de 100 °C, sob pena de resultar numa peça deformada e fissurada [1].

O PET é um polímero termoplástico formado pela reação entre o dimetil tereftalato ou o ácido tereftalato e o etileno glicol, podendo ser fabricado por dois métodos diferentes [28]. Mais recentemente foi criado o PETG, que resulta na modificação da versão original do PET com Glycol, resultando num material mais claro e fácil de utilizar. Em comparação com PLA, este apresenta uma maior durabilidade, resistência mecânica e custo [29].

O Nylon pertence à família das poliamidas, obtida através da reação da molécula hexametilenodiamina com o ácido adípico [30]. Este polímero apresenta elevada rigidez, durabilidade e resistência química quando comparado com os outros materiais já mencionados, no entanto o seu elevado custo é um entrave à sua utilização [31].

2.6. O PLA, a sua origem e características

Os primeiros desenvolvimentos do material *PLA* começaram em 1932, pelos pesquisadores Carothers, Dorough e Natta e não obtiveram grande sucesso, uma vez que as suas propriedades mecânicas não eram consideradas satisfatórias. Assim, apenas em 1966 houve interesse na utilização deste polímero, principalmente na área médica, após Kulkar demonstrar que a sua degradação poderia acontecer *in vitro* e, assim, ser possível a melhor observação laboratorial.

Ainda assim, apesar das boas propriedades mecânicas do PLA, este apresenta dois principais inconvenientes, a baixa resistência ao impacto e a elevada temperatura. Por forma a colmatar a sua fragilidade, utilizam-se plastificantes orgânicos como o glicerol e o sorbitol, ou também é possível a inserção de fibras naturais ou a produção de *blend's* (mistura mecânica de diferentes plásticos, sem que haja reação química entre eles)[32].

É considerado o material mais fácil de ser trabalhado, assim sendo é indicado para iniciantes de impressão 3D. Tem várias aplicações, desde o seu uso em louças descartáveis, produtos de higiene, embalagens de alimentos, entre outros.

Este polímero não é tóxico e é mais ecológico do que a maioria dos filamentos disponíveis para impressão 3D, já que é um termoplástico biodegradável. Quando aquecido consegue degradar-se em ácido láctico, e daí ser inofensivo para o ser humano, sendo usado na medicina em suturas e implantes cirúrgicos.

No entanto, apresenta maior facilidade para obstruir o bico do extrusor e requer maior cuidado no seu armazenamento, pelo facto de este absorver com facilidade a humidade presente no ar e, conseqüentemente, a necessidade de uma maior temperatura de extrusão [33].

2.7. Os diversos tipos de PLA

Com o crescente desenvolvimento e investimento na área da impressão 3D, existe uma grande variedade de filamentos disponíveis no mercado. Dentro dos filamentos PLA, podemos distinguir ainda, três grandes subtipos:

- PLA básico: filamento de PLA de qualidade corrente, com a melhor relação qualidade-preço.
- PLA Premium: filamento de PLA de elevada qualidade, que apresenta os melhores parâmetros de qualidade do mercado. Este garante elevada precisão das dimensões e não possui impurezas. Para além disto, permite a criação de peças mais brilhantes.

- PLA especiais: contêm PLA como material base e aditivos que melhoram as suas capacidades iniciais. Existem por exemplo o HTPLA de cobre, latão, bronze ou aço inoxidável que apresentam o aspeto de metal que pode ter um acabamento brilhante, o PLA magnético devido à grande quantidade de pó de ferro na sua constituição, o PLA condutor com carbono condutor, utilizado na construção de circuitos de baixa tensão como sensores táteis, o PLA com fibra de carbono que tem como principal vantagem a melhoria da resistência estrutural, o PLA ferro-magnético, o PLA soft-flexible, entre outros [34].

2.8. O processo de reciclagem de plástico

Existem três tipos de reciclagem de plásticos, podendo ser do tipo química, mecânica ou através da recuperação energética e incineração. A primeira consiste num processo de despolimerização dos resíduos plásticos, com o objetivo de obter substâncias químicas ou matérias-primas. A recuperação energética e incineração acontecem quando não existe processo seletivo dos resíduos ou já foram esgotadas as possibilidades de reciclagem mecânica [35].

O processo de reciclagem mecânica de plásticos, divide-se em quatro etapas, sendo elas:

- A pré-separação – pode ser manual através de mão-de-obra humana ou automática através de leitores óticos, separadores balísticos, sistemas de aspiração, entre outros. Este procedimento permite obter homogeneidade do produto final [36];
- A fragmentação ou moagem – o plástico é triturado em moinhos de facas que podem variar de acordo com o tipo de material a reciclar [37];
- A lavagem e separação – nesta etapa, os materiais são colocados em tanques com água e é realizada uma separação natural por densidade. Os plásticos menos densos ($<1\text{g/cm}^3$) como o PP e os polietilenos ficarão ao nível superior enquanto que os mais densos como o ABS e as poliamidas ficarão no fundo [35] [38];
- A secagem – os grãos plásticos são secos através de ar quente proveniente de secadores, de forma a garantirem um teor de humidade adequado ao processo seguinte;
- A extrusão – Esta é a última fase da reciclagem dos plásticos. Os grãos secos são depositados numa máquina extrusora. Este equipamento transporta os grãos ao longo de um parafuso sem fim que recebe calor através de resistências elétricas na sua periferia. Estes grãos fundem e são pressionados contra uma matriz, formando filamentos contínuos. Estes filamentos com a forma de “espaguetes” são arrefecidos

em tanques com água à temperatura ambiente e cortados numa máquina granuladora [35].

Os grânulos resultantes deste processo são embalados e transportados para as várias indústrias transformadoras.



Figura 15-1: Linha de reciclagem de plástico [39]

2.9. Aditivos utilizados na reciclagem de plástico

Os aditivos são substâncias químicas que têm o propósito de melhorar ou prolongar as propriedades dos plásticos. No caso dos plásticos reciclados, estas substâncias são de elevada importância quando o objetivo é assegurar as características de processamento e estabilidade a longo prazo. Nesse sentido, os aditivos mais comuns utilizados neste processo são:

- Os agentes estabilizantes, como antioxidantes e estabilizantes para melhorar a resistência à luz;
- Moléculas reativas descritas como extensoras de cadeias ou sistemas para reparo;
- Os agentes compatibilizantes;
- Agentes responsáveis por reduzir odores provenientes de materiais reciclados.

3. Estudo e análise do projeto (de conceção do equipamento de reciclagem)

3.1. Os projetos, estudos e patentes

Ao longo dos últimos anos foram já desenvolvidos alguns trabalhos nesta área, que foram encontrados durante a pesquisa na bibliografia. Inicialmente foi feita uma pesquisa sobre o registo de patentes e identificados alguns documentos. O mais relevante foi uma patente (anexada ao presente documento). Esta patente, foi publicada em 2018 e registada pela empresa EREMA ENGINEERING RECYCLING MASCHINEN UND ANLAGEN GESELLSCHAFT M.B.H., tratando-se, como o título indica de um “Dispositivo para reciclagem de plásticos”.

	(11) Número de Publicação: PT 2853374 T
	(51) Classificação Internacional: B29C 47/64 (2018.01) B29C 47/68 (2018.01) B29B 17/04 (2018.01) B29B 17/00 (2018.01)
(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO	
(22) Data de pedido: 2010.04.14	(73) Titular(es): EREMA ENGINEERING RECYCLING MASCHINEN UND ANLAGEN GESELLSCHAFT M.B.H. FREINDORF UNTERFELDSTRASSE 3 4052 ANSFELDEN AT
(30) Prioridade(s): 2009.04.17 AT 5992009	(72) Inventor(es): GERHARD HACKL AT KLAUS FEICHTINGER AT GERHARD WENDELIN AT
(43) Data de publicação do pedido: 2015.04.01	(74) Mandatário: ÁLVARO ALBANO DUARTE CATANA AVENIDA MARQUÊS DE TOMAR, Nº 44, 6º 1069-229 LISBOA PT
(45) Data e BPI da concessão: 2018.01.17 079/2018	

Figura 16-1: Capa do fascículo da patente de invenção PT2853374 T

O âmbito da patente refere-se a um método e a um dispositivo para reciclagem de materiais plásticos, compreendendo os seguintes passos de processamento: A) Reprocessamento da matéria-prima, em que o material, se necessário, é fragmentado e colocado numa forma fluída, aquecido e permanentemente misturado. Ao mesmo tempo preservando a

sua granulidade e fluidez, e opcionalmente a sua viscosidade é aumentada e/ou gaseificado, amaciado, seco e/ou cristalizado. B) Fusão do material reprocessado, pelo menos, tanto que a filtração seja possível. C) Filtragem da massa fundida para remover impurezas. D) Homogeneização da massa fundida filtrada. E) Desgaseificação da massa fundida homogeneizada. F) Descarga e/ou processamento subsequentemente da massa fundida, tal como por granulação. Processamento de película por sopro, sendo os referidos passos de processamento executados consecutivamente na ordem listada.

No referido documento de patente, é mostrado um breve esquema da recicladora.

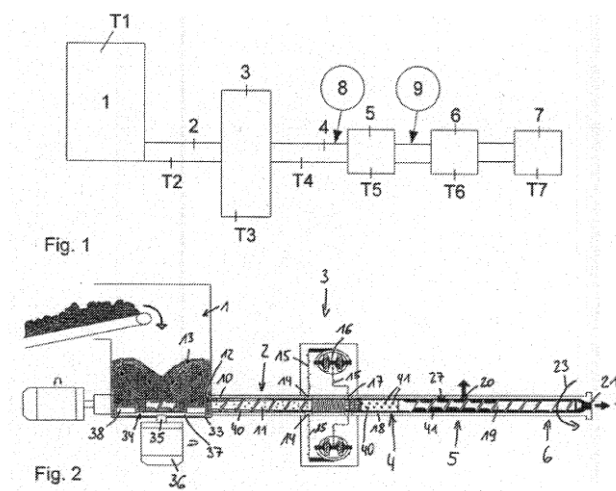


Figura 17-1: Esquema de máquina de reciclagem de plástico da patente PT2853374 T

Relativamente a trabalhos realizados sobre o tema em análise, foram destacados dois. O primeiro, desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em 2015, com o título “Conceção e desenvolvimento de equipamento de extrusão de filamento para impressora 3D”, apresenta um estudo e desenvolvimento de um sistema de reciclagem de PLA. Este sistema consiste numa estrutura modular, composto por um módulo de trituração para transformar as peças em granulado, e um módulo de extrusão para transformação desse granulado em filamento de qualidade equiparável ao disponível no mercado. Em alternativa à utilização de um fuso de extrusão, mais comum, foi estudado um processo de produção por extrusão por êmbolo. O módulo de trituração é acionado manualmente, estando projetado para que seja possível a incorporação de um motor elétrico. 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 homogeneizando 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 elétrico.

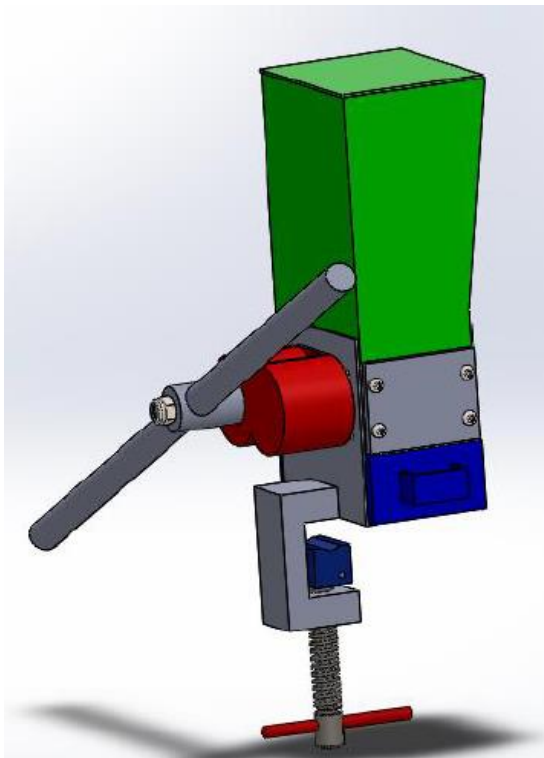


Figura 18-1: Módulo de trituração da tese “Conceção e desenvolvimento de equipamento de extrusão de filamento para impressora 3D”

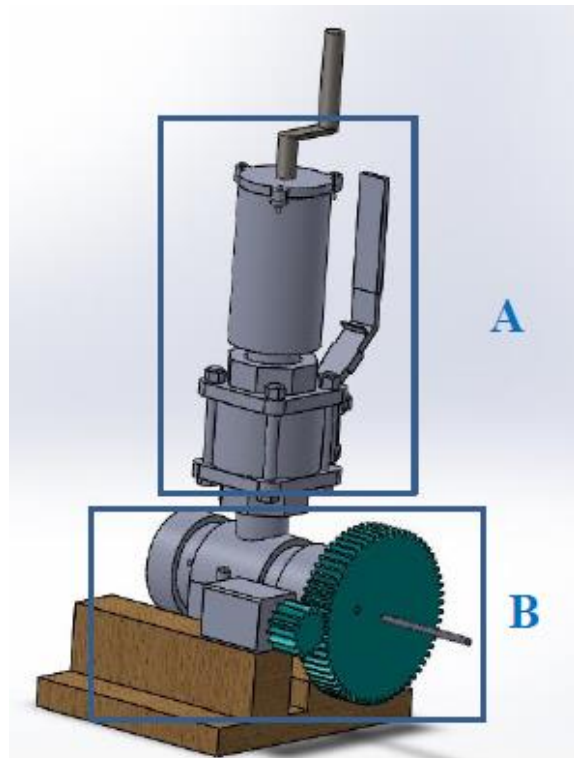


Figura 18-2: Módulo de extrusão da tese “Conceção e desenvolvimento de equipamento de extrusão de filamento para impressora 3D”

O segundo trabalho, um artigo publicado na revista International Journal of Research and Review em 2020 e desenvolvida no departamento de engenharia mecânica da Universidade de Imo State nos Estados Unidos da America, com o título “Design and Construction of a Low Cost Plastic Shredding Machine”, consiste, como o título sugere, no projeto e construção de uma trituradora de plástico. A máquina consome 3,7 kW de potência mecânica para produzir um torque de 28,49 Nm e uma força de trituração de 1424,5 N.

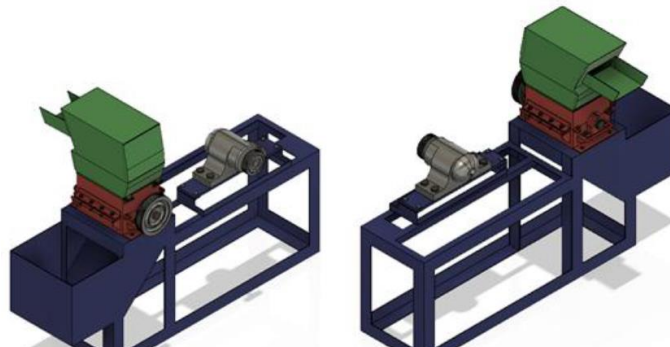


Figura 19-1: Máquina de trituração de plástico “Design and Construction of a Low Cost Plastic Shredding Machine”

3.2. Definição e requisitos do projeto

Os requisitos do projeto são a primeira abordagem para a definição do conceito de qualquer equipamento. São no fundo, as diretrizes para a formulação do primeiro esboço, para a escolha de componentes e materiais, bem como para o desenvolvimento dos sistemas constituintes do equipamento.

É de extrema importância a definição de requisitos de projeto, pois são estes que vão ditar a operacionalidade, cadência, custos e, conseqüentemente, a viabilidade do equipamento.

Desta forma, serve este capítulo para demonstrar os critérios que levaram à definição dos requisitos do projeto, através da pesquisa na bibliografia de dispositivos e sistemas para aplicações semelhantes, bem como do estudo dos componentes mais críticos, justificando com base na aplicação de equações de mecânica clássica e sustentado por softwares de análise de elementos finitos. Por outro lado, é também neste capítulo abordado o planeamento do projeto, dando ênfase às fases de conceptualização, estudo, desenho e fabrico do equipamento.

O equipamento de reciclagem é, na verdade, constituído por dois dispositivos tecnologicamente distintos. O primeiro, consiste num triturador ou moinho de facas, que irá produzir granulado de plástico através da moagem mecânica de peças de plástico, resultante do processo de impressão 3D. O segundo dispositivo, trata-se de uma injetora de filamento, que receberá o granulado de PLA e o transformará em filamento, posteriormente bobinado e preparado para reutilização em impressoras FDM.

3.3. Trituradora

Existem vários tipos de trituradores, dependendo do tipo de material a transformar, da velocidade de trabalho, dimensão dos grânulos requerida, entre outros fatores.

Para o projeto em estudo, optou-se pela utilização de um moinho de facas comum, com ligeiras adaptações para utilização de plástico PLA. A escolha deste tipo de triturador prende-se com a sua versatilidade de transformação de vários tipos de materiais, a sua robustez e simplicidade de construção, custos de fabrico baixos e possibilidade de obtenção de diferentes granulometrias. Um moinho de facas reduz o volume de um determinado material, através da moagem mecânica, resultante do contacto entre o gume de uma ou mais lâminas e o material a transformar, movimentando-se a uma velocidade de rotação relativamente baixa.

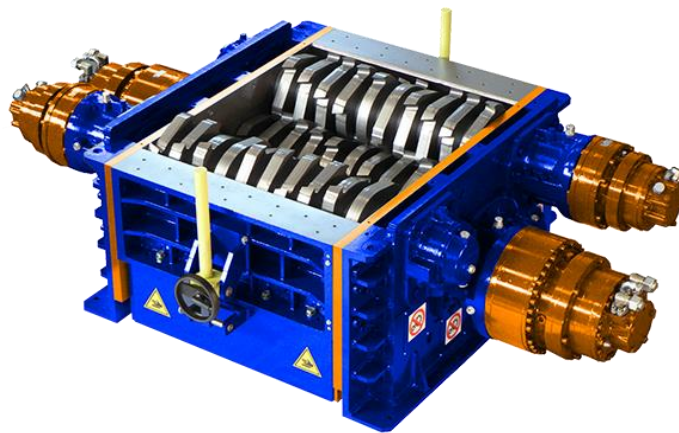


Figura 20-1: Moinho triturador de facas [40]

As facas podem ter geometrias diferentes, no que respeita ao número de navalhas, diâmetro exterior, ângulo de ataque da navalha e espessura, em função do tipo de material a transformar, da sua forma e da velocidade e capacidade de trabalho. Este será um componente alvo de estudo neste capítulo.

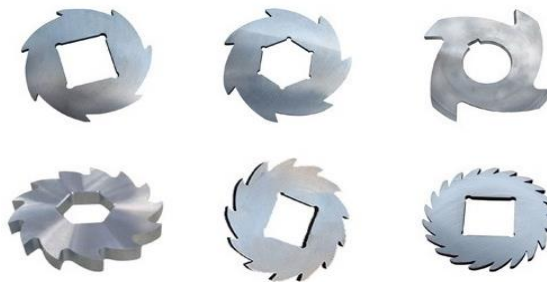


Figura 21-1: Diferentes geometrias de facas [41]

O calibre dos grãos ou a granulometria é controlada através de peneiras com orifícios de diâmetro calibrado. Assim, alterando o calibre da peneira, obtém-se grãos de diâmetro diferente.



Figura 22-1: Peneiras de diferentes calibres [42]

A segurança neste tipo de equipamento é de extrema relevância, uma vez que o risco de lesões graves e permanentes para o operador é elevado. Na conceção deste equipamento foram tidos em conta aspetos relacionados com a segurança durante a sua utilização, transporte e manutenção, através de dispositivos de segurança certificados.



Figura 23-1: Sensor e relé de segurança PILZ [43]

Após a análise macro do sistema, é possível identificar alguns elementos críticos para o funcionamento, fiabilidade e segurança do equipamento. Estes elementos serão alvo de estudo e de maior atenção. Por outro lado, os restantes integrantes como partes estruturais, elementos de ligação e outros componentes mecânicos serão selecionados seguindo uma lógica de comparação com outros sistemas similares que não coloquem em causa a segurança do operador nem a destruição do equipamento. Assim, os elementos que serão alvo de estudo são:

- Facas;
- Veios de transmissão de movimento das facas;
- Motor/redutor.

O cálculo e seleção dos componentes tem por base os seguintes requisitos do projeto:

- Capacidade para triturar peças plásticas de PLA até 350x350x400;
- Produção de 1kg/h de granulado;
- Diâmetro de grão ajustável;
- Facilidade de desmontagem para limpeza e manutenção;
- Alimentação elétrica 220V CA;

Por outro lado, é também necessário conhecer as características do PLA. Para tal, recorrendo à bibliografia existente, obtiveram-se os seguintes dados:

Módulo de elasticidade	4258	<i>Mpa</i>
Tensão máxima á tração	40	<i>MPa</i>
Tensão limite de corte	35	<i>MPa</i>
Dureza	84	<i>Shore D</i>

Tabela 2: Características físicas PLA [44]

O primeiro valor a obter é a força de corte por faca, necessária para triturar uma peça de PLA. Para tal, é considerada uma faca com 5 mm de espessura e um gume com altura de 4 mm.

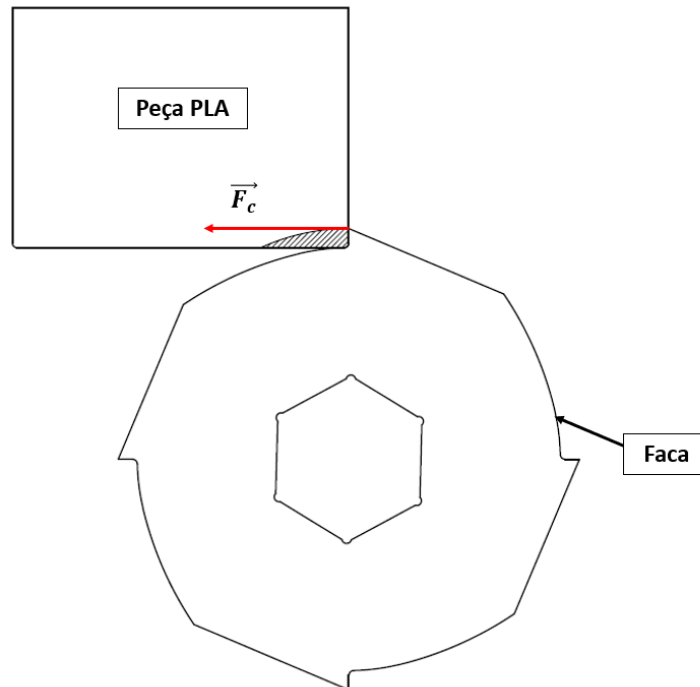


Figura 24-1: Interação faca/peça PLA

A figura 24-1 demonstra a interação entre as facas e as peças de PLA a triturar. A força de corte é uma força tangencial ao movimento de rotação das facas e, aproximando este caso a um processo típico de arranque de aparas, pode ser determinada através da potência de corte:

$$P_c = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \times 10^6} \quad (eq. 1) \quad [45]$$

Onde:

a_p é profundidade de corte que, neste caso corresponde a altura do gume,

a_e é a largura de corte ou espessura da faca,

v_f é o avanço de corte e

k_c é a resistência específica de corte [45].

Para determinação do avanço de corte v_f , considerou-se que em cada rotação da faca, cada gume remove o máximo de espessura de apra.

Assim sendo, uma vez que a altura do gume é de 4 mm, o avanço por gume f_z será de 4mm.

A velocidade de avanço linear pode ser determinada através da seguinte equação:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (\text{eq. 2}) \quad [45]$$

Onde:

z é o número de gumes por faca e n a velocidade de rotação em rpm.

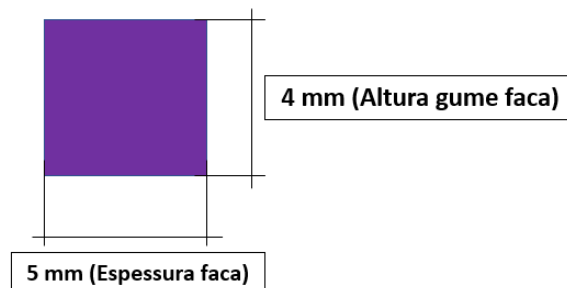


Figura 25-1: Área de corte faca/peça PLA

Uma vez que não foi identificada a resistência específica de corte k_c para o PLA, foi considerada a resistência específica de corte para os termoplásticos em geral, que corresponde a 150 MPa.

Considerando: uma velocidade de corte de **70 m/min** e um diâmetro de faca de **90 mm**, obtém-se o valor de velocidade de rotação de **260 rpm**.

Assim, obtém-se o valor da velocidade de avanço linear e da potência de corte:

$$n = 260 \text{ rpm}$$

$$z = 4$$

$$f_z = 4 \text{ mm}$$

$$a_p = 4 \text{ mm} \rightarrow \text{altura do gume}$$

$$a_e = 5 \text{ mm} \rightarrow \text{espessura da faca}$$

$$v_f = 4 \times 4 \times 260 \Leftrightarrow v_f = 4160 \text{ mm/min}$$

$$P_c = \frac{4 \times 5 \times 4160 \times 150}{60 \times 10^6} \Leftrightarrow P_c = 0,208 \text{ kW}$$

Obtida a potência de corte, é possível determinar o binário por faca e a respetiva força de corte:

$$P_c = M_{faca} \cdot n \quad (\text{eq. 3})$$

Se temos:

$$n = 260 \text{ rpm} \rightarrow 27,23 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$r_{faca} = 45 \text{ mm} \rightarrow \text{raio da faca}$$

Logo:

$$M_{faca} = \frac{P_c}{n} \rightarrow M_{faca} = \frac{208}{27,23} \Leftrightarrow M_{faca} = 7,64 \text{ N.m}$$

$$F_c = \frac{M_{faca}}{r_{faca}} \rightarrow F_c = \frac{7,64}{0,045} \Leftrightarrow F_c = 169,75 \text{ N}$$

A força de corte calculada é aplicada no gume da faca, tangencialmente ao sentido do movimento de rotação. Com estes dados foi feita uma análise de elementos finitos, para calcular e confirmar a geometria das facas. Para tal, utilizou-se o software de Autodesk Inventor e a sua ferramenta de análise de tensões.

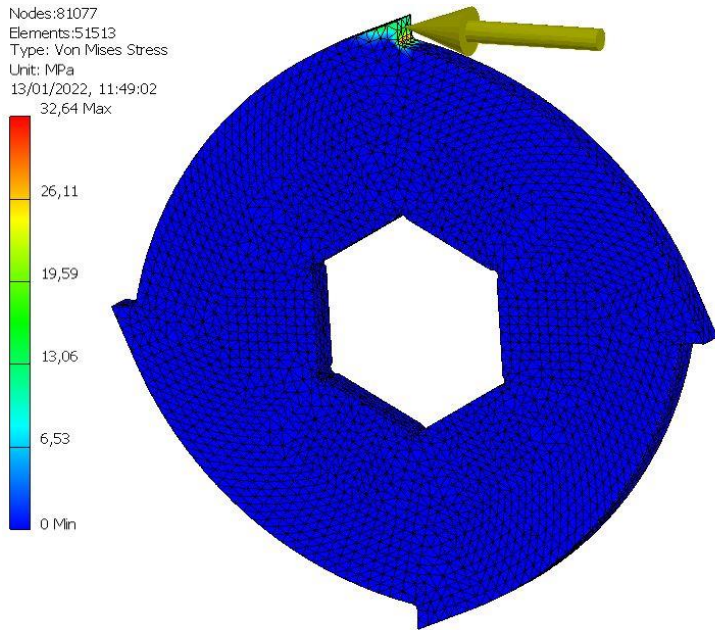


Figura 26-1: Análise de elementos finitos aplicando 170N de força à faca – Tensão de Von Mises

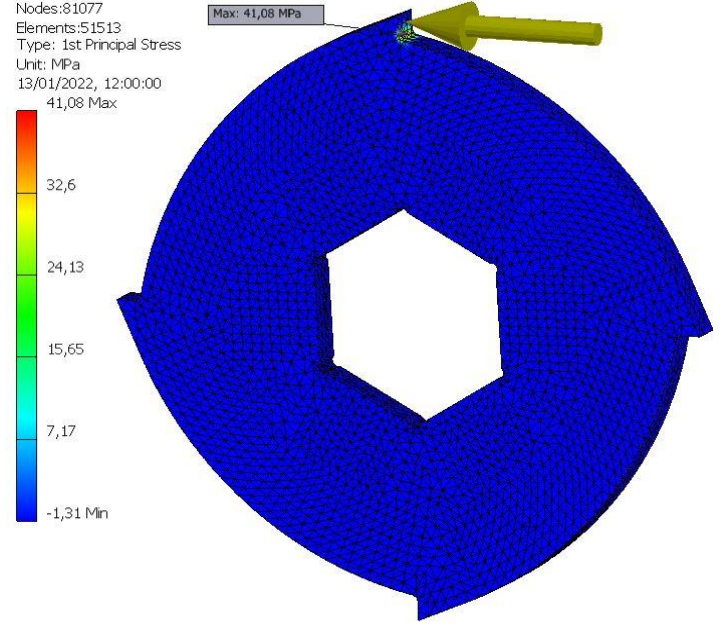


Figura 26-2: Análise de elementos finitos aplicando 170N de força à faca – Tensão máxima principal

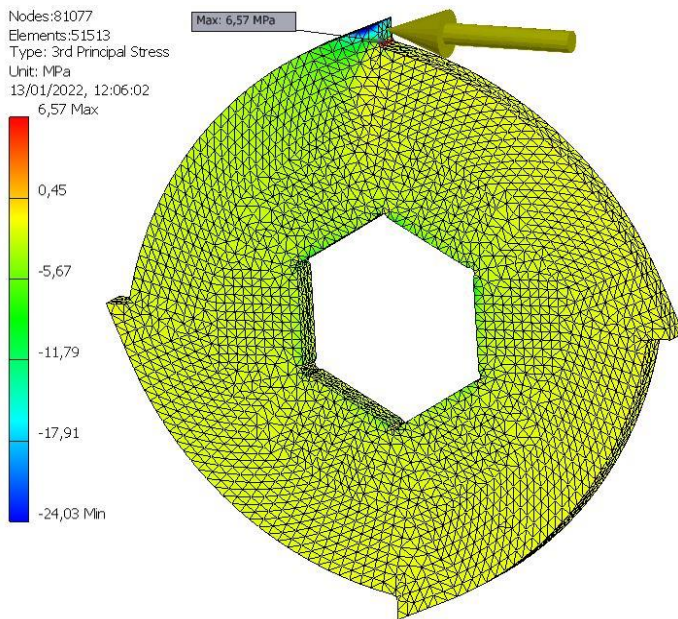


Figura 26-3: Análise de elementos finitos aplicando 170N de força à faca – Tensão mínima principal

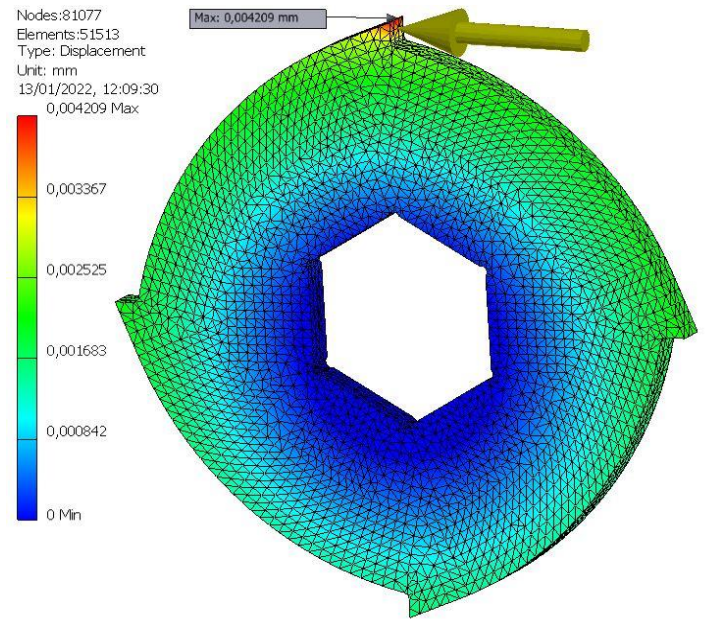


Figura 26-4: Análise de elementos finitos aplicando 170N de força à faca – Deformação

O passo seguinte será dimensionar os veios que transmitem o movimento do motor às facas e determinar a potência necessária do motor. O sistema de trituração é constituído por dois veios dispostos paralelamente e conectados entre si através de uma ligação por rodas dentadas. Estes veios têm como função transmitir o movimento de rotação do motor às facas.

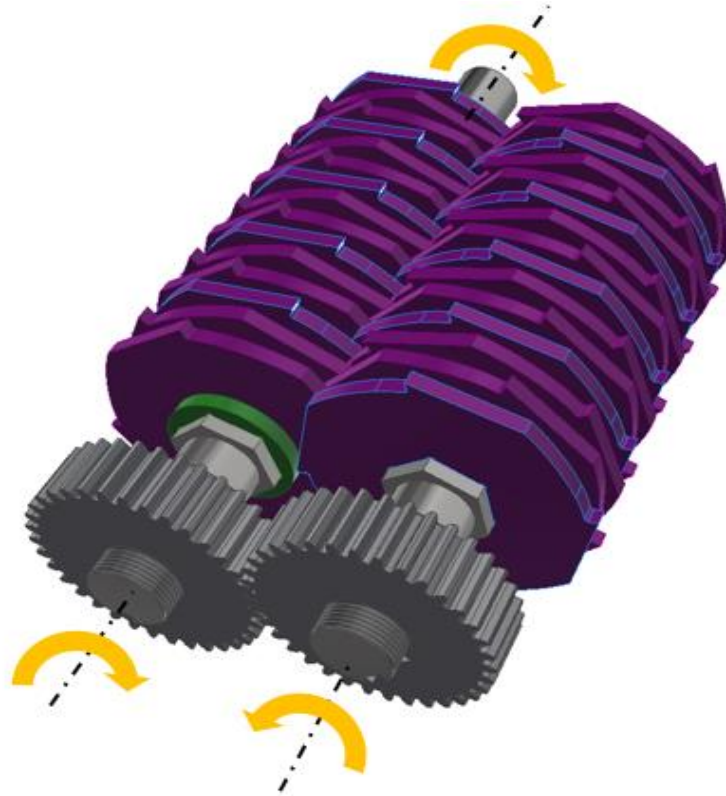


Figura 27-1: Disposição das facas e veios de transmissão

Na figura 27-1 é possível verificar que as facas não estão todas alinhadas, mas sim, desfasadas 30° umas em relação às outras, fazendo com que apenas dez facas estejam em corte simultaneamente. Assim sendo, cada veio irá transmitir o binário necessário para atuar cinco facas, em cada ciclo de corte.

$$M_{faca} = 7,64 \text{ N.m}$$

$$N_{facas} = 5 \text{ facas}$$

$$M_{veio} = M_{faca} \cdot N_{facas} \rightarrow M_{veio} = 7,64 \times 5 \Leftrightarrow M_{veio} = 38,2 \text{ N.m}$$

No entanto, o veio primário, que está conectado ao motor irá estar sujeito a um binário de **76,4 N.m**, em cada ciclo de corte. Desta forma, através de uma análise de tensões ao veio, resulta uma tensão máxima de corte de **25,20 MPa**, situado no troço destinado à conexão com o motor, com um diâmetro estipulado de 24.9 mm.

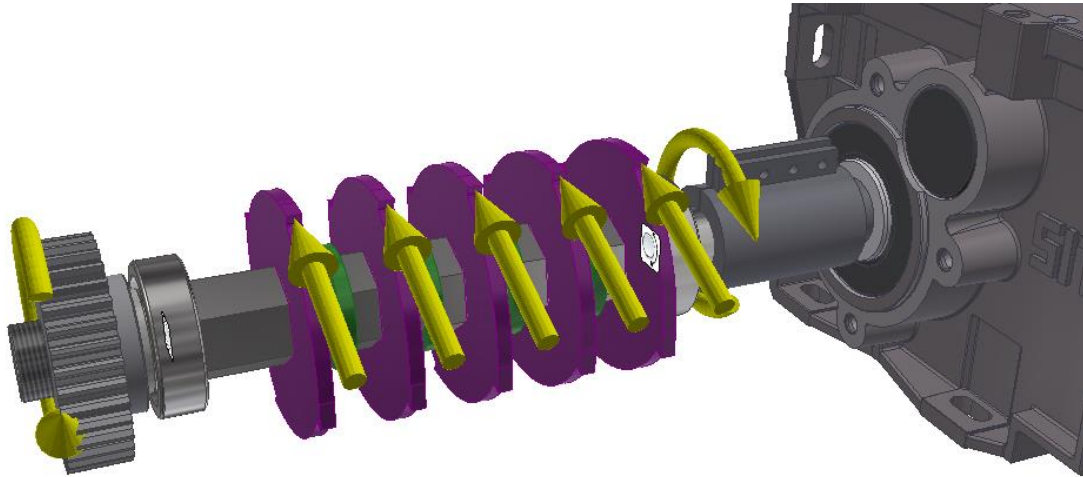


Figura 28-1: Ilustração das cargas aplicadas no veio

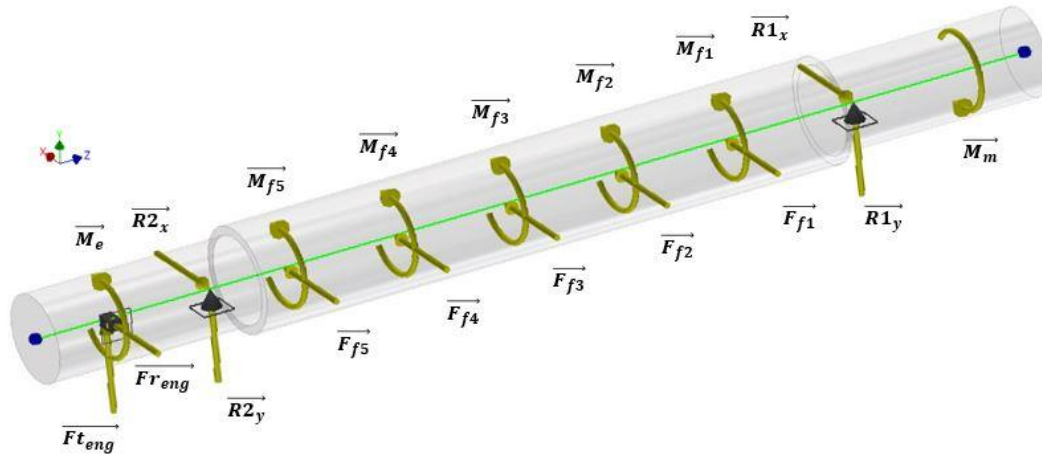


Figura 28-2: Ilustração das cargas aplicadas no veio

As figuras 28-1 e 28-2, representam todas as cargas aplicadas no veio. Sendo a massa do veio e das facas considerado desprezável, temos:

- $\overrightarrow{M_m}$ – Binário do motor;
- $\overrightarrow{M_e}$ – Binário transferido ao veio secundário através da engrenagem;
- $\overrightarrow{M_{f1}}; \overrightarrow{M_{f2}}; \overrightarrow{M_{f3}}; \overrightarrow{M_{f4}}; \overrightarrow{M_{f5}}$ – Binário faca 1, 2, 3, 4 e 5;

- $\vec{F}_{f1}; \vec{F}_{f2}; \vec{F}_{f3}; \vec{F}_{f4}; \vec{F}_{f5}$ - Força corte faca 1, 2, 3, 4 e 5;
- $\vec{R1}_x$ - Força reactiva horizontal (eixo xx) rolamento 1;
- $\vec{R2}_x$ - Força reactiva horizontal (eixo xx) rolamento 2;
- $\vec{R1}_y$ - Força reactiva vertical (eixo yy) rolamento 1;
- $\vec{R2}_y$ - Força reactiva vertical (eixo yy) rolamento 2;
- \vec{Ft}_{eng} - Força tangencial roda dentada;
- \vec{Fr}_{eng} - Força radial roda dentada.

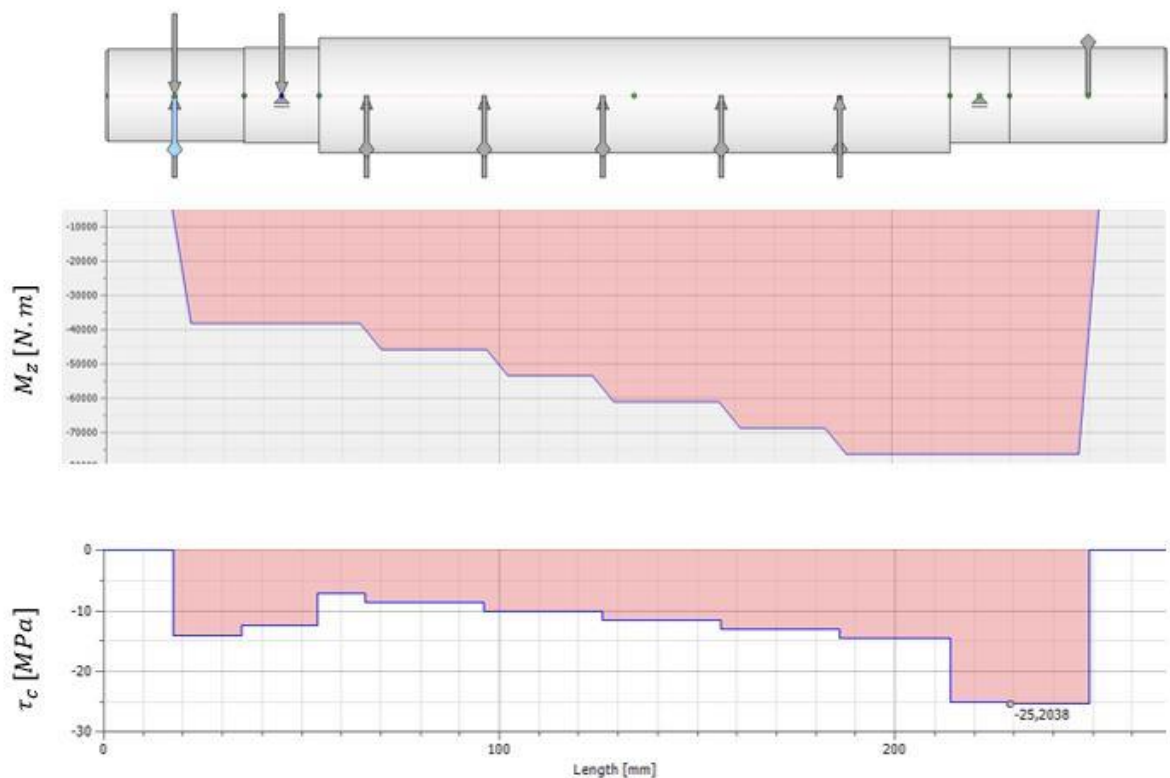


Figura 28-3: Diagrama de corpo livre do veio, diagrama de momentos torsores e de tensões de corte á torção.

Confirmando matematicamente, o valor de tensão de corte máximo, temos:

$$\tau_c = \frac{M_{veio}}{I_0} \cdot r \Leftrightarrow \tau_c = \frac{M}{\frac{\pi}{32} \cdot D^4} \cdot \frac{D}{2} \quad (eq.4)$$

τ_c = Tensão de corte

I_0 = Momento polar de inércia

D = Diâmetro de secção do veio

$$\tau_c = \frac{76,4}{\frac{\pi}{32} \times 0,0249^4} \times \frac{0,0249}{2} \Leftrightarrow \tau_c = 25,20 \text{ MPa}$$

Sendo a tensão de corte admissível do aço CK45 de 85 MPa, conclui-se que o valor da tensão máxima de corte no veio está muito abaixo do limite de cedência, equivalendo a um fator de segurança de 3,37.

Os esforços radiais provocados pelas forças de corte das facas, originam tensões de corte e de flexão no veio, bem como a força radial e tangencial resultante da roda dentada:

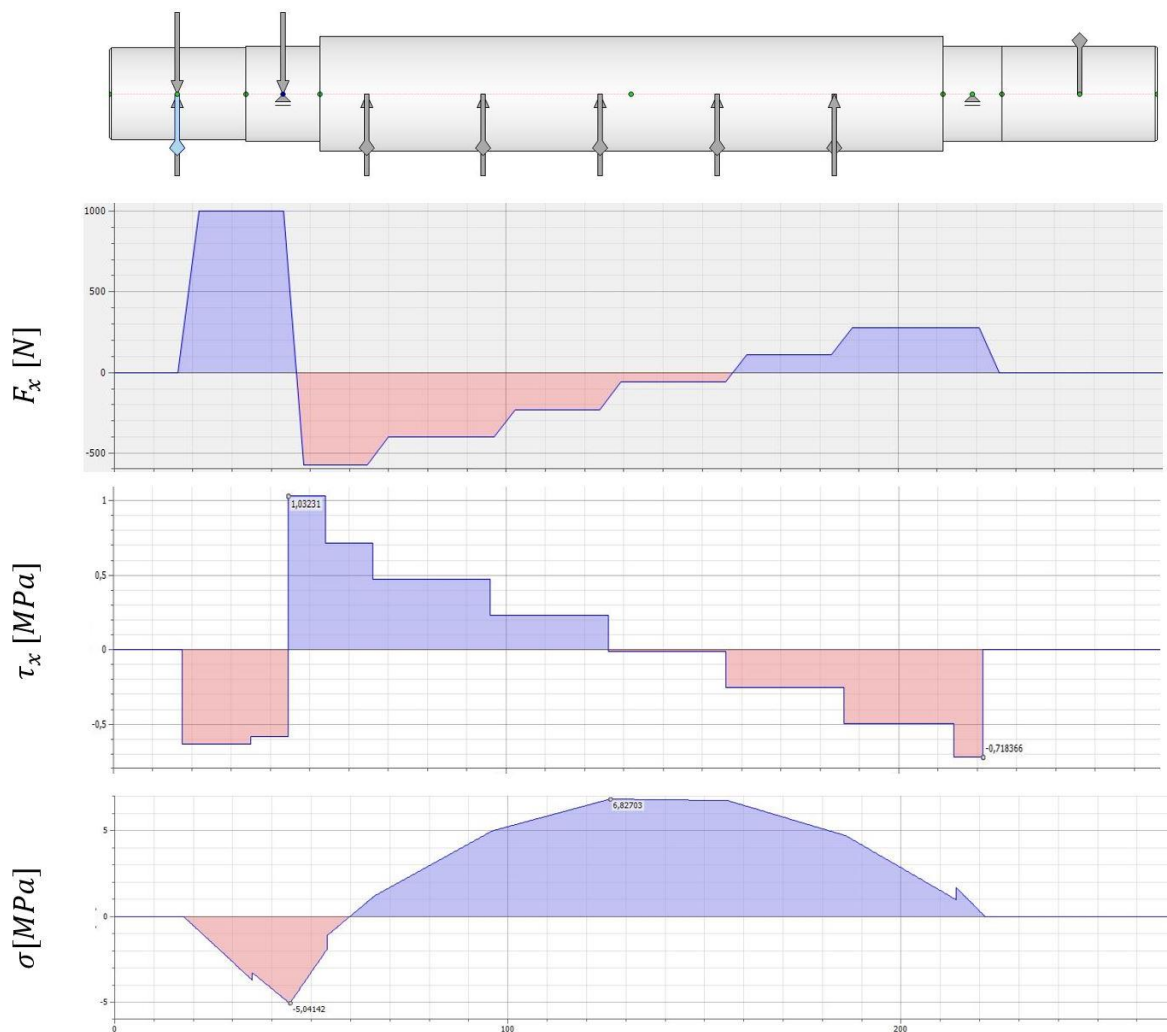


Figura 28-4: Diagrama de corpo livre do veio, diagrama de esforços cortantes, diagrama de tensões de corte e de tensões de flexão.

A potência do motor pode ser determinada em função do somatório dos momentos binários dos dois veios M_{veio} e da velocidade de rotação dos veios n .

$$P_{motor} = (M_{veio1} + M_{veio2}) \times n \quad (eq.5)$$

$$P_{motor} = 76,4 \times 27,23 \Leftrightarrow P_{motor} = 2080,4 \text{ W}$$

De acordo com a potência do motor determinada e, considerando os requisitos definidos anteriormente para a utilização de um motor monofásico de 220V, foi selecionado um moto redutor da SEW-Eurodrive, modelo R27DRM100LS4 assíncrono de quatro polos e 2200 W de potência. A relação de transmissão da caixa redutora é de **5.60**.

Dados do produto

Velocidade nominal do motor	[1/min] : 1450
Velocidade de saída	[1/min] : 259
Relação de Transmissão média	: 5.60
Binário de saída	[Nm] : 81
Fator de serviço SEW-FB	: 1.20
Posição de montagem	: M1
Base / Revestimento superior	: 7031 Cinza Azulado (51370310)
Posição da caixa de terminais	[°] : 0
Posição da entrada de cabos/conector	: X
Eixo de saída	[mm] : 25x50
Carga radial máxima permitida para n=1400	[N] : 1430
Quantidade de lubrificante Redutor 1	[Litro] : 0.25
Potência do motor	[kW] : 2.2



Figura 29-1: Dados do moto redutor SEW-Eurodrive R27DRM100LS4 [46]

3.4. Extrusora

A extrusora será baseada num equipamento de extrusão de plástico comum, composto por um sistema de fusão. Este tipo de equipamento é muito utilizado na indústria dos polímeros, para o fabrico de perfis, chapa ou filme plástico.

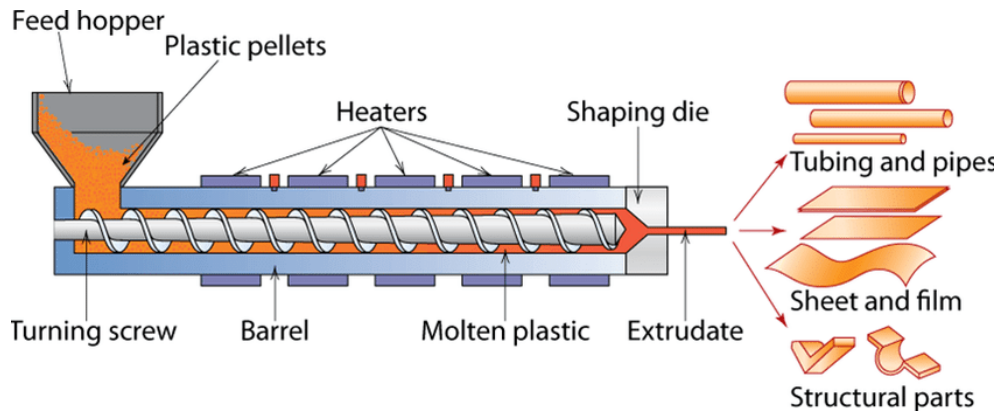


Figura 30-1: Esquema de uma extrusora de plástico [47]

O plástico, previamente triturado, é depositado na tremonha sob a forma de granulado. Ao descer pela tremonha, o granulado de plástico entra em contacto com o fuso que, pelo seu movimento de rotação, corta as moléculas do polímero libertando energia, sob a forma de calor, contribuindo para a fusão do material. Posteriormente, o plástico fundido é transportado e homogeneizado até sair pelo *nozzle* ou mandril. Assim, o fuso é o componente mais importante deste tipo de sistemas pois é responsável pela compressão, corte e homogeneização do polímero [48].

Os fusos podem ter geometrias distintas, de acordo com o polímero a processar, no entanto, todos possuem uma zona de alimentação, de compressão e de controlo de caudal [48].

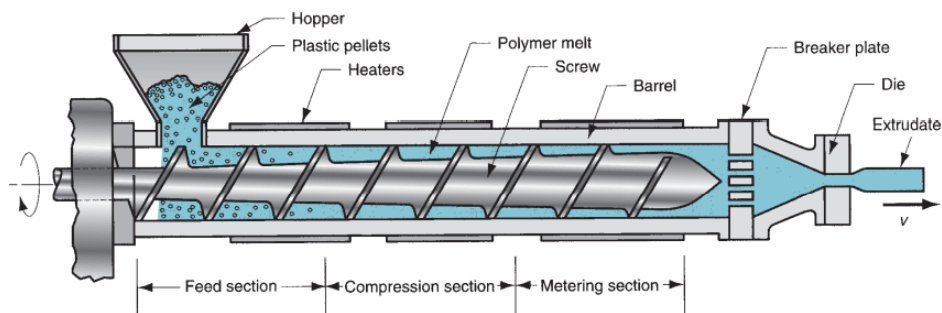


Figura 31-1: Componentes e características de um extrusor de rosca única [49]

Na zona de alimentação, o plástico proveniente da tremonha é pré aquecido e transportado até à zona de compressão. Nesta zona, o polímero sujeito a forças de corte elevadas

é fundido e o ar, presente entre as partículas, é removido pelas pressões geradas. Na zona de controlo, o polímero é homogeneizado e suficientemente pressurizado para que seja bombeado através do *nozzle* [49].

Assim sendo, grande parte da potência fornecida ao fuso é despendida para elevar a temperatura do plástico, devido às pressões geradas pelo movimento de rotação do fuso e ao atrito entre as paredes do fuso e o plástico [48]. As resistências, dispostas ao longo do cilindro ou barril, têm como principal função gerar parte do calor para a fusão do plástico e estabilizar a temperatura.



Figura 32-1: Resistência de banda [50]

Analisando as fases críticas do processo de extrusão e todos os componentes envolvidos, faz sentido dar ênfase aos seguintes elementos:

- Seleção fuso;
- Potência do motor.

O cálculo e seleção dos componentes tem por base os seguintes requisitos do projeto:

- Capacidade para extrudir filamento com 1,75 mm de diâmetro;
- Possibilidade de ajustar velocidade do fuso;
- Produção mínima de 1kg/h de filamento;
- Alimentação elétrica 220V CA.

Para o desenvolvimento de um fuso é necessário ter conta alguns parâmetros importantes tais como:

- o diâmetro D ,
- a largura do canal b ,
- a altura do canal h ,
- o ângulo do filete da rosca θ ,
- o passo L_s ,
- a espessura do filete
- e e a folga entre a rosca e o canhão δ [48].

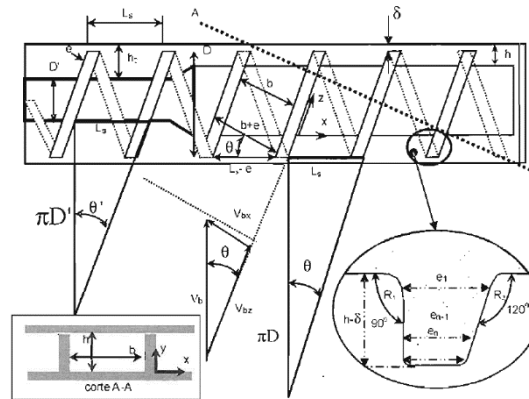


Figura 33-1: Esquema de parâmetros geométricos do fuso [48]

Segundo S. Manrich (2005), o ângulo do filete normalmente utilizado é de $17,6^\circ$. Este valor foi obtido empiricamente, já que apresenta bons resultados para a maioria dos polímeros.

A altura do canal pode ser determinada através do diagrama da figura 34-1, em função do diâmetro D e do tipo de polímero. Considerando um fuso de 20 mm de diâmetro nominal e sendo o PLA um polímero semi cristalino [54], obtemos o valor de 6 mm para a altura do canal da zona de alimentação e, aproximadamente 1,8 mm, para a altura de canal da zona de controle.

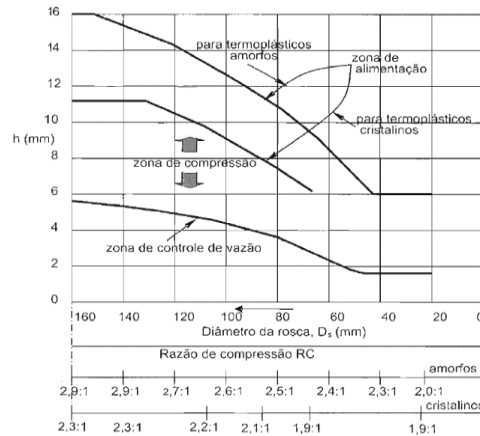


Figura 34-1: Diagrama para determinação da altura do canal do fuso [48]

Ainda segundo S. Manrich (2005), os comprimentos das três zonas características são diferentes. Sendo a zona de alimentação aproximadamente **15%** do comprimento total do fuso, a zona de pressão **25%** e a zona de controle cerca de 60%. O comprimento total do fuso, pode ser determinado pela **razão $\frac{L}{D}$** . Este parâmetro é importante, uma vez que é utilizado para caracterizar o tipo de fuso e a sua aplicação [48]. Assumindo uma razão $\frac{L}{D}$ de 20 e sendo o diâmetro nominal do fuso de 20 mm, obtém-se o comprimento total do fuso:

$$\frac{L}{D} = 20 \Leftrightarrow L = 400 \text{ mm}$$

Outro parâmetro importante, diz respeito à folga entre a rosca e o canhão. Esta folga deve permitir a rotação do fuso sem que haja colisão ou contacto com a parte interior do barril (designada de canhão). No entanto, não deve ultrapassar um valor que permita ao plástico fundido escapar-se, diminuindo a compressão e aumentando o desgaste dos componentes. A este parâmetro é geralmente atribuído um valor de 0,15 a 0,20, dependendo das dimensões do fuso.

Diâmetro (mm)	Canal na alimentação hi (mm)	Canal no final hf (mm)	RC hi/hf	Folga: rosca e canhão (mm)	Complemento
30	4,3	2,1	2,0:1	0,15	Passo: Ls = D a 0,7D L/Ls ~ 20 e ~ 0,1 D
40	5,4	2,6	2,1:1	0,15	
60	7,5	3,4	2,2:1	0,15	
80	9,1	3,8	2,4:1	0,20	
100	10,7	4,3	2,5:1	0,20	
120	12	4,8	2,5:1	0,20	
>120	máx. 14	máx. 5,6	máx. 3:1	0,25	

Tabela 3: Folgas utilizadas entre rosca e canhão [48]

Analisando a tabela, para um diâmetro nominal de 20 mm, assume-se o valor 0,15 mm para a folga entre a rosca e o canhão δ . Assim, temos os seguintes valores de parâmetros, para a determinação do perfil do fuso:

- Diâmetro nominal do fuso $D = 20 \text{ mm}$;
- Diâmetro externo do fuso $D_e = D - \delta \rightarrow D_e = 19,7 \text{ mm}$
- Altura de canal na zona de alimentação $h_1 = 6 \text{ mm}$;
- Altura de canal na zona de controlo $h_2 = 1,8 \text{ mm}$;
- Comprimento da zona de alimentação $L_1 = 0,15 \times L \rightarrow L_1 = 60 \text{ mm}$;
- Comprimento da zona de compressão $L_2 = 0,25 \times L \rightarrow L_2 = 100 \text{ mm}$;
- Comprimento da zona de controlo $L_3 = 0,6 \times L \rightarrow L_3 = 240 \text{ mm}$;

Desta forma, obtemos o seguinte perfil do fuso:

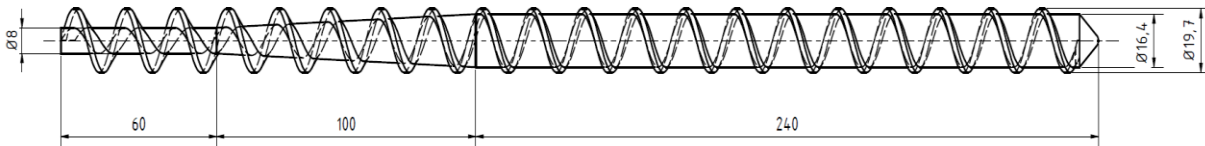


Figura 35-1: Perfil do fuso de acordo com os parâmetros determinados

Estando o perfil do fuso definido, é necessário determinar e verificar se o caudal respeita os requisitos. Este valor pode ser calculado através da equação:

$$Q_d = 0.5 \pi^2 D^2 N h \sin\theta \cos\theta \quad (\text{eq. 6}) \quad [49]$$

Porém, este valor só é válido caso não haja qualquer restrição à saída do polímero, o que não se verifica, uma vez que se sabe, à priori, que o *nozzle* com um orifício de 1,75 mm de diâmetro irá restringir a saída do material. Não podendo sair livremente, forma-se uma contra pressão que reduz o caudal de saída. Essa redução de fluxo é designada de caudal de contrapressão Q_b [49].

$$Q_b = \frac{p \pi D h^3 \sin^2\theta}{12 \eta L} \quad (\text{eq. 7}) \quad [49]$$

N = Velocidade de rotação do fuso rev/s

η = Massa volúmica do polímero fundido $\text{kg/m}^3 \rightarrow \text{PLA} = 1130 \text{ kg/m}^3$ [53]

p = Pressão na extremidade do fuso Pa

L = Comprimento total do fuso m

Portanto, o caudal de saída real Q_x corresponde à diferença entre o caudal teórico Q_d e o caudal de contrapressão Q_b .

$$Q_x = Q_d - Q_b \quad (\text{eq. 8})$$

O caudal de saída Q_x pode também ser descrito em função das dimensões e da forma do *nozzle* [49].

$$Q_x = K_s p \quad (\text{eq. 9}) \quad [49]$$

Onde,

K_s =Fator de forma do *nozzle*

Para um *nozzle* com orifício de forma circular, o parâmetro K_s pode ser descrito segundo:

$$K_s = \frac{\pi D_d^4}{128 \eta L_d} \quad (\text{eq. 10}) \quad [49]$$

Onde,

D_d = Diâmetro do orifício *nozzle* m

L_d = Comprimento do orifício do *nozzle* m

A pressão gerada na extremidade do fuso vai depender da viscosidade do polímero, das dimensões do fuso e do gradiente de pressões ao longo do barril. De acordo com a figura 36-1, a pressão de serviço p é o resultado da intersecção da curva característica do *nozzle* e da extrusora [49].

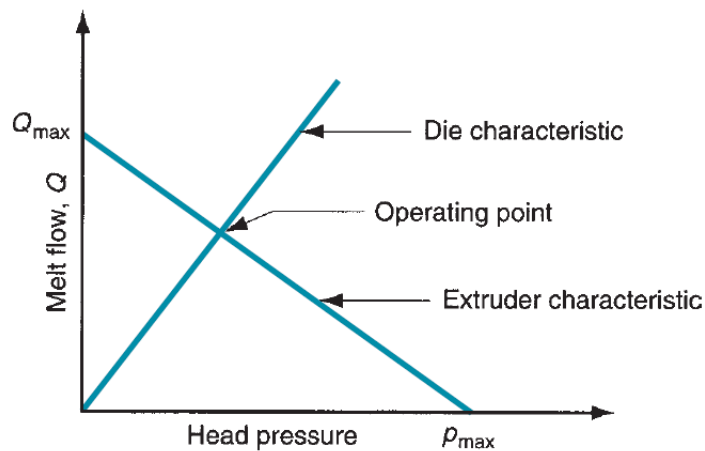


Figura 36-1: Curvas características da extrusora e do *nozzle* [49]
A intersecção das duas curvas pode ser obtida através do sistema de equações:

$$\begin{cases} Q_x = Q_{max} - \left(\frac{Q_{max}}{p_{max}}\right)p \\ Q_x = K_s p \end{cases} \quad (eq. 11)$$

Onde, a pressão máxima é a pressão que o fuso consegue exercer, caso o *nozzle* esteja completamente obstruído, e pode ser obtida através da equação:

$$p_{max} = \frac{6\pi D N L \eta \cot\theta}{h^2} \quad (eq. 12)$$

A velocidade de rotação máxima para um fuso convencional situa-se nos 60 rpm [48]. Assim, assume-se um valor de 40 rpm (0,67 rev/s).

A viscosidade do PLA fundido é aproximadamente 150 Pa.s [55].

Resolvendo as equações:

$$Q_{max} = Q_d = 0.5 \pi^2 (20 \times 10^{-3})^2 (0,67)(6 \times 10^{-3}) \sin 17,6 \cos 17,6 = 2,287 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$p_{max} = \frac{6\pi(20 \times 10^{-3})(0,67)(0,4)(150) \cot 17,6}{(6 \times 10^{-3})^2} = 1,327 \text{ MPa}$$

$$K_s = \frac{\pi (1,75 \times 10^{-3})^4}{128 (150) (5 \times 10^{-3})} = 3,07 \times 10^{-13} \text{ m}^5/\text{Ns}$$

$$\begin{cases} Q_x = 2,287 \times 10^{-6} - \left(\frac{2,287 \times 10^{-6}}{1,327 \times 10^6}\right)p \\ Q_x = 3,07 \times 10^{-13} p \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} Q_x = 3,46 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \\ p = 1,126 \times 10^6 \text{ Pa} \end{cases}$$

$$\begin{cases} Q_x = 0,001246 \text{ m}^3/\text{h} \\ p = 1,126 \text{ MPa} \end{cases}$$

Determinando o caudal mássico, fica:

$$\rho_{PLA} = \frac{\dot{m}}{Q} \rightarrow \dot{m} = 0,001246 \times 1130 = 1,41 \text{ kg/h}$$

O caudal mássico cumpre os requisitos de projeto estabelecidos, comprovando os parâmetros geométricos do fuso.

Por fim, a potência de acionamento do fuso pode ser calculada, através da seguinte expressão:

$$P_o = \dot{m}C_p (-T_{entrada} + T_{saída}) + \dot{m}H_f + \Delta p \cdot \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (eq. 13) \quad [48]$$

Onde,

\dot{m} = caudal mássico (kg/h)

C_p = calor específico (J/kg/K)

$T_{entrada}$ = temperatura do plástico à entrada da tremonha (°C)

$T_{saída}$ = temperatura do plástico à saída da tremonha (°C)

ρ = massa volúmica (kg/m³)

H_f = entalpia de fusão (J/kg)

Δp = diferença de pressão (Pa)

De acordo com a bibliografia consultada, obtiveram-se os seguintes valores para os parâmetros previamente referidos:

$$\dot{m} = \frac{1,41 \text{ kg}}{h},$$

$$\frac{C_p = 1800 \frac{J}{kg}}{K} [51],$$

$$H_f = 35\,000 \frac{J}{kg} [52]$$

$$\rho_{PLA\text{fundido}} = 1130 \frac{kg}{m^3},$$

$$\rho_{PLA\text{sólido}} = 1240 \text{ kg/m}^3 [53].$$

E estabelecendo: $T_{entrada} = 20^\circ\text{C}$ e $T_{saída} = 230^\circ\text{C}$, obtém-se:

$$P_o = 1,41 \times 1800 (230 - 20) + 1,41 \times 35000 + 1,126 \times 10^6 \cdot \frac{1,41}{1130}$$

$$P_o = 583735 \text{ J/h} \rightarrow P_o = 162,15 \text{ W}$$

Admitindo uma eficiência de 90% do motor elétrico e da transmissão, calcula-se a potência necessária do motor:

$$P_{motor} = \frac{162,15}{0,90} = 180,2 \text{ W}$$

Para a aplicação em causa, optou-se pela utilização de um motor stepper NEMA 34 de 12N.m, de malha fechada. A seleção deste tipo de motor deve-se à possibilidade de ajustar facilmente a velocidade, bem como, pelo elevado torque a baixa rotação e baixo custo.



Figura 37-1: Motor stepper NEMA 34

4. Conceção do equipamento de reciclagem

O equipamento de reciclagem é constituído por dois grandes blocos, que estão em série, mas é possível ter cada um em separado. O primeiro, um triturador ou moinho de facas, que irá produzir granulado de plástico através da moagem mecânica de peças de plástico. E uma extrusora, que receberá o granulado de PLA e o transformará em filamento, posteriormente bobinado e preparado para reutilização em impressoras FDM.

Os desenhos de fabrico, bem como os esquemas elétricos e especificações técnicas dos componentes, podem ser consultados nos anexos deste documento.

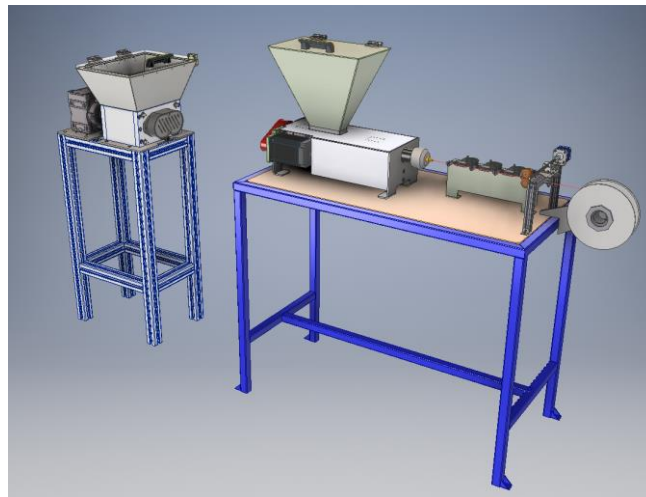


Figura 38-1: Linha de reciclagem de plástico

4.1. Triturador/Moinho de facas

O triturador tem como função, produzir grãos de plástico, através da moagem mecânica de peças resultantes do processo de impressão 3D. Embora o âmbito deste trabalho, seja a reutilização do polímero PLA, este dispositivo, foi projetado com robustez e capacidade para triturar eficazmente outros tipos de polímeros utilizados na impressão 3D, tal como o ABS, PETG, PA, entre outros.

O conceito utilizado para o desenvolvimento deste dispositivo é extramente versátil, possibilitando a moagem da maior parte dos materiais (madeira, plásticos, metais, cerâmicos), pela sua robustez, simplicidade de construção e adaptação a diferentes condições.

Este é constituído por uma tremonha, onde é depositado o plástico a ser triturado, um conjunto de rolos e facas, um motor elétrico com caixa redutora, uma malha perfurada com o

diâmetro de acordo com o calibre de grão desejado, a estrutura principal e um sensor de segurança para evitar acesso às zonas de perigo, durante o funcionamento da máquina.

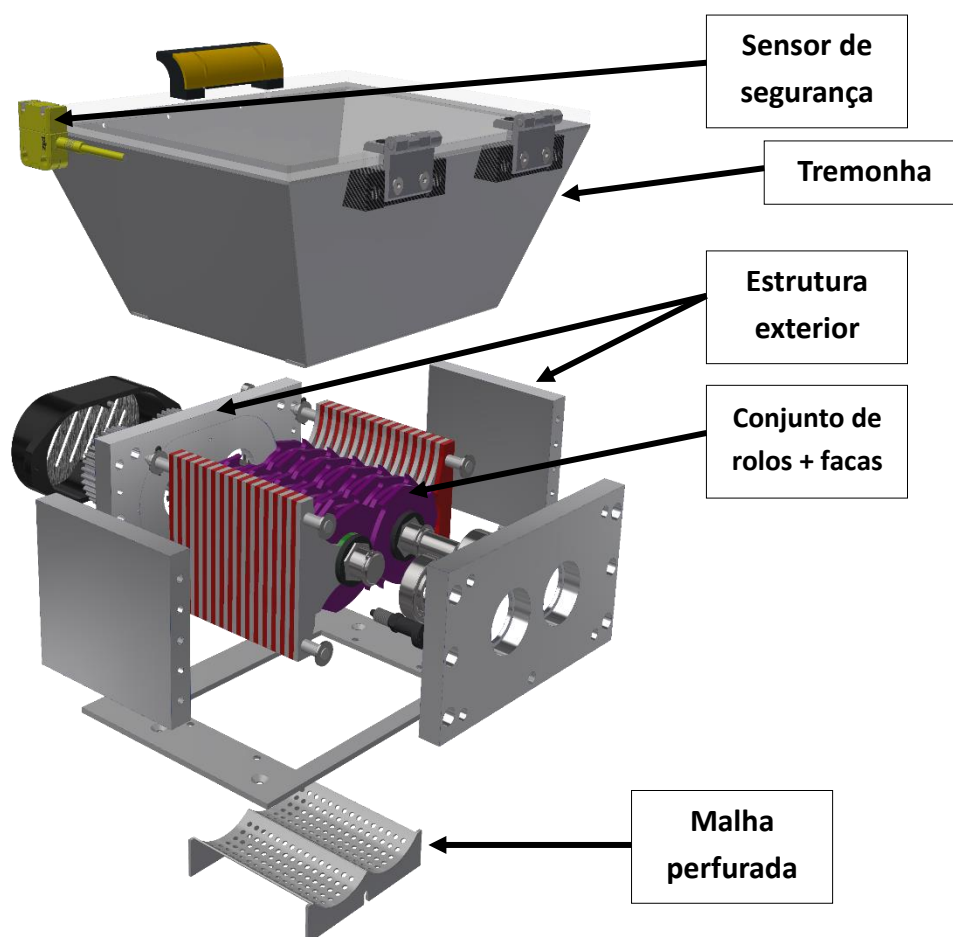


Figura 39-1: Vista explodida do triturador

A tremonha tem a geometria de um funil e tem como função servir de depósito aos materiais a triturar e proteger pessoas ou animais de acederem a peças em movimento, que possam causar lesões graves. Na parte superior, fica uma porta de acesso em policarbonato de 10 mm. O policarbonato oferece uma boa resistência mecânica e ao impacto e, por ser translúcido, permite observar o processo de trituração sem colocar em risco o operador, características muito importantes para a segurança e integridade física do operador.

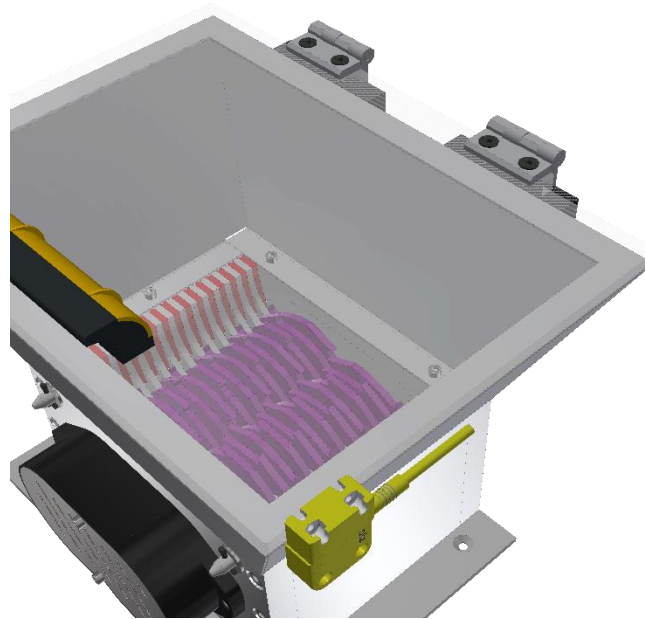


Figura 40-1: Detalhe tremonha

O conjunto de rolos e facas, são as partes funcionais da máquina. Este é constituído pelas facas, anilhas espaçadoras, chapas de contraste, eixos hexagonais, rolamentos e carretos de transmissão.

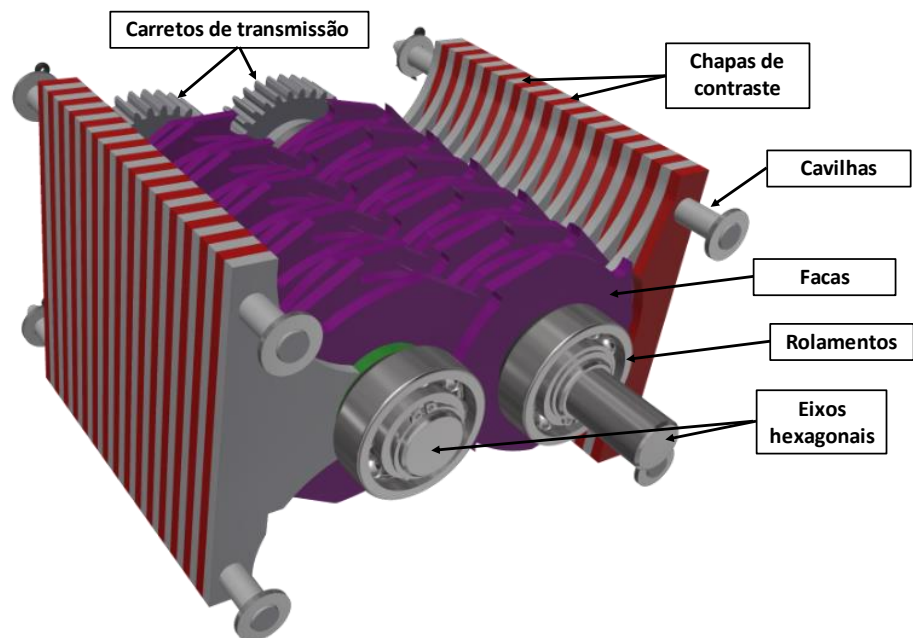


Figura 41-1: Detalhe conjunto de rolos e facas

O movimento de rotação das facas é dado por uma caixa redutora acoplada a um motor elétrico. A caixa redutora está conectada ao eixo hexagonal, através de uma ligação por chaveta/escatel. Os eixos transferem o movimento das facas. As facas, com uma geometria adaptada ao tipo de material a triturar, estão dispostas em grupos de quinze, paralelas entre si.

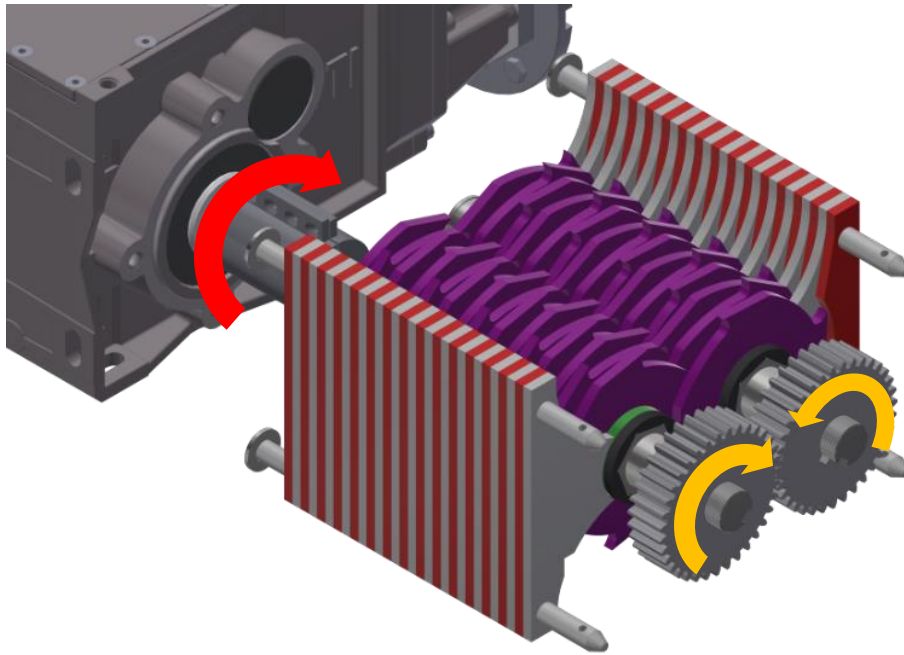


Figura 42-1: Funcionamento conjunto de rolos e facas

As facas estão desfasadas 120 mm, com o objetivo de tornar o processo de trituração mais gradual, diminuindo o momento e, conseqüentemente, a potência necessária do motor elétrico. Os esforços mecânicos também são reduzidos, principalmente nos eixos e nos rolamentos.

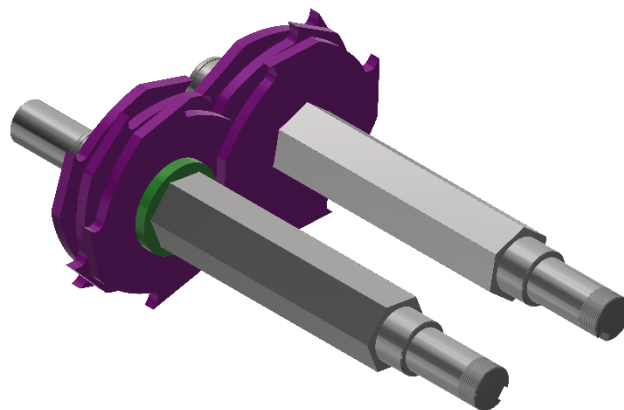


Figura 43-1: Disposição das facas a 120°

4.2. Extrusora/Bobinadora

Após a trituração do plástico, a próxima fase é a de extrusão de filamento. Conceptualmente, o dispositivo de extrusão é baseado num sistema de injeção de plástico convencional com algumas adaptações. Este processo começa por alimentar um parafuso sem fim, através de uma tremonha.

O parafuso, com movimento de rotação, tem como principal função, transportar o granulado ao longo de um tubo previamente aquecido, através de resistências elétricas. Durante o transporte, o plástico inicialmente em estado sólido, aquece devido ao contacto com as paredes do tubo, atingindo a transição vítrea e tornando-se num estado fundido, comportando-se como um líquido de viscosidade elevada.

Na extremidade do tubo, gera-se uma zona de pressão, obrigando o plástico a passar por um orifício designado por *nozzle* ou bico.

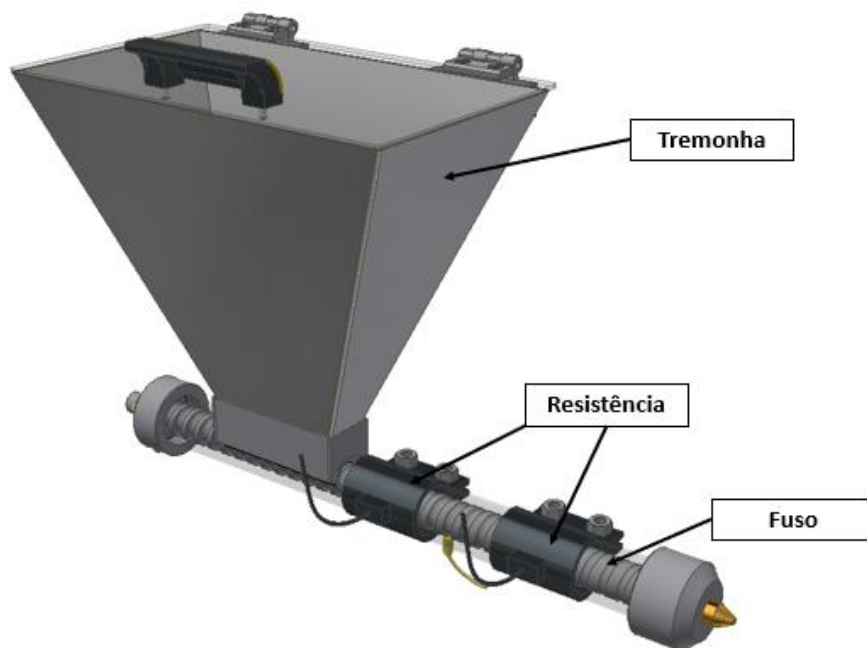


Figura 44-1: Tremonha, fuso e resistências elétricas

O *nozzle* tem a principal função de calibrar o diâmetro do fio durante a extrusão. Geralmente, as impressoras 3D estão adaptadas para utilizar fio de diâmetro $1,75 \pm 0,03$ mm, sendo este, o valor que terá de ser garantido para o orifício do *nozzle*.

O movimento de rotação do fuso é gerado por um motor de passo e transmitido através de uma ligação de correia dentada. A seleção deste tipo de motor, deve-se à simplicidade, flexibilidade em ajustar parâmetro, precisão e elevado binário a baixas rotações.

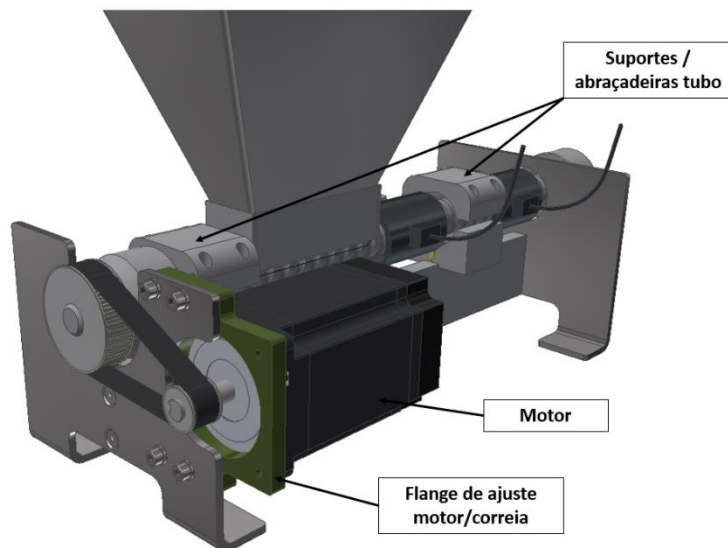


Figura 45-1: Sistema de transmissão de movimento

De forma a evitar o acesso a zonas de perigo, durante o funcionamento do equipamento, todas as partes que estejam em movimento devem ser isoladas ou protegidas. Para tal, na tampa da tremonha está considerado um sensor indutivo de segurança, da marca PILZ. O sistema de transmissão é isolado por uma tampa.

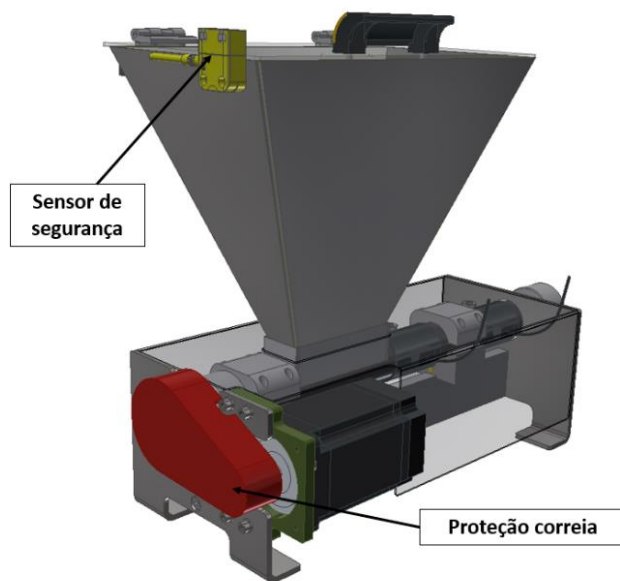


Figura 46-1: Sistemas de segurança e proteção

A bobinagem é a etapa final e consiste no arrefecimento, orientação e enrolamento do filamento (no estado sólido) em bobines reutilizadas. Nesta fase, o filamento acaba de sair da extrusora ainda quente, maleável e num estado “borrachoso”. Para que o filamento seja corretamente enrolado e mantenha o seu diâmetro de secção, previamente calibrado, este terá que ser manipulado cuidadosamente, arrefecido gradualmente e enrolado em sincronismo com a extrusora.

Assim que o filamento sai do *nozzle*, não pode ser manipulado, uma vez que, pode ser facilmente danificado pelo estado maleável em que se encontra. Assim, este cai livremente para arrefecer e ganhar alguma rigidez, que o permita ser manipulado facilmente sem correr o risco de variar o diâmetro de secção. Ao descer, é detetado por um sensor laser de barreira OMRON, que irá dar ordem ao motor da bobinadora para iniciar o seu movimento, tracionando o filamento.

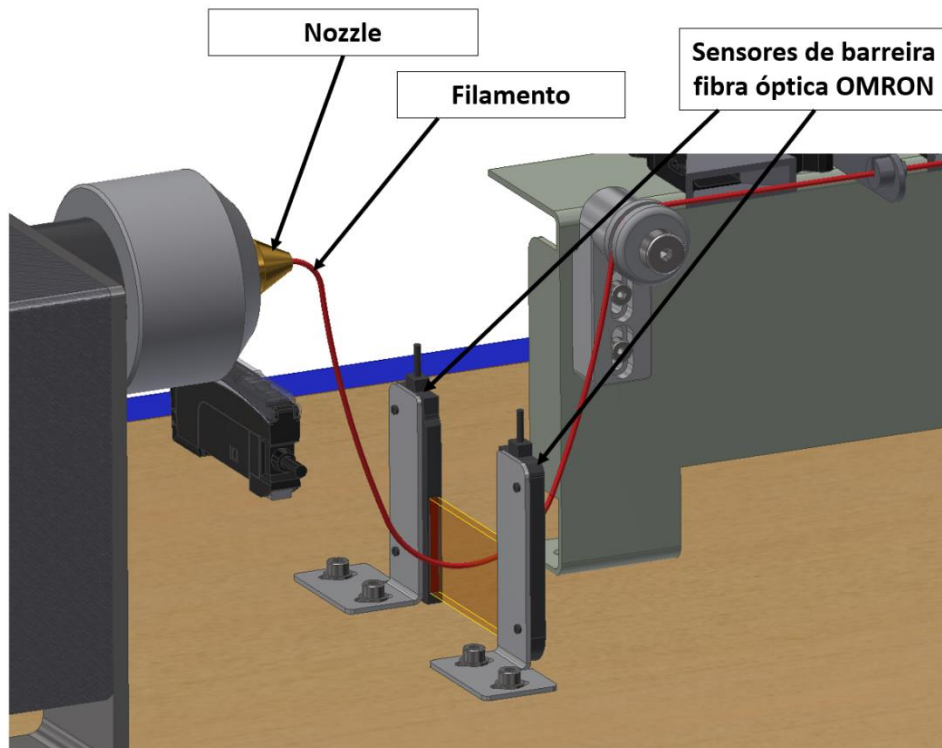


Figura 47-1: Movimento do filamento à saída da extrusora

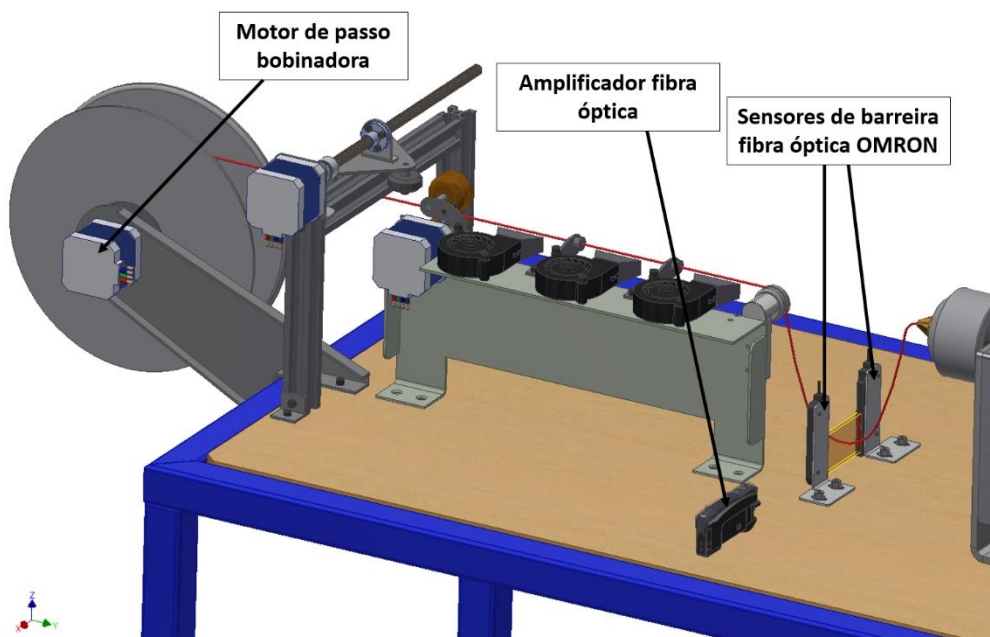


Figura 47-2: Movimento do filamento até á bobinadora

Durante o seu percurso até à bobinadora, o filamento é arrefecido por três ventiladores de velocidade regulável. O arrefecimento do filamento, previne que este fique colado durante o enrolamento. No entanto, não deve ser arrefecido até a temperatura ambiente, mas sim até uma temperatura que permita moldar-se à bobine sem risco de fissuras.

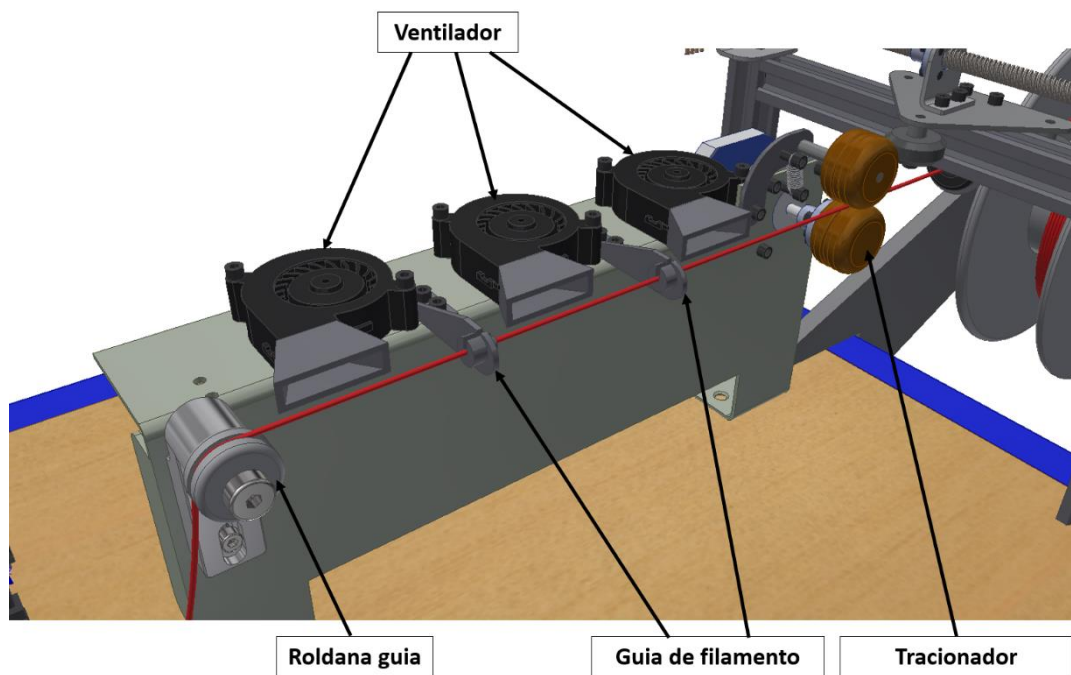


Figura 48-1: Sistema de arrefecimento de filamento

O tracionador é composto por um motor de passo e duas roldanas. Tem como função tracionar o filamento e mantê-lo sob tensão na bobine, evitando que se desenrole ou se sobreponha durante o enrolamento.

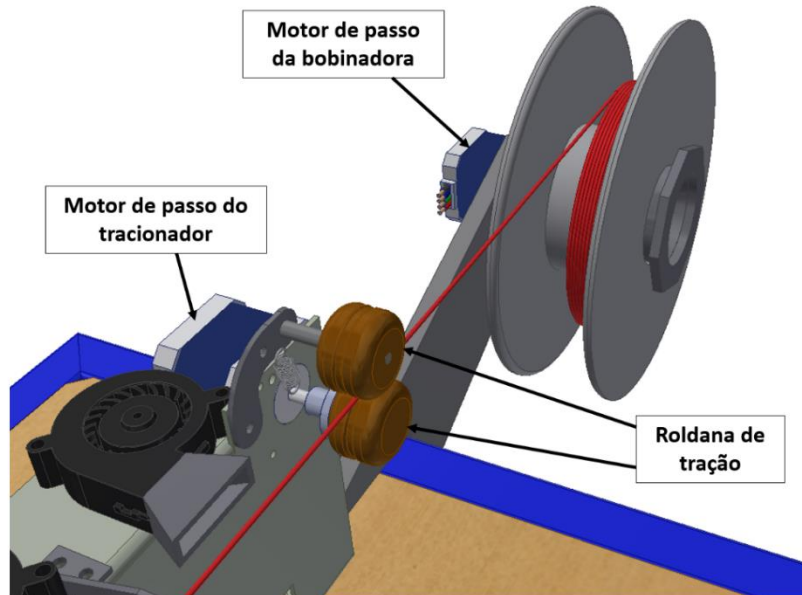


Figura 49-1: Sistema de tração de filamento

A sobreposição de filamento durante o enrolamento, aumenta o volume da bobine, diminuindo a capacidade de armazenamento de filamento. Além disso, pode causar encravamento e por consequência falha durante a impressão 3D. Por essa razão, considerou-se um sistema de orientação de filamento parametrizável, de acordo com a largura interior da bobine e espessura do filamento. Cada volta que a bobine completa, o filamento desloca-se para esquerda ou direita o equivalente ao diâmetro de secção, neste caso 1,75mm.

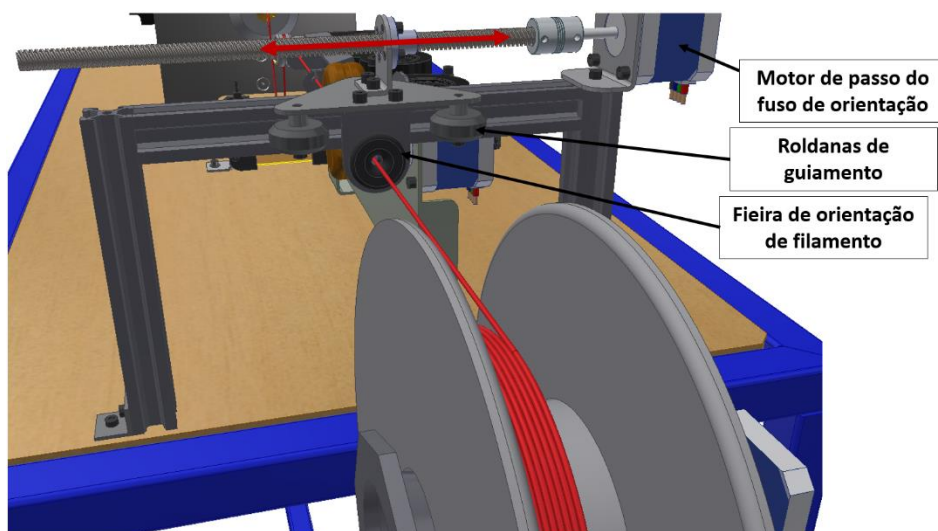


Figura 50-1: Sistema de orientação de filamento

Completando as voltas necessárias para preencher a largura da bobine, inverte o sentido, assegurando uma correta disposição do filamento nas várias camadas.

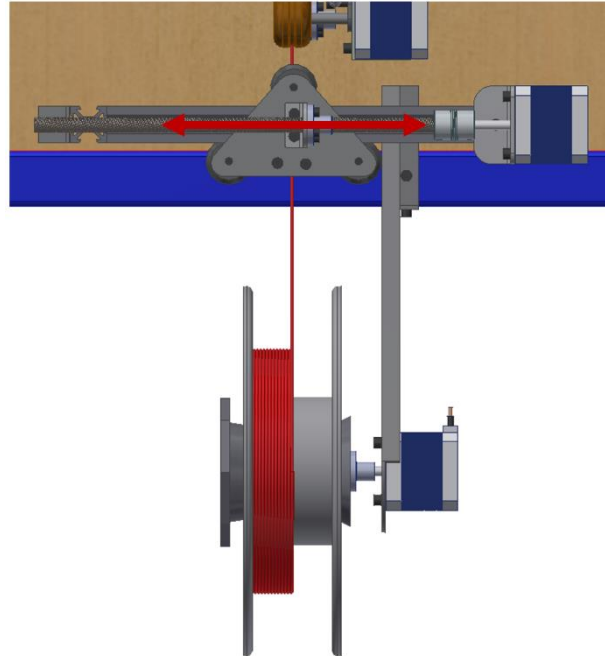


Figura 50-2: Sistema de orientação de filamento

4.3. Layout geral

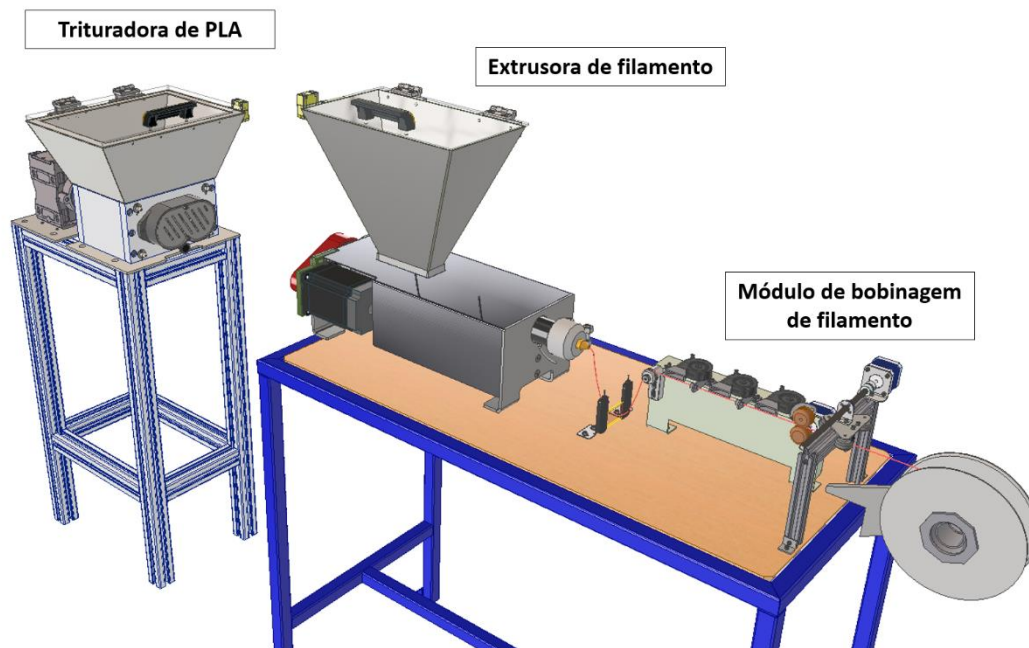


Figura 51-1: Layout equipamento de reciclagem de PLA

4.4. Definição inicial do planeamento do projeto

Este trabalho de dissertação, à semelhança de qualquer projeto de construção mecânico, pode ser dividido em seis fases, são elas: a análise dos requisitos de projeto, a definição de conceito, o desenvolvimento do projeto técnico, o fabrico de peças e aquisição de componentes, a montagem dos vários sistemas e, por fim, o arranque e validação do equipamento.

Os requisitos do projeto são geralmente comunicados através de um caderno de encargos ou uma especificação técnica e são as orientações e as balizas que dirigem e condicionam um projetista ou uma equipa de projeto a desenvolver uma determinada máquina, obra ou serviço. Os requisitos podem ser de carácter técnico, financeiro, de segurança, entre outros e devem ser suficientemente claros e tangíveis, de forma a transmitir as necessidades e as expectativas em relação à solução a desenvolver.

A definição de conceito é uma fase crucial do projeto. É o resultado da interpretação do problema, das necessidades e dos requisitos de projeto e desencadeia um esboço, mais ou menos elaborado, que servirá de alicerce às próximas fases do projeto. Nesta etapa, deve ser analisada a viabilidade técnica e financeira do projeto e antecipadas todas as possíveis dificuldades.

O desenvolvimento do projeto técnico pode ter várias dimensões dependendo da complexidade do mesmo. Cabe ao projetista ou à equipa multidisciplinar estudar, desenhar e seleccionar os diferentes componentes e sistemas, com foco constante na segurança, na qualidade, nos requisitos e nas limitações financeiras. Nesta fase, são elaborados todos os elementos necessários para a construção do equipamento como a lista de peças, desenhos técnicos de fabrico, esquemas eléctricos, entre outros. Esta documentação irá suportar toda a fase de fabrico, aquisição de matérias e componentes e a montagem dos vários integrantes.

A montagem é a materialização de todo o trabalho desenvolvido na fase de conceptualização e projeto técnico e é um processo que exige conhecimento específico em cada área de intervenção.

Por fim, os testes e validação atestam a funcionalidade para a qual o equipamento foi desenvolvido. Toda a documentação relativa ao equipamento e forma de operacionalização e manutenção, devem ser disponibilizadas, bem como, toda a análise de riscos associada.

Geralmente, todos os projetos têm uma data de início e término que, por norma, respondem a uma necessidade existente com prazos estipulados. Desta forma, é crucial elaborar um planeamento criterioso e exequível, que evidencie todas as fases já mencionadas anteriormente, entre outras informações relevantes.

Para o projeto em questão, apresenta-se o seguinte planeamento de atividades:

Atividades	Semanas																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Análise dos requisitos de projeto																										
Definição de especificações técnicas de projeto	■	■	■																							
Definição de conceito																										
Pesquisa e análise de funcionamento de trituradores				■																						
Recolha de informação sobre o PLA e processo de FDM					■																					
Pesquisa e análise de funcionamento de injetoras/extrusoras de plástico						■																				
Projeto - trituradora																										
Dimensionamento dos componentes mecânicos							■																			
Desenho 3D							■	■																		
Esquema elétrico									■																	
Projeto - extrusora																										
Dimensionamento dos componentes mecânicos										■	■															
Desenho 3D										■	■	■														
Esquema elétrico												■	■													
Produção e aprovisionamento																										
Elaboração de elementos para fabrico																■	■									
Pedidos de cotação																	■	■								
Compra de componentes																		■								
Montagem																										
Montagem e afinação - trituradora																						■	■			
Montagem e afinação - extrusora																							■	■		
Testes finais e validação																										
Testes e validação																									■	■
Elaboração da documentação técnica																									■	■

Tabela 4: Cronograma de atividades do projeto

5. Conclusões e trabalhos futuros

Esta dissertação de mestrado assumiu como objetivo desenvolver uma solução para a reciclagem de resíduos, resultantes do processo de impressão 3D, com a construção de um equipamento que os torna reutilizáveis para o processo de FDM.

Para tal, foi realizada uma revisão bibliográfica da história e evolução do processo de impressão 3D, contrapondo os seus benefícios e limitações, dando ênfase à tecnologia existente, relativamente aos equipamentos, softwares e materiais consumíveis. Nestes últimos, o PLA foi um dos principais temas de estudo, pela sua grande versatilidade e facilidade de utilização.

À posteriori, foram analisados os processos de reciclagem de plástico, que apresentam, cada vez mais, métodos eficientes na separação e transformação dos polímeros, com o objetivo da sua reutilização, quando possível.

O planeamento e gestão do projeto, revelaram ser importantes ferramentas, uma vez que clarificaram as várias fases do projeto, facilitando a definição de prioridades, organização do trabalho e eficiência das tarefas.

Por fim, contextualizou-se e descreveu-se detalhadamente o projeto prático em questão, recorrendo ao dimensionamento de elementos críticos do equipamento, que exigiram uma pesquisa exaustiva, tanto dos processos de corte envolvidos na trituradora, como no processo de extrusão de plástico que ocorre na extrusora. Para isso, foram utilizados métodos analíticos, suportados pela bibliografia existente, e com o auxílio de softwares de elementos finitos. Foram dimensionados os componentes considerados críticos da trituradora, como as facas, veios e motor, e da extrusora, como o fuso, o barril e o motor. A força de corte por faca foi determinada analiticamente, resultando num valor de 170N. Esta força, multiplicada pelo número de facas ativas, resulta em tensões de corte máximas nos veios de transmissão de 25,20MPa. O binário necessário a fornecer aos veios pelo motor, foi também determinado com base nas forças de corte, resultando num valor de 76,4N.m. Assim, foi também possível determinar a potência do motor de 2080,4W.

A extrusora foi também objeto de estudo, tendo o conjunto fuso/barril resultado num caudal máximo de 1,41kg/h, necessitando de uma potência de 180,2W, fornecido pelo motor elétrico.

Os resultados obtidos neste estudo, apesar de não comprovados praticamente, mostraram-se credíveis, comparativamente com equipamentos equiparáveis, já existentes no mercado.

Em suma, foi possível demonstrar, ao longo de todo este estudo, que esta é uma solução teoricamente viável e exequível de ser posta em prática, no entanto, carece de ensaios experimentais que avaliem o comportamento do PLA reciclado no processo de impressão 3D, bem como, das propriedades físicas do material impresso.

A reciclagem e utilização de materiais orgânicos, como o PLA, são objeto de estudo desta dissertação e são dois tópicos importantes, contribuintes para a sustentabilidade dos recursos e redução da poluição do planeta em que vivemos. Assim sendo, este projeto assume particular relevância e permite a continuação do desenvolvimento do estudo, podendo este tema ser também utilizado para diversas investigações futuras, como:

- Reciclagem e transformação de resíduos de plástico para impressão 3D;
- Avaliação da capacidade de impressão de vários tipos de plástico;
- Estudo do perfil das facas e influência nos parâmetros de corte de uma trituradora, para determinado material;
- Estudo da variação de parâmetros de extrusão no resultado final do material extrudido;

A construção do equipamento de reciclagem poderá ser também alvo de um trabalho futuro, sendo pretensão do IPV adaptar o documento a um pedido de patente.

Conclui-se, portanto, que os objetivos propostos foram alcançados e existe margem de desenvolvimento nas áreas abordadas, uma vez que, o mundo da impressão 3D e tudo o que este engloba, está em permanente mudança e evolução.

Referências bibliográficas

- [1] G. Santos. *"Análise do comportamento mecânico de componentes produzidos por fabrico por filamento fundido"* (2016). Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, PT
- [2] J. Colpani. *Uma história de sucesso - descubra como surgiu a impressora 3D* (2019, Jan 28). Disponível em: <http://printwayy.com/blog/uma-historia-de-sucesso-descubra-como-surgiu-a-impressora-3d/>
- [3] 3D Systems. *Our story* (2019, 22 Jan). [Em linha]. Disponível em: <https://www.3dsystems.com/our-story>.
- [4] A.T.G. Castanheira. *"Impressão 3D de estruturas para isolamento térmico"* (2016). Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa, PT
- [5] Computerworld. *10 setores revolucionados com adoção de impressão 3D* (2019, 23 Jan). Disponível em: <https://computerworld.com.br/2018/05/29/10-setores-revolucionados-com-adocao-de-impressao-3d/>.
- [6] E. Alecrim. *LSEV vai ser o primeiro carro produzido em massa com impressão 3D*. (2019, 24 Jan). Disponível em: <https://tecnoblog.net/237240/carro-impressora-3d-lsev/>.
- [7] A. Pacheco. *A impressão 3D no mercado da construção civil* (2019, 23 Jan). Disponível em: <http://maisenengenharia.altoqi.com.br/estrutural/impressao-3d-mercado-da-construcao-civil/>.
- [8] H. Séneca. *As limitações da impressão 3D? Eis as respostas de um investigador do técnico* (2019, 25 Jan). Disponível em: <http://exameinformatica.sapo.pt/noticias/ciencia/2016-09-05-As-limitacoes-da-impressao-3D--Eis-as-respostas-de-um-investigador-do-Tecnico>.
- [9] A. Pearson. *10 disadvantages of 3D printing technology* (2019, 25 Jan). Disponível em: <https://3dinsider.com/3d-printing-disadvantages/>.
- [10] Y.R. Reddy. *What are the current limitations of 3d printing?* (2019, 25 Jan). Disponível em: https://www.quora.com/What-are-the-current-limitations-of-3d-printing?fbclid=IwAR36nSH1xbHwtAcSekOdK_aZ6_Y7KXIYwN4ZLIqg87BbGskHeQmNFbjn0K4.

- [11] My 3D Concepts. *11 things to consider when choosing your first or next desktop 3D printers* (2019, 25 Jan). Disponível em : <http://my3dconcepts.com/explore/main-components-of-desktop-3d-printers/>
- [12] A. Sánchez. *Impresoras 3D cartesianas vs. impresoras 3D delta* (2019, 26 Jan). Disponível em: <http://diwo.bq.com/impresoras-3d-cartesianas-vs-delta/>.
- [13] Mecspe-DeltaWASP-2040Turbo-1024x1024.jpg (2019, 26 Jan). Disponível em: <https://www.3dwasp.com/wp-content/uploads/2017/03/Mecspe-DeltaWASP-2040Turbo-1024x1024.jpg>.
- [14] B. Yusuf. *3D printers explained: delta, cartesian, polar, scara* (2019, 26 Jan). Disponível em: <https://all3dp.com/know-your-fdm-3d-printers-cartesian-delta-polar-and-scara/>.
- [15] E. Krassenstein. *Polar 3D launches unique polar coordinate-based FFF 3D printer at CES 2015* (2019, 26 Jan). Disponível em: <https://3dprint.com/35656/polar-3d-printer-ces-2015/>.
- [16] Sublime Layers. *Some musings on retracts* (2019, 26 Jan). Disponível em: <http://www.sublimelayers.com/2016/10/some-musings-on-retracts.html>.
- [17] Pinshape Blog. *Ultimate beginners guide: how do 3D printers work* (2019, 26 Jan). Disponível em: <https://pinshape.com/blog/how-do-3d-printers-work/>.
- [18] Pinshape Blog. *Direct drive vs bowden extruder guide and calibration tips* (2019, 26 Jan). Disponível em: <https://pinshape.com/blog/direct-drive-vs-bowden-extruder-guide/>.
- [19] The Jerusalem Post. *8 best commercial 3D printers for 2018* (2019, 26 Jan). Disponível em: <https://www.jpost.com/PromoContent/8-Best-Commercial-3D-Printers-For-2016-442620>.
- [20] O.S. Carneiro et al. *Fused deposition modeling with polypropylene, Materials and Design* (2015, Jun), p. 768-776.
- [21] Export-Settings@2x.jpg (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://ultimaker.com/img/support/Export-Settings@2x.jpg>.
- [22] Slic3r. *About* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://slic3r.org/about/>.
- [23] T.E. Halterman. *3D slash software is aimed at non-designer users* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://3dprint.com/48443/3d-slash-printing-software/>.
- [24] A. Locker. *Best 3D slicer software for 3D printers of 2018 (most are free)* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>.

- [25] D. Cohn. *Netfabb review: prepared for additive manufacturing* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://www.digitalengineering247.com/article/netfabb-prepared-additive-manufacturing>.
- [26] Textos Científicos. *ABS* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>.
- [27] Wikipédia. *Poliácido láctico* (2019, 27 Jan). Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Poli%C3%A1cido_l%C3%A1ctico&oldid=46172736.
- [28] Tudo sobre Plásticos. *PET* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://www.tudosobreplasticos.com/materiais/pet.asp>.
- [29] Cliever. *Desvendando o PET* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://www.cliever.com//pt-br/blog/post/21/desvendando-o-petg>.
- [30] Tudo sobre Plásticos. *Poliamidas* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://www.tudosobreplasticos.com/materiais/poliamidas.asp>.
- [31] Cammada. *Materiais para impressão 3D* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://www.cammada.com/materiais>.
- [32] eCycle. *Plástico PLA: alternativa biodegradável e compostável* (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/37-tecnologia-a-favor/738-pla-o-plastico-compostavel.html>.
- [33] P. Gritten. *Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D* (2017), p. 10.
- [34] Filament2print. *Nova gama de filamentos PLA e ABS* (2019, 27 Jan). Disponível em: https://filament2print.com/pt/blog/17_nova-gama-filamentos-PLA-ABS.html.
- [35] Plástico Transforma. *Etapas do processo de reciclagem do plástico* (2019, 27 Jan). Disponível em: <http://www.plasticotransforma.com.br/etapas-do-processo-de-reciclagem-do-plastico>.
- [36] Mirapapel. *Triagem de resíduos* (2019, 27 Jan). Disponível em: <http://www.mirapapel.com/index.asp?p=ss&i=pt&x=2>.
- [37] P. Meister. *Reciclagem de Plástico - Revista AEP Ambiente* (3) (1995, Dez). Disponível em: <http://old.aeportugal.pt/Areas/AmbienteEnergia/RevistaPDF/Revista03/ReciclagemPlastico.pdf>

- [38] Tudo sobre Plásticos. Lavagem e separação de plásticos (2019, 27 Jan). Disponível em: <https://www.tudosobreplasticos.com/processo/lavagem.asp>.
- [39] B+B Anlagenbau. The process of plastic recycling (2019, 27 Jan). Disponível em: <http://www.bub-anlagenbau.de/process/>
- [40] SATRINDTECH-Shreding Solutions. *Trituradores industriales 4R*, 100-150. Disponível em: <https://satrindtech.com/es/triturador-industrial-4-ejes-serie-4r-100-150/>
- [41] A.T.S. Tools & Engineering. *Tyre shredder blades*
Disponível em: <https://www.indiamart.com/proddetail/tyre-shredder-blades-11702518897.html>
- [42] Groundcare Essentials. *Bearcat 70494 wet debris screen*. Disponível em: <https://www.groundcareessentials.com/product/bearcat-70494-wet-debris-screen/>
- [43] PILZ, Oficial site. Disponível em: <https://www.pilz.com/en-INT>
- [44] I. Anderson. *Mechanical properties of specimens 3D printed with virgin and recycled polylactic acid. 3D printing and additive manufacturing* (2017). 4(2), 110-114. doi: 10.1089/3dp.2016.0054
- [45] Mitsubishi Material - metalworking solutions company. *Cutting power for turning*. Disponível em: http://www.mitsubishicarbide.com/en/technical_information/tec_turning_tools/tec_external_turning/tec_external_formula/tec_turning_cutting_power_formula
- [46] SEW Eurodrive. *R27DRN100LS4 Motorreductor de engragens helicoidais R*. Disponível em: https://www.sew-eurodrive.pt/os/c/main.do?country=PT&language=pt_PT&addon=BASKET&viewset=BASKET&action=READ_TRANSFER_SERVICE&g=F4E9D47F1DE01EDC8FB90240930BE0DA
- [47] J. B. Bacalhau e T.M. Cunha. *Effect of Ni content on the hardenability of a bainitic steel for processing of plastics*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321597264_Effect_of_Ni_content_on_the_Hardenability_of_a_Bainitic_Steel_for_Plastics_Processing
- [48] S. Manrich. *Processamento de termoplásticos* (2005). p. 109,132
- [49] M. Groover. *Fundamentals of Modern Manufacturing* (2010). (4ed) p. 250-280
- [50] RESITEC. *Resistências de banda*. Disponível em: <https://www.resitec.pt/pt/produtos/sondas-e-resistencias/resistencias-eletricas/resistencias-de-banda>

- [51] O. Zmeskal, L. Marackova, T. Lapcikova, et al. *Thermal properties of samples prepared from polylactic acid by 3D printing* (Nov, 2020)
- [52] W. Yu, X. Wang, E. Ferraris, J. Zhang. *Melt crystallization of PLA/Talc in fused filament fabrication* (2019) p. 5
- [53] Plastemart. *Processing of PLA (biopolymer) requires some care*. Disponível em: [http://atozplastics.com/upload/literature/processingofpla\(biopolymer\).asp](http://atozplastics.com/upload/literature/processingofpla(biopolymer).asp)
- [54] J. Gotro. *Poly lactic acid (PLA) is gaining traction in the market* (2012, Set) Disponível em: <https://polymerinnovationblog.com/poly-lactic-acid-pla-is-gaining-traction-in-the-market/>
- [55] Y. Yoon, K. Park, S. Lee, W. Park. *Fabrication of microfibrillar and nano-/microfibrillar scaffolds: melt and hybrid electrospinning and surface modification of poly (L-lactic acid) with plasticizer*. (2013, Dez). doi: 10.1155/2013/309048

Anexos

Anexo A

Listagem de peças Trituradora

Listagem de peças

Data: 17/11/2021

Projeto: Estudo e construção de um equipamento de reciclagem de material resultante de impressão 3D

Nº de conjunto: RP-100-01000

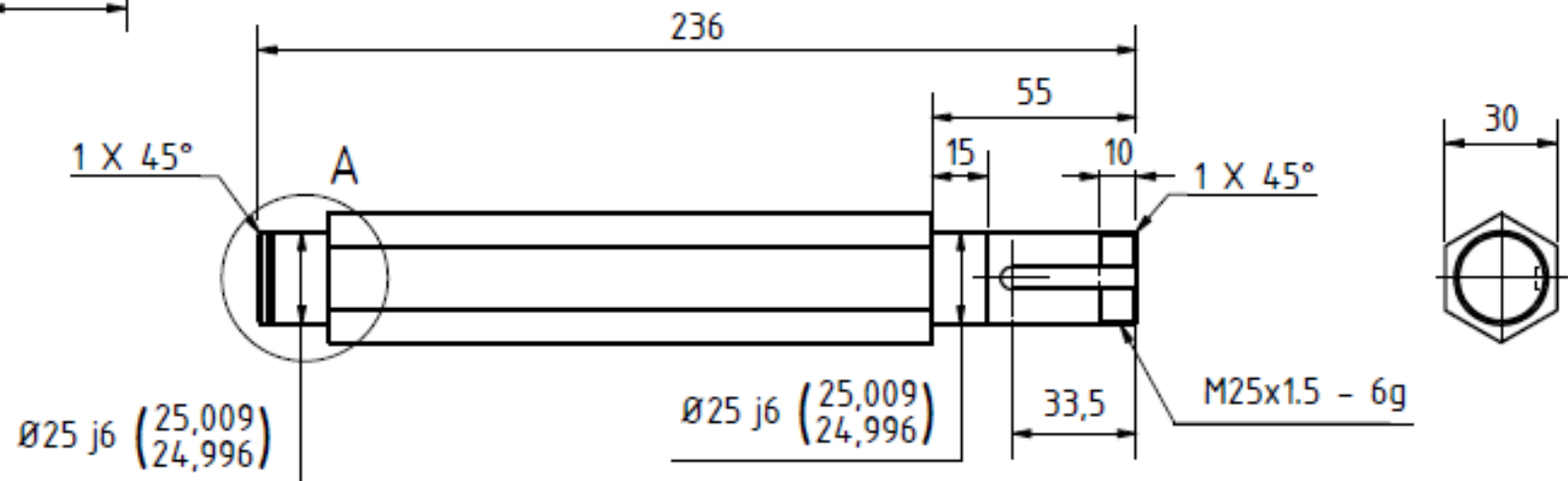
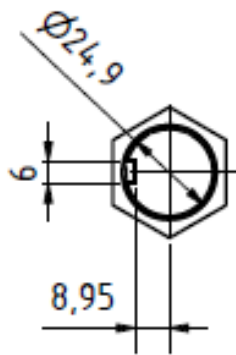
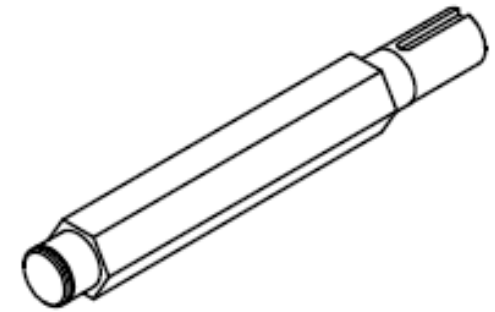
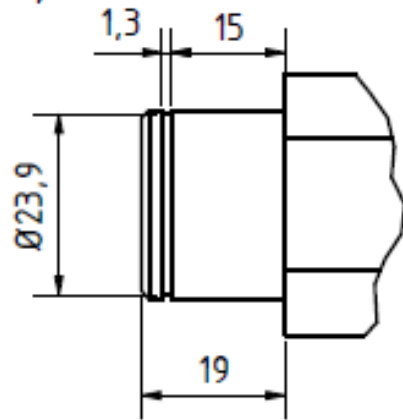
Nome conjunto: Trituradora

ITEM	Qtd.	Referência	Material	Descrição	Marca
1	1	RP-100-10000			
1.1	1	RP-100-10001	AL5081		
1.2	2	RP-100-10002	AL5081		
1.3	1	RP-100-10003	1.1191		
1.4	1	RP-100-10004	1.1191		
1.5	4	RP-100-10005	S235JR		
1.6	30	RP-100-10006	S235JR		
1.7	10	RP-100-10007	S235JR		
1.8	10	RP-100-10008	S235JR		
1.9	10	RP-100-10009	S235JR		
1.10	1	RP-100-10010	AL5081		
1.11	1	RP-100-10011	S235JR		
1.12	2	RP-100-10012	S235JR		
1.13	1	RP-100-10013	ABS Plastic		
1.14	1	RP-100-10014	AISI304		
1.15	1	RP-100-10015	S235JR		
1.16	2	RP-100-11000			
1.16.1	15	RP-100-11001	S235JR		
1.16.2	15	RP-100-11002	S235JR		
1.17	4	RP-100-12000			
1.17.1	1	RP-100-12001	S235JR		
1.17.2	2	DIN 125 - A 10,5		Washer	
1.17.3	1	EN ISO 1234 - 3,2x14		Split Pin	
1.18	1	RP-100-13000			
1.18.1	2	RP-100-13001	S235JR		
1.18.2	2	RP-100-13002	S235JR		
1.19	1	RP-100-14000			
1.19.1	2	RP-100-14001	AISI304		
1.19.2	2	RP-100-14002	AISI304		
1.19.3	2	RP-100-14003	ABS-Printed		
1.19.4	1	RP-100-14004	Polycarbonate, Clear		
1.19.5	1	RP-100-14005	AISI304		
1.19.6	1	_2009845_A			PILZ
1.19.7	1	A_37x18x18mm_2009843_A			PILZ
1.19.8	1	Guard safety handles ESP.110-EH-C4		ESP.-Guard safety handles	ELESA
1.19.9	2	Hinges CFM.50-63-SH-6(0)		CFM.-Hinges	ELESA
1.19.10	4	DIN 555-5 - M6		Hex Nut	
1.19.11	4	DIN 912 - M5 x 16		Cylinder Head Cap Screw	
1.19.12	2	DIN 912 - M6 x 16		Cylinder Head Cap Screw	
1.19.13	4	DIN 7991 - M6 x 20		Countersunk Screw	
1.19.14	4	ISO 10642 - M6 x 16		Hexagon Socket Countersunk Head Screw	
1.20	2	22400-0120200035		22400-Spur gears in steel, module 2	NORELEM
1.21	2	Indexing plunger GN 617.1-6-A		GN 617.1-Indexing plungers with rest position, type A	GANTER
1.22	2	DIN 471 - 25x1,2		Retaining rings for shaft	
1.23	4	DIN 625 SKF - SKF 6205-2RSH		Deep groove ball bearings single row	
1.24	2	DIN 912 - M4 x 20		Cylinder Head Cap Screw	
1.25	6	DIN 912 - M5 x 8		Cylinder Head Cap Screw	
1.26	2	DIN 912 - M5 x 50		Cylinder Head Cap Screw	
1.27	12	DIN 912 - M8 x 30		Cylinder Head Cap Screw	
1.28	2	DIN 6885 - A 6 x 6 x 25		Parallel Key	
1.29	4	DIN 7991 - M6 x 20		Countersunk Screw	
1.30	2	ISO 2982-2 - 25 x 32		Locknuts and locking devices	
1.31	2	ISO 2982-2 - M25 x 1,5 x 32		Locknuts and locking devices	
2	1	RP-100-20001			

Anexo B

Desenhos de conjunto Trituradora

A (1 : 1)



Material							
1.1191						RP-100-10004	
				Data	Nome		
				Desenhado: 09/01/2022	João		
				Verificado:			
				Norma:			
Estado	Modificac	Data	Nome				

A4

Anexo C

Listagem de peças Extrusora/Bobinadora

Listagem de peças

Data: 17/11/2021

Projeto: Estudo e construção de um equipamento de reciclagem de material resultante de impressão 3D

Nº de conjunto: RP-200-01000

Nome conjunto: Extrusora + Bobinadora

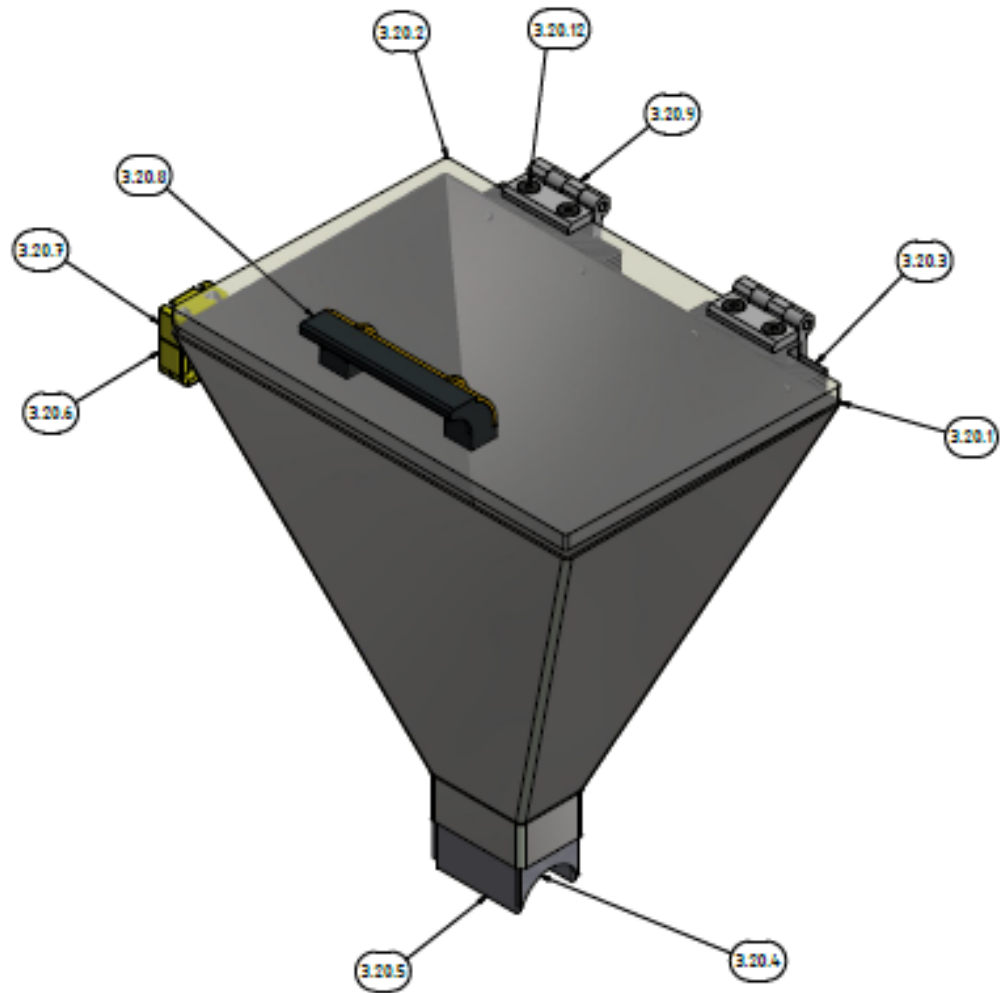
ITEM	Qtd.	Referência	Material	Descrição	Marca
3	1	RP-200-10000			
3.1	1	RP-200-10001	AISI304		
3.2	1	RP-200-10002	AISI304		
3.3	1	RP-200-10003	AISI304		
3.4	1	RP-200-10004	AISI304		
3.5	1	RP-200-10005	Brass, Soft Yellow		
3.6	1	RP-200-10006	AL5081		
3.7	1	RP-200-10007	AL5081		
3.8	1	RP-200-10008	AL5081		
3.9	1	RP-200-10009	AL5081		
3.10	1	RP-200-10010	AL5081		
3.11	1	RP-200-10011	AISI304		
3.12	1	RP-200-10012	AISI304		
3.13	1	RP-200-10013	S235		
3.14	1	RP-200-10014	ABS-Printed		
3.15	1	RP-200-10015	AISI304		
3.16	1	RP-200-10016	AISI304		
3.17	1	RP-200-10017	AISI304		
3.18	1	RP-200-10018	AISI304		
3.19	1	RP-200-10019	AISI304		
3.20	1	RP-200-11000			
3.20.1	1	RP-200-11001	AISI304		
3.20.2	1	RP-200-11002	Polycarbonate, Clear		
3.20.3	2	RP-200-11003	ABS-Printed		
3.20.4	2	RP-200-11004	AISI304		
3.20.5	2	RP-200-11005	AISI304		
3.20.6	1	_2009845_A			PILZ
3.20.7	1	A_37x18x18mm_2009843_A			PILZ
3.20.8	1	Guard safety handles ESP.110-EH-C4		ESP.-Guard safety handles	ELESA
3.20.9	2	Hinges CFM.50-63-SH-6(0)		CFM.-Hinges	ELESA
3.20.10	4	DIN 912 - M5 x 16		Cylinder Head Cap Screw	
3.20.11	4	DIN 7991 - M6 x 20		Countersunk Screw	
3.20.12	4	ISO 10642 - M6 x 16		Hexagon Socket Countersunk	
3.21	1	SKF_51103		BD1_001_BDC_001	SKF
3.22	2	SKF_NA 4903.2RS		BN1_003-Needle roller bearings	SKF
3.23	2	Resistance			RESITEC
3.24	1	Synchronous Pulley1			NORELEM
3.25	1	Synchronous Pulley2			NORELEM
3.26	1	86HSE116 8N.m Closed Loop Nema34		Motor STEP NEMA 34	NEMA
3.27	1	Synchronous Belt			GATES
3.28	8	DIN 125 - A 6,4		Washer	
3.29	1	DIN 471 - 17x1		Retaining rings for shaft	
3.30	3	DIN 912 - M4 x 12		Cylinder Head Cap Screw	
3.31	3	DIN 912 - M6 x 30		Cylinder Head Cap Screw	
3.32	4	DIN 934 - M6		Hex Nut	
3.33	4	DIN 7991 - M6 x 20		Countersunk Screw	
3.34	1	ISO 7380-1 - M6 x 30		Hexagon Socket Button Head Screw	
4	1	RP-200-20000			
4.1	1	RP-200-21000			
4.1.1	1	RP-200-21001	AISI304		
4.1.2	1	RP-200-21002	AISI304		
4.1.3	1	E3NX_FA41			OMRON
4.1.4	1	E32_T16WR			OMRON
4.1.5	4	ISO 4762 - M4 x 12		Hexagon Socket Head Cap Screw	

4.1.6	4	ISO 7089 - 4		Plain washers - Normal series	
4.1.7	4	ISO 10642 - M3 x 8		Hexagon Socket Countersunk Head Screw	
4.2	1	RP-200-22000			
4.2.1	1	RP-200-22001	AISI304		
4.2.2	1	RP-200-22002	AL5081		
4.2.3	1	RP-200-22003	Nylon 6/6		
4.2.4	2	RP-200-22004	AL5081		
4.2.5	2	RP-200-22005	Nylon 6/6		
4.2.6	1	RP-200-22006	AISI304		
4.2.7	1	RP-200-22007	Nylon 6/6		
4.2.8	1	RP-200-22008	1.1191		
4.2.9	1	RP-200-22009	Nylon 6/6		
4.2.10	1	RP-200-22010	AL5081		
4.2.11	1	Spring			VANEL
4.2.12	2	SKF_626		BB1_001_101-Deep groove ball bearings	SKF
4.2.13	1	NEMA 23_STEPPER MOTOR			NEMA
4.2.14	3	Cooler_fan			COOLER
4.2.15	1	ANSI B18.3.3M - M6x1 x 27,25		Broached Hexagon Socket Head Shoulder Screw	
4.2.16	1	DIN 471 - 6 x 0,7		Spring Retaining Ring	
4.2.17	2	ISO 4026 - M3 x 4		Hexagon socket set screws with flat point	
4.2.18	4	ISO 4032 - M4		Hexagon nuts, style 1	
4.2.19	4	ISO 4762 - M3 x 20		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.2.20	4	ISO 4762 - M4 x 8		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.2.21	5	ISO 4762 - M4 x 12		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.2.22	6	ISO 4762 - M4 x 20		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.2.23	2	ISO 7089 - 4		Plain washers - Normal series	
4.2.24	4	ISO 7380-1 - M4 x 10		Hexagon Socket Button Head Screw	
4.3	1	RP-200-23000			
4.3.1	1	RP-200-23001	AISI304		
4.3.2	1	RP-200-23002	AL5081		
4.3.3	3	RP-200-23003	Nylon 6/6		
4.3.4	1	RP-200-23004	AISI304		
4.3.5	1	RP-200-23005	Rubber		
4.3.6	3	RP-200-23006	AISI304		
4.3.7	1	RP-200-23007	AISI304		
4.3.8	6	SKF_625-22		BB1_001_101-Deep groove ball bearings	SKF
4.3.9	1	coupling_5x8			NORELEM
4.3.10	1	NEMA 23_STEPPER MOTOR			NEMA
4.3.11	1	IGUS_DS8x10			IGUS
4.3.12	1	IGUS_DST-J350FRM-2020DS8X10			IGUS
4.3.13	1	Aluminium FRAME_20x20			BOSCH
4.3.14	2	ISO 4032 - M4		Hexagon nuts, style 1	
4.3.15	3	ISO 4032 - M5		Hexagon nuts, style 1	
4.3.16	4	ISO 4762 - M4 x 8		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.3.17	2	ISO 4762 - M4 x 10		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.3.18	6	ISO 4762 - M4 x 12		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.3.19	3	ISO 4762 - M5 x 25		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.3.20	4	ISO 7089 - 4		Plain washers - Normal series	
4.3.21	3	ISO 7089 - 5 - 140 HV		Plain washers - Normal series	
4.3.22	4	ISO 7380-1 - M4 x 10		Hexagon Socket Button Head Screw	
4.4	1	RP-200-24000			
4.4.1	1	RP-200-22010	AL5081		
4.4.2	1	RP-200-24001	AL5081		
4.4.3	1	RP-200-24002	Nylon 6/6		
4.4.4	1	RP-200-24003	1.1191		
4.4.5	1	RP-200-24004	Nylon 6/6		
4.4.6	1	RP-200-24005	AISI304		
4.4.7	1	RP-200-24006	AISI304		
4.4.8	1	NEMA 23_STEPPER MOTOR			NEMA
4.4.9	4	ISO 4762 - M3 x 8		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.4.10	8	ISO 4762 - M5 x 20		Hexagon Socket Head Cap Screw	
4.4.11	8	ISO 7089 - 5 - 140 HV		Plain washers - Normal series	
5	1	Work_table			

Anexo D

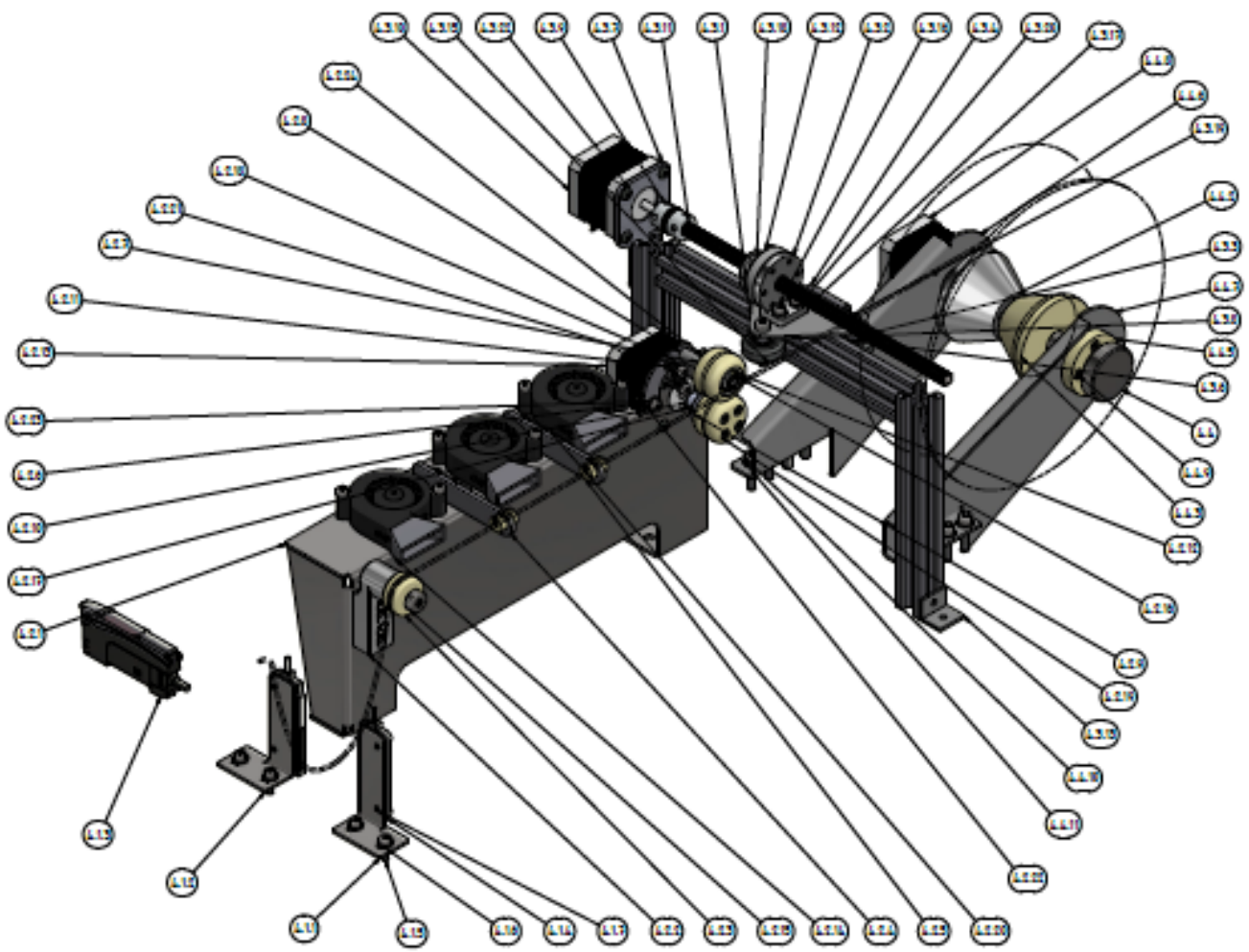
Desenhos de conjunto Extrusora/Bobinadora

PARTS LIST					
ITEM	QTY	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION	VENDOR
3.20.1	1	RP-200-11001	AISI304		
3.20.2	1	RP-200-11002	Polycarbonate, Clear		
3.20.3	2	RP-200-11003	ABS-Printed		
3.20.4	2	RP-200-11004	AISI304		
3.20.5	2	RP-200-11005	AISI304		
3.20.6	1	2009045 A	Generic		PILZ
3.20.7	1	A_37x18x18mm_2009043 A	Generic		PILZ
3.20.8	1	Guard safety handles ESP.110-EH-C4		ESP.-Guard safety handles	ELESA
3.20.9	2	Hinges CPM.50-63-SH-6(0)		CPM.-Hinges	ELESA
3.20.10	4	DIN 912 - M5 x 16	Steel, Mild	Cylinder Head Cap Screw	
3.20.11	4	DIN 7991 - M6 x 20	Steel, Mild	Countersunk Screw	
3.20.12	4	ISO 10642 - M6 x 16	Steel	Hexagon Socket Countersunk Head Screw-1 - Product grade A	



Material		Date		Rev	
RP-200-11000					
Quantity	1	Date	15/11/2011	Rev	1
Part Name					
Drawn					
Checked					
Released					
Author					
Material					
Quantity					
Part Name					
Drawn					
Checked					
Released					
Author					

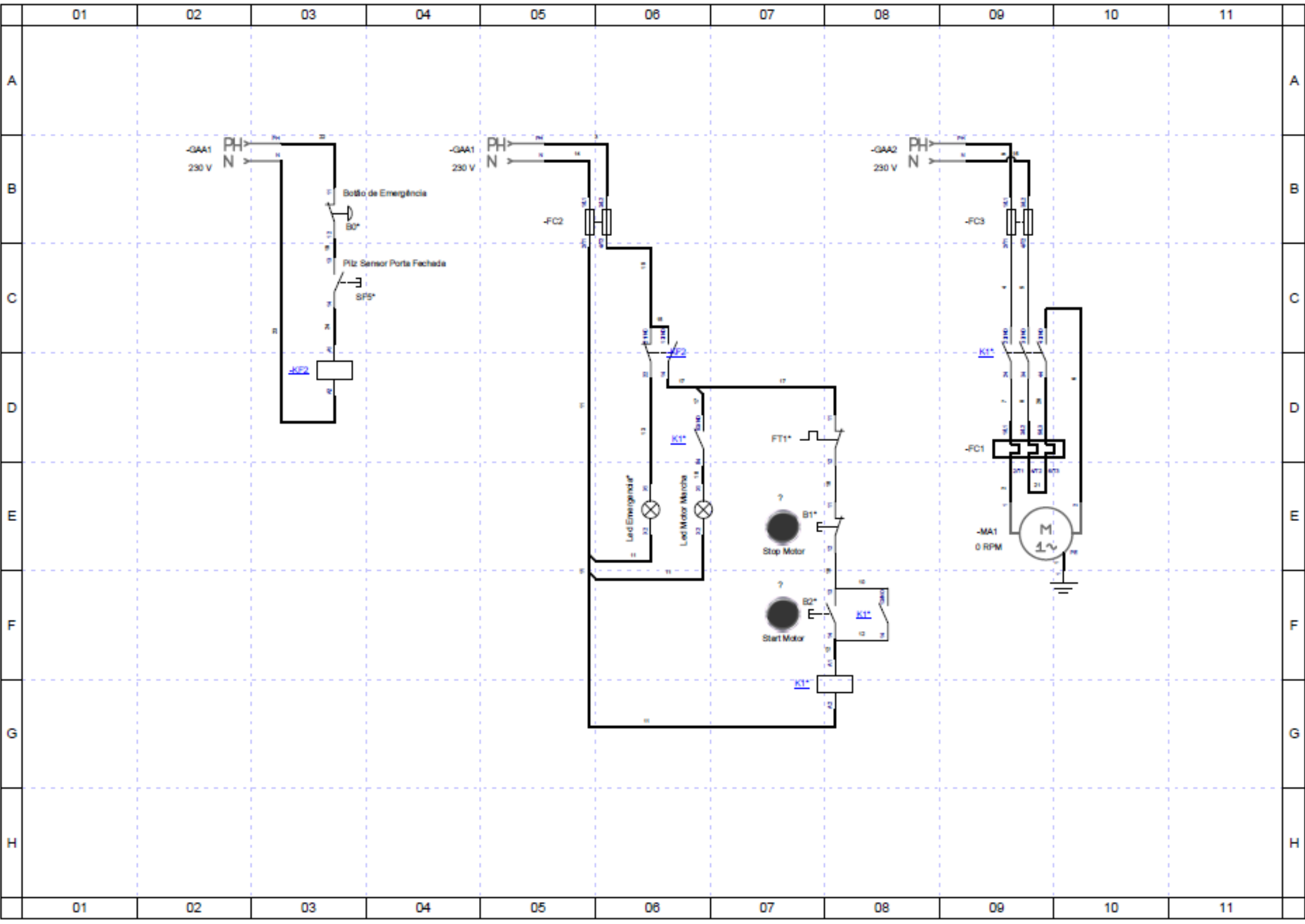
		PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION
A.1	1	RP-200-21000		
A.1.1	1	RP-200-21001	AI026L	
A.1.2	1	RP-200-21002	AI026L	
A.1.3	1	250V_PALI		OPRO
A.1.4	1	25V_710WR		OPRO
A.1.5	4	GO 1262 - PL x 12	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.1.6	4	GO 7009 - L	Stainless Steel	Plain washers - Normal series
A.1.7	4	GO 10522 - PS x 8	Steel	Hexagon Socket Countersunk Head Screw
A.2	1	RP-200-21000		
A.2.1	1	RP-200-21001	AI026L	
A.2.2	1	RP-200-21002	AI026L	
A.2.3	1	RP-200-21003	Nylon 6/6	
A.2.4	1	RP-200-21004	AI026L	
A.2.5	2	RP-200-21005	Nylon 6/6	
A.2.6	1	RP-200-21006	AI026L	
A.2.7	1	RP-200-21007	Nylon 6/6	
A.2.8	1	RP-200-21008	L701	
A.2.9	1	RP-200-21009	Nylon 6/6	
A.2.10	1	RP-200-21010	AI026L	
A.2.11	1	Spring	Generic	
A.2.12	2	DMP_010		WABEL
A.2.13	1	MEHA 25 STEPPER MOTOR	Generic	MEHA 25_101
A.2.14	3	Color_Fan	Generic	DMP
A.2.15	1	ANGI 818.53H - 10x1 x 13.25	Steel, Alloy	Brushed Hexagon Socket Head Shoulder Screw
A.2.16	1	SR 121 - 8 x 8 x 8	Steel, P10	Spring Retaining Ring
A.2.17	2	GO 1870 - PS x 4	Stainless Steel, L30C	Hexagon socket self screws
A.2.18	2	GO 1870 - PL	Stainless Steel, L30C	Hexagon nuts, 27/16
A.2.19	4	GO 1262 - PS x 10	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.2.20	2	GO 1262 - PL x 8	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.2.21	3	GO 1262 - PL x 12	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.2.22	8	GO 1262 - PL x 10	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.2.23	2	GO 7009 - L	Stainless Steel	Plain washers - Normal series
A.2.24	4	GO 7009-1 - PL x 10	Steel	Hexagon Socket Button Head Screw
A.3	1	RP-200-21000		
A.3.1	1	RP-200-21001	AI026L	
A.3.2	1	RP-200-21002	AI026L	
A.3.3	3	RP-200-21003	Nylon 6/6	
A.3.4	1	RP-200-21004	AI026L	
A.3.5	1	RP-200-21005	Rubber	
A.3.6	3	RP-200-21006	AI026L	
A.3.7	1	RP-200-21007	AI026L	
A.3.8	8	DMP_010-02		DMP
A.3.9	1	coupling_001	Generic	MEHA 25_101
A.3.10	1	MEHA 25 STEPPER MOTOR	Generic	MEHA 25_101
A.3.11	1	ODC_250710	Generic	ODC
A.3.12	1	ODC_001-050PRH-010000K10	Generic	ODC
A.3.13	1	Aluminum FRAME_250710	Generic	ODC
A.3.14	2	GO 1870 - PL	Stainless Steel, L30C	Hexagon nuts
A.3.15	3	GO 1870 - PS	Stainless Steel, L30C	Hexagon nuts
A.3.16	4	GO 1262 - PL x 8	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.3.17	2	GO 1262 - PL x 10	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.3.18	8	GO 1262 - PL x 12	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.3.19	3	GO 1262 - PS x 10	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.3.20	4	GO 7009 - L	Stainless Steel	Plain washers - Normal series
A.3.21	3	GO 7009 - S - 100 HV	Stainless Steel	Plain washers - Normal series
A.3.22	4	GO 7009-1 - PL x 10	Steel	Hexagon Socket Button Head Screw
A.4	1	RP-200-21000		
A.4.1	1	RP-200-21010	AI026L	
A.4.2	1	RP-200-21001	AI026L	
A.4.3	1	RP-200-21002	Nylon 6/6	
A.4.4	1	RP-200-21003	L701	
A.4.5	1	RP-200-21004	Nylon 6/6	
A.4.6	1	RP-200-21005	AI026L	
A.4.7	1	RP-200-21006	AI026L	
A.4.8	1	MEHA 25 STEPPER MOTOR	Generic	MEHA 25_101
A.4.9	4	GO 1262 - PS x 8	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.4.10	8	GO 1262 - PS x 10	Stainless Steel, L30C	Hexagon Socket Head Cap Screw
A.4.11	8	GO 7009 - S - 100 HV	Stainless Steel	Plain washers



Revizija		RP-200-20000	
Ime		Bobinadora	
Datum			
Mesto			
Projekat			
Dizajnirao			
Projeccija			
Nacrtao			
Proverio			
Potpisao			
Mesto			
Datum			

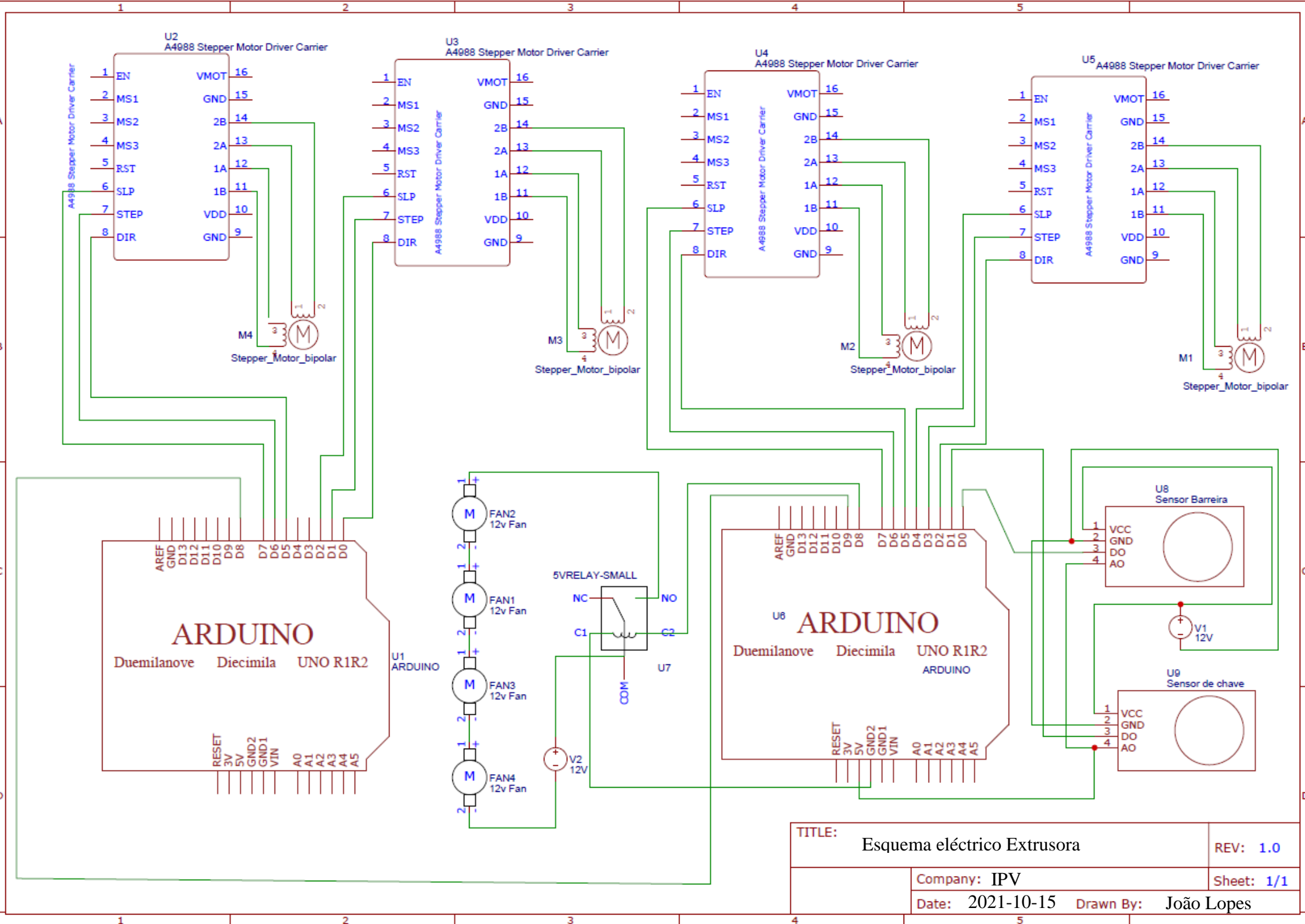
Anexo E

Esquema elétrico Trituradora



Anexo F

Esquema eléctrico Extrusora/Bobinadora



TITLE: Esquema eléctrico Extrusora		REV: 1.0
Company: IPV		Sheet: 1/1
Date: 2021-10-15	Drawn By: João Lopes	

Anexo G

Especificações técnicas
de componentes
Trituradora

Designação de catálogo

R27DRN100LS4

Motorreductor de engrenagens helicoidais R..DRN.. (IE3)

Dados do produto

Velocidade nominal do motor	[1/min] : 1450
Velocidade de saída	[1/min] : 259
Relação de Transmissão média	: 5.60
Binário de saída	[Nm] : 81
Fator de serviço SEW-FB	: 1.20
Posição de montagem	: M1
Base / Revestimento superior	: 7031 Cinza Azulado (51370310)
Posição da caixa de terminais	[°] : 0
Posição da entrada de cabos/conector	: X
Eixo de saída	[mm] : 25x50
Carga radial máxima permitida para n=1400	[N] : 1430
Quantidade de lubrificante Redutor 1	[Litro] : 0.25
Potência do motor	[kW] : 2.2
Fator de duração	: S1-100%
Classe de eficiência	: IE3
Rendimento (50/75/100% Pn)	[%] : 86.4 / 87.5 / 86.9
Certificado CE	: Sim
Tensão do motor	[V] : 230/400
Esquema de ligações	: R13
Frequência	[Hz] : 50
Corrente nominal	[A] : 8.3 / 4.75
Cos Phi	: 0.76
China (GB18613)	: 155(F)
Tipo de proteção	: IP55
Requer Design	: Europa (CE)
Momento de inércia de massa (referente ao lado de entrada)	[10 ⁻⁴ kgm ²] : 81.00
Peso	[kg] : 30,00



Funções Adicionais

Eixo de saída: 25x50 mm
Classe de Temperatura 155(F)
Grau de proteção IP 55



625

- Item popular
- SKF Explorer

Rolamentos rígidos de esferas

Dados do rolamento

Tolerâncias,

Normal (métrico), P6, P5, Normal (polegadas).

Folga interna radial,

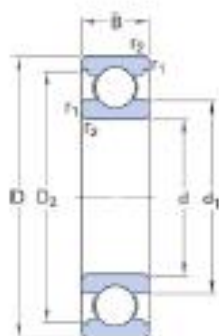
Pares de rolamentos pareados, Aço inoxidável $d < 10$ mm, Outros rolamentos

Interfaces do rolamento

Tolerâncias de assento para condições padrão,

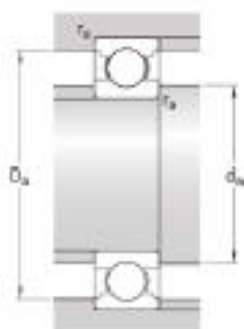
Tolerâncias e ajustes resultantes

Especificações técnicas



DIMENSÕES

d	5 mm	Diâmetro do furo
D	16 mm	Diâmetro externo
B	5 mm	Largura
d1	≈8.4 mm	Diâmetro do ressalto do anel interno
D2	≈13.22 mm	Diâmetro do rebaixo do ressalto do anel externo
r1,2	min.0.3 mm	Dimensão de chanfro do anel externo



DIMENSÕES DO ENCOSTO

da	min.7.4 mm	Diâmetro do encosto do eixo
Da	max.13.6 mm	Diâmetro do encosto do mancal
ra	max.0.3 mm	Raio de concordância

DADOS DE CÁLCULO

Classificação de carga dinâmica básica	C	1.14 kN
Classificação de carga estática básica	C_0	0.38 kN
Limite de carga de fadiga	P_u	0.016 kN
Velocidade de referência		95 000 r/min
Velocidade-limite		60 000 r/min
Fator de cálculo	k_f	0.025
Fator de cálculo	f_0	8.4

MASSA

Massa do rolamento	0.005 kg
--------------------	----------

TOLERANCE CLASS

Dimensional tolerances	P6
Radial run-out	Normal

Indexing plungers

Steel / Stainless Steel without rest position

SPECIFICATION

Types

- Type **A**: with Plastic Knob, without lock nut
- Type **AK**: with Plastic-Knob, with lock nut
- Type **AN**: with Stainless Steel-Knob, without lock nut
- Type **AKN**: with Stainless Steel-Knob, with lock nut
- Type **G**: with threaded rod, without lock nut
- Type **GK**: with threaded rod, with lock nut

Version in Steel

- blackened
- Pin hardened

Version in Stainless Steel AISI 303 NI

Pin chemically nickel plated

Knob Type A / AK

- Plastic (Polyamide PA)
- black, matt
- not removable

Knob Type AN / AKN

- Stainless Steel AISI 303
- not removable



INFORMATION

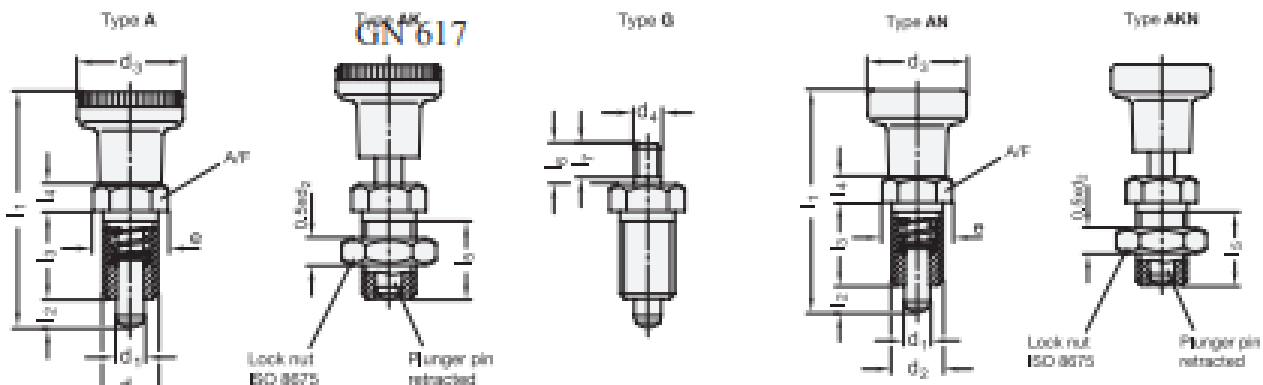
Type G or GK of the GN 617 indexing plungers have been designed for applications where the indexing plunger is not operated with the standard knob.

The indexing plungers are designed such that the plunger set in the end position (spring is "on block") can also absorb axial forces. For applications in which these forces are substantially above the tensile force applied by the operator (Type G), GN 817 (see page 754) indexing plungers are to be preferred.

- Range of indexing plungers (see page 738)

TECHNICAL INFORMATION

- ISO-Fundamental Tolerances (see page A21)
- Stainless Steel characteristics (see page A26)
- Plastic characteristics (see page A2)



GN 617 (Steel with Plastic knob)

Description	d1 Pin -0.02/-0.05 Bore H7	d2	d3	d4	e	l1 = l2 min.	l3	M	l5	l6 min.	l7	A/P	Spring load in N = initial	Spring load in N = end	G ₀	
GN 617-5-A	5	M10 x 1	21	-	13.8	45	5	17	5	15	-	-	12	7	17	19
GN 617-6-A	6	M12 x 1.5	25	-	16.2	54.5	6	20	6	17	-	-	14	9	24	31
GN 617-8-A	8	M16 x 1.5	31	-	21.9	69	8	26	8	23	-	-	19	11	30	70
GN 617-10-A	10	M20 x 1.5	31	-	25.4	80	10	33	10	30	-	-	22	19	45	110
GN 617-5-AK	5	M10 x 1	21	-	13.8	45	5	17	5	15	-	-	12	7	17	24
GN 617-6-AK	6	M12 x 1.5	25	-	16.2	54.5	6	20	6	17	-	-	14	9	24	38
GN 617-8-AK	8	M16 x 1.5	31	-	21.9	69	8	26	8	23	-	-	19	11	30	89
GN 617-10-AK	10	M20 x 1.5	31	-	25.4	80	10	33	10	30	-	-	22	19	45	143
GN 617-5-G	5	M10 x 1	-	M5	13.8	-	5	17	5	15	6	4.5	12	7	17	14
GN 617-6-G	6	M12 x 1.5	-	M6	16.2	-	6	20	6	17	10	8	14	9	24	23
GN 617-8-G	8	M16 x 1.5	-	M8	21.9	-	8	26	8	23	12	10	19	11	30	54
GN 617-10-G	10	M20 x 1.5	-	M8	25.4	-	10	33	10	30	12	12	22	19	45	98
GN 617-5-GK	5	M10 x 1	-	M5	13.8	-	5	17	5	15	6	4.5	12	7	17	22
GN 617-6-GK	6	M12 x 1.5	-	M6	16.2	-	6	20	6	17	10	8	14	9	24	35
GN 617-8-GK	8	M16 x 1.5	-	M8	21.9	-	8	26	8	23	12	10	19	11	30	72
GN 617-10-GK	10	M20 x 1.5	-	M8	25.4	-	10	33	10	30	12	12	22	19	45	130



Descrição do artigo/imagens dos produtos



Descrição

Material:

Aço 1.0503 (C45).

Versão:

Dentes fresados, retos.

Ângulo de pressão 20°, superfície sem tratamento.

Indicação:

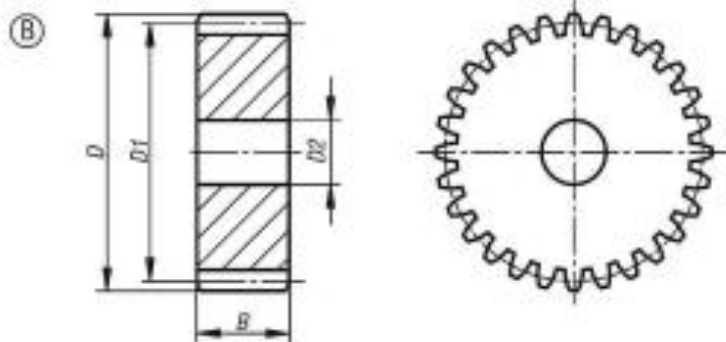
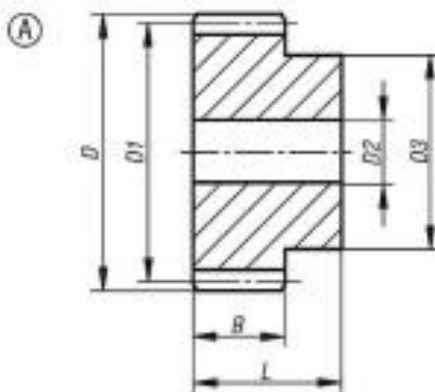
Até 70 dentes com cubo unilateral, a partir de 72 dentes como polia. As engrenagens de dentes retos possuem um furo central e portanto já são pré-furadas.

Indicação de desenho:

Forma A: com cubo

Forma B: sem cubo

Desenho



Código do artigo	Forma	Quantidade de dentes	D	D1	D2 máx.	D3	B	L
22400-0120200033	A	33	70	66	14	45	20	35
22400-0120200034	A	34	72	68	14	45	20	35
22400-0120200035	A	35	74	70	14	45	20	35
22400-0120200036	A	36	76	72	14	45	20	35
22400-0120200037	A	37	78	74	14	50	20	35
22400-0120200038	A	38	80	76	14	50	20	35
22400-0120200039	A	39	82	78	14	50	20	35
22400-0120200040	A	40	84	80	14	50	20	35
22400-0120200041	A	41	86	82	20	55	20	35
22400-0120200042	A	42	88	84	20	55	20	35
22400-0120200043	A	43	90	86	20	55	20	35
22400-0120200044	A	44	92	88	20	60	20	35
22400-0120200045	A	45	94	90	20	60	20	35
22400-0120200046	A	46	96	92	20	60	20	35
22400-0120200047	A	47	98	94	20	70	20	35
22400-0120200048	A	48	100	96	20	70	20	35
22400-0120200049	A	49	102	98	20	70	20	35
22400-0120200050	A	50	104	100	20	70	20	35
22400-0120200051	A	51	106	102	20	70	20	35
22400-0120200052	A	52	108	104	20	70	20	35
22400-0120200053	A	53	110	106	20	70	20	35

PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1 1 Unit

541003



RFID safety switch 2 safe SC outputs, 5-pin M12 male connector, one actuation direction, IP67, switching distance 11 mm, Sao = 8 mm, Sar= 20 mm, PU = 1 piece coded switch with actuator.

Technical details

General data	
Approval:	CE, cULus Listed, FCC, IC, TÜV, EAC (Eurasian)
Sensor principle:	Transponder
Coding level to ISO 14119:	Low
Classification to EN 60947-5-3:	PDDb
Transponder coding:	coded
Suitable for series connection:	no
unit type:	Unit
Technical data	
Electrical data	
Supply voltage (V):	24 - 24 V
Type of supply voltage U1:	DC
Power consumption DC:	1 W
Semiconductor outputs	
Number of OSSD outputs:	2
Number of sig. outputs:	1
Potential isolation S/C O:	No
S/C output short circuit proof:	Yes
Utilisation cat. to EN 60947-1:	DC-12
Environmental data	

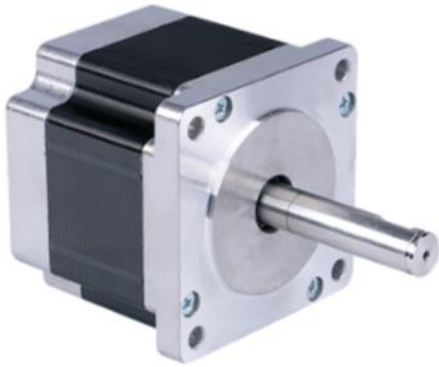
Ambient temperature standard:	EN 60068-2-14
Ambient temperature:	-25 - 70 °C
Storage temperature standard:	EN 60068-2-1/-2
Climatic suitability standard:	EN 60068-2-78
Humidity rating:	93 % r. h. at 40 °C
EMC to standard ...:	EN 60947-5-3
Vibration to standard ...:	EN 60947-5-2
Acc. shock to standard1:	30g
Overvoltage category:	III
Pollution degree clear.&creep.:	3
Switching distances	
Change op. dist. temp.change:	+/-0.01mm/°C
Mechanical data	
Bend radius (when laying) K1:	5 x Ø
Type 1 actuator:	PSEN cs3.1
Sensor can be flush-mounted:	Yes, follow installation guide
Connection type:	M12, 5-pin male
Cable lines:	Li9Y11Y 8 x 0.14 mm ²
Housing material upper part:	PBT
Height dimension:	37 mm
Width dimension:	26 mm
Depth dimension:	18 mm
Net weight:	50 g
Gross weight:	70 g

Anexo H

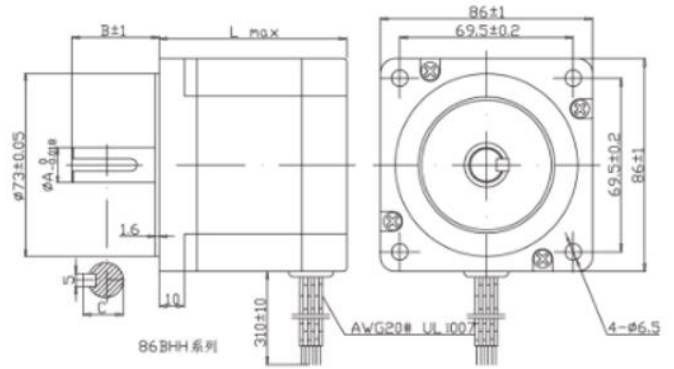
Especificações técnicas
de componentes
Extrusora/Bobinadora



创伟电机



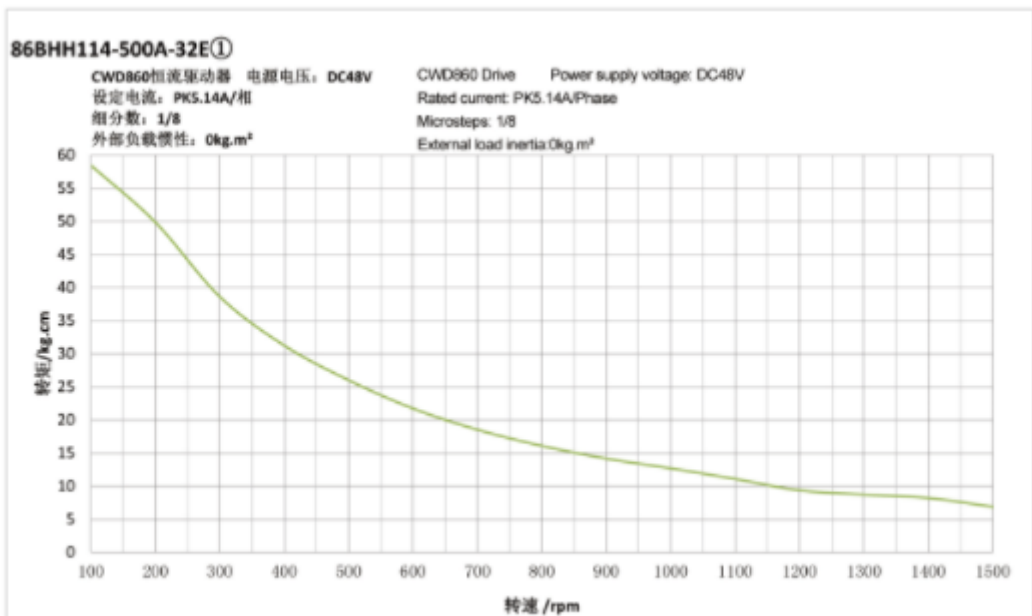
注: A, B, L可定制
Note: A, B and L can be customized



Electrical Specifications

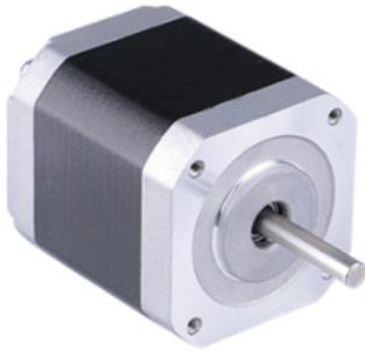
型号 Model	相数 No. of Phase	步距角 Step Angle $\pm 5\%$	保持力矩 Holding Torque(kg.cm)	电流 Current(A)	轴径 Shaft Diameter(mm)	引线数 No. of Line	重量 Weight(kg)	机身长度 Length(mm)	配套驱动器 Drives
86BHM65-180-35t	2	0.9	22.4	1.8	8	4	1.95	65	CWD860H
86BH62-125B-N30	2	1.8	13	1.25	9.5	6	1.1	62	CWD860H
86BH91-400L-30B	4	1.8	26	4	9.5	6	2.4	91	CWD860H
86BH128-300A-55D	2	1.8	50	3	12	4	3.6	128	CWD860H
86BHH60-300A-37D	2	1.8	30	3	14	4	1.7	60	CWD860H
86BHH65-400A-32C	2	1.8	34	4	12	4	1.2	65	CWD860H
86BHH76-400B-25A	2	1.8	21	4	14	4	2.2	76	CWD860H
86BHH80-420E-32J	4	1.8	45	4.5	12.7	8	2.4	80	CWD860H
86BHH94-481A-26D(Y)	4	1.8	42	3.5	12.7	6	2.8	94	CWD860H
86BHH97-500B-30	2	1.8	66	5	12.7	4	3.2	97	CWD860H
86BHH114-500A-32E	2	1.8	68	5	12.7	4	3.5	114	CWD860H
86BHH118-400A-32B	2	1.8	85	6	14	4	4	118	CWD860H
86BHH150-419D-32	2	1.8	120	4.2	14	4	5.1	150	CWD860H
86BHH156-600E-32B	2	1.8	134	3	12.7	8	5.3	156	CWD860H

电流 (Current)A: 1.25-6 力矩 (Holding Torque)kg.cm: 13-134 机身长度 (Body Length)mm: 65-159

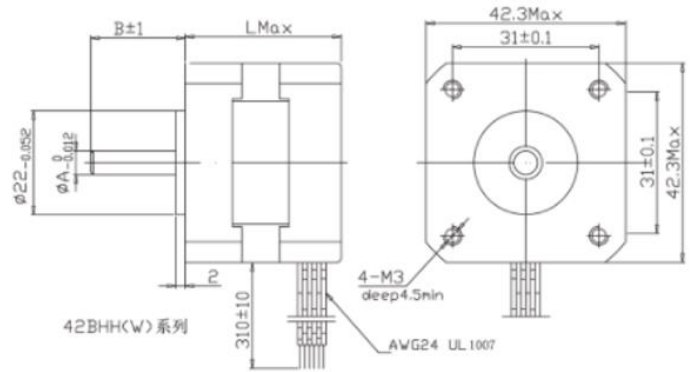




创伟电机



注: A, B, L 可定制
Note: A, B and L can be customized



Electrical Specifications

型号 Model	相数 No. of phase	步距角 Step angle $\pm 5\%$	保持力矩 Holding Torque(kg.cm)	电流 Current(A)	轴径 shaft diameter(mm)	引线数 No. of line	重量 Weight(kg)	机身长度 Length(mm)	配套驱动器 Driver23
42BHM29-050C-24	2	0.9	1.7	0.5	5	4	0.24	29	CW215
42BHM34-060-15	2	0.9	2.6	0.6	5	4	0.28	34	CW215
42BHM39-100-22D	2	0.9	3.4	1	5	4	0.45	39	CW215
42BHM48-168A-24	2	0.9	4.4	1.68	5	4	0.6	48	CW422C
42BHP37W-060-24	3	1.2	2.6	0.6	5	3	0.3	37	CW215
42BHP50-150A-24	3	1.2	3.2	1.5	5	3	0.75	50	CW422C
42BHH25-040A-24	2	1.8	1.7	0.4	5	4	0.22	25	CW215
42BHH29-120A-20	2	1.8	2.1	1.2	5	4	0.24	29	CW215
42BHH34-160A-24E	2	1.8	2.9	1.6	5	4	0.25	34	CW422C
42BHH39-168A-24	2	1.8	4.2	0.8	5	4	0.4	39	CW215
42BHH48-08A-24	2	1.8	3.2	0.8	5	6	0.6	48	CW215
42BHH52-150B-20B	2	1.8	6.8	1.5	5	4	0.8	52	CW422C
42BHH58-030A-21A	2	1.8	6	0.3	5	4	0.9	58	CW215

电流 (Current)(A): 0.15-1

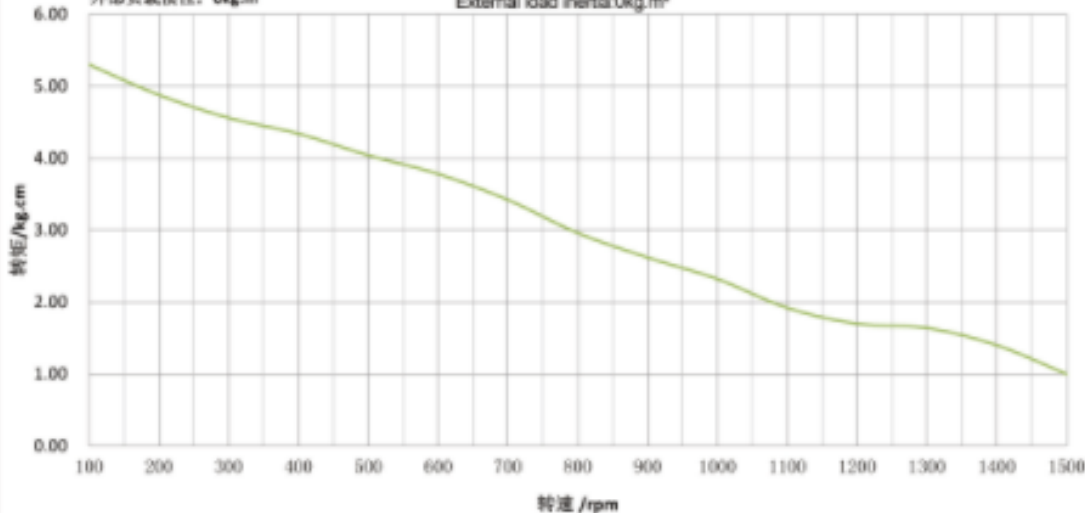
力矩 (Holding Torque)(kg.cm): 0.65-2.8

机身长度 (Body Length)(mm): 20-47

42BYGH4803-402

CWD556恒流驱动器 电源电压: DC36V
设定电流: PK2.1A/相
细分数: 1/8
外部负载惯性: 0kg.m²

CWD556 Drive Power supply voltage: DC36V
Rated current: PK2.1A/Phase
Microsteps: 1/8
External load inertia: 0kg.m²



N-Smart

Presence No Location No Distance

Best Selection

Fiber Sensor Best Selection Catalog

OMRON

Start with Smart!

Easily select the most reliable Fiber Unit
for your detection conditions.



New Product Information

Build-in Lens Oil-resistant Fiber Unit **NEW**

E32-T11NFS

→ 38 Page

New release of
the long-awaited
M4 model



Smart Fiber Amplifier Units

E3NX-FA Series

→ 62 Page

Addition of Infrared models,
Analog output models and
Communications models
with wired outputs.



Sensor Communications Units

E3NW



EtherCAT

CompoNet

CC-Link V2

realizing

Fiber Sensor
Features 2 Page

Selection
Guide 4 Page

Fiber Units

Standard
Installation 6 Page

Saving
Space 14 Page

Beam Improvements

20 Page

Transparent
Objects 34 Page

Environmental
Immunity 38 Page

Applications

48 Page

Installation
Information 58 Page

Fiber Amplifiers,
Communications
Unit, and Accessories 62 Page

Technical
Guide and
Precautions 92 Page

Model Index 100 Page

Fiber Sensor Features

Selection Guide

Fiber Units

Standard Installation

- Threaded
- Cylindrical

Saving Space

- Flat
- Sleeved

Beam Improvements

- Small Spot
- High Power
- Narrow view
- BGS

Transparent Objects

- Retro-reflective
- Limited-reflective

Environmental Immunity

- Chemical-resistant, Oil-resistant
- Bending
- Heat-resistant

Applications

- Area Detection
- Liquid-level
- Vacuum
- FPD, Semi, Solar

Installation Information

Fiber Amplifiers, Communications Unit, and Accessories

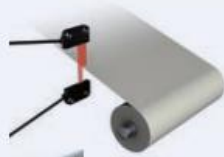
Technical Guide and Precautions

Model Index

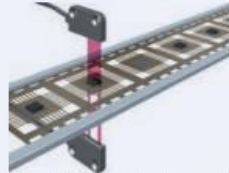
Detection of falling workpieces



Meander detection



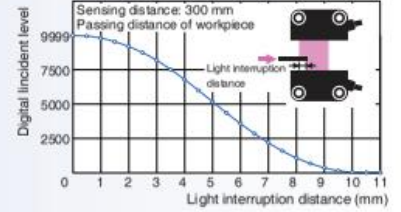
Detection of workpieces with holes



• Area beams are optimum for detecting workpieces presented in inconsistent positions, such as falling workpieces, or for meander detection, or for detecting workpieces with holes.

• This Fiber Unit is ideal for meander detectin because it outputs the digital value in a linear relation to the interrupted light distance.

Characteristics of Light Interruption (Reference Value)



E32-T16PR+E3NX-FA21

Specifications

Through-beam Fiber Units

Type	Sensing width	Appearance (mm)	Bending radius of cable	Sensing distance (mm)				Optical axis diameter (minimum sensing object)	Models	49 Page Dimensions No.
				E3X-HD		E3NX-FA NEW				
				GIGA = HS	Other modes	GIGA = HS	Other modes			
Area	11 mm		Flexible, R1	3,100	ST : 1,700	4,000 *1	ST : 2,550	*2 (0.2 dia./ 0.07 dia.)	E32-T16PR 2M	49-A
				1,120	SHS: 440	1,680	SHS: 440			
	30 mm		2,750	ST : 1,500	4,000 *1	ST : 2,250	E32-T16JR 2M		49-B	
Array	10 mm		R5	4,000 *1	ST : 2,800	4,000 *1	ST : 3,900	*2 (0.3 dia./ 0.1 dia.)	E32-T16WR 2M	49-C
				1,700	SHS: 680	2,550	SHS: 680			
				10	ST : 10	10	ST : 10	11 dia.	E32-G16 2M	49-D
				10	SHS: 10	10	SHS: 10		NEW	

*1 The optical fiber is 2 m long on each side, so the sensing distance is 4,000 mm.
 *2 The values for the minimum sensing object were obtained for detection in the sensing area with the sensing distance set to 300 mm. (The values are for a stationary sensing object.)
 The first value is for the E3X-HD and the second value is for the E3NX-FA.

Note. The sensing distances for the E3NX-FA are values for E3NX-FA□ devices. The distance for E3NX-FAH□ infrared models varies.

Reflective Fiber Units

Type	Sensing width	Appearance (mm)	Bending radius of cable	Sensing distance (mm)				Optical axis diameter (minimum sensing object)	Model	49 Page Dimensions No.
				E3X-HD		E3NX-FA NEW				
				GIGA = HS	Other modes	GIGA = HS	Other modes			
Array	11 mm		Bend-resistant, R4	700	ST : 300	1,050	ST : 450	(5 μm dia./ 2 μm dia.)	E32-D36P1 2M	49-E
				200	SHS: 90	300	SHS: 90			

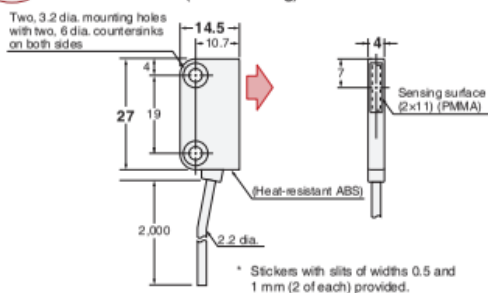
Note 1. The following mode names and response times apply to the modes given in the Sensing distance column.
 [E3X-HD] GIGA: Giga-power mode (16 ms), HS: High-speed mode (250 μs), ST: Standard mode (1 ms), and SHS: Super-high-speed mode (NPN output: 50 μs, PNP output: 55 μs)
 [E3NX-FA] GIGA: Giga-power mode (16 ms), HS: High-speed mode (250 μs), ST: Standard mode (1 ms), and SHS: Super-high-speed mode (30 μs)
 2. The values for the minimum sensing object are reference values that indicate values obtained in standard mode with the sensing distance and sensitivity set to the optimum values. The first value is for the E3X-HD and the second value is for the E3NX-FA.
 3. The sensing distances for the E3NX-FA are values for E3NX-FA□ devices. The distance for E3NX-FAH□ infrared models varies.

Dimensions

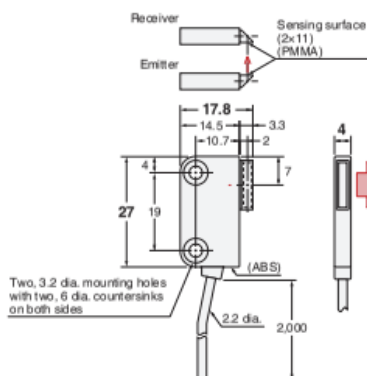
Installation Information → 60 Page

Through-beam Fiber Units (Set of 2)

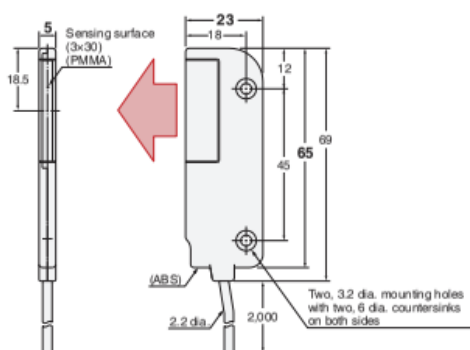
49-A E32-T16PR 2M (Free Cutting)



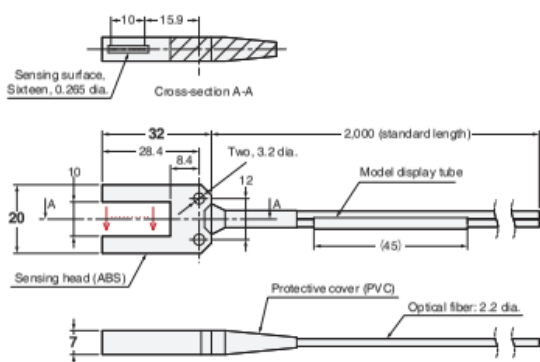
49-B E32-T16JR 2M (Free Cutting)



49-C E32-T16WR 2M (Free Cutting)



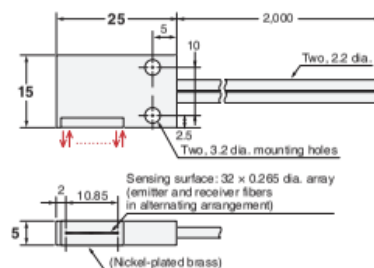
49-D E32-G16



Installation Information → 59 Page

Through-beam Fiber Units (Set of 2)

49-E E32-D36P1 2M (Free Cutting)



Fiber Sensor Features

Selection Guide

Fiber Units

Threaded	Standard Installation
Cylindrical	
Flat	Saving Space
Sleeved	
Small Spot	Beam Improvements
High Power	
Narrow view	
BGS	Transparent Objects
Retro-reflective	
Limited-reflective	
Chemical-resistant, Oil-resistant	Environmental Immunity
Bending	
Heat-resistant	
Area Detection	Applications
Liquid-level	
Vacuum	
FPD, Semi, Solar	Installation Information

Fiber Amplifiers, Communications Unit, and Accessories

Technical Guide and Precautions

Model Index

A Smart Fiber Amplifier Unit with Ultra-stable Detection and Ultra-easy Setup



- Improved basic performance with 1.5 times the sensing distance and approx. 1/10th the minimum sensing object.*
- Ultra-easy setup with Smart Tuning with a light intensity adjustment range expanded 20 times to 40,000:1. Optimum stable detection achieved with light intensity adjustment even for saturated incident light.
- White on black display characters for high visibility.
- Solution Viewer that shows the passing time and difference in incident levels and Change Finder that allows you to see display values even for fast workpieces.

* Compared to the E3X-HD.



For the most recent information on models that have been certified for safety standards, refer to your OMRON website.

Refer to the *Safety Precautions* on page 17.

Ordering Information

Fiber Amplifier Units (Dimensions → pages 19 and 20)

Type	Connecting method	Appearance	Inputs/outputs	Model	
				NPN output	PNP output
Standard models	Pre-wired (2 m)		1 output	E3NX-FA11 2M	E3NX-FA41 2M
				E3NX-FA11-5 2M *1	---
	Wire-saving Connector		1 output	E3NX-FA6	E3NX-FA8
Advanced models	Pre-wired (2 m)		2 outputs + 1 input	E3NX-FA21 2M	E3NX-FA51 2M
			1 output + 1 input	E3NX-FA7	E3NX-FA9
	Wire-saving Connector		2 outputs	E3NX-FA7TW	E3NX-FA9TW
			1 output + 1 input	E3NX-FA24	E3NX-FA54
M8 Connector		2 outputs	---	E3NX-FA54TW	

*1. This type can prevent mutual interference for two units in the SHS2 mode.

Dimensions

Fiber Amplifier Units

Pre-wired Amplifier Units

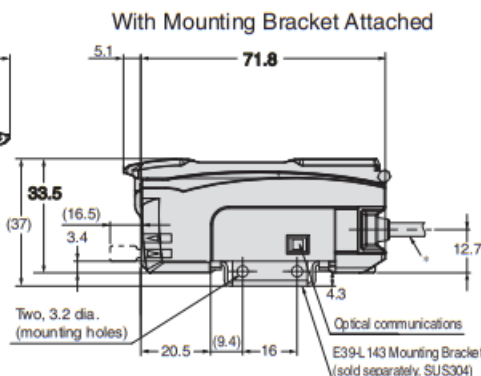
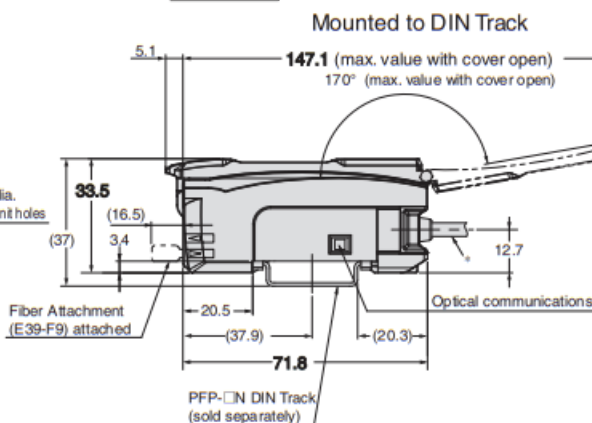
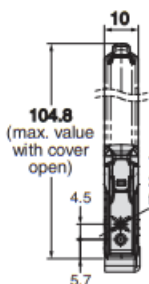
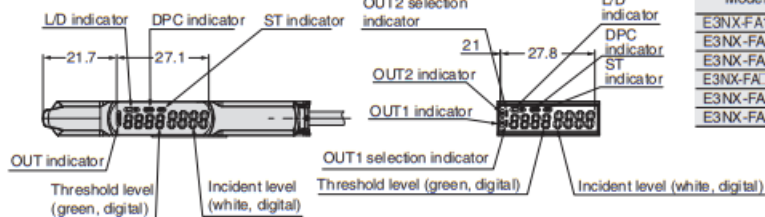
E3NX-FA□1(-5)
E3NX-FAH□1
E3NX-FA□1AN

E3NX-FA11(-5)/FA41/
FAH□1/FA□1AN

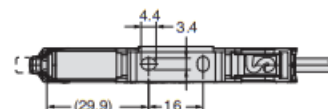
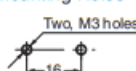
E3NX-FA21/FA51

*Cable Specifications

Model	Outer diameter	No. of conductors	Others
E3NX-FA11(-5)	4.0 dia.	3	Conductor cross-section: 0.2mm ² insulator dia: 0.9 mm
E3NX-FA41			
E3NX-FAH□1			
E3NX-FA□1AN	4.0 dia.	4	Standard cable length: 2m Minimum bending radius: 12 mm
E3NX-FA21			
E3NX-FA51			



Mounting Holes



Amplifier Units with Wire-saving Connectors

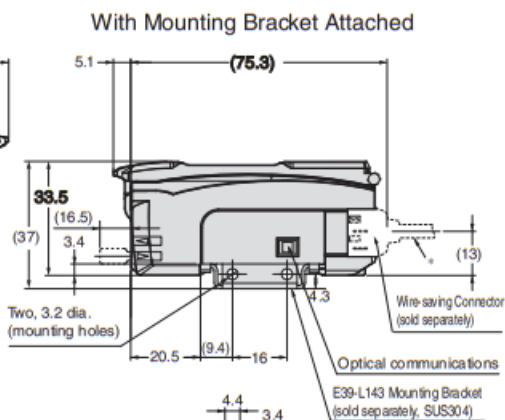
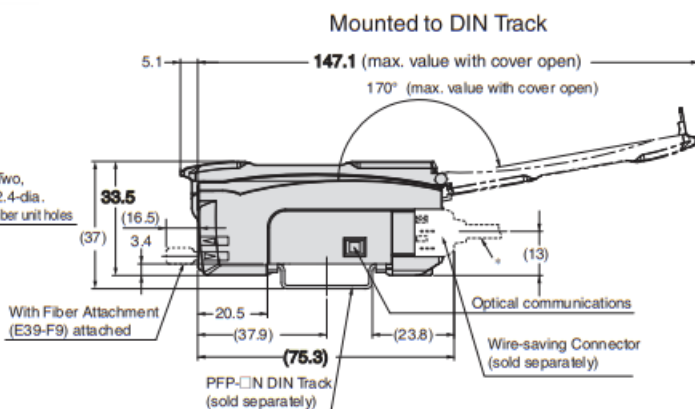
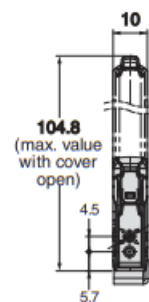
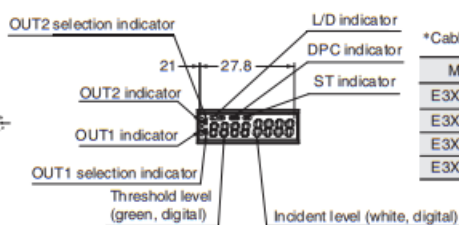
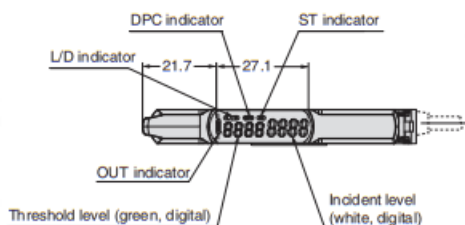
E3NX-FA6
E3NX-FA7(TW)
E3NX-FA8
E3NX-FA9(TW)
E3NX-FAH6
E3NX-FAH8

E3NX-FA6/FA7(TW)/FA8
/FA9(TW)/FAH6/FAH8

E3NX-FA7TW/FA9TW

*Cable Specifications

Model	Outer diameter	No. of conductors
E3X-CN12	2.6 dia.	1
E3X-CN22	4.0 dia.	2
E3X-CN11		3
E3X-CN21		4



Mounting Holes

