

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**FERNANDO PESSI  
THIAGO ANTONIO PAGLIOSA**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA MINI EXTRUSORA DE FILAMENTOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2018**

**FERNANDO PESSI  
THIAGO ANTONIO PAGLIOSA**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA MINI EXTRUSORA DE FILAMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros.

PATO BRANCO  
2018

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### Projeto e construção de uma mini extrusora de filamentos

Fernando Pessi

Thiago Antonio Pagliosa

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 25/06/2018 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

---

Prof. Dr. Robson Gonçalves Trentin  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Sergio Luiz Ribas Pessa  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros  
(UTFPR)  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer aos nossos pais e irmãos que sempre nos apoiaram e nos incentivaram nessa jornada, nos permitindo chegar aonde estamos agora.

Um abraço especial aos nossos amigos que tivemos um convívio neste período tornando os dias de aula mais agradáveis e divertidos, e também por nos auxiliar nos estudos e dificuldades desta caminhada.

Aos nossos professores que nos passaram o seu conhecimento e orientação repassados durante todo o curso e em especial ao Professor Doutor Bruno Bellini Medeiros pela sua disposição em nos orientar neste projeto.

Agradecemos a nossa parceria em fazer o projeto, pela dificuldade e pensamentos distintos um do outro, que tornaram este projeto possível.

Seja você quem for, seja qual for a posição que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá. (SENNÁ, Ayrton, 1994).

## RESUMO

PAGLIOSA, Thiago Antônio. PESSI, Fernando. **Projeto e construção de uma mini extrusora de filamentos**. 2018. Trabalho para Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

Este presente trabalho abordou os princípios de processamento dos polímeros e o dimensionamento de um equipamento de extrusão para a fabricação de filamentos para impressoras 3D. Relata as equações e conceitos primordiais para o projeto de uma extrusora, tipos de polímeros empregados e comercializados como matérias primas para filamentos para impressão 3D, variedades e formas de roscas recomendadas para cada polímero, temperaturas de extrusão designada para cada material a ser extrudado, e também o dimensionamento completo de todas as partes do equipamento. O projeto abrangeu a construção de uma mini extrusora, testes e recomendações de aperfeiçoamentos para trabalhos futuros, e tem como principal propósito a utilização do equipamento na UTFPR - campus Pato Branco, com o objeto de minimizar gastos através da fabricação de seu próprio filamento no campus, onde serão usados nas impressoras 3D já dispostas e/ou futuramente adquiridas. Teve como resultado, diâmetros do filamento entre 1,6 e 2,2 mm, com proximidade do comercialmente vendido validando sua construção.

**Palavras-chave:** Polímeros, Extrusão, Filamentos para impressão 3D, Projeto mecânico.

## **ABSTRACT**

PAGLIOSA, Thiago Antônio. PESSI, Fernando. Design and construction of a filament mini extruder. 2018. Course conclusion work (graduation in mechanical engineering) - Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2018.

This present work approach the principles of polymers processing for filaments making e sizing of a extruder equipment. It reports formulas and primordial concepts for the beginning of the project, kinds of polymers that are used and comercialized as raw material for 3D printing, forms and varieties of screw threads recommended for each polymer, the designed extrusion temperature for each material to be extruded, and also the complete sizing of all equipment phases. The project covers the making of the mini extruder, tests and improvements for future works, and it has as main purpose the use of the equipment in UTFPR - Pato Branco campus, with the objective of minimizing outgoing in the campus by producing its own filaments that will be used in the 3D printers that are already disposed and/or will be acquired. It resulted in filament diameters between 1.6 and 2.2 mm, with proximity to the commercially sold validating its construction.

Keywords: Polymers, extrusion 3D printing filaments, mechanical design.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do fenômeno de inchamento do extrudado IE. ....	22
Figura 2 - Exemplo com dois tipos de fratura do fundido. ....	24
Figura 3 - Alteração do perfil de velocidades. ....	25
Figura 4 - Representação de uma extrusora. ....	26
Figura 5 - Zonas da rosca. ....	27
Figura 6 - Rosca típica de PVC. ....	30
Figura 7 - Rosca do LDPE com <i>madock</i> . ....	31
Figura 8 - Rosca para PS. ....	31
Figura 9 - Rosca típica para extrusão de náilon. ....	32
Figura 10 - Rosca para PP. ....	32
Figura 11 - Exemplo de rosca para PET reciclado. ....	33
Figura 12 - Filamentos comerciais. ....	36
Figura 13 - Modelagem FDM. ....	37
Figura 14 - Modelagem SLA. ....	38
Figura 15 - Etapas de desenvolvimento do projeto. ....	39
Figura 16 - Rosca de aço AISI 4340. ....	44
Figura 17 - Rosca de aço AISI 8620. ....	44
Figura 18 - Rosca de aço AISI 1045. ....	45
Figura 19 - Barril com o Funil. ....	46
Figura 20 - Matriz extrusora. ....	46
Figura 21 - Recomendação de ângulos. ....	47
Figura 22 - Coleira de Mica. ....	48
Figura 23 - Controlador de temperatura analógico. ....	48
Figura 24 - Controlador de temperatura analógico com painel digital. ....	48
Figura 25 - Controlador de temperatura analógico com painel digital. ....	49
Figura 26 - Montagem final do equipamento. ....	52
Figura 27 - Filamentos de PLA e PP. ....	53



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura de transição. ....	20
Tabela 2 - Relações de diâmetros e compressão para o PVC composto. ....	30
Tabela 3 - Valores da rosca para o PP. ....	32

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tratamentos utilizados em roscas .....	29
---	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 INTRODUÇÃO AOS POLÍMEROS .....	15
2.1.1 Polímeros utilizados como filamentos para impressão 3D .....	16
2.1.1.1 ABS – acrilonitrilo – butalidieno - estireno .....	16
2.1.1.2 PET – Polietileno (Tereftalato de etileno) .....	16
2.1.1.3 PLA – Ácido poliláctico .....	18
2.1.1.4 PP – Polipropileno .....	18
2.2 COMPORTAMENTO TÉRMICO .....	19
2.3 EXTRUSÃO.....	20
2.4 EFEITOS VISCOELÁSTICOS.....	21
2.4.1 Inchamento do Extrudado .....	21
2.4.2 Relaxação dos polímeros .....	23
2.4.3 Fratura do Fundido .....	24
2.4.4 Pele de Cação .....	25
2.4.5 Tempo de residência .....	25
2. 5 EXTRUSORA.....	26
2.5.1 Rosca para extrusão de termoplásticos .....	29
2.6 IMPRESSORA 3D.....	34
2.6.1 Prototipagem .....	34
2.6.2 Filamentos .....	35
2.6.3 Tecnologias de impressão.....	36
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>39</b>
3.1 DESENVOLVIMENTO.....	40
3.1.1 Componentes .....	40
3.2 MONTAGEM .....	41

3.3 VALIDAÇÃO.....	41
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>43</b>
4.1 DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO .....	43
4.1.1 Determinação do Polímero.....	43
4.1.2 Fabricação da Rosca de Extrusão .....	43
4.1.3 Cálculo da Correia e Polia.....	50
4.1.4 Montagem do equipamento.....	51
4.2 TESTES.....	52
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A impressão 3D é uma das tecnologias de prototipagem rápida que mais vem crescendo no mercado, essa ascensão se deve a novas técnicas de computação gráfica. A prototipagem rápida se baseia em criar um modelo físico através de sucessivas camadas, relacionado diretamente a partir de um arquivo tridimensional de desenho assistido por computador (CAD), permitindo desde o primeiro estágio do projeto que protótipos sejam fabricados com custos reduzidos, com excelente qualidade de acabamento e diminuição do tempo de sua fabricação em relação aos métodos convencionais.

A produção de filamentos para a impressão 3D é realizada pelo processo de extrusão. A extrusão é um processo de fabricação de perfis de seção transversal única, onde o material é forçado, por compressão, ao longo de um orifício em uma matriz formando um filamento. Esses filamentos são a matéria prima, para que através do método de modelagem por fusão e deposição, Fused Deposition Modeling (FDM), as impressoras 3D possam imprimir objetos tridimensionais, podendo o processo ser comparados ao movimento de um cartucho de tinta para impressoras inkjet.

Segundo a PRINTER (2014) hoje o mercado de materiais para prototipagem movimenta cerca de 400 milhões de dólares americanos e está crescendo a uma taxa de 20,4% ao ano, então significa que este mercado em 2019 movimentara 671 milhões de dólares onde 64% desse valor se aplicam aos plásticos. A tendência para o uso de materiais plásticos terá um forte crescimento nos próximos 5 anos devido a sua aplicação direta ao mercado no varejo, enquanto o crescimento de outros materiais como os metais ficam limitados a evolução industrial.

As extrusoras encontradas no mercado possuem um custo consideravelmente elevado, e as empresas fabricantes monopolizam a fabricação de matérias primas cobrando um valor relativamente alto pelo filamento. Assim, no intuito de buscar processos mais simples e econômicos de obtenção de filamentos para impressoras 3D temos como objetivo principal desse trabalho, o projeto e a construção de uma mini extrusora de filamentos para impressão 3D.

O trabalho tem ainda como objetivos específicos:

- Pesquisa bibliográfica para selecionar um polímero reciclável, visando a sustentabilidade, que será, utilizado como matéria prima na

extrusora, que resulte em um filamento de baixo de custo, e com as características necessárias para a impressão 3D.

- Levantamento dos custos dos elementos necessários para a construção da extrusora de filamentos.
- Construção e validação dos elementos dos equipamentos, incluindo a sua montagem e pôr fim a fabricação de filamentos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUÇÃO AOS POLÍMEROS

O estudo sobre polímeros começou por volta do século XX devido a notável contribuição desses materiais para o desenvolvimento industrial. Manrich (2005) descreve que os polímeros são materiais de alto peso molecular sendo eles orgânicos ou inorgânicos, sintéticos ou naturais, e com variedades estruturais repetidas que normalmente possuem baixo peso molecular.

A palavra polímero vem do grego poli, que significa “muito”, e a palavra mero que quer dizer “unidade”, o que seria numa tradução livre “muitas unidades ou partes”, (MANRICH, 2005 p.20).

Segundo Callister (2002) os polímeros artificiais, com formação natural possuem derivação de plantas ou animais, materiais como a borracha, a madeira, o algodão, a lã, o couro e a seda, tem estrutura pronta e são utilizados sem processamento molecular posterior, existem também os polímeros sintéticos, que são transformados a partir de pequenas moléculas orgânicas, os materiais englobados nessa divisão são alguns dos mais utilizados assim como plásticos, fibras, borrachas, entre outros. Com a ocorrência da segunda guerra mundial entre os anos de 1939 e 1945 o desenvolvimento dos materiais foi intenso, pois a busca por melhor rendimento de tropas e superioridade, fez com que a evolução no campo dos materiais tivesse um salto, assim os polímeros sintéticos despertaram o interesse industrial, pois agora era possível utilizar de técnicas de aprimoramento de polímeros naturais, e assim as borrachas e outros tipos de plásticos foram ganhando diversas aplicações, como resultado de um aperfeiçoamento de propriedades dos materiais.

Os polímeros podem ser classificados do ponto de vista tecnológico como: termoplásticos e termofixos. Termoplásticos são polímeros que podem ser fundidos e solidificados por diversas vezes sem que haja nenhuma variação em suas propriedades básicas, já os termofixos não podem ser fundidos sem que haja a degradação de sua estrutura química (MANRICH, 2005 p.20).

### 2.1.1 Polímeros utilizados como filamentos para impressão 3D

Atualmente é utilizada uma grande variedade de polímeros como filamentos para impressoras 3D. Nesse tópico serão abordados alguns dos principais polímeros utilizados para essa finalidade.

#### 2.1.1.1 ABS – acrilonitrilo – butalidieno - estireno

O ABS é um polímero amorfo produzido através de polimerização por emulsão ou massa do acrilonitrilo e estireno na presença de polibutadieno. As propriedades mais importantes do ABS são a resistência ao impacto e a rigidez. A maioria dos produtores de ABS usam geralmente a polimerização por emulsão, mas a Trinseo (Trinseo Do Brasil Comercio De Produtos Quimicos Ltda) usa, polimerização por massa. Pode ser processado através de moldação por injeção e extrusão.

Algumas desvantagens desse polímero é a elevada temperatura para atingir o ponto de fusão, entre 210 ° C a 250 ° C, além disso pode gerar gases na hora da impressão, assim sendo preocupantes para pessoas com problemas respiratórios (WISHBOX, 2016).

As peças fabricadas de filamentos de ABS podem ser pintadas, cortadas e lixadas. Como é solúvel em acetona, ela pode ser utilizada para a união de outros pedaços.

Segundo a All3dp (2017) as principais aplicações do ABS são em brinquedos, capacetes de segurança, painéis automotivos, telefones, painéis de controle de produtos de linha branca, bens de consumo e painéis de instrumentos.

#### 2.1.1.2 PET – Polietileno (Tereftalato de etileno)

A descoberta do PET aconteceu em 1928 nos laboratórios da Dupont. No começo os poliésteres obtidos possuíam baixo peso molecular não contendo nenhuma propriedade comercial importante, com as contínuas pesquisas eles conseguiram eliminar a produção de água na condensação formando um polímero com um maior peso molecular. Os novos poliésteres tinham como característica



física, serem sólidos opacos, tenazes, capazes de fundir a elevadas temperaturas em líquidos viscosos, e translúcidos (WIEBECK & HARADA, 2005).

As macromoléculas de PET são constituídas da repetição da molécula mais simples de tereftalato de etileno (Gorni, 2004). Ele é formado na reação do ácido tereftalato e do etileno glicol (WIEBECK & HARADA, 2005).

- Principais características e propriedades do PET

As propriedades do PET podem variar devido à sua massa molar, cristalinidade, ao uso de aditivos e ao percentual de cromômeros que forem adicionados em sua resina. Segundo GORNI eles têm como suas principais propriedades, a boa resistência mecânica térmica e química, ótimas propriedades de barreira: sua absorção de oxigênio é de 10 a 20 vezes menor que nos plásticos “commodities”, e é de fácil reciclabilidade.

- Processamento do PET:

Para que ocorra uma correta transformação do PET durante o processo de extrusão o polímero precisa de um processamento posterior. As principais etapas são a secagem, desumidificação e a cristalização (WIEBECK & HARADA, 2005).

- Secagem:

O processo consiste em insuflar ar quente e seco numa faixa de temperatura entre 160 a 180°C por um secador num silo de secagem, o tempo de permanência do PET dentro destes silos deve ser de 5 a 6 horas (WIEBECK & HARADA, 2005).

- Desumidificação:

Para que o processo descrito anteriormente ocorra mais eficiente, o desumidificador retira toda a umidade do ar utilizado na secagem (WIEBECK & HARADA, 2005).

- Cristalinidade:

Depende da estrutura molecular pode ser determinada pela forma de suas moléculas, pela simetria, pela ramificação, rigidez e regularidade. No produto extrudado, o PET se apresenta como amorfo com baixo grau de cristalização devido ao material fundido resfriar-se rapidamente (WIEBECK & HARADA, 2005).

- Moldagem por extrusão:

O material do PET deve estar no formato de grânulos secos e cristalizados. Somente a secagem não é suficiente, pois o PET amolece e gruda na rosca fazendo

com que a recristalização seja necessária para evitar esta aderência. (WIEBECK & HARADA, 2005).

Suas características em relação a flexibilidade e força excedem até o ABS e também se comparam aos requisitos do PLA, por ser reciclável e não gerar odores na hora de sua impressão.

#### 2.1.1.3 PLA – Ácido poliláctico

Ele é biodegradável, é um poliéster alifático termoplástico derivado de recursos renováveis, esse polímero sintético termoplástico é feito utilizando produtos renováveis como a mandioca, amido de milho ou cana de açúcar. Seus filamentos são mais ecológicos do que os outros materiais plásticos, devido a sua biodegradação e reciclabilidade. Uma das suas características é a não geração de odores na hora de sua impressão, tornando um excelente produto para o uso doméstico.

Ele tem maior rigidez quando em comparação ao ABS, tornando seus objetos impressos mais frágeis. Suas propriedades físicas são parecidas com as do PET, não é tóxico não há necessidade de usar cama aquecida e tem boa estabilidade dimensional. Seu ponto de fusão é entre 180 ° C a 230 ° C (IMPRESSAO3DFACIL, 2017).

#### 2.1.1.4 PP – Polipropileno

Ele é um material organoléptico, reciclável, semitransparente, enfim é um termoplástico versátil. Segundo Wiebeck & Harada (2005), o PP é o polímero mais empregado nas áreas eletrodomésticas e automotivas devido as suas propriedades químicas e mecânicas, como a dureza e a resistência a flexão. Com a polimerização do propileno é gerado o PP. Devido a sua mescla de qualidade pode se fabricar filamentos deste polímero. As peças confeccionadas por este material, conseguem ter uma enorme resistência ao impacto, fadiga e abrasão. Seu ponto de fusão se encontra na faixa de 175°C.

## 2.2 COMPORTAMENTO TÉRMICO

De acordo com Canevarolo (2002) os polímeros apresentam três temperaturas de transição importantes: de transição vítrea ( $T_g$ ), de fusão cristalina ( $T_m$ ) e de cristalização ( $T_c$ ).

- Temperatura de transição vítrea ou  $T_g$

A temperatura de transição vítrea ocorre em polímeros amorfos ou semicristalinos devido à redução do movimento das cadeias moleculares dependendo da diminuição da temperatura. Conforme o polímero vai se resfriando a transição vítrea faz com que ocorra uma transformação gradual de um líquido, em um material com características de borracha e por fim, num sólido rígido (CALLISTER, 2002).

A  $T_g$  é o valor médio da faixa de temperatura, durante o aquecimento do material, permitindo que as cadeias poliméricas da fase amorfa adquiram mobilidade (CANEVAROLO (2002, p.115). Canevarolo (2002) salienta que abaixo da transição vítrea o polímero não apresenta energia interna suficiente para deslocar uma cadeia em relação a outra, tornando - as quebradiças como um vidro.

- Temperatura de fusão cristalina ou  $T_m$

$T_m$  é o valor médio da faixa de temperaturas que quando um polímero é aquecido, as regiões cristalinas desaparecem com a fusão dos cristalitos, assim neste ponto a energia torna-se superior as forças intermoleculares secundárias, portanto destruindo a estrutura regular de empacotamento e mudando seu estado de borrachoso para viscoso. A  $T_m$  ocorre exclusivamente na fase cristalina, então faz sentido somente se aplicada em polímeros semicristalinos, afetando variáveis como volume específico, entalpia, etc. (CANEVAROLO, 2002, p.116)

- Temperatura de cristalização ou  $T_c$

A  $T_c$  representa uma temperatura baixa o suficiente na qual em um dado ponto dentro da massa fundida do polímero, as cadeias poliméricas se organizem de forma regular permitindo a formação de uma estrutura cristalina. Essa cristalização poderá ocorrer de forma isotérmica, onde a temperatura é baixada rapidamente até  $T_c$ , estabilizada e mantida constante até que toda a cristalização ocorra, e de forma dinâmica, onde a temperatura é reduzida continuamente e a cristalização ocorre dentro de uma faixa de temperaturas.

Na tabela 1 a seguir serão apresentadas as temperaturas de transição de alguns polímeros:

**Tabela 1 - Temperatura de transição.**

<b>Polímero</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Tm ou Tf (°C)</b>
Polietileno de alta densidade – PEAD	-125	137
Polietileno de baixa densidade - PEBD	-25	98
Polipropileno – PP (homopolímero)	-18	176
Politereftalato de etileno – PET (homopolímero)	69	267
Poliestireno – PS (isostático)	100	240
Policloreto de vinila – PVC	87	212
Policloreto de vinilideno – PVDC	-36	198
Poli (hexametileno adipamida) – Nylon 6.6	50	265
Poli (hexametileno sebacamida) – Nylon 6.10	40	277
Policarbonato – PC	150	220

**Fonte: Adaptado de Robertson (1993)**

### 2.3 EXTRUSÃO

Segundo Bretas e D'Avila (2005) o processo de extrusão consiste na obtenção de produtos por meio da passagem de material fundido através de uma matriz, formando, após a sua solidificação, um produto de seção transversal constante. O processo é realizado a partir da fusão e homogeneização do material a uma dada vazão, pressão e temperatura.

Uma rosca mecânica ou parafuso sem fim propõe o material peletizado, o qual é sucessivamente compactado, fundido e conformado na forma de uma carga contínua de fluido viscoso. A extrusão tem lugar à medida que essa massa fundida é forçada através de um orifício de uma matriz. A solidificação do segmento extrudado é acelerada por sopradores ou por um borrifador de água imediatamente antes de sua passagem para um transportador móvel. A técnica está especialmente adaptada para produzir comprimentos contínuos como, por exemplo, bastões, tubos, canais de mangueiras, folhas finas e filamentos (CALLISTER, 2002).

Segundo Manrich (2005, p.107) o componente mais importante da extrusora é a rosca devido ao fato dela transportar, fundir, homogeneizar e plastificar o polímero. Cerca de 80% de toda energia necessária para fundir o polímero é gerada a partir do cisalhamento proveniente do movimento rotacional da rosca, sendo que o restante é

obtido através de aquecedores externos. Ainda segundo Manrich (2005, p.107) os polímeros possuem baixa condutividade térmica e alta viscosidade, então é necessária que a plastificação do polímero deva ser aplicada por trabalho mecânico realizado na rosca, com o intuito de diminuir o tempo para fundir ou amolecer o composto promovendo uma melhor vazão e eficiência do equipamento.

Alguns polímeros quando aquecidos podem liberar gases e líquidos, nesses casos, o barril do equipamento poderá ter canais de entrada e saída para evitar a degasagem, onde os voláteis podem ser extraídos, a rosca deve ser projetada a fim de atender à mesma preocupação.

## 2.4 EFEITOS VISCOELÁSTICOS

Em comparação aos materiais cerâmicos e os metais, o polímero tem uma baixa resistência a fratura.

Em geral o tipo de fratura encontrada em polímeros termofixos é frágil. As ligações covalentes, tanto na forma de ligações cruzadas como na forma de estruturas em rede são quebradas durante a ruptura.

Nos termoplásticos é possível dois tipos de fraturas, a frágil e a dúctil. Entre os fatores que desenvolvem a formação de uma fratura frágil temos, o aumento da taxa de deformação, a diminuição da temperatura, a alteração na estrutura química, molecular ou microestrutural do polímero (CALLISTER, 2002).

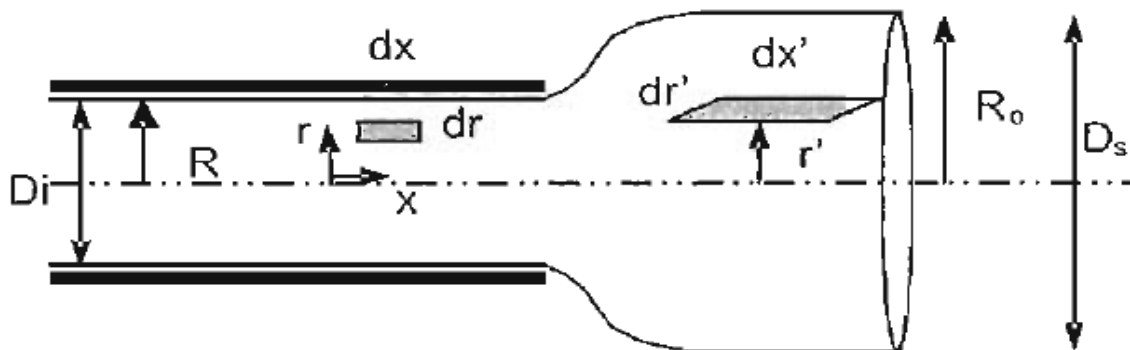
### 2.4.1 Inchamento do Extrudado

O efeito do inchamento do extrudado resume-se no aumento do diâmetro do extrudado em relação ao da matriz, na região anterior ao do modelo, as moléculas quando fundidas se emaranham esporadicamente. Já na matriz, as forças alongacionais atuam, ocorrendo o desemaranhamento do extrudado (BRETAS e D'AVILA, 2005).

Segundo Bretas e D'Avila (2005), quando a massa do fundido sai da matriz, o movimento browniano que provoca o emaranhamento e o reemaranhamento, faz com que as macromoléculas voltem as suas conformações aleatórias ou caóticas de equilíbrio, produzindo um encolhimento longitudinal e expansão lateral.

Ao ser deformado por cisalhamento nas paredes da matriz, as cadeias do polímero serão orientadas na direção do fluxo no mesmo tempo que tenta recuperar essa deformação elástica dentro da matriz, como existe um desequilíbrio entre a recuperação e a deformação elástica, uma parcela da recuperação irá permanecer quando o polímero estiver fora dos canais, sendo que essa parcela depende do tempo de relaxação do polímero que é dependente da temperatura, da taxa de cisalhamento, do atrito, do comprimento da matriz e seu diâmetro ou espessura (MANRICH, 2005 p.68), a Figura 1 demonstra o fenômeno do inchamento do extrudado.

Figura 1 - Representação do fenômeno de inchamento do extrudado IE.



Fonte: Manrich, 2005, p. 68

Como parte da recuperação da deformação elástica ocorre fora da matriz, o diâmetro e a espessura do extrudado tendem a aumentar, sendo o coeficiente do inchamento do extrudado ou de recuperação  $\beta = (D_s/D_i)$ . Esta equação descreve a relação entre o diâmetro do extrudado ( $D_s$ ) e o diâmetro da matriz ( $D_i$ ) conforme é mostrada na equação 1, onde  $n$  é o fator de potências de um polímero, e  $y_R$  é a deformação recuperável. Para fluidos viscoelásticos com elevadas taxas de deformação, ocorre a recuperação da deformação, a descompressão do fluido e o rearranjo de velocidades tornando complexo o conjunto dos diversos efeitos sobre o valor final do inchamento do extrudado, com isso esses tipos de materiais viscoelásticos podem apresentar um inchamento de extrudado de até 200% devido a deformação recuperável. Para materiais pseudoplásticos o rearranjo de velocidades não afeta tanto o inchamento pois seu  $n$  é menor que 1 tornando o perfil de

velocidades achatado. Pode-se estabelecer o inchamento do extrudado conforme a equação 2:

$$\frac{D_s}{D_i} = \beta = \sqrt{\left[ \frac{(2n+1)}{(3n+1)} \right] - 1 + \int (1 + \gamma_R^2 R^2) dx} \quad (1)$$

$$IE_R = \frac{D_s}{D_i} = \left[ \left( \frac{2}{3} \right) \gamma_R \left( (1 + \gamma_R^{-2})^{\frac{3}{2}} - \gamma_R^{-3} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Onde:

$n$  é o fator de potências de um polímero (adimensional);

$\gamma_R$  é a deformação recuperável na direção do escoamento;

$R$  é o raio interno do canal da matriz.

$\beta$  é o coeficiente de recuperação.

$D_s$  é o diâmetro do extrudado.

$D_i$  é o diâmetro da matriz de extrusão.

$IE_R$  é o inchamento do extrudado.

#### 2.4.2 Relaxação dos polímeros

O tempo de relaxação do extrudado pode ser previsto devido ao seu comportamento viscoelástico, podendo-se estimar o inchamento do extrudado, a fratura do fundido, microtrincas e empenamento. Sua recuperação pode levar de meses a anos para ser totalmente concluída, entretanto, devido a sua relaxação podem surgir trincas, empenamentos, entre outros defeitos. Através de ensaios dinâmicos observa-se que o tempo de relaxação pode ser determinado na relação com a sua temperatura. Tempos de relaxação ( $t^*$ ) pequenos estão associados a viscosidades ( $\eta$ ) mais baixas e tempos maiores ocorrem devido a viscosidades e módulos elásticos ( $E$ ) ou de cisalhamentos maiores. O tempo de relaxação pode ser estimado conforme a equação (3) a seguir. (MANRICH 2005, p.95)

$$t^* = \eta/E \quad (3)$$

Onde:

$t^*$  = Tempo de relaxação

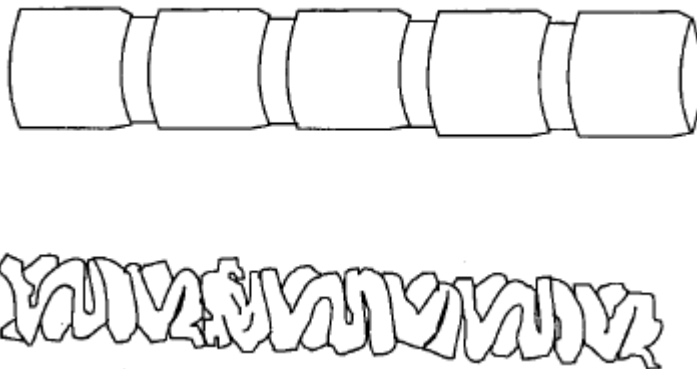
$\eta$  = Viscosidade

$E$  = Módulo de Elasticidade

### 2.4.3 Fratura do Fundido

Segundo Bretas e D'Avila (2005) a fratura do fundido pode ser caracterizado pelo aparecimento de irregularidades no extrudado, com os mais variados formatos como pode ser observado na Figura 2:

**Figura 2 - Exemplo com dois tipos de fratura do fundido.**



**Fonte: Bretas e D'Avila, 2005.**

Uma das teorias para se explicar o fenômeno da fratura, é que ocorre uma propagação turbulenta originada na parede da matriz. Este fenômeno pode ser observado experimentalmente, pois quando o polímero escoia continuamente e livremente perto da parede isso significa que está abaixo da tensão crítica, mas quando ele está acima desta tensão crítica, o polímero começa a se quebrar repentinamente e a fraturar. A tensão crítica é totalmente dependente do tipo de material no qual é construída a matriz, logo, a força de adesão polímero-matriz é um fator importante (BRETAS e D'AVILA, p.219, 2005).

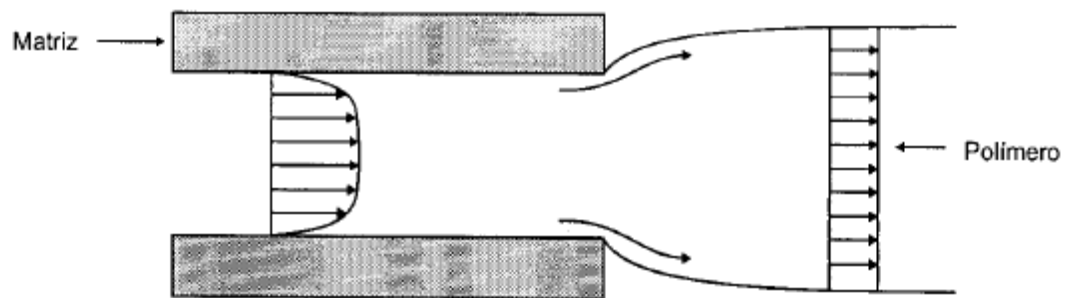


#### 2.4.4 Pele de Cação

Fenômeno caracterizado pela irregularidade superficial formada perpendicularmente em relação ao fluxo.

Quando o extrudado sai da matriz seu perfil de velocidade se altera como pode ser observado na figura 3, gerando a aceleração das camadas próximas a parede da matriz, como o fluido é viscoelástico, isso permite o aparecimento de tensões perto da superfície, como essas forças superam as tensões do fundido, elas forçam o rasgamento da superfície, liberando as tensões (BRETAS e D'AVILA, p.219, 2005).

**Figura 3 - Alteração do perfil de velocidades.**



Fonte: Bretas e D'Avila, 2005.

#### 2.4.5 Tempo de residência

Segundo Manrich (2005) o tempo de residência no processamento de um polímero dentro de um equipamento deve ser conhecido para evitar que haja a ocorrência da degradação, assim possibilitar a otimização com aditivação necessária. Para um fluxo em canais circulares temos que,  $t_R$  é o tempo de residência,  $V_0$  seria a velocidade máxima do fluido escoando dentro do canal,  $L$  é o comprimento do canal e  $n$  o fator de potências, onde ele seria 1 para fluidos ideais, e menor que 1 para fluidos pseudoplásticos. Pode-se estimar o tempo com a equação (4):

$$t_R = \left( \frac{3n+1}{n+1} \right) \frac{L}{V_0} \quad (4)$$

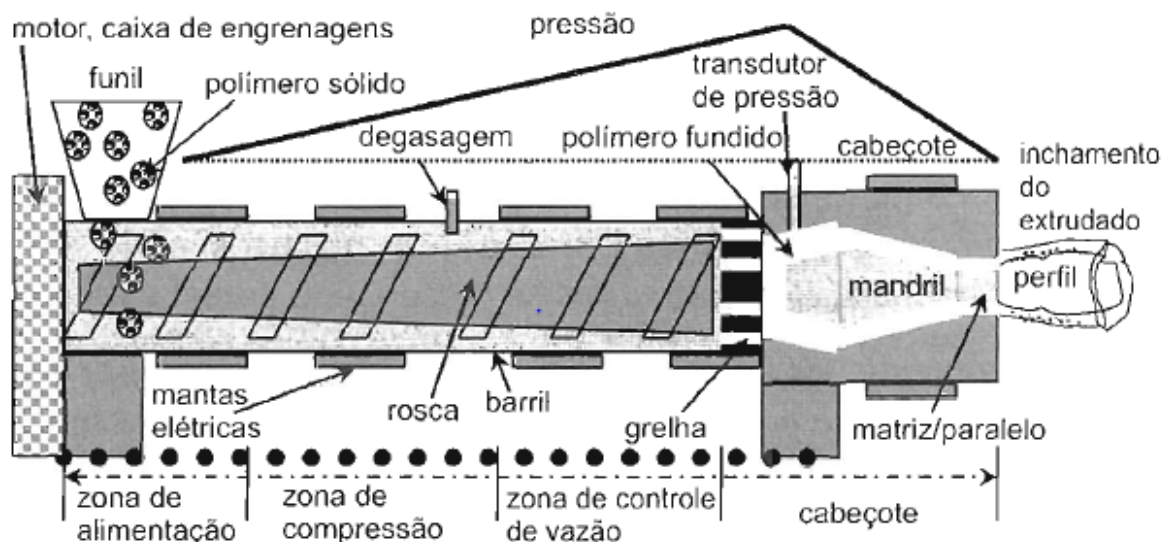
## 2. 5 EXTRUSORA

Extrusora é um componente padrão para todas as instalações e processos baseados por extrusão, ela tem como função transportar o composto que normalmente está na forma de pó ou granulado com a pressão necessária para produzir um fundido do plástico alimentado através da ferramenta.

A unidade de extrusão contém geralmente parafuso, barril, unidade de controle de calor e a matriz. Devido à força gravitacional, a resina ou os grânulos de plástico caem no parafuso rotativo da extrusora. O parafuso gira e cria fricção, que gera calor por cisalhamento. O controle de aquecimento elétrico age como uma energia térmica para o processo. Também evita a fuga de calor do sistema pelo isolamento radial do bocal do cano através do qual o plástico fundido é injetado através da matriz (POUDEL, 2015).

A Figura 4 abaixo mostra um esquema simplificado dos componentes da extrusora.

**Figura 4 - Representação de uma extrusora.**



Fonte: Manrich 2005, p. 110.

Como citado na Figura 4, podemos descrever os componentes que fazem parte da extrusora.

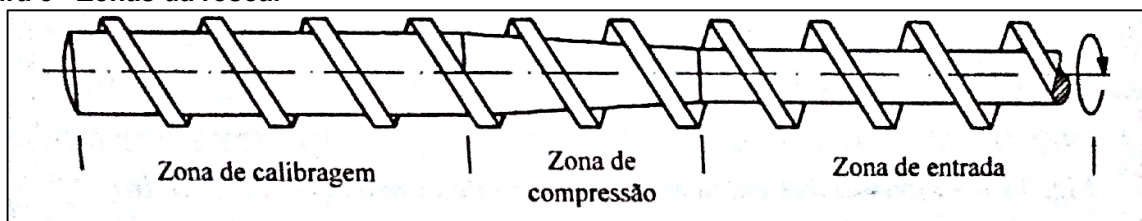
**Funil:** Sua função é a alimentação de modo constante a extrusora com o polímero a ser processado. Geralmente de forma cônica, para que o material deslize e escorregue, facilitando o fluxo até a rosca. No funil pode conter outros

equipamentos que auxiliam a controlar o fluxo, e por fim existem silos que além de ter como função a alimentação da extrusora, fazem a secagem do material.

**Barril:** Segundo Manrich (2005) sua construção pode ser feita por vários tipos de aços, levando em consideração a pressão de trabalho, o desgaste, corrosão e a temperatura empregada no processo. Contudo a temperatura deve ser controlada para obter a viscosidade desejada. Na extrusão de perfis e chapas, as pressões geradas no interior do canhão são de aproximadamente 75 Mpa, muito inferiores a de uma injetora que está na ordem de 230 Mpa. Para suportar tal pressão, o barril da extrusora deve ter em torno de 2 vezes o diâmetro da rosca, já em injetoras em torno de 2,5 vezes maior. As ligas mais utilizadas na fabricação dos barris, são as ligas do tipo Nitraloy 135M, que possuem uma pequena camada protetora contra corrosão, com uma dureza em torno de 55 a 72 Rockwell C, e também devem possuir uma resistência a tração entre 360 a 600 Mpa, assim atendendo os requisitos para sua fabricação. Em relação ao conjunto barril/rosca, o desgaste é mais acentuado na zona de transição ou compressão, devido as pressões geradas pelo material sólido. Em segundo lugar vem a zona de alimentação, que também trabalha com o material sólido com pressões baixas.

**Roscas:** suas principais funções são o transporte, a fundição, a dosagem e homogeneização do polímero, sendo o componente fundamental da extrusora. Uma das particularidades da rosca é que o diâmetro externo é continuamente constante, todavia sua cavidade pode ser variável conforme o polímero utilizado e a produção desejada. A rosca com três zonas é a mais usual, pois exerce uma vasta aplicação em diferentes termoplásticos, gerando economia no processo segundo Michaeli (1995, p.89). A Figura 5 abaixo mostra as três zonas da rosca, onde acontece o processo de passagem do polímero.

**Figura 5 - Zonas da rosca.**



**Fonte: Michaeli (1995, p. 89).**

De acordo com Manrich (2005, p.157) antes de tudo a rosca deve ser construída com um material que venha a suportar o torque do processo, contudo o módulo de elasticidade não pode ser grandioso, se não pode gerar uma fratura frágil na rosca sob tensionamento. Como exemplo podemos utilizar em sua fabricação um aço 8550, que são materiais menos duros, porém devemos fazer um tratamento superficial para seu endurecimento e também formando um gradiente para atingir certa profundidade. A carbonetação, a nitretação, a niquelação e a cromeação, são alguns exemplos de tratamentos superficiais, contudo o mais utilizado é a nitretação devido a obtenção do gradiente de dureza desejada. Atingindo uma dureza em torno de 70 Rockwell C, se enquadrando na dureza necessária que gira em torno de 55 a 70 Rockwell C para que não ocorra defeitos e nem quebras. Por outro lado, roscas com tratamento por carbonetação apresentam uma camada muito fina de proteção, por isso devem ser recondicionadas para impedir a perda total desse revestimento. Devido o maior desgaste as roscas são mais recondicionadas que os barris. São feitas avaliações do conjunto rosca/barril, para ajustar a nova geometria da rosca após o recondicionamento, além desta fase é necessário avaliar se o componente não foi afetado por fadiga mecânica. Em seguida deve adicionar uma camada de material somente nos filetes, pois a base ou o núcleo da rosca não pode ser reconstruída.

Através da decomposição de metal fundido será feita a camada de recondicionamento, logo após um fresamento para ajustar o seu dimensionamento e por fim um polimento. Normalmente utiliza um material resistente a abrasão, para que não seja necessário um tratamento superficial nessas roscas recondicionadas.

O Quadro 1 a seguir demonstra tipos de materiais usados para proteção e reparo das roscas.

**Quadro 1: Tratamentos utilizados em roscas.**

<b>Material</b>	<b>Resistência a abrasão</b>	<b>Resistência a corrosão</b>	<b>Aplicação</b>
Base de Co Stellite 6 Stellite 12 Stellite 1	Boa – excel. Boa – excel. Boa – excel.	Boa Boa Boa	Enchimento para a altas abrasões. Utilizado sobre quase todos os materias
Base de Ni 56 5 6	Boa – excel. Boa Excelente	Boa – excel. Boa – excel. Boa – excel.	Excelente resistência a abrasão. Aplicado em base de aço carbono pode originar algumas trincas
Recobrimento bi metálico UCAR WT - 1	Excelente Excelente	Fraca Boa	Excelente resistência a abrasão. Aplicado em todos os materiais para rosca
Recobrimento cerâmico Óxido Cr Óxido Al	Excelente Excelente	Fraca Fraca	Materiais de maior resistência a abrasão utilizada. Pode ser aplicado em todos os materiais para rosca
Cromeação Cr duro	Boa – excel.	Boa	Utilizado muito para resistência a corrosão. Se aplicado com espessura adequada, oferece resistência a abração
Niquelação Eletrodo de posição de Ni	Fraca Muito fraca	Excelente Excelente	Pode ser aplicado onde o cromo não protege contra corrosão

**Fonte: Manrich, 2005.**

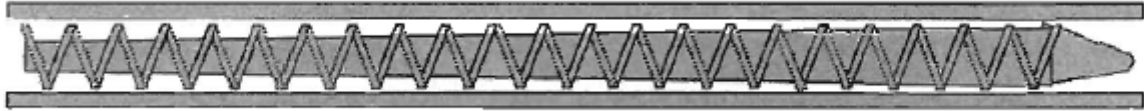
## 2.5.1 Rosca para extrusão de termoplásticos

### 2.5.1.1 Rosca para PVC

As propriedades do PVC são diferenciadas dos outros polímeros, pois se trata de um material que se degrada facilmente quando submetido a temperaturas superiores a 210°C, por essa razão não se deve trabalhar na sua temperatura de fusão de cristalito, o material possui alta viscosidade, devido a isso a rosca gera grande atrito interno transformando em calor. Pelas razões descritas anteriormente o

comprimento da rosca deve ter entre 18 e 25 diâmetros. A Figura 14 mostra um exemplo de rosca para PVC.

**Figura 6 - Rosca típica de PVC.**



Fonte: Manrich 2005, p. 149.

A Figura 6 mostra o dimensionamento  $L/D = 22:1$ , onde seu  $D = 115$  mm;  $RC = 1,8:1$ , espessura do filete no topo  $e = 5$  mm. Designada para processar PVC rígido.

Devem-se evitar altas taxa de cisalhamento dentro da extrusora, então para que isso não ocorra, a compressão do material deve acontecer de forma gradativa onde a profundidade do canal seja decrescente e com passo constante. A Tabela 2 a seguir demonstra a relação de diâmetros e roscas para comprimento ( $L/D$ ) e compressão ( $RC$ ).

**Tabela 2 - Relações de diâmetros e compressão para o PVC composto.**

<b>D</b>	<b>35</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>115</b>
L/D	15:01	15:01	20:01	22:01
RC	2,4:1	2,2:1	2,0:1	1,8:1

Fonte: Manrich 2005, p. 149.

### 2.5.1.2 Roscas para polietileno (PE)

Produto de fácil processabilidade que é classificado em dois tipos, LDPE (Polietileno de baixa densidade) e HDPE (Polietileno de alta densidade). Os dois materiais possuem uma estreita faixa de fusão sendo que o HDPE funde em torno de  $140^{\circ}\text{C}$  e o LDPE ao redor de  $110^{\circ}\text{C}$ . O polietileno de baixa densidade quase não absorve água e oxida na presença de ar quente, já o de alta densidade possui um alto valor de calor específico e tem dificuldades na variação de temperatura durante o processo. A faixa adequada para o processo do HDPE fica em temperaturas ao redor de  $190^{\circ}\text{C}$  e  $310^{\circ}\text{C}$  enquanto para o LDPE estão entre  $160^{\circ}\text{C}$  e  $250^{\circ}\text{C}$ . (MANRICH 2005, p. 150).

A rosca para polietileno deve ter uma relação L/D entre 16:1 e 30:1 com uma razão de compressão RC entre 3,0:1 e 4,5:1 com passo de rosca constante e a profundidade  $h$  decrescente até a zona de controle de fusão como representado na Figura 7 a seguir.

**Figura 7 - Rosca do LDPE com *madock*.**



Fonte: Manrich 2005, p. 151.

### 2.5.1.3 Rosca para poliestireno cristal (PS amorfo)

É um material amorfo e transparente, existe um tipo cristalino onde sua temperatura de fusão chega aos 250°C, quando aquecido torna-se mole, seu calor específico aumenta até duas vezes amolecendo facilmente quando aplicado um baixo torque na rosca.

A relação L/D varia entre 12:1 e 24:1 e com a relação de compressão variando 4,5:1 e 3,0:1. A Figura 8 mostra como um exemplo de rosca para PVC. (MANRICH, 2005).

**Figura 8 - Rosca para PS.**

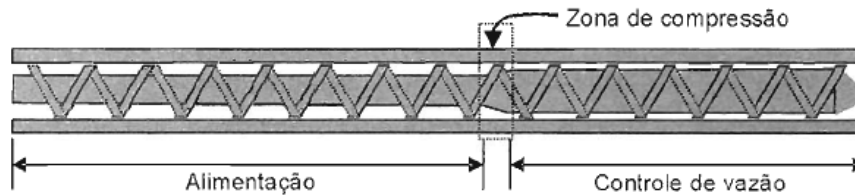


Fonte: Manrich 2005, p. 152.

### 2.5.1.4 Rosca para Poliamida (Náilon)

Com uma temperatura de fusão em torno de 240°C, oxida-se com facilidade quando exposto ao ar quente e possui uma faixa de fusão estreitas, não deve ser processado a úmido e após ser processado deve ser reumidecido para recuperar as propriedades mecânicas, devido a estes fatores mencionados deve ter uma relação L/D entre 12:1 e 25:1 onde é usualmente mais aplicada a de 18:1 e com uma razão de compressão de 3,0:1 a 4,5:1.(MANRICH, 2005).. A Figura 9 exemplifica uma rosca de náilon com suas diferentes zonas de compressão.

Figura 9 - Rosca típica para extrusão de náilon.



Fonte: Manrich 2005, p. 153.

### 2.5.1.5 Rosca para Polipropileno (PP)

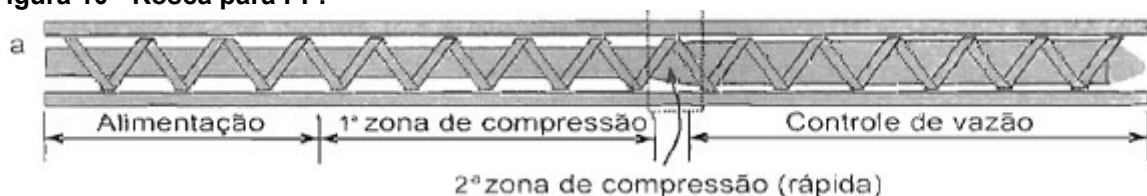
O PP tem temperatura de fusão em torno de 165°C, suas propriedades se assemelham com a do polietileno de alta densidade tornando o projeto da rosca semelhante a este. A Tabela 3 apresenta parâmetros para a geometria da rosca do PP.

Tabela 3 - Valores da rosca para o PP.

Rosca para PP	Zona alimentação	1ª zona de compressão	2ª zona de compressão	Zona de dosagem	Produção estimada Kg/h	Velocidade da rosca (rpm)
Comprimento	3D	8D	1D	12D		
D	h(mm)	h(mm)	h(mm)	h(mm)		
45	8,4	8,4 a 6,3	6,3 a 2,2	2,2	27	120
60	10	10 a 7,6	7,6 a 2,3	2,3	54	120
90	12,7	12,7 a 7,6	7,6 a 3	3	130	100
120	14	14 a 10	10 a 3,3	3,3	280	100

Fonte Manrich 2005, p. 153.

Figura 10 - Rosca para PP.



Fonte: Manrich 2005, p. 154

O dimensionamento da rosca mostrada na Figura 10, tem como relação L/D em torno de 25:1 e com RC = 3,5:1 a 4,5:1.



### 2.5.1.6 Rosca para polietileno tereftalato (PET) reciclado

Material que funde a alta temperatura, em torno de 275°C liberando materiais voláteis durante a extrusão fazendo com que se tornem necessários ajustes para que ocorra a degasagem, como possui uma baixa viscosidade recomenda-se o uso de rosca com barreira e um agente cisalhante, como mostrado na Figura 11. (MANRICH, 2005).

Rosca para o PET é dividida em 8 zonas, onde a zona 1 é a de alimentação, com 5 passos; a 2 é de compressão, composta por 7 passo; na zona 3, com 2.5 passos, com uma diminuição no diâmetro; já na 4 que é a degasagem, com um passo de 1.5; a 5 é de alimentação com 3 passos; na zona 6 existe barreiras na rosca e seu passo é de 10, é designada a zona de fusão; 7 é o *Maddock* ou cisalhamento; e a 8 é a zona de vazão, geralmente com 4 passos.

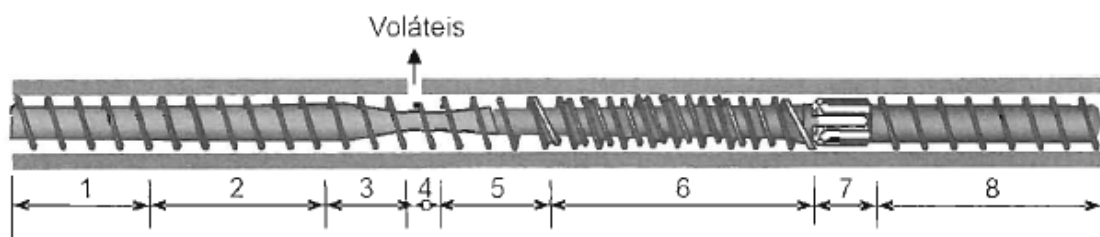
A zona 1 é responsável pelo transporte, a altura do filete é maior, devido a região não ter um elevado aquecimento.

Na zona de compressão, deve ter uma pequena redução gradual na altura do filete, o tamanho desta zona é totalmente dependente do material a ser extrudado, já a fusão do material é interligada a sua temperatura, pressão e cisalhamento.

A 3 é uma pequena zona de descompressão, auxilia os voláteis já na zona 4 escapem para a atmosfera, ela é chamada de zona de degasagem onde são eliminados os gases gerados na fusão. A eliminação dos gases se dá por meio de um orifício no cilindro, no qual a diferença de pressão na rosca contribui para este processo.

Já na zona 6 existem barreiras para impedir o retorno do fluido, o *maddock* ou cisalhamento está na próxima zona, a 7, ele aumenta a pressão na saída da rosca. A 8 é a zona de vazão, onde existe um orifício na matriz onde o extrudado é vazado.

**Figura 11 - Exemplo de rosca para PET reciclado.**



## 2.6 IMPRESSORA 3D

Segundo (SILVEIRA, 2016), inicialmente as impressoras 3D tem diversos propósitos, sempre visando um custo baixo e uma maior velocidade na confecção da peça. Seu funcionamento é essencialmente através de modelagem por fusão e depósitos, assim para formar o objeto desejado é necessária a adição de camadas sobrepostas de matérias. Isso só é possível, através de um desenvolvimento gráfico em 3D efetuado em um software computacional, para definir todas as cotas do protótipo, pois ela é composta por uma mesa que desliza sobre o eixo Y, o bico extrusor que desliza na coordenada X e a altura ao longo do último eixo denominado Z.

O ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), o PLA (ácido poliático), são os polímeros mais comuns utilizados para a matéria prima da impressora 3D, devido as suas propriedades como boa rigidez, resistência e flexibilidade, são os filamentos mais encontrados no mercado (IMPRESSAO3DFACIL, 2017).

Com o crescente mercado e a facilidade em se obter uma impressora, não são só as empresas que estão usufruindo desta tecnologia, pessoas estão adquirindo este equipamento, existindo até fabricantes brasileiros que já entraram neste mercado em ascensão. Diversos produtos podem ser fabricados através de uma impressora 3D, desde peças comerciais, protótipos, objetos artesanais, miniaturas, próteses, joias, etc. Também está ganhando espaço nas áreas de arquitetura e engenharia através de maquetes e esboços de construções.

Embora a impressora 3D tenha inúmeras vantagens, o equipamento não é tão robusto em relação aos processos de fresamento, injeção e usinagem, assim exige uma maior atenção quanto ao seu uso e manutenção (IMPRESSAO3DFACIL, 2017).

### 2.6.1 Prototipagem

A expressão prototipagem rápida indica inovação para a fabricação de objetos, através de dados gerados por um processo auxiliado por um programa de CAD Para construir um objeto com a forma pretendida, é necessário que se unam e se agreguem materiais, assim eles têm uma enorme vantagem em relação aos processos de fabricação, que são baseados na remoção de materiais, tendo como exemplo torneamento ou fresamento (GORNI, 2001).

Ao contrário de imagens bidimensionais, o projetista pode apresentar um protótipo como prévia do projeto para discussão, alteração ou até mesmo na forma final para o cliente ou colaborador. Como o protótipo já permite uma avaliação, através de testes iniciais, tanto como exemplos a análise fotoelástica, que verifica concentrações de tensões, e também em peças mais específicas como por exemplo as usadas em testes nos túneis de ventos para componentes aeronáuticos. Realmente, essa tática de prototipagem rápida, gera uma economia estimada de 70 a 90% na construção de modelos. Sua construção está estimada de 2 a 72 horas, conforme complexidade e tamanho. Assim torna a prototipagem rápida o melhor processo de manufatura praticável, em relação a pequenos lotes e peças complicadas (PUPO e CELANI, 2008).

Este processo combina camada de cera, papel ou principalmente plásticos, formando um objeto sólido. Como é um processo “aditivo” pode se obter formas complexas, em relação aos processos “subtrativos”, tendo como exemplo a usinagem, que a começa a remover o material de um bloco para formar a peça desejada.

Segundo Gorni (2001) as cinco etapas básicas do processo de prototipagem atualmente utilizadas são:

- Criação de um modelo CAD da peça que está sendo projetada;
- Conversão do arquivo CAD em formato STL, próprio para estereolitografia;
- Fatiamento do arquivo STL em finas camadas transversais;
- Construção física do modelo, empilhando-se uma camada sobre a outra;
- Limpeza e acabamento do protótipo.

### 2.6.2 Filamentos

Filamentos são a matéria prima para a impressão 3D, assim muitas empresas estão investindo em tecnologias para buscar novos materiais para sua manufatura. A obtenção desse filamento é através do processo de extrusão.

Os filamentos se tornaram umas das formas mais simples de reciclagem de polímeros, entre eles destacam-se, garrafas, copos, embalagens, onde devem ser trituradas, moídas, buscando a homogenia do filamento final. Com a possibilidade de

alterar a coloração do filamento de acordo com a necessidade ou preferência do cliente. Na Figura 12 são mostrados filamentos comerciais.

**Figura 12 - Filamentos comerciais.**



**Fonte: Wishbox, 2016.**

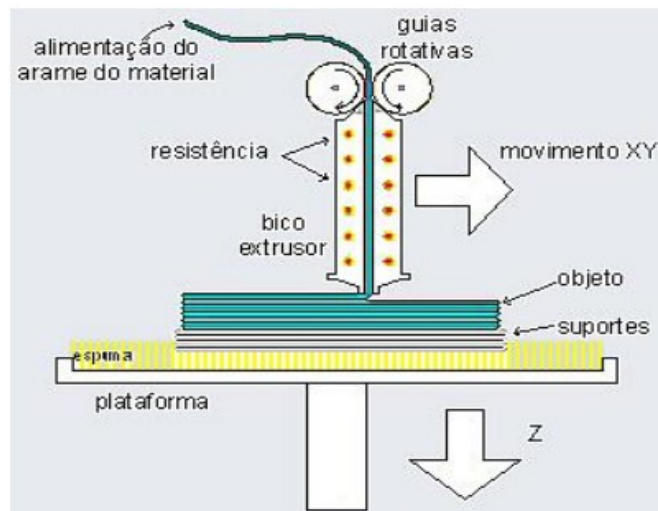
### 2.6.3 Tecnologias de impressão

A modelagem fundida é um processo que envolve a distribuição de polímeros derretidos, utilizando uma extrusora, depositando o polímero camada por camada, com o objetivo da construção de algo desejado, através de uma impressora 3D. Existem duas tecnologias que ultrapassam as outras e são as mais utilizadas: a modelagem por fusão e deposição (FDM) e a estereolitografia (SLA).

Segundo Predrosa (2015), o FDM é um processo de deposição de materiais por meio de camadas. Após o material ser fundido sua distribuição ocorre sobre a plataforma de impressão, controlado através dos planos XY, depositando filetes finos do material sobre ela. O processo será repetido até que o modelo 3D tenha tido acabado e formado. Com a conclusão deste processo de decomposição o objeto é deixado para endurecer e conseqüentemente resfriar.

Segue na Figura 13, como se executa o processo por prototipagem:

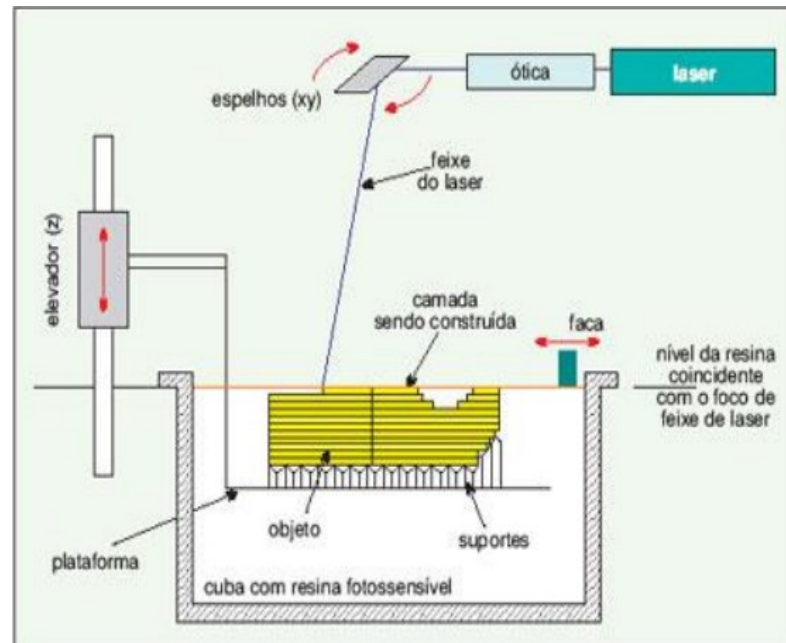
**Figura 13 - Modelagem FDM.**



Fonte: Pedrosa, 2015, p. 17.

O primeiro processo de prototipagem rápida foi a estereolitografia, com seu sucesso, tornou – se padrão para o surgimento de novas técnicas. Ele se baseia na polimerização de uma resina fotossensível formada por monômeros que se solidificam com a exposição de laser ultravioleta. Sua construção é feita camada por camada, em uma plataforma móvel. Quando o laser atinge essa camada, os fotoiniciadores desencadeiam uma reação que por sua vez promove a formação de uma cadeia polimérica entre as moléculas do manômetro na resina, tendo com resultado a solidificação. Em seguida, um elevador imerge a plataforma no polímero líquido para que com a incidência do raio laser criar uma camada superior a camada solidificada anteriormente, sendo repedida quantas vezes que seja necessário até formar o objeto. Com o projeto finalizado, ele é enxaguado para retirar a sobra de material e curado em um forno para obter as propriedades desejadas (GORNI, 2001), como exemplificado na figura 14.

Figura 14 - Modelagem SLA.



Fonte: Pedrosa, 2015, p. 17.

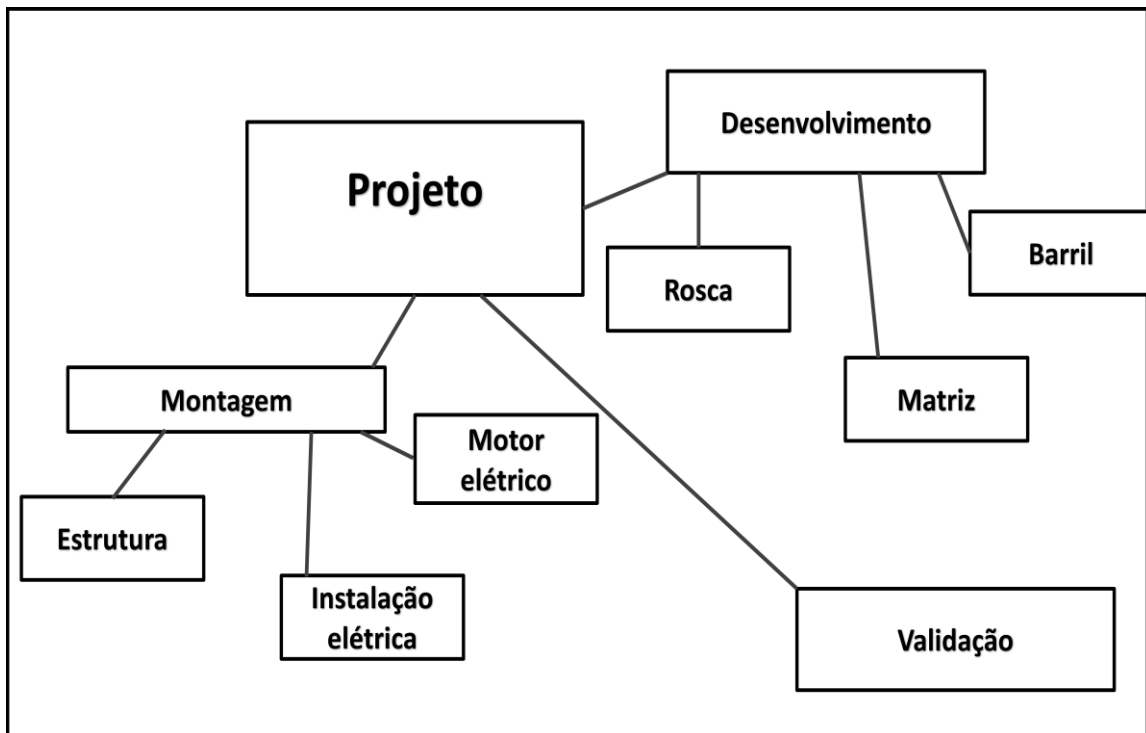
### 3 METODOLOGIA

As etapas de realização desse trabalho são apresentadas no fluxograma da Figura 15, para se ter uma visão geral dos passos necessários para desenvolvimento do projeto. Essa sequência é baseada nas etapas para desenvolvimento de projetos mecânicos descritas por NORTON (2013).

Nestas etapas foram apresentados os métodos de pesquisa, de planejamento e construção que foram utilizados no estudo e dimensionamento dos componentes da mini extrusora como também o material que irá gerar o filamento.

Com o material para a confecção do filamento já estabelecido pode-se aplicar um dimensionamento mais aplicado para construção do equipamento então podemos classificar as etapas que deverão ser seguidas no projeto: desenvolvimento, montagem, validação, teste do equipamento e produção final.

Figura 15 - Etapas de desenvolvimento do projeto.



Fonte: Autoria própria(2018).

### 3.1 DESENVOLVIMENTO

A etapa de desenvolvimento abrange o dimensionamento e fabricação dos componentes da extrusora. A escolha do polímero para se processar tem uma forte influência no projeto, dependendo da escolha muda-se o dimensionamento da rosca, buscou-se por um polímero de grande aplicação no mercado e de fácil aquisição. Com os dados obtidos no dimensionamento foi possível elaborar os desenhos das peças utilizando o programa de modelagem 3D, SolidWorks. Na posse dos desenhos partiu-se para a etapa de fabricação de cada um dos componentes. A fabricação de alguns componentes foi executada dentro dos laboratórios da UTFPR - Campus Pato Branco, com exceção de alguns componentes que foram fabricados em empresas de usinagem da região.

#### 3.1.1 Componentes

1ª Etapa – Rosca: Para o dimensionamento da rosca tomou-se como base as dimensões do forno disponível no laboratório de tratamento térmico da UTFPR supondo que o processo de fabricação envolveria o endurecimento superficial por tratamento térmico, outro fator levado em consideração para o dimensionamento da rosca foi a relação comprimento/diâmetro (L/D) padrão sugerida por Manrich. Para a construção da rosca foram utilizados os aços AISI 4340, selecionado primariamente por requisito de dureza, AISI 8620 e AISI 1045, que foram utilizados como alternativas devido a complicações durante a fabricação, conforme será detalhado na seção de Resultados e Discussões.

A confecção exigiu um profissional com uma maior experiência e habilidade, para que não ocorresse flambagem, empenamento ou quebra durante a usinagem, o torno precisou dispor de uma luneta móvel, equipamento o qual o campus não dispunha, assim contratamos uma tornearia na cidade de Clevelândia – PR, que se dispôs a executar o serviço de alto grau de dificuldade.

2ª Etapa - Barril: Para o barril seguiu-se conforme os critérios de fabricação do Manrich, onde ele especifica a espessura mínima de parede para extrusão e o tipo de material que deve ser feito.

3ª Etapa - Bico extrusor: Para o dimensionamento do bico extrusor por não se ter encontrado referências bibliográficas a respeito, foram utilizadas recomendações



da fabricante de injetoras “Reiloy Westland Corporation”. Sabendo-se que a ponta da rosca deve ter um ângulo ajustado para que não ocorram interferências do polímero com o barril, fazendo com que o mesmo não consiga retornar, e também para que não ocorra perda de pressão na saída, o qual recomenda que o ângulo deve estar entre 23 e 24° como observado na Figura 21 situada nos resultados.

4ª Etapa – Polia: Foi adquirida uma de fabricação industrial de alumínio no qual foi dimensionada conforme especificação da fabricante de correias GATES.

5ª Etapa – Mesa e funil: Foram reutilizadas chapas e perfis de aços disponibilizados dentro da UTFPR, aonde readequamos através de cortes e posteriores soldas, assim foi concluída a construção do funil e suporte do equipamento.

### 3.2 MONTAGEM

Com todos os componentes em posse, iniciamos a fixação e alocação de todas as partes do equipamento na mesa. O primeiro passo foi soldar o barril sobre a mesa, a colocação da rosca se fez em seguida junto com os rolamentos e mancais fixados por parafusos. Após alinhados o barril com os mancais, foi alocado o motor elétrico com um suporte que serve de ajuste da distância para o controle da rotação.

Além dos componentes fixados até agora, foram instalados as resistências elétricas e os sistemas de controle que tem como função controlar a temperatura no barril, e realizar ligações na rede elétrica. A elaboração da montagem foi feita nos laboratórios do departamento de mecânica e elétrica da UTFPR campus Pato Branco com o auxílio do técnico responsável.

### 3.3 VALIDAÇÃO

Segundo Robert L. Norton, 2013 existem várias etapas para a validação e concepção de um projeto, a etapa inicial é a ‘Identificação da Necessidade’, a segunda etapa seria a ‘Pesquisa de Suporte’ para compreender totalmente o problema e assim ‘Estabelecer os Objetivos’ (3ª etapa).

Quarta etapa ‘Especificação das tarefas’ que concluem o problema e limitam seu alcance.

Na etapa 5 'Síntese' busca alternativas para o projeto sem levar em consideração os custos.

Etapa 6 'Análise' nesta etapa serão revistas as propostas da etapa anterior, assim na etapa 7 'Seleção' serão selecionadas as melhores propostas. No 'Projeto detalhado' (etapa 8) todas as pesquisas e croquis são juntados, e por fim na etapa 9 'Protótipo, teste e produção' será confeccionado um protótipo para testes e então a produção (NORTON, 2013).

O projeto seguiu segundo as etapas descritas acima, o projeto e construção da extrusora que será para fins acadêmicos e para ser utilizada no laboratório.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

#### 4.1.1 Determinação do Polímero

Inicialmente o projeto tinha por intenção a reutilização de garrafas PET para o processamento do extrudado, porém devido à alta complexidade de fabricação da rosca transportadora tornou-se inviável a fabricação da mesma. Segundo Manrich (2005) a rosca de PET possui 8 zonas de transporte como observado anteriormente na Figura 11, além de possuir zonas de baixa pressão para a retirada de gases voláteis assim como um dispositivo *madock* próximo a sua extremidade, esse dispositivo permitiria uma melhor homogeneização e compressão do PET. Devido ao fator “complexidade de fabricação” mencionado anteriormente, optou-se pela fabricação de uma rosca com um formato padrão onde vários polímeros poderiam ser processados.

Tomou-se como base para construção do equipamento um polímero granulado de fácil alcance e grande utilização nas indústrias da região, assim foi selecionado o Polipropileno (PP). O PP é um dos polímeros mais utilizados na indústria devido as suas características e propriedades (A LOT,2016), segundo o Szazdi (2005), o polipropileno tem como principal atrativo o seu custo benefício, sendo um material de custo baixo e uma boa relação custo/produção em comparação a outros polímeros.

O projeto da rosca partiu do formato mostrado pela Figura 10, foram feitas algumas alterações em relação ao seu formato, retirando a zona de compressão rápida tornando a rosca mais uniforme.

#### 4.1.2 Fabricação da Rosca de Extrusão

A rosca de extrusão foi o componente de fabricação mais complexa e que serviu de base para determinar o projeto e posterior desenvolvimento dos outros componentes. Inicialmente partiu-se de um fuso de 12 mm de diâmetro para um posterior tratamento térmico no forno do laboratório H007 da UTFPR campus Pato Branco, porém houveram duas tentativas de fabricação sem sucesso, a primeira

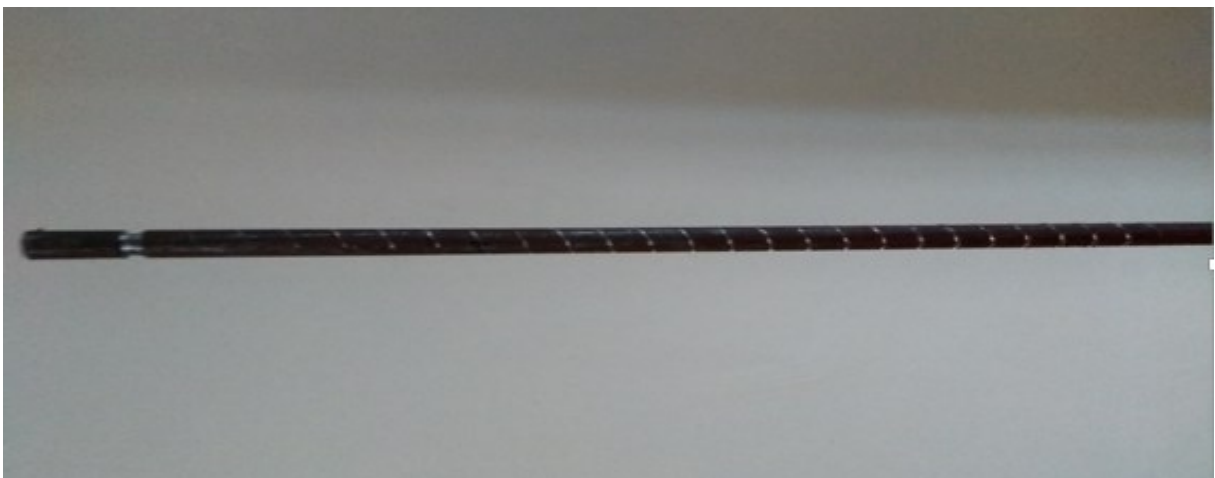
tentativa foi executada com o aço liga AISI 4340, que é um aço que através de um tratamento térmico pode alcançar a dureza exigida em torno de 55 HRC. Devido o material ser muito duro, o que exigiu uma maior força na aplicação da ferramenta de usinagem fazendo com que ocorresse vibração e posterior quebra na ferramenta e como consequência causando o empenamento da rosca, como observado na Figura 16. Na segunda tentativa foi utilizado outro tipo de material o AISI 8620 onde ocorreu o mesmo tipo de problema como mostrado na Figura 17. Após estas tentativas falhas optou-se por utilizar um aço de fácil usinabilidade, selecionando o aço AISI 1045. O tarugo comercial vendido é de ½” de diâmetro e para não gerar flambagem aumentou-se o diâmetro da rosca para 12,7 mm. Seguindo o modelo apresentado por Manrich (2005), a relação para dimensionar a rosca é de  $L/D = 24:1$ .

**Figura 16 - Rosca de aço AISI 4340.**



Fonte: Autoria própria(2018).

**Figura 17 - Rosca de aço AISI 8620.**



Fonte: Autoria própria(2018).

Com a escolha do polímero e com as dificuldades envolvidas na construção e fabricação da rosca, decidimos pela execução de uma geometria padrão, assim o

diâmetro da rosca ficou 12,7 mm e o comprimento útil do fuso com 322 mm, compreendendo um total de 453 mm. Sua ponteira foi usinada de forma cônica com 11 mm de diâmetro, altura inferior a crista do fuso, para dirigir o polímero para entrada do bico, sendo demonstrado pela Figura 18.

**Figura 18 - Rosca de aço AISI 1045.**



Fonte: Autoria própria (2018).

Para determinar a rotação (rpm) no processo, Manrich cita que deve ser definido pelas características de cisalhamento ( $\dot{\gamma}$ ) as quais estão entre  $\dot{\gamma} 10^2 - 10^3$  [s<sup>-1</sup>], onde utilizando-se a altura da crista ( $h_2$ ) é igual a 1mm, o cisalhamento  $\dot{\gamma} = 100$  e o diâmetro  $D = 12,7$ mm, pode-se encontrar a rotação  $N$  pela equação 5 (MANRICH, 2005):

$$\dot{\gamma} = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{h_2 \cdot 1} = N = \frac{100 \cdot 1,7 \cdot 60}{\pi \cdot 12,7 \cdot 1} = 256 \text{ rpm} \quad (5)$$

Uma vez obtida a rotação, pode-se utilizá-la para o cálculo do valor da potência mínima que o motor elétrico necessita, seguindo a equação 6 abaixo, sendo o  $N$  a rotação em minutos,  $K_{pp}$ , o fator de proporcionalidade, que depende do polímero a ser extrudado, que no caso do polipropileno tem um valor de 66,7, e  $D$  é o diâmetro da rosca (MANRICH, 2005).

$$Pot = \frac{N \cdot \pi \cdot D^3}{K_{pp}^2} = 371 \text{ W} = 0,371 \text{ kW}. \quad (6)$$

O diâmetro externo do barril deve ser no mínimo de 2 vezes o diâmetro da rosca, e com uma folga entre parede de 0,15 mm, portanto foi perfurado com uma broca de 13 mm evitando que a rosca tenha atrito com a parede do barril, no diâmetro externo foi utilizado o de fabricação comercial de 2" no qual atendia aos

requisitos do projeto, foi feita uma cavidade e então soldado o funil para colocação da matéria prima, como mostrado na Figura 19.

**Figura 19 - Barril com o Funil.**



Fonte: Aatoria própria(2018).

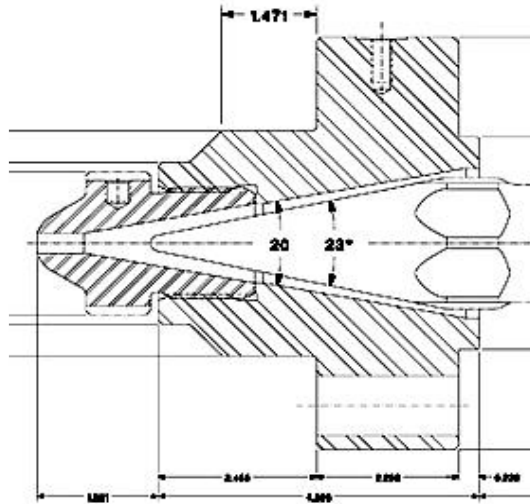
Seguindo as recomendações dos fabricantes de injetora “Reiloy Westland Corporation”, iniciou – se a busca de ferramentas para a confecção do bico. Para obter o ângulo proposto, é necessário ter uma broca cônica, ferramenta da qual o campus não possui, com isso foi designado uma empresa de Pato Branco para construir o bico, resultando num ângulo aproximado de  $25^\circ$ , atendendo os requisitos. A matriz extrusora pode-se ser observada segundo a Figura 20.

**Figura 20 - Matriz extrusora.**



Fonte: Aatoria própria(2018).

Figura 21 - Recomendação de ângulos.



Fonte: Catálogo Reiloy Westland Corporation.

- Temperaturas:

Utilizamos 2 resistências do tipo coleira de mica, com diâmetro de 25 X 50 mm de largura, elas são revestidas com aço inox 430, com uma potência de 250 watts, conseguindo atingir segundo o fabricante uma temperatura máxima de 400 °C, sua tensão é de 220 volts, este modelo é comercialmente vendido e adequado para o seguimento do projeto em execução, como mostrado na Figura 22. Foram acopladas no barril numa posição equidistantes para melhor distribuição do calor, assim colocando o termopar no envoltório das resistências para se obter o controle das temperaturas nas diferentes zonas da rosca. Foram utilizados 2 controladores de temperatura, um para cada coleira, um analógico e outro com visor digital. Os 2 controladores controlam a temperatura de até 400° C, aceitam termopares do tipo “j” e podem ser ligados a tensão 220V, conforme podem ser observados pela Figura 23 e 24, ambos foram emprestados para podermos fazer os testes no equipamento.

Figura 22 - Coleira de Mica.



Fonte: Autoria própria(2018).

Figura 23 - Controlador de temperatura analógico.



Fonte: Autoria própria(2018).

Figura 24 - Controlador de temperatura analógico com painel digital.



Fonte: Autoria própria(2018).

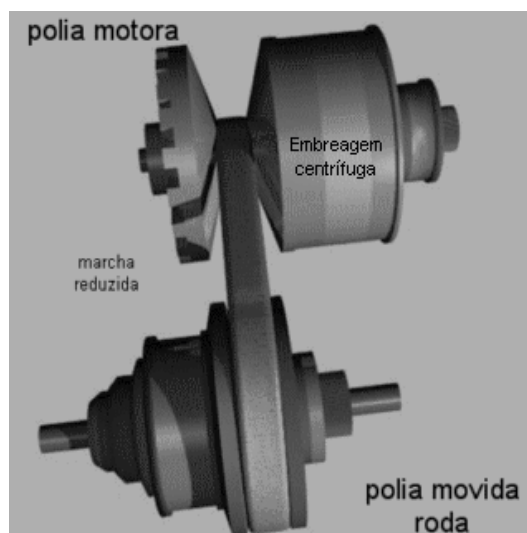


- Velocidades:

No controle da rotação do motor deveria ser utilizado um inversor de frequência, mas devido ao fato dele ter um custo relativamente alto, buscou-se por alternativas mais viáveis, como um motor com capacidade maior do que a exigida pelo projeto foi disponibilizado e levando em consideração que o motor possui um sistema CVT, partiu-se desse sistema de rotação variável para então gerar a transmissão de rotação e torque necessária para fazer o acionamento do fuso. O sistema de polias CVT é composto por dois cones direcionados para que fiquem um de frente para o outro formando um canal, com intuito de aproximar ou repulsar a correia. Quando em funcionamento podemos aproximar os cones, resultando num aumentando do diâmetro da polia e ao contrário repulsando os cones, tornando o diâmetro menor. Essa alteração reflete no torque e velocidade da transmissão, como esquematizado pela Figura 25.

O motor em posse não possui identificação, porém o mesmo era de uma esteira elétrica, a tensão utilizada foi de 220 V e através de um tacômetro de contato digital realizou-se a leitura da rotação, sendo de aproximadamente 1750 rpm, realizou-se uma pesquisa em manuais de esteiras elétricas e constatou-se que todas utilizavam de um motor com potência superior ou igual a 1 hp.

**Figura 25 - Controlador de temperatura analógico com painel digital.**



Fonte: Motonline (2018).

#### 4.1.3 Cálculo da Correia e Polia

Como calculado anteriormente a potência requerida para o motor é de 371 W, entretanto como o motor disponibilizado possui 1hp de potência, foi tomado como base de cálculo este motor, assim para o cálculo da potência projetada (HPP), onde a potência do motor é multiplicada pelo fator de serviço (Fs) (equação 7), o Fs empregado neste projeto foi de 1,2 como pode ser consultado no anexo A1 da Gates, onde é descrito este valor para extrusão.

$$HPP = HP \cdot Fs = 1,2 \text{ hp} \quad (7)$$

Com a potência projetada e a rotação do eixo motor determinou-se o perfil de correia através da tabela do Anexo A2, foi selecionado a correia do perfil 3V, o passo seguinte foi determinar o diâmetro da polia menor, através da tabela do Anexo A3 da Gates, constatou-se que o diâmetro menor seria 2,2 polegadas o que nos dá aproximadamente 55 mm, mas como já possuíamos uma polia do tipo CVT foi aplicado o diâmetro menor que se pode obter com ela resultando em  $d = 26 \text{ mm}$ .

A rotação do motor é de 1750 rpm e a rotação requerida na extrusora é de 256 rpm tem-se o diâmetro da polia maior a partir da equação 8:

$$D = \frac{d \cdot rpm_{menor}}{rpm_{maior}} = 0.178 \text{ m} \quad (8)$$

Com este resultado foi feito uma busca por polias comercializadas, e foi adquirida uma polia com um diâmetro de 200 mm. Utilizando um diâmetro aplicado no mercado,  $D_{mer} = 200 \text{ mm}$  e  $d = 26 \text{ mm}$ , temos que a distância entre eixos fica em torno de (equação 9):

$$C = \frac{3d + D_{mer}}{2} = 0.139 \text{ m} \quad (9)$$

Assim temos que o comprimento da correia pode ser determinado através da equação 10:

$$L = 2C + 1.57(D_{mer} + d) + \frac{(D_{mer} - d)^2}{4C} = 0.687 \text{ m} \quad (10)$$

Foi determinado que a correia do tipo 3v280, é a que melhor se adapta segundo o Anexo A4 (Correias Super HC). Recalculando a distância entre centros ( $D_c$ ) com  $L_c = 710\text{mm}$  e aplicando o fator de correção entre eixos  $h = 0,30$  do anexo A5, temos:

$$A = L_c - 1,57(D + d) = 0,355 \text{ m} \quad (11)$$

$$D_c = \frac{A - h(D_{mer} - d)}{2} = 0,151 \text{ m} \quad (12)$$

- Rolamentos e mancais

No eixo existem cargas radiais e também axiais, na qual quando o fuso tenta expelir o material para fora da matriz, a massa polimérica ao mesmo tempo faz uma força contrária empurrando o fuso para trás.

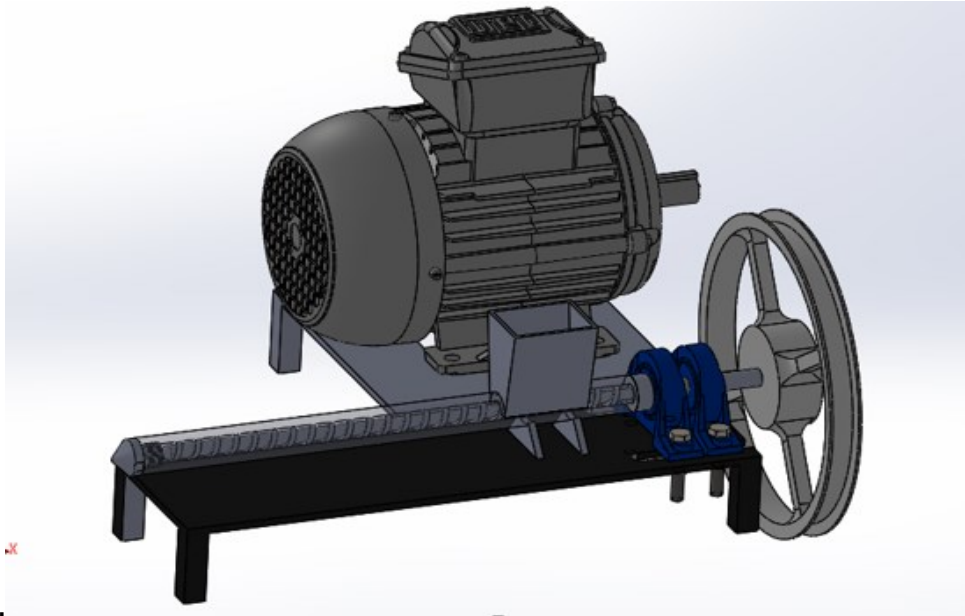
Foram selecionados dois rolamentos de contato angular, com diâmetro interno de 12mm, da BRM UC 201 com carga dinâmica de 12800 N e com carga estática de 6650 N no qual pode ser conferido no Anexo B. Os rolamentos estão acoplados em série para que o eixo possa rotacionar livremente, e também para evitar que o fuso possa flambar. O valor da pressão interna do barril não é conhecido, não foi possível calcular a força exercida sobre o eixo, portanto faltando dados para calcular a vida do rolamento. O mancal foi selecionado seguindo as dimensões do rolamento selecionado.

#### 4.1.4 Montagem do equipamento

Os detalhamentos com as dimensões de todos os componentes são apresentados nos apêndices do trabalho.

O equipamento montado pode ser observado segundo a figura 26, com o barril em modo de transparência mostrando como ficou alocada a matriz e o fuso em seu interior.

**Figura 26 - Montagem final do equipamento.**



Fonte: Autoria própria(2018).

## 4.2 TESTES

Com a montagem completa, iniciaram-se os primeiros testes, foram configurados os controladores para manter a temperatura na faixa desejada, as coleiras foram acionadas quando a temperaturas estavam abaixo do estipulado, e após o aquecimento total foi ligado o motor, conferindo sua rotação e sentido de giro, e por fim foram inseridos os pellets de PP dentro do barril, iniciando a extrusão, e finalmente gerando um filamento contínuo.

Comparando o filamento comercial de PLA de tonalidade preta com o filamento de PP, pode-se observar que o diâmetro do polipropileno girou em torno de 1,6 a 2,2 mm, um filamento comercial de PLA e o filamento de PP obtido no equipamento construído nesse trabalho, podem ser observados na figura 27, o filamento de PP foi extrudado sem um mecanismo de resfriamento e de enrolamento, sistemas estes que podem ser implementados em um trabalho futuro. Sugere-se um sistema de refrigeração onde o filamento é submergido em água e então enrolado por um sistema de carretel controlado por uma sistema arduino, onde poderia se controlar, pelo torque, o diâmetro do filamento, para enfim se obter um filamento de 1,75 mm, que é diâmetro do filamento utilizado nas impressoras 3D.

**Figura 27 - Filamentos de PLA e PP.**



**Fonte : Autoria própria (2018).**

## 5 CONCLUSÃO

O projeto de construção da mini extrusora objetivou pôr em prática a obtenção de filamentos poliméricos e agregar valor ao curso de Engenharia Mecânica na temática de fabricação de peças 3D. Assim este equipamento foi desenvolvido na intenção de ser gerador de matérias primas de forma que o custo do filamento se torne baixo e possibilite a sua utilização regularmente. Entretanto para o uso com essa finalidade serão necessárias melhorias e aperfeiçoamentos. As principais necessidades são a compra de controladores de temperaturas, fabricação de um painel onde os mesmos serão acoplados, construção de um sistema de resfriamento e enrolamento do filamento. Adicionalmente serão necessárias proteções contra acidentes, que deverão ser devidamente instaladas quando estiver em uso propriamente dito.

A não obtenção de controladores de temperatura para serem acoplados permanente na máquina, foi causada pela falta de recursos dos acadêmicos responsáveis pelo projeto e também devido à falta de tempo hábil para adquirir os equipamentos, portanto a mini extrusora necessita de recursos futuros para ter seu completo funcionamento e propósito de construção.

Na análise final do projeto podemos concluir que o projeto e construção da mini extrusora foi satisfatório, mesmo necessitando de adequações e recursos foi possível fabricar o filamento.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Wagner José de. **Otimização estrutural de protótipos fabricados pela tecnologia fdm utilizando o método dos elementos finitos**. 2007. . 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ALL3DP. **3D Printer Filament Guide: 25 Best Types & Comparison Charts**. Disponível em: <<https://all3dp.com/best-3d-printer-filament-types-pla-abs-pet-exotic-wood-metal/>>. Acesso em: 5 maio 2017.

A LOT, Print. **Print a lot filamentos para impressoras 3D**. Disponível em: <[http://www.3dprinting.com.br/wp-content/uploads/2016/06/PrintaLot\\_brochure-ENE16\\_br.pdf](http://www.3dprinting.com.br/wp-content/uploads/2016/06/PrintaLot_brochure-ENE16_br.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2017.

BRETAS, Rosario E. S.; D'ÁVILA, Marcos A. **Reologia de polímeros fundidos**. São Carlos: Edufscar - Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2005.

CALLISTER, Willian D. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**, 5ª ed. Rio De Janeiro: LTC, 2002.

CLIEVER. **Filamentos para impressora 3D**. Disponível em: <<https://www.cliever.com/>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

GORNI, Antonio Augusto. **Introdução à prototipagem rápida e seus processos**. São Paulo: Aranda Editora Técnica e Cultural / Aranda Eventos e Congressos, 2001.

IMPRESSAO3DFACIL. **Conheça os diferentes tipos de materiais para impressão 3D FDM**. 2015. Disponível em: <http://www.impressao3dfacil.com.br/conheca-os-diferentes-tipos-de-materiais-para-impressao-3d-fdm/>>. Acesso em: 22 maio 2017.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos**: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

MICHAELI, Walter. **Tecnologia dos plásticos: livro texto e de exercícios**. São Paulo, SP: E. Blücher, 1995.

NORTON L. Robert. **Projeto de Maquinas uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre : Bookman, 2013.

PEDROSA, Tiago Filipe Santos. **Conceção e desenvolvimento de equipamento de extrusão de filamento para impressora 3D**. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/81627/2/37406.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

PRINTER, Portal Impressão 3d. **Mercado de materiais de impressão 3d pode superar 1 Bilhão de dólares em 5 anos**. 2014. Disponível em: <<http://impressao3dprinter.com.br/blog/2014/12/09/mercado-de-materiais-de-impressao-3d-pode-superar-1-bilhao-de-dolares-em-5-anos/>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

REYLOY USA. **Helix Angle**. Disponível em: < <http://reiloyusa.com/processing-tips/screw-design/helix-angle/>>. Acesso em: 20 abril 2017.

SILVEIRA, Debora Pricila. **Como funciona e como surgiu a impressora 3D?** 2016. Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/post/11352-como-funciona-e-como-surgiu-a-impressora-3d>>. Acesso em: 23 abr. 2017.]

SZÁZDI, L.; JR, B. P.; FOLDES, E.; PUKÁNNSZKY, B. **Possible mechanism of interaction among the components in MAPP modified layered silicate nanocomposites**. Magazine Polymer 2005.

TIMES, New York. **Impressora 3D cria e dá forma a objetos**. 2007. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL32809-6174,00.html>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

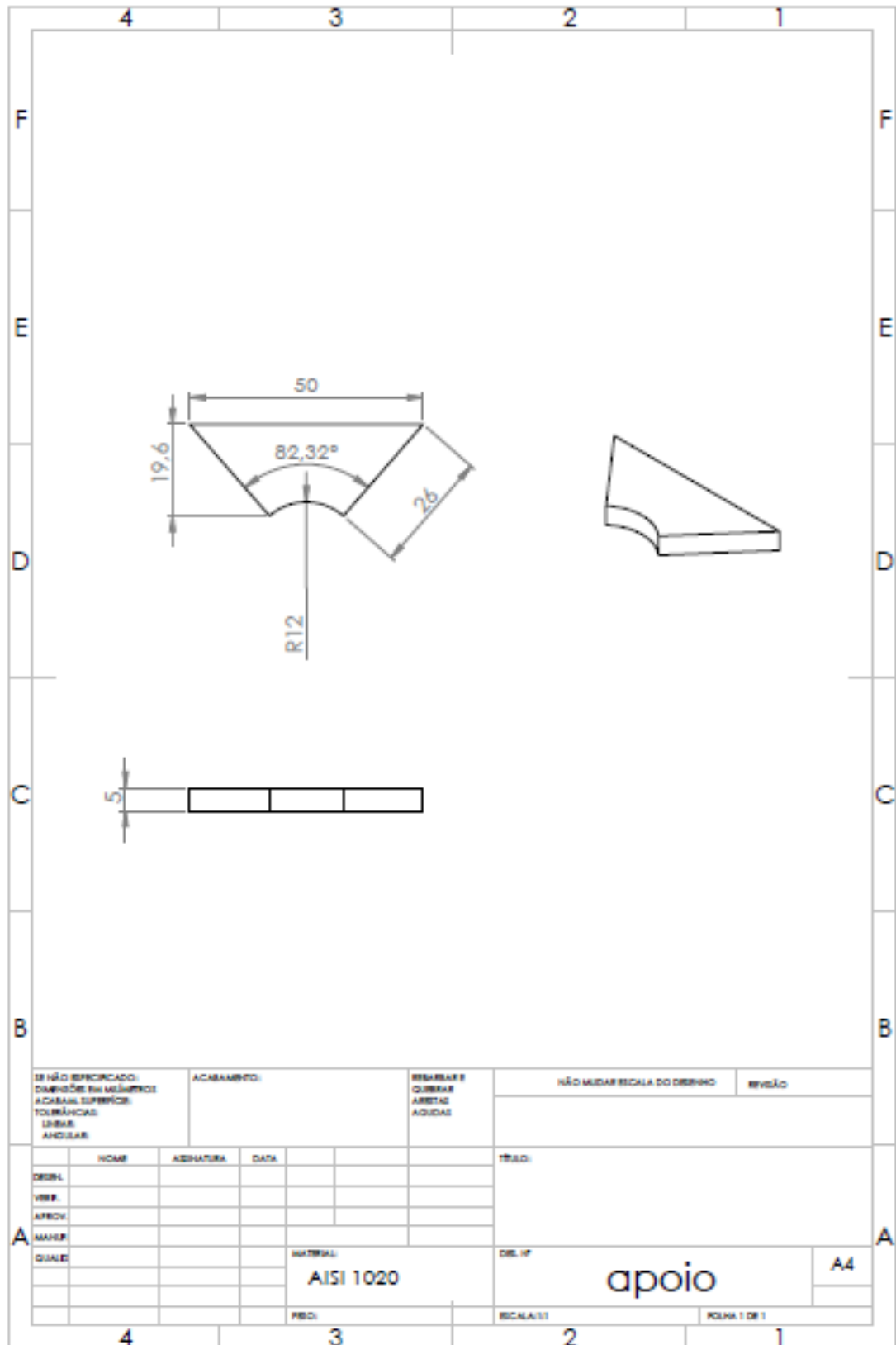
WIEBECK, Hélio; HARADA, Julio. **Plásticos de Engenharia Tecnologia e Aplicação**. São Paulo: Artiliber Editora, 2005.

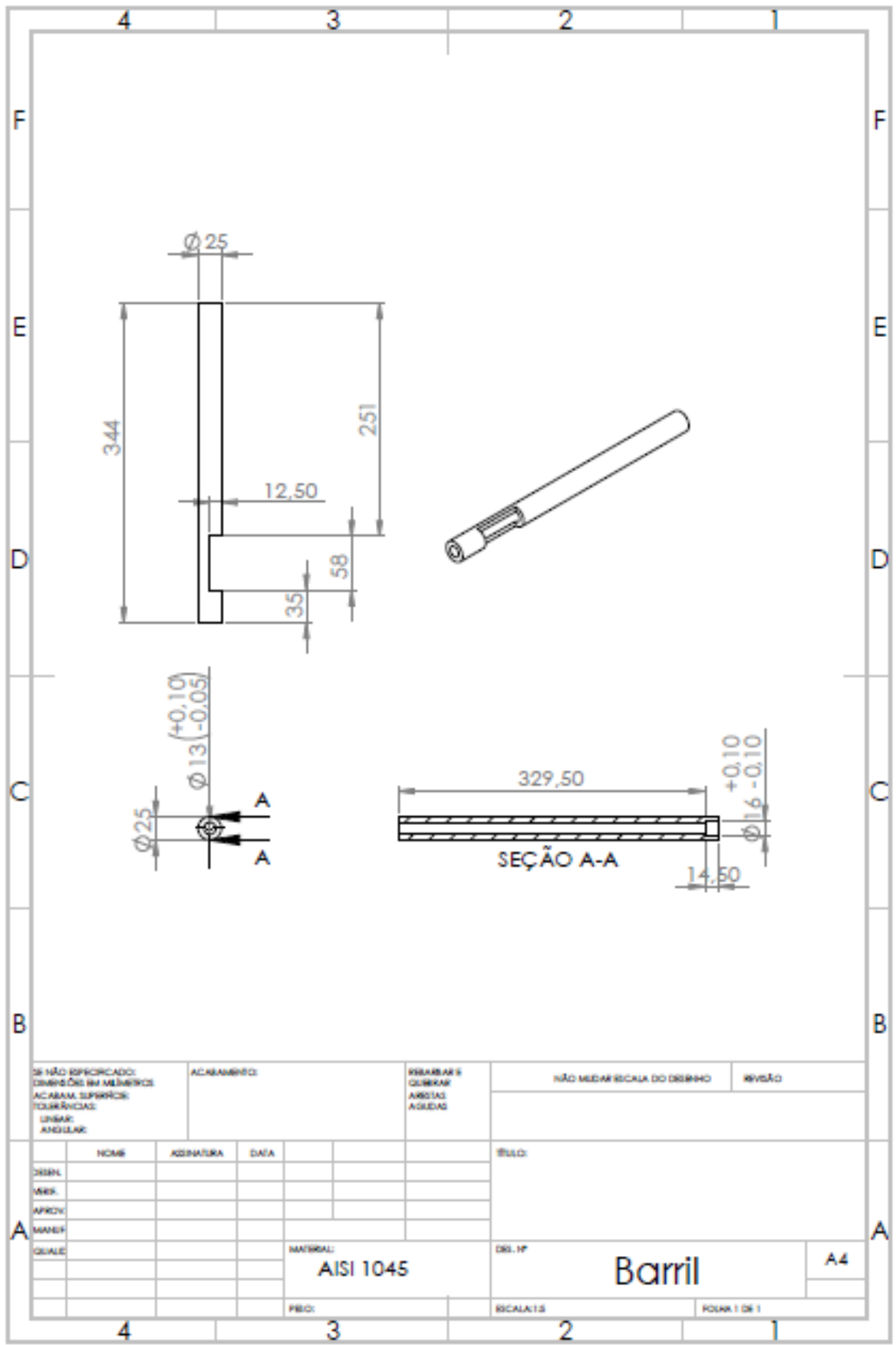
WISHBOX. **Filamentos para impressão 3D**. 2016. Disponível em: <<http://blog.wishbox.net.br/2016/05/24/filamentos-para-impressao-3d-2/>>. Acesso em: 1 maio 2017.

3DLAB. **4 Dicas para escolha ideal do material de filamento para impressora 3D**. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/como-escolher-o-filamento-para-impressora-3d/>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

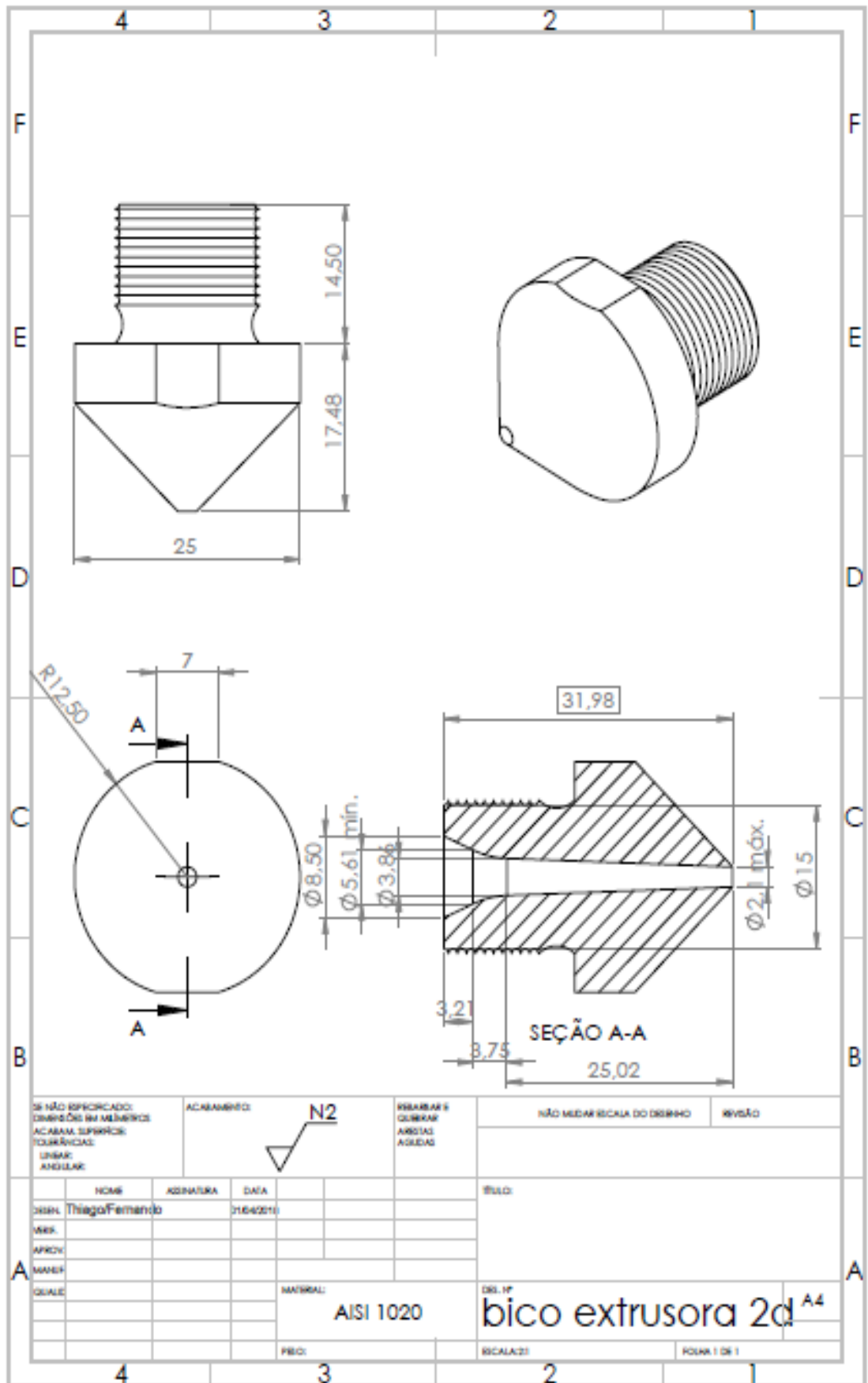


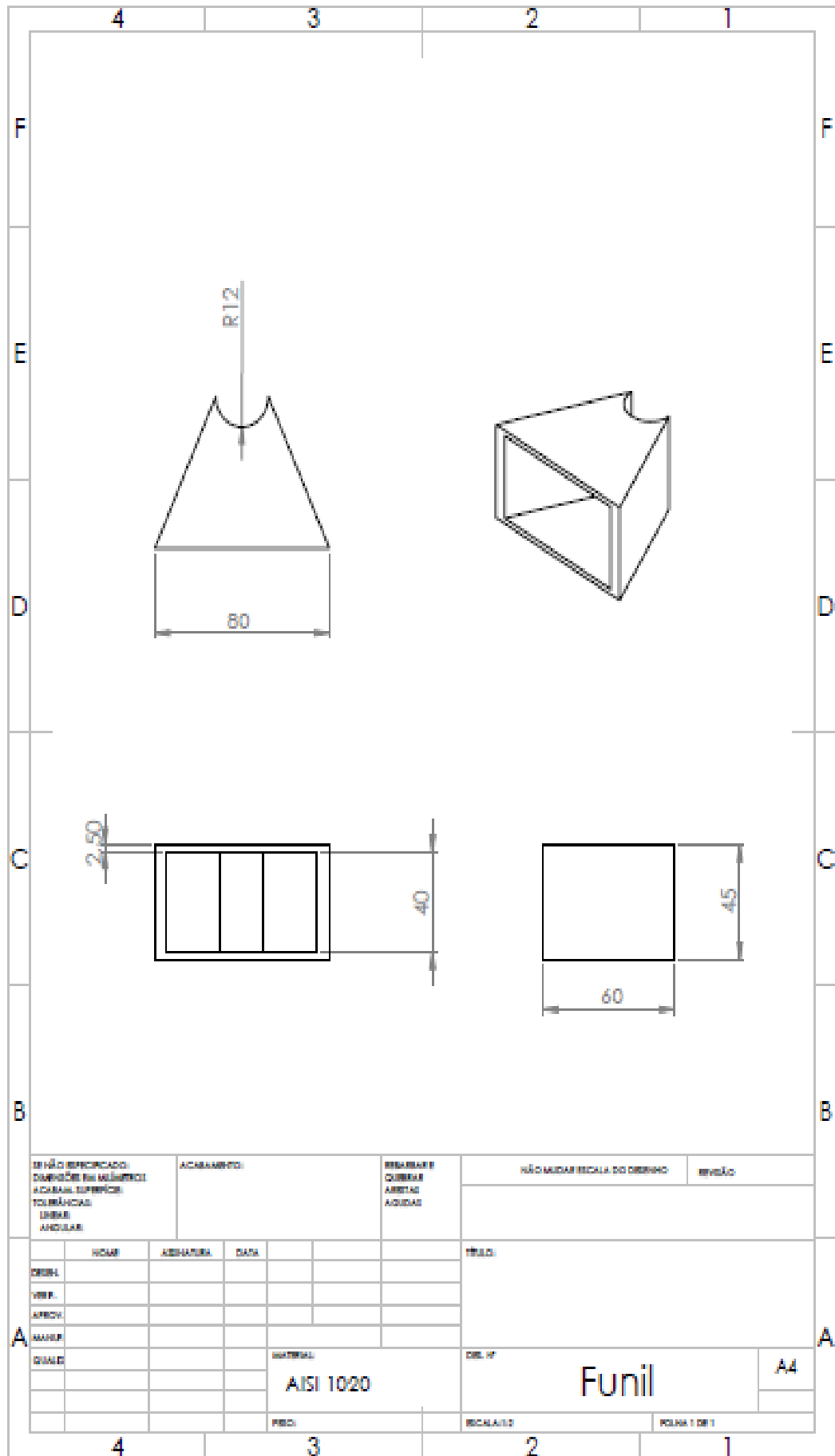
## APÊNDICE

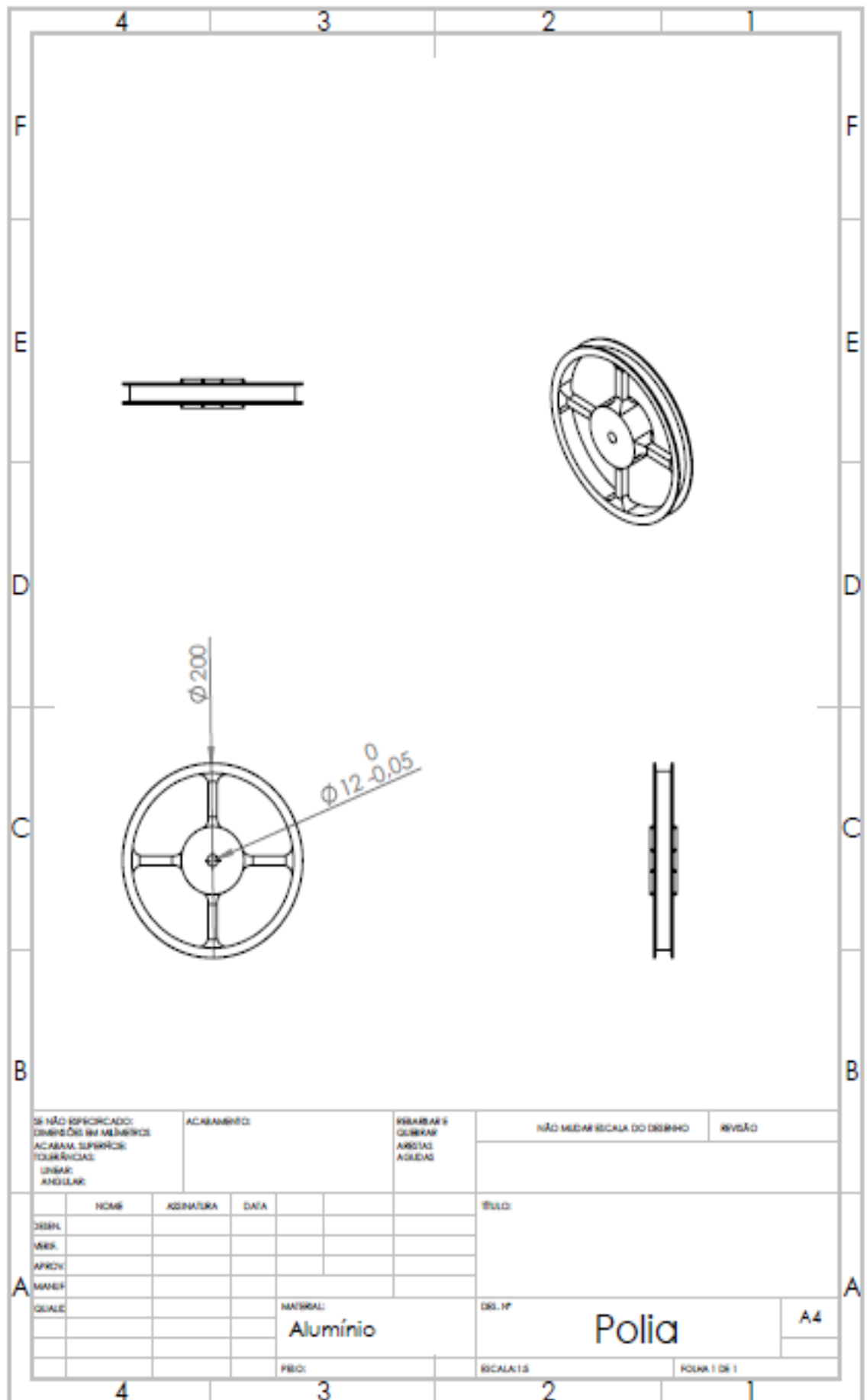


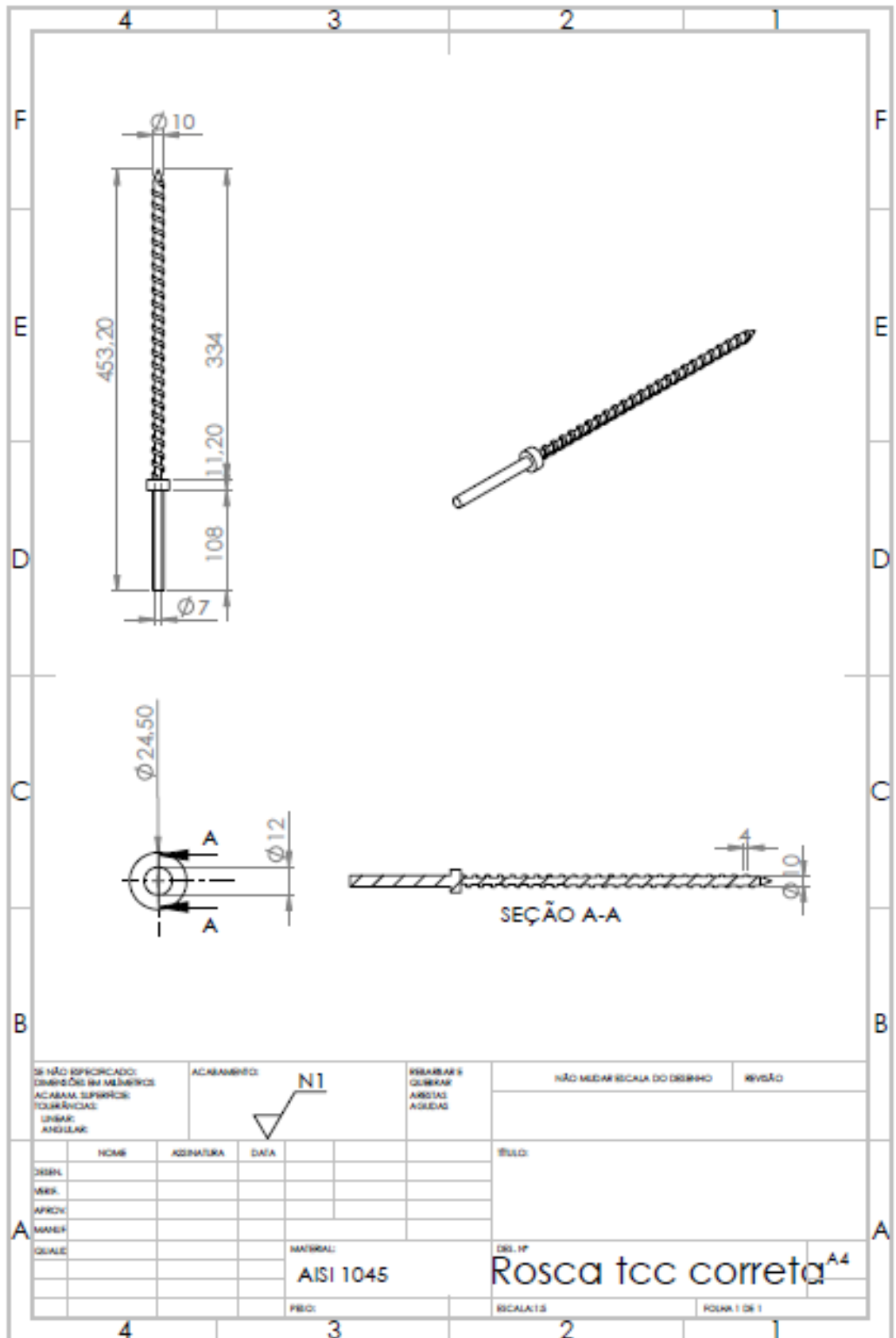


SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAMENTO SUPERFICIAL: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ANGULOS ARDEIAS		NÃO MEDIR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
DESIN.	NOME	ADMISSÃO	DATA			TÍTULO:  <b>Barril</b>  A4			
VER.									
APROV.									
MATER.									
QUALC.									
				MATERIAL: <b>AISI 1045</b>		DEL. VP		ESCALA: 1:1	
				FIC:		FOLHA 1 DE 1			









SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAMENTO:  
TOLERÂNCIAS:  
LINHAS:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:

N1

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ANGULAR  
ANGULAR

NÃO MEDIR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

	NOME	SIGNATURA	DATA
DESEN.			
VERIF.			
APROV.			
MATER.			
QUALIF.			

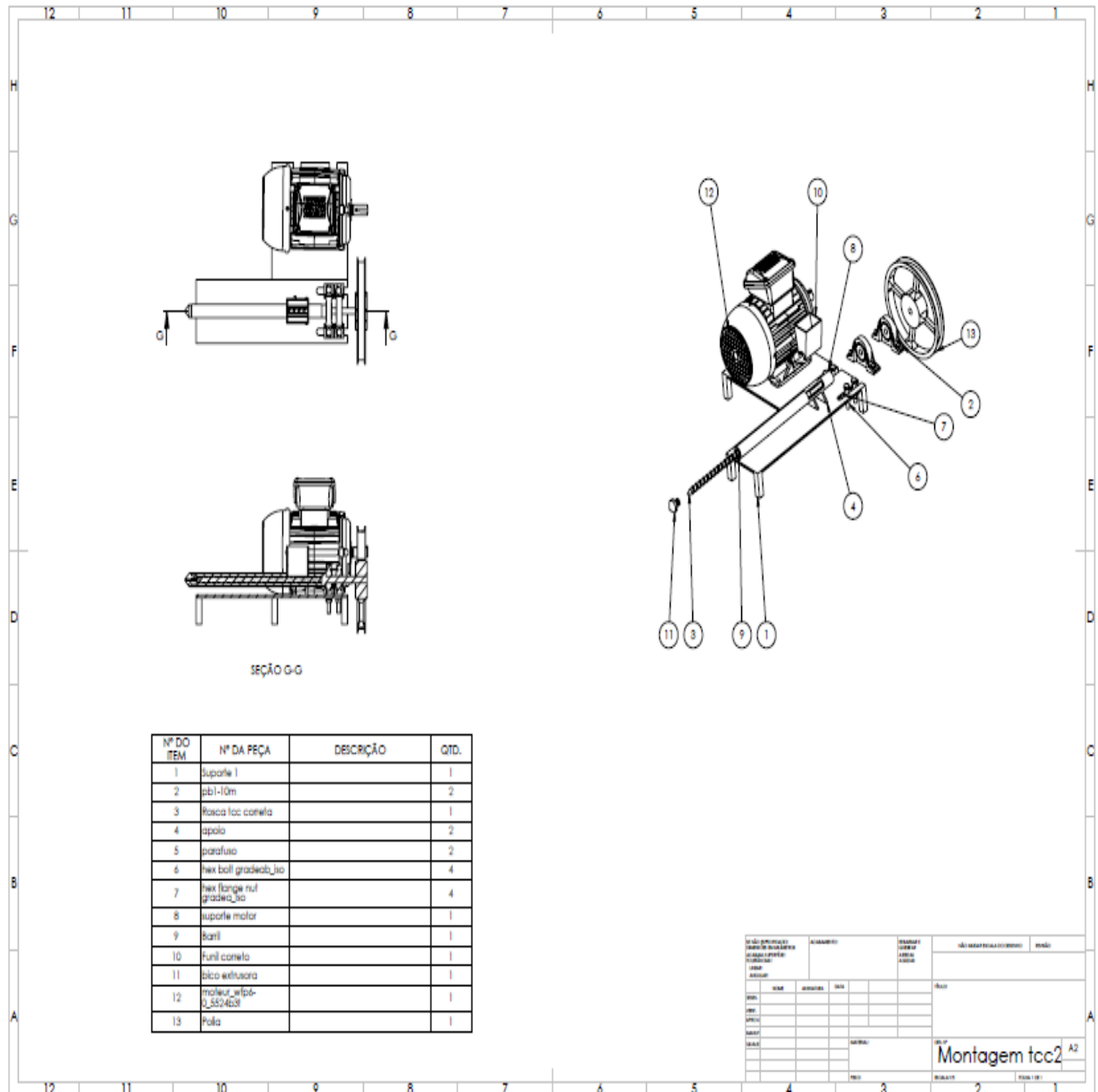
MATERIAL:  
AISI 1045

DR. 17  
Rosca tcc correta<sup>A4</sup>

PROJ:

ESCALA: 1:3

FOLHA 1 DE 1



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Suporte 1	Mesa de apoio	1
2	pb1-10m	Mancal e rolamento	2
3	Rosca tcc correia	Rosca transportadora	1
4	apoio	Suporte do barril	2
5	parafuso	Parafuso M8	2
6	hex bolt gradeab_iso	Parafuso M8	4
7	hex flange nut gradeab_iso	Porca	4
8	suporte motor	Suporte do motor	1
9	Barril	Barril	1
10	Funil correto	Funil	1
11	bico extrusora	Matriz extrusora	1
12	moteur_wfp6-0_5524b3t	Motor elétrico	1
13	Polia	Polia de alumínio	1

## ANEXO

## ANEXO A1 – Tabela de fator de Serviço

Tabela nº 1 – Fator de Serviço

Máquina Conduzida	Máquina Condutora					
	Motores AC: Torque Normal, Rotor gaiola de Anéis, Síncronicos, Divisão de Fase			Motores AC: Alto Torque, Alto Escorregamento, Repulsão-Indução, Monofásico, Enrolado em Série, Anéis Coletores		
As máquinas relacionadas são apenas exemplos representativos. Escolha o grupo cujas características sejam mais semelhantes à máquina em consideração.	Motores DC: Enrolados em Derivação			Motores DC: Enrolados em Série, Enrolados mistos		
	Motores Estacionários: Combustão interna de Múltiplos Cilindros			Motores Estacionários: Combustão interna de um Cilindro		
	Eixos de Transmissão			Eixos de Transmissão		
	Serviço Intermitente	Serviço Normal	Serviço Contínuo	Serviço Intermitente	Serviço Normal	Serviço Contínuo
	3-5 hs diárias ou periodicamente	8-10 hs diárias	16-24 hs diárias	3-5 hs diárias ou periodicamente	8-10 hs diárias	16-24 hs diárias
Agiladores para Líquidos Sopradores e Exaustores Bombas Centrífugas e Compressores Ventiladores até 10 HP Transportadores de Carga Leve	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Correias Transportadoras para Areia e Cereais Ventiladores de mais de 10 HP Geradores Eixos de Transmissão Maquinário de Lavanderia Punções, Pressas e Tesourões Máquinas Gráficas Bombas Centrífugas de Deslocamento Positivo Peneiras Vibratórias Rotativas	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Maquinário para Ótaria Elevadores de Canecas Excitadores Compressores de Pistão Moinhos de Martelo Moinhos para Indústria de Papel Bombas de Pistões Serrarias e Maquinário de Carpintaria Maquinários Têxteis	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5
Britadores (Giratórios e de Mandíbulas) Guindastes Misturadores, Calandras e Moinhos para Borracha	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,8

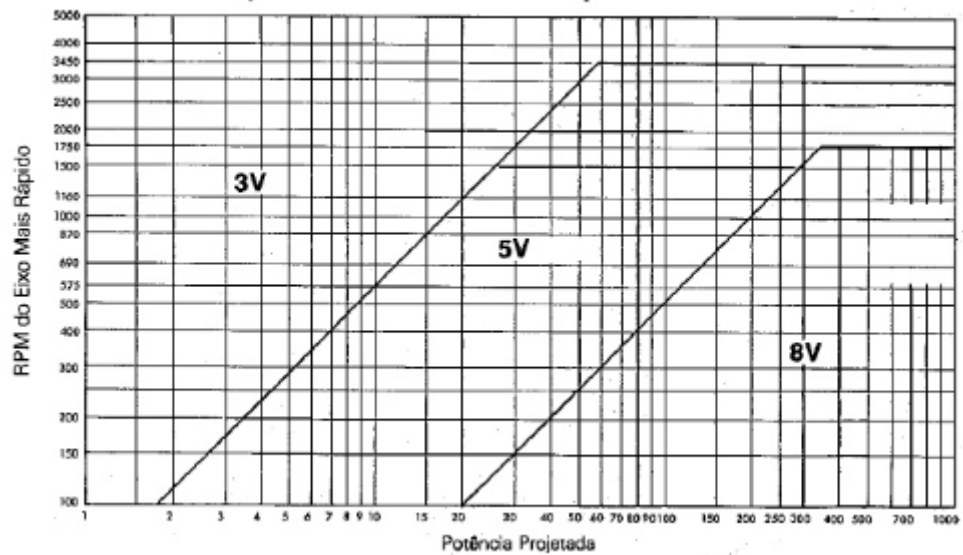
\* O fator de Serviço deverá ser aplicado sobre o valor para regime contínuo, mencionado na placa de identificação do próprio motor. Subtraia 0,2 (com um fator de serviço mínimo de 1,0) quando se tratar de classificação máxima intermitente. Recomenda-se o uso de um Fator de Serviço de 2,0 para equipamento sujeito a sufocações ou afogadiços.

FONTE: GATES - Manual de transmissões Correias Industriais.



## ANEXO A2 – Gráfico de perfil de correias Super hc.

**Gráfico 1 — Seleção de Perfil de Correias Super HC**



FONTE: GATES - Manual de transmissões Correias Industriais.

## ANEXO A3 – Tabela Diâmetro mínimo.

**Tabela 2 —**

**Diâmetros externos mínimos recomendados para correias Super HC (em polegadas).**

HP do motor	RPM do motor (50 e 60 ciclos)						HP do motor
	576 485*	690 575*	870 726*	1180 960*	1750 1425*	3450 2850*	
1/4	—	—	2,2	—	—	—	1/4
3/4	—	—	2,4	2,2	—	—	3/4
1	3,0	2,5	2,4	2,4	2,2	—	1
1 1/2	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	2,2	1 1/2
2	3,8	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	2
3	4,5	3,8	3,0	3,0	2,4	2,4	3
5	4,5	4,5	3,8	3,0	3,0	2,4	5
7 1/2	5,2	4,5	4,4	3,8	3,0	3,0	7 1/2
10	6,0	5,2	4,4	4,4	3,8	3,0	10
15	6,8	6,0	5,2	4,4	4,4	3,8	15
20	8,2	6,8	6,0	5,2	4,4	4,4	20
25	9,0	8,2	6,8	6,0	4,4	4,4	25
30	10	9,0	6,8	6,8	5,2	—	30
40	10	10	8,2	6,8	6,0	—	40
50	11	10	8,4	8,2	6,8	—	50
60	12	11	10	8,0	7,4	—	60
75	14	13	9,5	10	8,6	—	75
100	18	15	12	10	8,6	—	100
125	20	18	15	12	10,5	—	125
160	22	20	18	13	10,5	—	160
200	22	22	22	—	13,2	—	200
250	22	22	—	—	—	—	250
300	27	27	—	—	—	—	300

\* Rotação para motores elétricos de 50 ciclos.

FONTE: GATES - Manual de transmissões Correias Industriais.

## ANEXO A4 – Tabela Comprimento das Correias Super HC.

**Tabela 4 – Comprimento das Correias Super HC.**

3V				5V				8V								
Circunf. externa Poleg. – mm	Correia Super-HC Ref.	Circunf. externa Poleg. – mm	Correia Super HC Ref.	Circunf. externa Poleg. – mm	Correia Super HC Ref.	Circunf. externa Poleg. – mm	Correia Super HC Ref.	Circunf. externa Poleg. – mm	Correia Super HC Ref.	Circunf. externa Poleg. – mm	Correia Super HC Ref.					
25	635	3V250	71 1805	3V710	50	1270	5V500	140	3555	5V1400	100	2540	8V1000	280	7110	8V2800
26 ½	675	3V265	75 1905	3V750	53	1345	5V530	150	3810	5V1500	106	2690	8V1060	300	7620	8V3000
28	710	3V280	80 2030	3V800	56	1420	5V560	160	4065	5V1600	112	2845	8V1120	315	8000	8V3150
30	760	3V300	85 2160	3V850	60	1525	5V600	170	4320	5V1700	118	2995	8V1180	335	8510	8V3350
31 ½	800	3V315	90 2285	3V900	63	1600	5V630	180	4570	5V1800	125	3175	8V1250	355	9017	8V3550
33 ½	850	3V335	95 2415	3V950	67	1700	5V670	190	4825	5V1900	132	3355	8V1320	375	9525	8V3750
35 ½	900	3V355	100 2540	3V1000	71	1805	5V710	200	5080	5V2000	140	3555	8V1400	400	10160	8V4000
37 ½	955	3V375	106 2690	3V1060	75	1905	5V750	212	5385	5V2120	150	3810	8V1500	425	10795	8V4250
40	1015	3V400	112 2845	3V1120	80	2030	5V800	224	5690	5V2240	160	4065	8V1600	450	11430	8V4500
42 ½	1080	3V425	118 2995	3V1180	85	2160	5V850	236	5995	5V2360	170	4320	8V1700	475	12065	8V4750
45	1145	3V450	125 3175	3V1250	90	2285	5V900	250	6350	5V2500	180	4570	8V1800	500	12700	8V5000
47 ½	1205	3V475	132 3355	3V1320	95	2415	5V950	265	6730	5V2650	190	4825	8V1900	560	14225	8V5600
50	1270	3V500	140 3555	3V1400	100	2540	5V1000	280	7110	5V2800	200	5080	8V2000			
53	1345	3V530			106	2690	5V1060	300	7620	5V3000	212	5385	8V2120			
56	1420	3V560			112	2845	5V1120	315	8000	5V3150	224	5690	8V2240			
60	1525	3V600			118	2995	5V1180	335	8510	5V3350	236	5995	8V2360			
63	1600	3V630			125	3175	5V1250	355	9015	5V3550	250	6350	8V2500			
67	1700	3V670			132	3355	5V1320				265	6730	8V2650			

FONTE: GATES - Manual de transmissões Correias Industriais.

## ANEXO A5 – Tabela Fator de Correção da distância entre eixos (h).

**Tabela 6 – Fator de correção da distância entre centros (h)**

$\frac{D-d}{A}$	Fator h	$\frac{D-d}{A}$	Fator h	$\frac{D-d}{A}$	Fator h	$\frac{D-d}{A}$	Fator h	$\frac{D-d}{A}$	Fator h	$\frac{D-d}{A}$	Fator h
0,00	0,00	0,12	0,06	0,23	0,12	0,34	0,18	0,43	0,24	0,51	0,30
0,02	0,01	0,14	0,07	0,25	0,13	0,35	0,19	0,44	0,25		
0,04	0,02	0,16	0,08	0,27	0,14	0,37	0,20	0,46	0,26		
0,06	0,03	0,18	0,09	0,29	0,15	0,39	0,21	0,47	0,27		
0,08	0,04	0,20	0,10	0,30	0,16	0,40	0,22	0,48	0,28		
0,10	0,05	0,21	0,11	0,32	0,17	0,41	0,23	0,50	0,29		

FONTE: GATES - Manual de transmissões Correias Industriais.

## ANEXO B - Propriedades dos rolamentos.

BRM												
Ø do Eixo (d)		Rolamento	D	B	C	S	S1	G	h	da	Capacidade de Carga	
mm	Pol.		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	dinâmica C (N)	Estatica Co (N)
12	1/2	UC 201 S	40	27,4	14	11,5	15,9	4,2	3,5	M5x0.8	9550	4780
15	5/8	UC201-8S										
17	11/16	UC202S										
		UC202-10S										
17	11/16	UC203S	47	31	16	12,7	18,3	4,7	4,4	M6X1	12800	6650
		UC203-11S										
12	1/2	UC201										
15	5/8	UC201-8										
17	11/16	UC202	47	31	16	12,7	18,3	4,7	4,4	M6X1	12800	6650
		UC202-10										
20	3/4	UC203										
		UC203-11										
20	7/8	UC204-12	47	31	16	12,7	18,3	4,7	4,4	M6X1	12800	6650
		UC204										
20	7/8	UC205-14										

FONTE: BRM - Rolamentos de esferas de contato angular.