

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**GISELE DA ROSA FERNANDES**

**DESENVOLVIMENTO DE CABEÇOTE POR BOMBA DE  
ENGRENAGEM PARA EXTRUSÃO DE FLUIDO VISCOSO  
BIOCOMPATÍVEL EM IMPRESSORA 3D**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
(TCC2)**

**CURITIBA**

**2018**

**GISELE DA ROSA FERNANDES**

**DESENVOLVIMENTO DE CABEÇOTE POR BOMBA DE  
ENGRENAGEM PARA EXTRUSÃO DE FLUIDO VISCOSO  
BIOCOMPATÍVEL EM IMPRESSORA 3D**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Sidney Carlos Gasoto

**CURITIBA**

2018

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa “DESENVOLVIMENTO DE CABEÇOTE POR BOMBA DE ENGENHAGEM PARA EXTRUSÃO DE FLUIDO VISCOZO BIOCMPATÍVEL EM IMPRESSORA 3D, realizado pela aluna GISELE DA ROSA FERNANDES, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Sidney Carlos Gasoto  
Departamento Acadêmico de Informática, DAMEC  
Orientador

Prof. Dr. João Antonio Palma Setti  
Departamento Acadêmico de Mecânica, DAMEC  
Avaliador

Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues  
Departamento Acadêmico de Mecânica, DAMEC  
Avaliador

Curitiba, 06 de Dezembro de 2018

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais, Dirlei da Rosa Fernandes e Sebastião Fernandes, por todo o incentivo e investimento, e por terem me proporcionado a oportunidade de me tornar uma engenheira mecânica.

À minha irmã, Cibele da Rosa Fernandes, pelo amor e parceira, e por ser um espelho de pessoa para mim.

Ao senhor, Guilherme Mattos Guedes Correia, por todo o apoio, amor e encorajamento, e por ser um exemplo de profissional.

E por fim, agradeço também ao orientador, Prof. Sidney Carlos Gasoto, a pessoa que tornou tudo isso possível, por toda a sua paciência, dedicação e todos seus ensinamentos. Os aprendizados que obtive durante o desenvolver deste projeto serão levados como exemplos durante todo o exercício de minha profissão.

## RESUMO

FERNANDES, Gisele R. **Desenvolvimento de Cabeçote por Bomba de Engrenagem Para Extrusão de Fluido Viscoso Biocompatível em Impressora 3D**. 48 f. Trabalho de conclusão de curso – Tcc2, Bacharelado em Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A impressão tridimensional consiste em uma tecnologia utilizada em diversos ramos de estudos e projetos. Aliada com os profissionais de engenharia, medicina e odontologia, essa tecnologia disponibiliza à população um vasto âmbito de possibilidades para otimizar e aprimorar a qualidade de vida mundial. Desta forma, é notório o crescente investimento em pesquisas, desenvolvimento de projetos e descoberta de novas tecnologias. Sendo assim, optou-se por apresentar neste presente trabalho a criação de um cabeçote utilizado em impressoras tridimensionais através do mecanismo de bomba de engrenagens. Este cabeçote foi projetado para realizar a impressão de materiais biocompatíveis, também conhecidos como biomateriais. Dentre os biomateriais disponíveis para o estudo, definiu-se a utilização de materiais fluído viscosos para a impressão. Logo, o projeto fornece os conhecimentos necessários para projetar uma bomba de engrenagens externas, adaptá-la para um cabeçote e disponibilizar o conhecimento básico sobre os biomateriais selecionados – plasma rico em plaquetas (PRP) agregado a trombina e células-tronco.

**Palavras-chave:** Bomba de engrenagem. Impressão 3D de fluido viscoso. Desenvolvimento de um cabeçote de impressão.

## ABSTRACT

FERNANDES, Gisele R. **Extruding Head for a Gear Pump Powered High-Viscosity Biocompatible Fluid Additive Manufacturing Process.** 48 f. Undergraduate Thesis, Mechanical Engineering, Academic Mechanical Engineering Department, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Three-dimensional additive manufacturing process consists in a technology used in varied fields of studies and projects. Associated with engineering, medical and dentistry professionals, this technology provides a wide scope of possibilities to optimize and improve the quality of life. In this way, the investment growth is evident in the development of projects and discovery of new technologies. Therefore, it was decided to present in this project the development of an extruding head used in three-dimensional printers through the gear pump mechanism. The extruding head was designed to perform the extrusion of biocompatible materials, known as biomaterials. Among the biomaterials available, it was defined the use of high-viscosity fluid material to be extruded. Therefore, this project provides the expertise needed to design an external gear pump for an extruding head and the basic knowledge about biocompatible materials – platelet rich plasma (PRP) added to thrombin and stem cells.

**Keywords:** Gear pump. High-Viscosity Fluid additive manufacturing process. Extruding head development.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 – Conversões de energia dentro de um sistema hidráulico .....    | 13 |
| Figura 2.2 – Bomba de engrenagem externa .....                              | 14 |
| Figura 2.3 - Escape de fluido no sistema de bombeamento por engrenagem..... | 15 |
| Figura 2.4 - Nomenclatura de engrenagem .....                               | 16 |
| Figura 2.5 - Nomenclatura coroa e pinhão .....                              | 16 |
| Figura 2.6 - Centrífuga para Tubos de Coleta .....                          | 20 |
| Figura 2.7 - Propriedades Mecânicas Poliacetal.....                         | 22 |
| Figura 2.8 - Propriedade Mecânicas Polietileno.....                         | 23 |
| Figura 4.1 – Engrenagem Movida .....  | 32 |
| Figura 4.2 - Motor de Passo NEMA 17.....                                    | 32 |
| Figura 4.3 - Engrenagem Motora .....  | 33 |
| Figura 4.4 - Carcaça da Bomba de Engrenagem .....                           | 33 |
| Figura 4.5 - Tampa da Carcaça.....  | 34 |
| Figura 4.6 - Montagem da Bomba de Engrenagem.....                           | 34 |
| Figura 5.1 – Tarugos de Poliacetal .....                                    | 35 |
| Figura 5.2 - Engrenagens Fabricadas .....                                   | 35 |
| Figura 5.3 - Processo de Fabricação da Carcaça .....                        | 36 |
| Figura 5.4 - Diagrama de Montagem do Circuito Para Motor de Passo .....     | 36 |
| Figura 5.5 - Montagem do Circuito .....                                     | 37 |
| Figura 5.6 - Bomba de Engrenagens Acoplada ao Motor .....                   | 37 |

## LISTA SIGLAS E ACRÔNIMOS

|       |   |
|-------|---|
| CAD   | <i>Computer-aided design</i>                  |
| CAM   | <i>Computer-aided manufacturing</i>           |
| DAMEC | Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná    |



## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>1.1 OBJETIVOS .....</b>  | <b>11</b> |
| 1.1.1 Objetivo geral.....   | 11        |
| 1.1.2 Objetivo específico.....  | 11        |
| <b>1.2 JUSTIFICATIVA .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2.1 BOMBAS HIDRÁULICAS .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2.2 BOMBA DE ENGRENAGEM EXTERNA .....</b>                                  | <b>14</b> |
| <b>2.3 PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE BOMBAS DE ENGRENAGEM EXTERNAS .....</b>  | <b>15</b> |
| 2.3.1 Dimensionamento das Engrenagens .....                                   | 16        |
| 2.3.2 Vazão da Bomba de Engrenagem .....                                      | 18        |
| 2.3.3 Torque da Bomba de Engrenagem.....                                      | 19        |
| <b>2.4 MATERIAL BIOCAMPATÍVEL .....</b>                                       | <b>20</b> |
| 2.4.1 Plasma Rico em Plaquetas .....  | 20        |
| 2.4.2 Células-Tronco.....   | 21        |
| <b>2.5 POLIMÉRICOS SINTÉTICOS.....</b>  | <b>21</b> |
| 2.5.1 Poliacetal.....   | 22        |
| 2.5.2 Polietileno .....   | 23        |
| <b>2.6 MATERIAIS CERÂMICOS .....</b>  | <b>24</b> |
| 2.6.1 Cerâmicas.....  | 24        |
| <b>2.7 IMPRESSÃO POR EXTRUSÃO.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>3 METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....</b>                                      | <b>25</b> |
| <b>3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>  | <b>26</b> |
| 3.2.1 Metodologia do Dimensionamento de uma Bomba de Engrenagem Externa ..... | 26        |
| 3.2.2 Metodologia do Dimensionamento do Cabeçote .....                        | 27        |
| <b>3.3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....</b>                                      | <b>27</b> |
| 3.3.1 Análise e Consolidação dos Resultados.....                              | 27        |
| <b>4 MODELAGEM MATEMÁTICA .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>4.1 DIMENSIONAMENTO DE ENGRENAGEM COM DENTE DE TOPO RETO.....</b>          | <b>28</b> |
| <b>4.2 MODELAGEM TRIDIMENSIONAL .....</b>                                     | <b>31</b> |
| 4.2.1 Modelagem das Engrenagens .....   | 31        |
| 4.2.2 Modelagem da Carcaça .....  | 33        |
| 4.2.3 Montagem do Projeto.....  | 34        |
| <b>5 RESULTADOS PARCIAIS.....</b>   | <b>35</b> |
| <b>5.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>5.2 BANCADA DE TESTES .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>6 CONCLUSÃO.....</b>   | <b>39</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

Para acompanhar os avanços da perspectiva de vida da população mundial, duas grandes áreas da ciência demonstraram a necessidade de unir seus conhecimentos para o desenvolvimento de tecnologias. Juntas, a engenharia e a medicina decretaram um novo direcionamento de estudos, emergindo desta fusão a nomeada Engenharia Biomédica.

Com uma sequência de inovações progredindo ininterruptamente, a Engenharia Biomédica disponibilizou a população a oportunidade de utilizar conhecimentos já adquiridos para agregar, juntamente com as novas descobertas, na evolução da saúde moderna. Após inúmeras pesquisas, materiais biocompatíveis – material compatível biologicamente – foram desenvolvidos e aplicados no processo de fabricação aditiva através da impressão tridimensional.

A fabricação aditiva consiste em um processo de obtenção de peças a partir de uma modelagem digital. Atualmente, a fabricação aditiva de peças através da impressão 3D é considerada a forma mais tecnológica de produção. O título foi conquistado pois este tipo de fabricação, quando comparada a outras formas como modelagem por injeção, por exemplo, demonstra-se mais rápido e de maior facilidade de utilização.

Com o princípio de construção de sucessivas camadas de material para a obtenção do modelo final, a impressão 3D permite que objetos de alta complexidade sejam produzidos de 25 a 100 vezes mais rápido quando comparado a outros métodos de fabricação aditiva. (TUMBLESTON, SHIRVANYANTS, *et al.*, 2015).

Para que a impressão seja possível, é necessário que a peça final desejada seja modelada em softwares de modelagem tridimensional. Estes softwares, conhecidos como CAM/CAD, disponibilizarão ao dispositivo de impressão o projeto a ser confeccionado, possibilitando que a deposição sucessiva das camadas de material seja realizada de acordo com o modelo pré-determinado.

A finalidade da impressora 3D representa um fator determinante no processo de escolha, pois a aplicabilidade desta, está diretamente ligada ao tipo de impressão. Sendo assim, o processo de fabricação aditiva dispõe de diferentes técnicas de impressão, e a determinação desta técnica está atrelada ao material utilizado e a precisão dimensional desejada no modelo final. Entre as técnicas de impressão tem-se a extrusão, a estereolitografia, a DPL (impressão direta por luz), a síntese a laser e a SLS (*Selective Laser Sintering*). Para a realização deste

estudo, optou-se pela impressão por extrusão, e sua explicação será realizada no decorrer da fundamentação teórica.

Diante da vasta gama de possibilidades para arquitetar um cabeçote de impressora 3D por extrusão, foi estabelecido o desenvolvimento de um projeto através do mecanismo de bomba de engrenagem. Este dispositivo consiste em duas engrenagens que por meio do movimento de rotação, imprimem a força necessária para extrudar o material em questão.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Sobre o objetivo deste projeto, propõem-se a realização do dimensionamento de um cabeçote por extrusão através do uso de um sistema de bomba de engrenagem. O cabeçote terá a finalidade de, através do depósito de sucessíveis camadas de material, imprimir um modelo utilizando filamentos de um fluido viscoso.

### 1.1.2 Objetivo específico

Os objetivos específicos para a realização do presente projeto são:

- a) Dimensionar uma pequena bomba de engrenagem com as proporções necessárias para ser adaptada dentro de um cabeçote da impressora 3D escolhida para o desenvolvimento do projeto.
- b) Construir através do *software* Creo Parametric 2.0 <sup>1</sup> o modelo do cabeçote, possibilitando assim, a criação do protótipo proposto.
- c) Validar o modelo através de testes de bancada no laboratório de automação da UTFPR – Campus Curitiba.
- d) Após os testes, se necessário, adaptações no modelo original serão realizadas para que os objetivos do projeto sejam atingidos.

---

<sup>1</sup> Creo Parametric 2.0 – <https://www.ptc.com/en/academic-program/products/free-software/creo-college-download>

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná fornece licença gratuita para a versão estudante.

## 1.2 Justificativa

O interesse em estudar as inovações tecnológicas presentes na área da Engenharia Biomédica é baseado na importância que estas descobertas exercem para o contínuo avanço da melhoria da qualidade de vida da população mundial. É notório que na atualidade, as indústrias estão dispostas a investir financeiramente de forma robusta com o intuito de garantir que as pesquisas nesta área sejam contínuas.

Uma correta modelagem deste projeto pode contribuir na otimização de pesquisas que poderão ser utilizadas no desenvolvimento de equipamentos para a impressão de modelos biocompatíveis.

As informações aqui extraídas constituem uma relevante contribuição para o estado da arte, visto que após realizar a busca por literaturas abordando a elaboração de um cabeçote para impressão tridimensional de um fluido viscoso biocompatível a partir do mecanismo de bomba de engrenagem, nenhuma literatura foi encontrada.

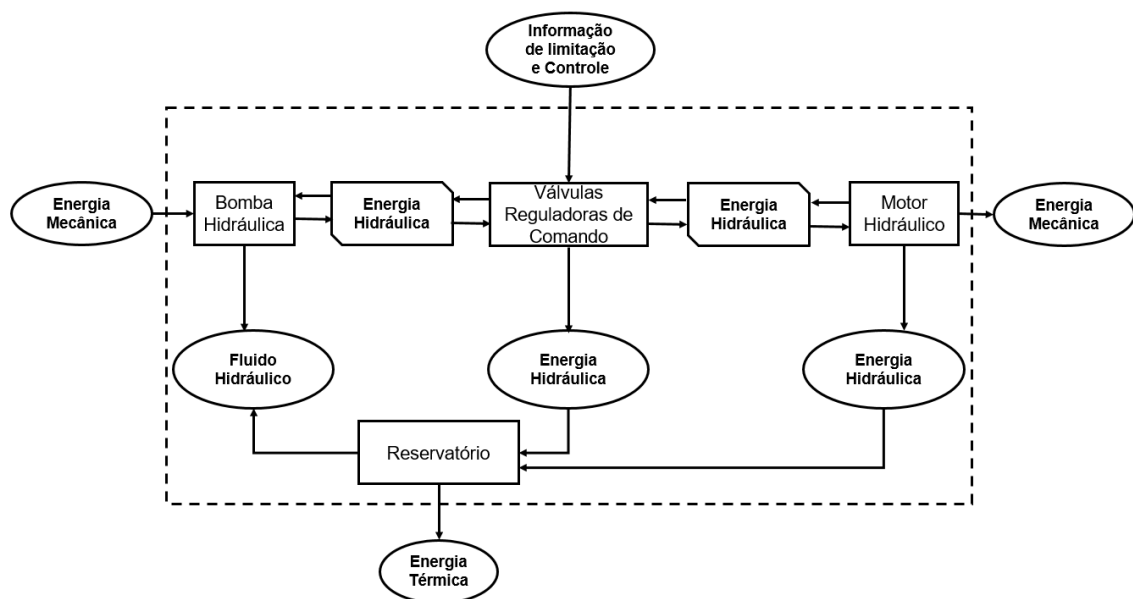
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para esse capítulo apresenta-se uma fundamentação teórica dos conceitos utilizados para a realização desse projeto. Será descrito inicialmente uma explicação sobre bombas de engrenagem, sendo posteriormente apresentados também, outros fatores que contribuirão para o desenvolvimento do trabalho em questão. Por fim, demonstrara-se o dimensionamento do cabeçote.

### 2.1 Bombas Hidráulicas

Considerada como componente fundamental para um sistema hidráulico, as bombas hidráulicas caracterizam-se pela conversão de energia mecânica em energia de pressão através da sucção de um fluido e transferência de energia de pressão para o mesmo. Para o caso de bombas hidráulicas, a energia cinética do sistema é extremamente pequena, e pode ser desprezada durante a realização dos cálculos. Durante o bombeamento, o aumento da restrição ao escoamento implica no aumento da pressão do sistema sem que a vazão apresente uma diminuição significativa. (LINSINGEN, 2014).

A Figura 2.1 a seguir, apresenta o diagrama que demonstra a conversão de energias dentro de um sistema hidráulico.



**Figura 2.1 – Conversões de energia dentro de um sistema hidráulico**  
 Fonte: Adaptado de Dalla Lana (2005).

A classificação das bombas hidráulicas pode ser realizada em função das bombas de descolamento. Para o projeto em questão, optou-se por trabalhar com as bombas de engrenagem externas, que serão explicadas em seguida.

## 2.2 Bomba de Engrenagem Externa

Na sua concepção mais simples, as bombas de engrenagem externas consistem em um par de engrenagens iguais e montadas em uma carcaça de forma apropriada (estator) com uma entrada e uma saída e com vedação lateral por tampas. Uma engrenagem, motora, responsável pela transmissão do movimento, é fixa no eixo. A outra engrenagem, movida, é montada livre sobre o eixo (LINSINGEN, 2014). A Figura 2.2 demonstra uma bomba de engrenagem externa.

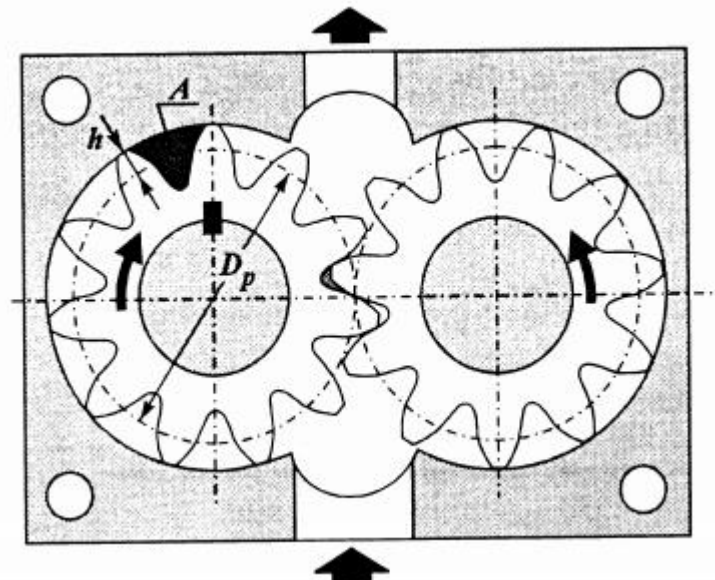


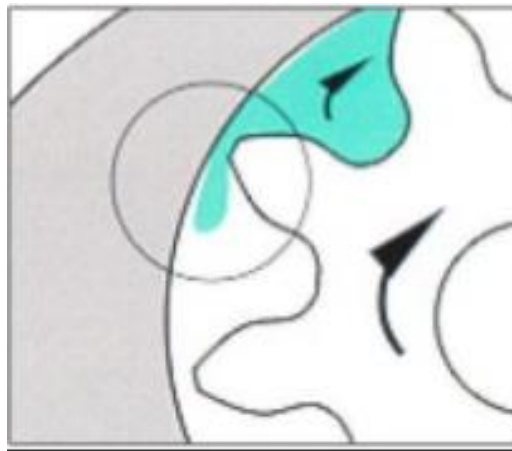
Figura 2.2 – Bomba de engrenagem externa  
Fonte: LINSINGEN, 2014.

O movimento rotativo do par de engrenagens fará o deslocamento do fluido dentro da bomba. Esse deslocamento será dado no espaço livre entre os dentes consecutivos da engrenagem durante a rotação. O movimento de rotação desencadeará o engrenamento dos dentes das engrenagens, com isso ocorrerá o aumento da pressão que força o líquido em questão a ser extrudado pela câmara de saída.

Tomando como base o princípio do sistema, qualquer porta da bomba de engrenagem pode-se tornar a entrada ou a saída. O fator que definirá o sentido da vazão é o sentido de rotação das engrenagens (ZIMMERMANN, 2003)

Após determinar o sentido de rotação, na câmara de saída o engrenamento contínuo do par de engrenagens promove a expulsão do fluido para o pórtico de saída. Por um princípio consecutivo, na bomba de engrenagem externa ocorre um deslocamento fixo, ou seja, a vazão do fluido será constante para cada rotação (LINSINGEN, 2014).

O sistema de bombeamento através de engrenagem pode apresentar um escape de material durante o funcionamento do sistema. A folga presente entre os dentes das engrenagens e a parede da bomba, permitem que o fluido escape no sentido contrário do sistema. Esse fenômeno é demonstrado na Figura 2.3.



**Figura 2.3 - Escape de fluido no sistema de bombeamento por engrenagem**  
**Fonte: (JUNIOR, 2005).**

O dimensionamento do sistema com folgas apertadas entre o diâmetro externo das engrenagens e a parede da bomba, permitem que o escape de fluido seja diminuído.

### **2.3 Parâmetros Característicos de Bombas De Engrenagem Externas**

Para caracterizar as bombas de engrenagem, serão utilizados alguns parâmetros característicos. Conhecido como parâmetros geométricos têm-se diâmetro das engrenagens, altura dos dentes das engrenagens, passo, área livre entre os dentes; cinemáticos, como rotação das engrenagens, torque e vazão da bomba; e cinéticos, como atrito com as paredes da bomba. A seguir serão apresentados os parâmetros descritos anteriormente.

### 2.3.1 Dimensionamento das Engrenagens

Considerando uma geometria básica de engrenagens com dentes de topo reto e ângulo de pressão de  $20^\circ$ , torna-se possível dimensionar os parâmetros necessários para o desenvolvimento das engrenagens do projeto. As Figuras 2.4 e 2.5 apresentam a nomenclatura utilizada para as engrenagens.

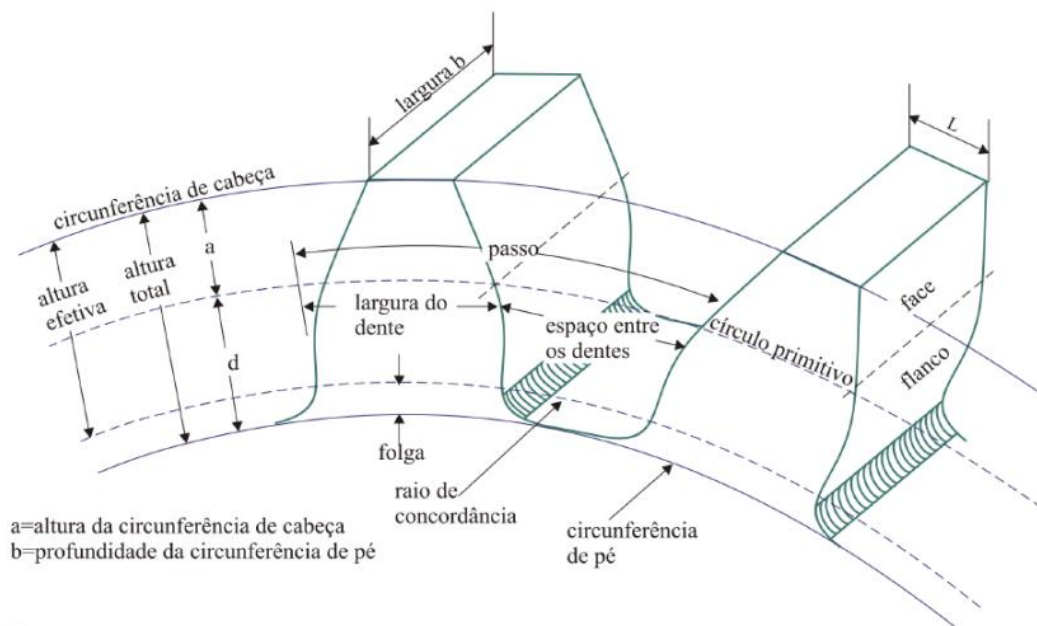


Figura 2.4 - Nomenclatura de engrenagem  
Fonte: MARAT-MENDES, 2012

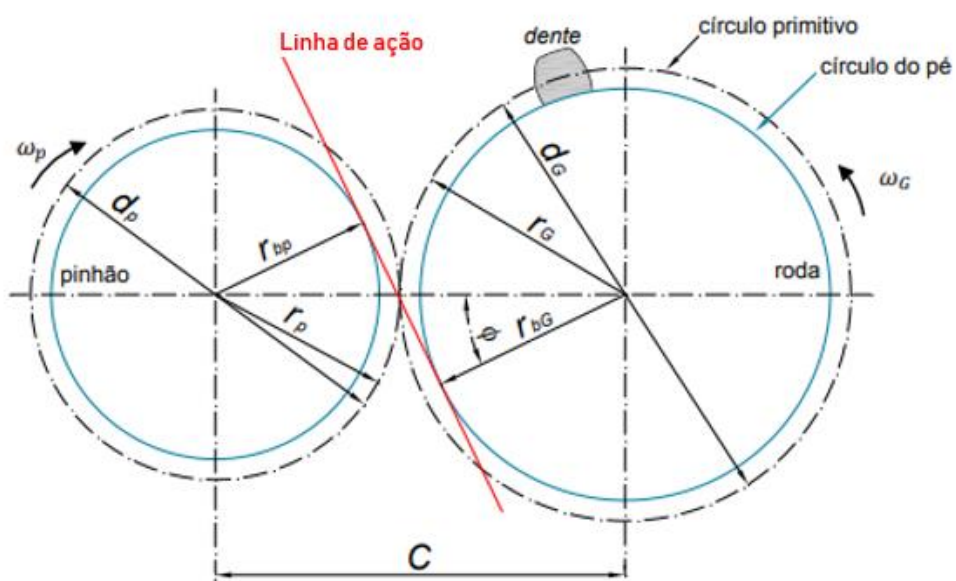


Figura 2.5 - Nomenclatura coroa e pinhão  
Fonte: MARAT-MENDES, 2012



Segundo Marat-Mendes (2012) o passo diametral é a razão entre o número de dentes da engrenagem e o diâmetro primitivo. Para o passo primitivo, Marat-Mendes (2012) afirma que consiste na distância, medida no círculo primitivo, de um ponto num dente, até o ponto correspondente no dente adjacente. Logo, o passo primitivo é a soma da largura do dente com o espaço entre eles. Assim, de acordo com Egde (2013), a equação (2.1) representa o passo diametral da engrenagem e a equação (2.2) representa seu passo primitivo.

$$P_d = \frac{n}{D} \quad (2.1)$$

$$P_c = \frac{\pi D}{n} = \frac{\pi}{P_d} \quad (2.2)$$

Onde  $n$  representa o número de dentes da engrenagem e  $D$  o diâmetro do círculo primitivo.

Marat-Mendes (2012) ainda afirma que o addendum – altura da cabeça do dente da engrenagem – é a distância radial entre a superfície da coroa e o diâmetro primitivo, e que o dedendum – altura do pé ou reentrância – é a distância radial entre a superfície da raiz (pé) e o diâmetro primitivo. Egde (2013) descreve que a folga pode ser descrita como uma razão que envolve o passo diametral. As equações (2.3), (2.4) e (2.5) representam, respectivamente, o addendum, o dedendum e, por fim, a folga.

$$a = \frac{1}{P_d} = \frac{P_c}{\pi} \quad (2.3)$$

$$d = \frac{1.25}{P_d} \quad (2.4)$$

$$c = \frac{0.25}{P_d} \quad (2.5)$$

Onde  $a$  representa o addendum,  $d$  o dedendum e  $c$  representa a folga.

Mott (2003) destaca que a profundidade de trabalho para bombas de engrenagem é de  $2/P_d$ . Então a partir das condições precedentes, Egbe (2013) afirma que o diâmetro externo da engrenagem e a altura do dente podem ser dimensionados de acordo com as equações (2.6) e (2.7), respectivamente

$$a_c = D + 2a = D + \frac{2}{P_d} = \frac{D(n+2)}{n} \quad (2.6)$$

$$h = a + d = \frac{2.25}{P_d} = \frac{2.25D}{n} \quad (2.7)$$

Onde  $a_c$  representa o diâmetro externo da engrenagem e  $h$  a altura do dente.

### 2.3.2 Vazão da Bomba de Engrenagem

A vazão da bomba de engrenagem pode ser descrita em função do volume de fluido deslocado pela engrenagem por revolução. Ou seja, a vazão depende da quantidade de fluido, que pode ser deslocada pela engrenagem, entre dois dentes consecutivos. (LINSINGEN, 2014). A Figura (2.2) representa o espaço entre os dentes da engrenagem usados para o transporte de fluido através da letra “A”.

Para o cálculo da vazão, Egbe (2013) afirma que pode ser realizado através da equação (2.8).

$$V_p = \frac{\pi(r_a^2 - r_d^2)b}{2} \quad (2.8)$$

Onde  $V_p$  representa a vazão por revolução,  $r_a$  a o raio do addendum,  $r_b$  o raio do dedendum e por fim  $b$  representa a largura do dente da engrenagem.

Através da geometria das engrenagens, Egbe (2013) ressalta que  $r_a$  e  $r_b$  podem ser representados através das equações (2.9) e (2.10), respectivamente.

$$r_a = \frac{D}{2} + a = \frac{D(2+n)}{2n} \quad (2.9)$$

$$r_d = \frac{D}{2} - d = \frac{D(n-2.5)}{2n} \quad (2.10)$$

Onde  $r_a$  representa o raio do addendum e  $r_b$  o raio do dedendum.

Assim, a equação (2.8) da vazão por revolução, descrita anteriormente, pode ser simplificada através do uso das equações (2.9) e (2.10). Logo, obtêm-se a equação (2.11).

$$V_p = \frac{\pi (bD^2) [9n - 2.35]}{8n^2} \quad (2.11)$$

Onde  $b$  representa a largura do dente da engrenagem,  $D$  o diâmetro do círculo primitivo e  $n$  representa o número de dentes da engrenagem.

### 2.3.3 Torque da Bomba de Engrenagem

Para o cálculo do torque, Egbe (2013) afirma que pode ser realizado através da equação (2.12). Entretanto, o autor ressalta que na prática, podem ocorrer perdas devido a viscosidade do líquido bombeado e seu atrito com as paredes da bomba. Juntamente com esses fatores apresentados, Egbe (2013) relata que o escape de fluído no sistema de bombeamento, demonstrado na Figura 2.3, também representa outro fator influente na perda de rendimento do torque do sistema.

$$T = \frac{V_p}{2\pi} (P_1 - P_2) \quad (2.12)$$

Onde  $T$  representa o torque da engrenagem,  $V_p$  a vazão por revolução e por fim  $P_1$  e  $P_2$  representam respectivamente a pressão de entrada e saída da bomba de engrenagem.

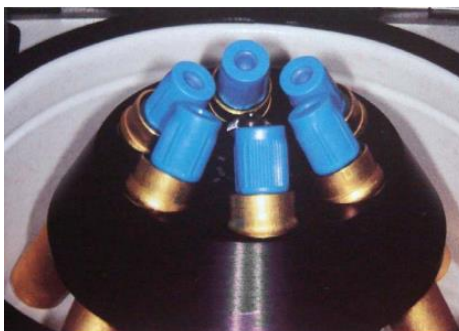
## 2.4 Material Biocompatível

Segundo Helmus, Gibbons e Cerbond (2008), os biomateriais, ou materiais biocompatíveis, podem ser definidos como qualquer substância (exceto drogas) ou combinações de substâncias de origem sintética ou natural, que pode ser usado por qualquer período de tempo, como um todo ou como uma parte de um sistema, o qual trata, melhora ou substitui qualquer tecido, órgão ou função do corpo.

Para que o projeto desenvolvido no trabalho em questão possua a oportunidade de disponibilizar mais uma tecnologia para os estudos da engenharia biomédica, optou-se por desenvolver o cabeçote com um material que não apresentasse problemas de compatibilidade com o corpo humano. Assim, de acordo com a definição exposta anteriormente, buscou-se opções de materiais disponíveis no mercado que se enquadravam nos requisitos pré-determinados.

### 2.4.1 Plasma Rico em Plaquetas

O plasma rico em plaquetas, também conhecido como PRP, consiste em um fluido viscoso que apresenta eficácia no processo de regeneração e cicatrização dos tecidos, em especial de tecidos ósseos (MARX, CARLSON, *et al.*, 1998). Em suma, esse hemocomponente é obtido através do processo de separação do plasma de uma pequena quantidade de sangue. Existem diversas metodologias utilizadas para a obtenção do plasma rico em plaquetas, entretanto consistem em basicamente realizar a separação, por intermédio do processo de centrifugação, o plasma da parte densa do sangue (PONTUAL e MAGINI, 2004). O processo de separação por centrífuga é apresentado na Figura (2.6).



**Figura 2.6 - Centrífuga para Tubos de Coleta**  
Fonte: (PONTUAL e MAGINI, 2004)

Segundo Vendramin, F. S., et al. (2009), quando adicionado a trombina autóloga, em proporções de 1:5, após aproximadamente minuto, o plasma rico em plaquetas torna-se um gel. Assim, o PRP é alvo de pesquisas constantes, pois possui a aplicabilidade de realizar enxertos ósseos e cartilaginosos.

#### **2.4.2 Células-Tronco**

Alocadas em diferentes partes do corpo, como na medula humana, tecido adiposo (gordura) e na polpa dos dentes, as células tronco são diferentes dos outros tipos celulares do corpo. Essas, possuem as propriedades de renovação, divisão celular e não são especializadas, ou seja, não existe estrutura tecido-específica pré-determinada. Sua aparência consiste em um fluido viscoso na cor vermelha, lembrando fortemente o sangue. As células-tronco possuem como função, dar origem a células especializadas, como células do sangue, do músculo cardíaco ou células nervosas, por exemplo (DEL CARLO, 2005)

A obtenção das células-tronco é dada através da retirada da mesma pela medula óssea localizada do quadril humano. A coleta é realizada a partir de uma pequena cirurgia, apropriada para este procedimento, onde através de punções por agulhas o fluido é coletado e em seguida devidamente filtrado para obter então apenas o material desejado (REDOME, 2018).

#### **2.5 Poliméricos Sintéticos**

Polímeros são macromoléculas com unidades basicamente simples que se repetem, conhecidas como meros – unidades de repetição –. O material polímero, possui nome derivado do grego, onde o prefixo, poli, significa “muitos” e sufixo, mero, significa “parte”. Os polímeros sintéticos são caracterizados por materiais degradados por hidrólise simples e são produzidos de forma artificial (TABATA, 2009).

Para ser considerado um biomaterial, o polímero sintético deve apresentar biocompatibilidade, biofuncionalidade e bioadaptabilidade (VISSER, HERGENROTHER e COOPER, 1996). Entre os polímeros disponíveis no mercado, optou-se por realizar a pesquisa do polioximetileno e do polieteno para o desenvolvimento desse projeto.

## 2.5.1 Poliacetal

Descoberto em 1956, o polioximetileno, também conhecido como poliacetal ou POM, é um polímero proveniente do formaldeído, denominado termoplástico. O poliacetal apresenta grande estabilidade dimensional, excelente resistência a escoamentos, à fadiga, à abrasão e à agentes químicos. Apresenta também, baixa tendência a ruptura, boa usinabilidade, boa resistência mecânica e tenacidade (PLASTECNO, 2018).

Dentre as características apresentadas, o poliacetal também possui baixo coeficiente de atrito, fator indispensável para a escolha do material na fabricação do protótipo. Segundo Misch (2015), o poliacetal apresenta as características necessárias para ser classificado como material biocompatível, assim, o polioximetileno atende todos os requisitos estabelecidos para o projeto e poderá ser considerado para a produção do cabeçote e de seus componentes. A Figura 2.7 apresenta uma tabela com as propriedades mecânicas para o poliacetal de acordo com a empresa Plastireal (2018).

| Propriedades  | Valor (Seco/úmido) | Unidade             | Norma de Referência           |
|---|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| <b>MECÂNICAS</b>  |                    |                     |                               |
| Resistência Tração (escoamento)   | 70                 | MPa                 | DIN EN ISO 527                |
| Alongamento (ruptura)   | 25 <sup>(1)</sup>  | %                   | DIN EN ISO 527                |
| Módulo de Elasticidade (tração)   | 3000               | MPa                 | DIN EN ISO 527                |
| Módulo de Elasticidade (flexão)   | 2620               | MPa                 | DIN EN ISO 178                |
| Dureza  | 170                |                     | DIN IS3 456                   |
| Resistência à deformação após 1000h com carga estática                                | 40                 | MPa                 |                               |
| Tensão de deformação para 1% de alongamento depois de 1000 h                          | 13                 | MPa                 |                               |
| Resistência ao impacto (Charpy – 23°C)  | n.b                | KJ/m <sup>2</sup>   | DIN EN ISO 179                |
| Coeficiente de fricção (em aço retificado - p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> , v = 0,6 m/s) | 0,34               |                     |                               |
| Desgaste em aço retificado - p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> , v = 0,6 m/s)                | 4,6                | µm/Km               |                               |
| <b>TÉRMICAS</b>   |                    |                     |                               |
| Temperatura de transição vítrea   | -60                | °C                  | DIN 53 765                    |
| Temperatura de distorção por calor (HDT) – método A                                   | 124                | °C                  | ISO R 75 / DIN 53 461         |
| Temperatura de distorção por calor (HDT) – método B                                   | 170                | °C                  | ISO R 75 / DIN 53 461         |
| Máxima temperatura de serviço – curta duração   | 150                | °C                  |                               |
| Máxima temperatura de serviço – longa duração   | 110                | °C                  |                               |
| Coeficiente de condutividade térmica (23°C)   | 0,31               | W/(K.m)             |                               |
| Calor específico (23°C)   | 1,5                | J/g.K               |                               |
| Coeficiente de expansão térmica (23°C-55°C)   | 10                 | 10 <sup>-5</sup> /K | DIN 53 752                    |
| <b>ELÉTRICAS</b>  |                    |                     |                               |
| Constante Dielétrica (10 <sup>6</sup> Hz)   | 3,7                |                     | DIN 53 483/ IEC 250           |
| Fator de perda dielétrica (10 <sup>6</sup> Hz)  | 0,005              |                     | DIN 53 483/ IEC 250           |
| Volume específico de resistência  | >10 <sup>14</sup>  | Ω.cm                | DIN IEC 60093                 |
| Resistência superficial   | >10 <sup>14</sup>  | Ω                   | DIN IEC 60093                 |
| Rigidez Dielétrica  | >50                | K V/mm              | DIN 53 481, IEC 243, VDE 0303 |
| Resistência às correntes de fuga  | KA3c               |                     | DIN 53 481, VDE 0303          |
| <b>DADOS DIVERSOS</b>   |                    |                     |                               |
| Densidade   | 1,42               | g/cm <sup>3</sup>   | DIN 53 479                    |
| Teor de absorção de água (23°C/50%)   |                    | %                   | DIN EN ISO 62                 |
| Teor de absorção de água até saturação  | 0,5                | %                   | DIN EN ISO 62                 |
| Inflamabilidade   | HB                 |                     |                               |
| Resistência à água quente, bicarbonato de sódio                                       |                    |                     |                               |
| Resistência ao intemperismo   |                    |                     |                               |

**Figura 2.7 - Propriedades Mecânicas Poliacetal**  
**Fonte: (PLASTIREAL, 2018)**

## 2.5.2 Polietileno

Quimicamente, o polietileno, também conhecido como polietileno representa um dos polímeros de composição mais simples, formados pela cadeia  $(-CH_2-CH_2-)_n$ . Por se tratar de um material produzido em larga escala mundial, o polietileno é também um dos plásticos mais baratos e comuns do mercado.

O polietileno pode apresentar baixa ou alta densidade, bem como ser linear de baixa ou ultra baixa densidade e possuir ultra alto peso molecular. Suas aplicações devem ser levadas em consideração na escolha final para desenvolvimento do projeto (COUTINHO, MELLO e DE SANTA MARIA, 2003)

Dentre as principais propriedades gerais, o polietileno apresenta flexibilidade, impermeabilidade e são polímeros atóxicos. Entretanto, este material apresenta pouca estabilidade dimensional, o que dificulta a produção de engrenagens e peças que dependam de folgas precisas. Segundo Plastireal (2018), as propriedades mecânicas do polietileno podem ser encontradas abaixo na Figura 2.8.

| Propriedades   | Valor (Seco/úmido) | Unidade             | Norma de Referência   |
|--|--------------------|---------------------|-----------------------|
| <b>MECÂNICAS</b>   |                    |                     |                       |
| Resistência Tração (escoamento)  | 25                 | MPa                 | DIN EN ISO 527        |
| Alongamento (ruptura)  |                    | %                   | DIN EN ISO 527        |
| Módulo de Elasticidade (tração)  | 1000               | MPa                 | DIN EN ISO 527        |
| Módulo de Elasticidade (flexão)  | 1000-1400          | MPa                 | DIN EN ISO 178        |
| Dureza   | 50                 |                     | DIN 53 456            |
| Resistência à deformação após 1000h com carga estática                                 | 12,5               | MPa                 |                       |
| Tensão de deformação para 1% de alongamento depois de 1000 h                           | 3                  | MPa                 |                       |
| Resistência ao impacto (Charpy – 23°C)   | n.b                | KJ/m <sup>2</sup>   | DIN EN ISO 179        |
| Coefficiente de fricção (em aço retificado - p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> , v = 0,6 m/s) | 0,29               |                     |                       |
| Desgaste em aço retificado - p = 0,05 N/mm <sup>2</sup> , v = 0,6 m/s)                 |                    | µm/Km               |                       |
| <b>TÉRMICAS</b>  |                    |                     |                       |
| Temperatura de transição vítrea  | -95                | °C                  | DIN 53 765            |
| Temperatura de distorção por calor (HDT) – método A                                    | 42-49              | °C                  | ISO R 75 / DIN 53 461 |
| Temperatura de distorção por calor (HDT) – método B                                    | 70-85              | °C                  | ISO R 75 / DIN 53 461 |
| Máxima temperatura de serviço – curta duração  | 90                 | °C                  |                       |
| Máxima temperatura de serviço – longa duração  | 90                 | °C                  |                       |
| Coefficiente de condutividade térmica (23°C)   | 0,35 - 0,43        | W/(K.m)             |                       |
| Calor específico (23°C)  | 1,7 - 2            | J/g.K               |                       |
| Coefficiente de expansão térmica (23°C-55°C)   | 13 - 15            | 10 <sup>-5</sup> /K | DIN 53 752            |

| Propriedades                                    | Valor (Seco/úmido) | Unidade           | Norma de Referência           |
|---|--------------------|-------------------|-------------------------------|
| <b>ELÉTRICAS</b>                                |                    |                   |                               |
| Constante Dielétrica (10 <sup>6</sup> Hz)       | 2,4                |                   | DIN 53 483/ IEC 250           |
| Fator de perda dielétrica (10 <sup>6</sup> Hz)  | 0,0002             |                   | DIN 53 483/ IEC 250           |
| Volume específico de resistência                | >10 <sup>15</sup>  | Ω*cm              | DIN IEC 60093                 |
| Resistência superficial                         | >10 <sup>13</sup>  | Ω                 | DIN IEC 60093                 |
| Rigidez Dielétrica                              | >50                | K V/mm            | DIN 53 481, IEC 243, VDE 0303 |
| Resistência às correntes de fuga                | KA 3c              |                   | DIN 53 481, VDE 0303          |
| <b>DADOS DIVERSOS</b>                           |                    |                   |                               |
| Densidade                                       | 0,96               | g/cm <sup>3</sup> | DIN 53 479                    |
| Teor de absorção de água (23°C/50%)             |                    | %                 | DIN EN ISO 62                 |
| Teor de absorção de água até saturação          | 0,02               | %                 | DIN EN ISO 62                 |
| Inflamabilidade                                 | HB                 |                   |                               |
| Resistência à água quente, bicarbonato de sódio |                    |                   |                               |
| Resistência ao intemperismo                     |                    |                   |                               |
| Temperatura de Fusão dos Cristais               | 130                | °C                | DIN 53 765                    |

Figura 2.8 - Propriedade Mecânicas Polietileno  
Fonte: (PLASTIREAL, 2018)

## **2.6 Materiais Cerâmicos**

A palavra cerâmica provém do grego e significa “coisa queimada”, de acordo com os gregos, as cerâmicas são a combinação perfeita dos quatro elementos do mundo – água, terra, fogo e ar –. A maioria dos materiais cerâmicos é composta por materiais metálicos e não metálicos ligados através de ligações interatômicas ou iônicas (RICHERSON, 1992).

### **2.6.1 Cerâmicas**

As cerâmicas fazem parte do grupo de material cerâmico não orgânico e não metálico. Possuem estrutura cristalina ou parcialmente cristalina e são formados a partir da ação do calor e resfriamento subsequente. Suas propriedades mecânicas consistem em resistência a flexão e compressão, dureza, resistência a corrosão, temperatura e ao desgaste e baixo coeficiente de atrito. Além das propriedades mecânicas do material, de acordo com a empresa CERAMTEC (2018), a cerâmica apresenta também biocompatibilidade. Sendo assim, as características apresentadas disponibilizam a possibilidade de utilizar a cerâmica para a produção do cabeçote e seus componentes, visto que esse material atende aos requisitos de projeto, entretanto, por seu preço comercial, optou-se por não utilizá-la para o desenvolvimento do projeto.

## **2.7 Impressão por Extrusão**

Segundo Ahrens (2007) o cabeçote de impressão 3D por extrusão movimenta-se geralmente através dos eixos X-Y sobre uma mesa de construção e recebe continuamente o material a ser impresso. Via de regra, a mesa construtora movimenta-se no eixo Z para providenciar ao modelo a espessura pré-determinada. Ahrens (2007) ainda afirma que o próprio material a ser impresso funciona como êmbolo para o início do sistema de extrusão, visto que este expulsará o material através do bico injetor.

Sendo assim, a bomba de engrenagem funcionará como mecanismo de extrusão para o cabeçote, iniciando então o processo de impressão do modelo proposto.



### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para o presente capítulo serão apresentados os processos de desenvolvimento do cabeçote para a validação experimental bem como os métodos utilizados para a execução do projeto.

#### 3.1 Descrição da Metodologia

De forma inicial, após a análise da fundamentação teórica previamente apresentada, o levantamento da revisão bibliográfica será realizado. O foco principal dessa revisão será a descrição da metodologia utilizada para o desenvolvimento de uma pequena bomba de engrenagem.

Para o dimensionamento da bomba de engrenagem, o modelo proposto por (EGBE, 2013) será utilizado. Esta metodologia apresenta uma sequência de passos a serem seguidos com o intuito de projetar uma bomba de engrenagens externas. Estes passos são compostos pelo cálculo do diâmetro das engrenagens, altura dos dentes das engrenagens, passo, área livre entre os dentes, rotação das engrenagens, torque, vazão da bomba e atrito com as paredes da bomba.

Após a análise e definição de todos estes parâmetros, o projeto foi desenvolvido e dimensionado através de um *software* de CAM/CAD conhecido como Creo Parametric 2.0, o qual foi previamente estabelecido em capítulos anteriores. Este projeto digital disponibilizou a oportunidade de realizar a validação do projeto para e a produção do protótipo proposto.

Após as validações, através da usinagem, os componentes da bomba de engrenagem foram fabricados. Subsequentemente, estes componentes foram montados, dando assim forma ao projeto e possibilitando a iniciação dos testes de bancada no laboratório de automação da UTFPR.

Com o cabeçote finalizado, faz-se imprescindível a utilização de um programa para o funcionamento em uma impressora 3D. Estas impressoras requerem uma programação singular, a qual indicará as direções que o cabeçote deverá seguir para que a impressão possa ser realizada. Este programa pode ser obtido através de um *software* fatiador, os mais conhecidos são o Slic3R e o Cura, os quais fazem parte da extensa gama de *softwares* CAM. Uma vez obtido o programa, este é gravado em uma memória SDcard ou enviado pela serial USB para a placa microcontrolada, com *firmware* adequado, que manipula a impressora e interpreta o programa, gerando o modelo 3D.

Por fim, após a finalização de todos os processos descritos anteriormente, a bomba de engrenagem foi submetida a imprimir o material escolhido. Futuramente, testes poderão ser realizados com o plasma rico em plaquetas agregado a trombina e com células-tronco. O objetivo dos testes será a validação do uso do cabeçote para a impressão tridimensional destes materiais sem que suas funcionalidades dos materiais sejam afetadas.

## **3.2 Revisão Bibliográfica**

A revisão bibliográfica consistirá na apresentação dos métodos apresentados pelo autor Egbe (2013) para a criação de uma bomba de engrenagem e estes servirão de suporte para dimensionar o projeto.

### **3.2.1 Metodologia do Dimensionamento de uma Bomba de Engrenagem Externa**

Segundo Egbe (2013) bombas de engrenagem externas possuem um simples mecanismo de funcionamento através de duas engrenagens de mesmo tamanho atuando simultaneamente, sendo uma delas a motora e a outra a movida. Para realizar o dimensionamento será necessário considerar os parâmetros apresentados na descrição da metodologia. Iniciando com a determinação de um ângulo de pressão de  $20^\circ$ , através das equações (2.1) até (2.12) os cálculos para projetar a bomba de engrenagem foram realizados.

Inicialmente, devesse calcular o passo diametral e o passo primitivo das engrenagens. Para isso, utilizou-se as equações (2.1) e (2.2). Posteriormente, com os resultados, calculou-se o addendum, o dedendum e a folga, através das equações (2.3), (2.4) e (2.5). Subsequentemente, através das equações (2.8) e (2.9), respectivamente, dimensionou-se o diâmetro externo da engrenagem, bem como a altura do dente. Com isso, obtiveram-se todos os parâmetros necessários para desenvolver as engrenagens do sistema.

O cálculo da vazão e torque foi realizado através das equações (2.11) e (2.12), respectivamente. O cálculo do torque, especificamente, dá-se em função as pressões de entrada e saída do sistema. Entretanto, por se tratar de um sistema dimensionalmente pequeno, essas pressões poderão ser desconsideradas durante a futura realização dos cálculos. Após a realização de todos os cálculos, o projeto da bomba de engrenagem foi finalizado.

### **3.2.2 Metodologia do Dimensionamento do Cabeçote**

Após o desenvolvimento da bomba de engrenagem, esta foi envolta por uma estrutura que originou a forma do cabeçote de impressão 3D. As dimensões desse cabeçote foram projetadas de acordo com a impressora escolhida para esta proposta de pesquisa. Visando facilitar a troca de cabeçotes, o projeto foi desenvolvido a partir de estruturas já existentes e utilizadas na impressora em questão. De acordo com Egbe (2013), a estrutura da parede interna da bomba, bem como os diâmetros de entrada e saída, são os elementos importantes do sistema. Já a estrutura externa não afetara o funcionamento da mesma, e poderá ser adaptada de acordo com as necessidades particulares de cada projeto.

### **3.3 Metodologia Experimental**

A bancada disponível no laboratório de automação da UTFPR foi preparada para realizar os testes com o cabeçote. A impressora e a programação necessária para o funcionamento foram testadas e validadas no laboratório. Para que a metodologia experimental fosse aplicada, foi de caráter crucial a preparação, da impressora escolhida, do programa diretriz de movimentação do cabeçote, do cabeçote projetado e do material a ser impresso.

Partindo do ponto onde todos os componentes descritos anteriormente foram finalizados para o início dos testes, o projeto em questão pôde ser validado. Os resultados foram observados pela autora e por seu orientador, para que atinjam o nível de precisão e qualidade de impressão desejados.

#### **3.3.1 Análise e Consolidação dos Resultados**

Os resultados obtidos após a realização dos testes foram analisados e posteriormente enquadrados diante dos pré-requisitos do projeto, os quais foram determinados pela autora e seu orientador.

## 4 MODELAGEM MATEMÁTICA

Neste capítulo é descrita a modelagem matemática de uma bomba de engrenagens, os cálculos realizados e a modelagem tridimensional. As seguintes hipóteses foram consideradas para o desenvolvimento do projeto:

1. Bomba de engrenagem externa com dentes de topo reto;
2. Ângulo de pressão 20°;
3. Vazão da Bomba de Engrenagem de aproximadamente 0,5 ml por ciclo;
4. Bico extrusor 0.5 e 1.0 mm;
5. Motor de passo NEMA 17;
6. Fresa para fabricação de 1 mm (menor raio 0,5 mm);

### 4.1 Dimensionamento de Engrenagem com Dente de Topo Reto

Para desenvolvimento da modelagem de uma engrenagem com dentes de topo reto uma série de equações são necessárias. Neste projeto, utilizou-se métodos apresentados por dois autores, e suas técnicas serão discutidas durante o capítulo.

Como parâmetro inicial para o desenvolvimento dos cálculos, utilizou-se a terceira hipótese, onde a vazão a cada ciclo da bomba deveria totalizar aproximadamente 0,5ml. Assim, segundo (EGBE, 2013) o volume de fluido dissipado por revolução é igual ao volume de fluido presente no espaço entre os dentes da engrenagem. Este valor é dado a partir da equação (2.8) apresentada no segundo capítulo, transcrita aqui.

$$V_p = \frac{\pi(r_a^2 - r_d^2)b}{2} \quad (2.8)$$

Para (EGBE, 2013) os fatores que influenciam o volume de fluido dissipado dependem dos raios interno e externos da engrenagem e de sua espessura. Devido ao eixo do motor escolhido possuir diâmetro de 5 mm, foi arbitrado os valores de 12mm para o diâmetro externo, 6.8mm para o diâmetro interno e 3mm para a largura das engrenagens. Logo, substituindo os valores na equação (2.8) temos:

$$V_p = \frac{\pi(12^2 - 6,8^2)3}{2} = 0,46ml \quad (4.1)$$

Visando dimensionar todos os parâmetros das engrenagens, o próximo quesito a ser determinado foi o número de dentes. Com o intuito de facilitar a fabricação, para o desenvolvimento do projeto em questão foram adotados 8 dentes por engrenagem. Como a relação de transmissão é a razão entre o número de dentes de cada engrenagem, desta forma, para este projeto, a relação de transmissão será igual a 1.

Com os valores de diâmetro e largura das engrenagens selecionados, bem como o número de dentes, outros parâmetros de dimensionamento puderam ser calculados. Segundo (NORTON, 2013) o módulo de uma engrenagem por ser calculado através da equação (4.2), apresentada a seguir.

$$D_p = m \times n \quad (4.2)$$

Onde,  $D_p$  refere-se ao diâmetro primitivo da engrenagem,  $m$  representa o módulo e por fim o número de dentes da engrenagem é representado por  $n$ . Assim, sabendo que  $D_p$  possui o valor de 9,6mm e tem-se 8 dentes na engrenagem, para o desenvolvimento do projeto, têm-se:

$$m = \frac{9,6}{8} = 1,2 \quad (4.3)$$

De acordo com (EGBE, 2013), calculou-se o passo circular de acordo com a seguinte equação (4.4).

$$P_c = \frac{\pi D_p}{n} = 4,71mm \quad (4.4)$$

Analogamente, a equação utilizada para calcular o passo diametral foi apresentada por (EGBE, 2013) e está representada a seguir na equação (4.5).

$$P_d = \frac{n}{D_p} = 0,83mm \quad (4.5)$$

(NORTON, 2013) afirma que o passo de base por ser dimensionado através da equação (4.6). Logo utilizou-se a mesma para tal.

$$P_b = P_c \times \cos \phi = 4,42mm \quad (4.6)$$

Assim, o diâmetro de base pôde ser calculado e chegou-se ao valor de 9,0mm.

A distância entre os centros das engrenagens foi dada pela razão entre o somatório dos diâmetros primitivos das engrenagens por dois (NORTON, 2013). A qual está apresentada na equação (4.7).

$$C = \frac{D_1 + D_2}{2} = 9,6mm \quad (4.7)$$

Onde  $D_1$  representa o diâmetro primitivo da engrenagem motora e  $D_2$  o diâmetro primitivo da engrenagem movida.

Segundo (NORTON, 2013) o addendum de uma engrenagem é igual ao valor de seu módulo, logo, as engrenagens possuem addendum com o valor de 1,2mm. O autor ainda afirma que o dedendum é calculado através da equação (4.8), logo a mesma foi utilizada no presente projeto.

$$d = 1,25 \times m = 1,5mm \quad (4.8)$$

Para calcular a altura total do dente, usou-se da equação (4.9) apresentada por (NORTON, 2013).

$$h = 2,2 \times m = 2,6mm \quad (4.9)$$

Analogamente, a altura de pé do dente foi calculada e apresenta o valor de 1,4mm.

Para a folga das engrenagens, representada por  $f$ , (NORTON, 2013) afirma que a equação (4.10) pode ser utilizada, assim fez-se os cálculos para tal. O resultado é apresentado a seguir em conjunto com a equação (4.10).

$$f = 0,2 \times m = 0,2 \times 1,2 = 0,24mm \quad (4.9)$$

## 4.2 Modelagem Tridimensional

Para a modelagem tridimensional do projeto, conforme descrito no primeiro capítulo, definiu-se a utilização do *software* Creo Parametric. Este *software* disponibiliza a oportunidade de criar modelos bidimensionais e tridimensionais, permitindo assim o desenvolvimento do projeto em questão.

### 4.2.1 Modelagem das Engrenagens

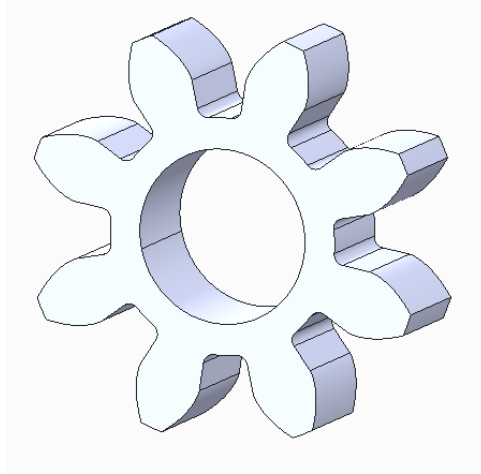
Basicamente, seguiu-se uma série de passos para a modelagem das engrenagens do projeto e alguns pontos-chave serão descritos neste tópico. Com o intuito de iniciar a criação das engrenagens, todos os parâmetros descritos no tópico 4.1 foram calculados. Assim, a estrutura da engrenagem pôde ser criada no *software* dando início ao desenvolvimento tridimensional do projeto.

Para modelar os dentes das engrenagens, fez-se o uso de equações, onde o *software* compreende que estas representam a criação da estrutura do dente. As equações (4.11) a seguir representadas foram utilizadas no desenvolvimento do projeto em questão.

$$\begin{aligned} a &= (DP * \cos(20)) / 2 \\ \theta &= T * 40 \\ x &= a * (\cos(\theta) + (PI * \theta / 180) * \sin(\theta)) \\ y &= a * (\sin(\theta) - (PI * \theta / 180) * \cos(\theta)) \\ z &= 0 \end{aligned} \quad (4.10)$$

Assim, durante os passos de criação de uma engrenagem no Creo Parametric, as equações (4.11) apresentadas anteriormente são necessárias.

Visando auxiliar na compreensão, optou-se por apresentar através da figura (4.1) a imagem da engrenagem movida projetada.



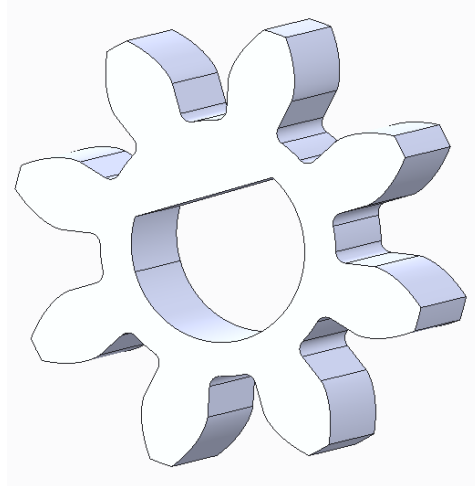
**Figura 4.1 – Engrenagem Movida**  
**Fonte: Autora**

Conforme descrito no início do capítulo, optou-se como requisito de projeto o uso do motor de passo NEMA 17. Este motor é composto por um eixo central com chanfro que pôde ser acoplado a engrenagem. Para isso, a engrenagem motora foi projetada com o mesmo chanfro, permitindo assim o encaixe. A figura (4.2) apresenta o motor de passo NEMA 17, já a figura (4.3) apresenta a engrenagem motora.



**Figura 4.2 - Motor de Passo NEMA 17**  
**Fonte: <https://www.amazon.in/3DPrintrionics-NEMA-17-Stepper-Motor/dp/B00OZZENA>**

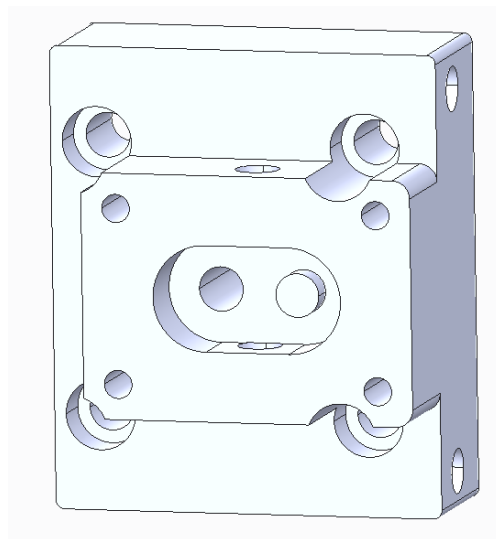




**Figura 4.3 - Engrenagem Motora**  
**Fonte: Autora**

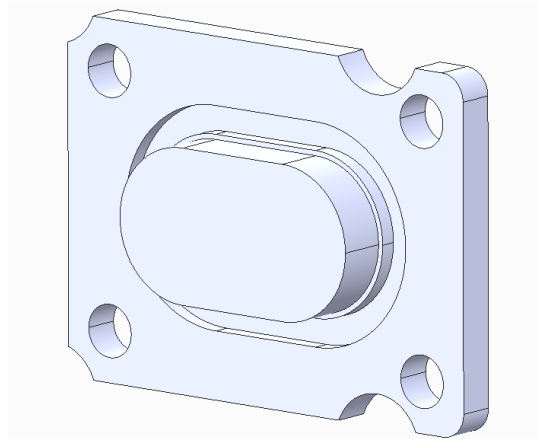
#### **4.2.2 Modelagem da Carçaça**

A ambiente que envolve as engrenagens é conhecido como carçaça, e foi modelado também através do *software* Creo Parametric. Segundo (LINSINGEN, 2014) o conceito de bombas de engrenagem externas consiste em um par de engrenagens iguais montadas em uma carçaça de forma apropriada com uma entrada e uma saída e com vedação lateral por tampas. Seguindo esse conceito, a carçaça foi projetada e está apresentada na figura (4.4).



**Figura 4.4 - Carçaça da Bomba de Engrenagem**  
**Fonte: Autora**

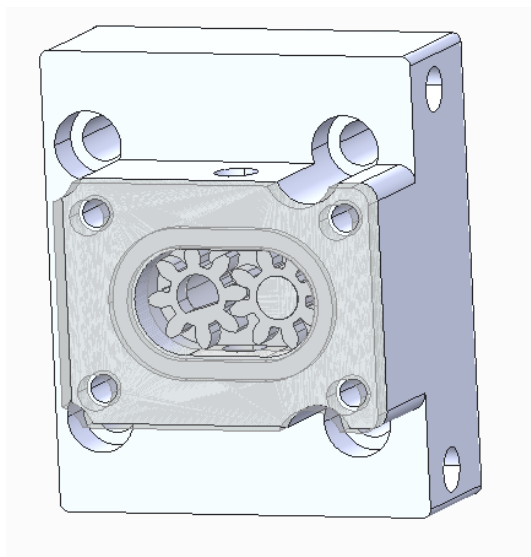
A carcaça foi modelada com uma entrada e uma saída para o fluido, um eixo de montagem para a engrenagem movida, um furo para o acoplamento do eixo do motor de passo e encaixe na engrenagem motora e dez pontos de fixação – 4 referentes a tampa, 4 para acoplar ao motor de passo e 2 de fixação na impressora 3D. Uma tampa com as mesmas dimensões e encaixes da carcaça também foi projetada e está representada através da imagem (4.5). Observa-se que a tampa apresenta um canal, este foi destinado ao encaixe de um *O-Ring*, visando garantir a vedação do sistema.



**Figura 4.5 - Tampa da Carcaça**  
Fonte: Autora

### 4.2.3 Montagem do Projeto

Após a modelagem de todos os componentes do projeto, fez-se então a montagem da bomba de engrenagens externas. Assim como os componentes, a modelagem foi realizada através do *software* Creo Parametric e a figura (4.6) apresenta a aparência final.



**Figura 4.6 - Montagem da Bomba de Engrenagem**  
Fonte: Autora

## 5 RESULTADOS PARCIAIS

Neste capítulo é descrito o processo de fabricação do projeto bem como apresenta-se os resultados obtidos durante a realização dos experimentos.

### 5.1 Processo de Fabricação

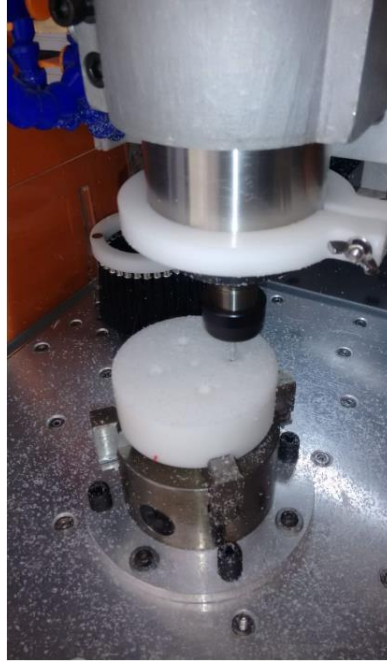
Por se tratar de um projeto com tolerâncias dimensionais precisas, optou-se por realizar a fabricação através do processo de usinagem. A usinagem trata-se de um processo de desbaste mecânico de um material visando dar forma a uma peça, podendo ser metálica ou não. Para esse projeto, fez-se o uso do material poliacetal, em função de suas propriedades mecânicas apresentadas no segundo capítulo bem como por seu preço de mercado. As imagens (5.1), (5.2) e (5.3) a seguir, apresentam o processo de fabricação da proposta de projeto desenvolvida.



**Figura 5.1 – Tarugos de Poliacetal**  
Fonte: Autora



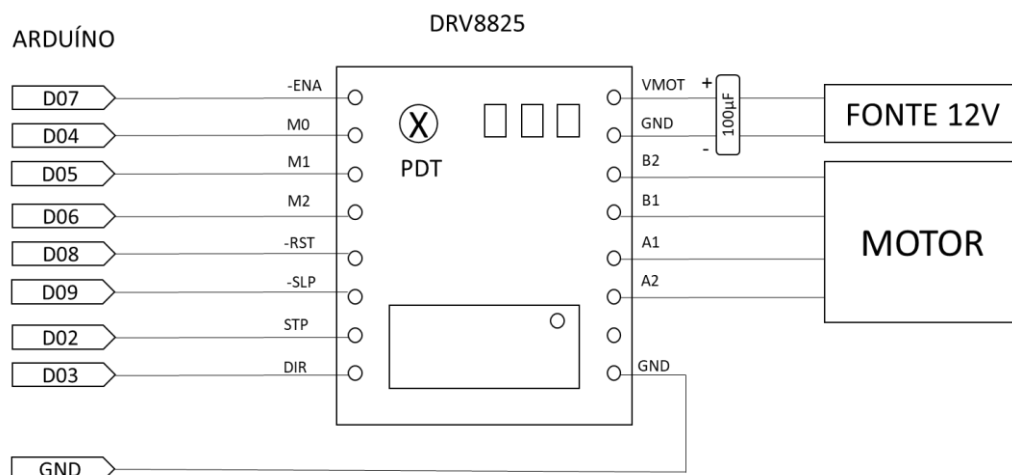
**Figura 5.2 - Engrenagens Fabricadas**  
Fonte: Autora



**Figura 5.3 - Processo de Fabricação da Carçaça**  
**Fonte: Autora**

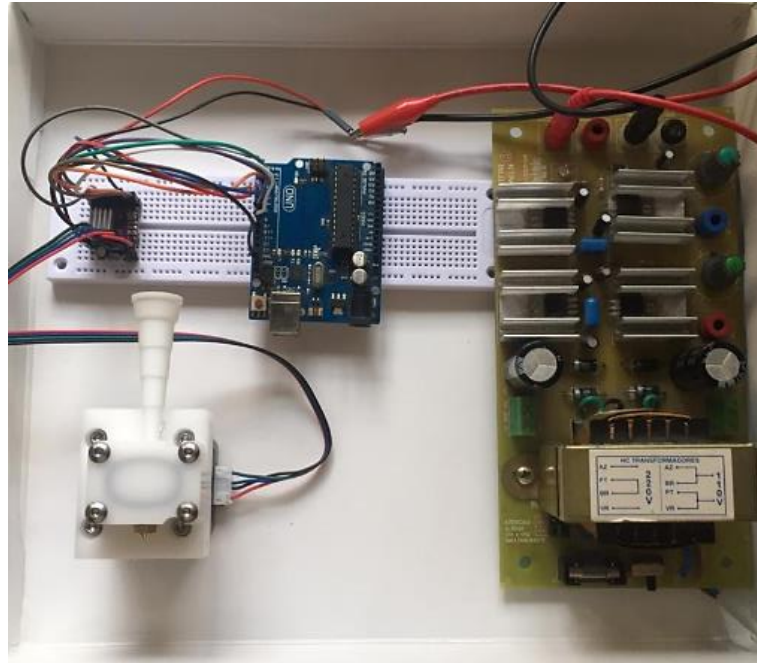
## 5.2 Bancada de Testes

Durante os testes, conforme descrito anteriormente, acoplou-se um motor de passo na engrenagem motora para transmitir o torque e iniciar o funcionamento da bomba de engrenagens. Para o funcionamento do motor utilizou-se um microcontrolador (arduíno UNO), um driver DRV8825, um *protoboard* e 15 jumpers, um capacitor de 100 $\mu$ F e uma fonte 12V. A figura (5.4) a seguir apresenta o diagrama de montagem do circuito para o funcionamento do motor.



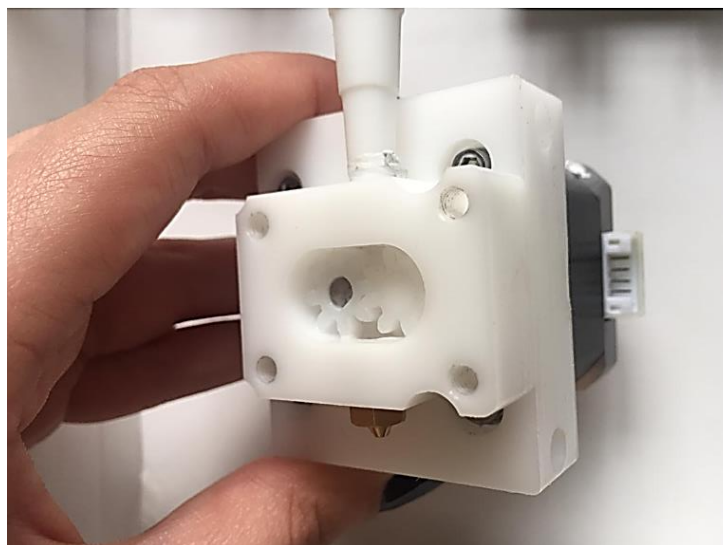
**Figura 5.4 - Diagrama de Montagem do Circuito Para Motor de Passo**  
**Fonte: Autora**

A montagem do circuito bem como o acoplamento do cabeçote ao motor de passo, é apresentado através da figura (5.5).



**Figura 5.5 - Montagem do Circuito**  
Fonte: Autora

Iniciando os testes, como parâmetros de avaliação do projeto estabeleceu-se que além da usabilidade (ser funcional), a bomba deveria extrudar aproximadamente 0,5ml de um fluido viscoso após um ciclo completo. A imagem (5.6) apresenta a bomba de engrenagens montada e acoplada ao motor de passo selecionado.



**Figura 5.6 - Bomba de Engrenagens Acoplada ao Motor**  
Fonte: Autora

Para realizar os testes de validação, optou-se por utilizar como fluido viscoso o creme Nivea Soft Milk, por apresentar viscosidade semelhante ao material biocompatível que poderá ser impresso. O creme não ocasiona nenhum tipo de contaminação no material utilizado no projeto após a limpeza.

Dando continuidade aos testes de bancada, introduziu-se na bomba de engrenagens o total de 5ml de creme Nivea, assim após dez ciclos, o total extrudado seria igual à quantidade colocada no início. Observou-se que, após dez ciclos a quantidade extrudada pela bomba de engrenagens foi de 1,25ml, analogamente, o volume obtido após um ciclo foi de 0,125ml, aproximadamente. Após a extrusão do material, percebeu-se que um significativo vazamento interno estava ocorrendo, visto que a quantidade extrudada não corresponde ao valor projetado durante o dimensionamento. Assim, foi realizada a medição dos componentes do projeto e observou-se que durante o processo de usinagem a folga interna entre a tampa do cabeçote e as engrenagens foi aumentada, permitindo então que o material se espalhasse dentro da carcaça e a extrusão não fosse totalmente realizada. No projeto, a folga foi determinada em 0,03mm, após a usinagem percebeu-se que a mesma encontra-se com 0,1mm. Outro pequeno vazamento localizado no furo para acoplamento do eixo do motor na engrenagem motora ocorreu, fator que também contribuiu com a diminuição do volume final extrudado. Entretanto, durante o desenvolvimento do projeto não foi determinado o uso de vedação no eixo motor, logo acreditase que a falta de vedação do local contribuiu para que o vazamento ocorresse.

Sendo assim, o protótipo apresentou resultados positivos, visto que o cabeçote possui pressão interna suficiente para realizar a extrusão de um fluido viscoso e poderá ser utilizado posteriormente em novos projetos.

## 6 CONCLUSÃO

Com a finalização do dimensionamento, fabricação e início dos testes observou-se que, após a fabricação as engrenagens obtiveram um perfeito engrenamento de seus dentes, não ocorrendo a falta de contato entre elas em nenhum momento durante a rotação dos ciclos. Este fato dá-se à correta modelagem matemática juntamente à um excelente processo de fabricação. Logo, o correto engrenamento garante que a bomba de engrenagens disponha da diferença de pressão necessária dentro do sistema, assegurando então seu funcionamento.

Representando os materiais biocompatíveis optou-se pelo uso do creme Nivea Soft Milk – fluido viscoso extrudado pelo cabeçote –. Com os testes de bancada observou-se que de maneira geral o protótipo alcançou os objetivos determinados para a proposta de projeto, demonstrando sua validação no quesito funcionalidade e extrusão do fluido escolhido imprimindo filetes contínuos do material. Uma variação entre o volume de material extrudado e o volume previamente proposto ocorreu, sendo que o valor extrudado deveria ser de aproximadamente 5ml após dez ciclos completos, mas com a realização dos testes observou-se que o valor foi de aproximadamente 1,25ml. Na análise do problema constatou-se que durante o processo de usinagem a folga entre a tampa do cabeçote e as engrenagens tornou-se maior que o especificado em projeto, com isso, a diferença de pressão dentro da bomba diminuiu, ocasionando também a diminuição da capacidade do sistema em realizar a sucção do material. Desta forma, grande parte do volume que deveria ser extrudado não é sugado pela bomba, ficando disponível no funil alimentador do protótipo, explicando então a diferença entre o volume calculado e o volume efetivamente extrudado. Essa mesma folga ainda permitiu que uma pequena quantidade de material ficasse espalhada dentro do próprio sistema da bomba, acarretando também na diminuição do volume extrudado no final. Outro fator que também impossibilitou que o projeto atingisse o objetivo de extrudar 5ml após dez voltas foi um pequeno vazamento no furo para o acoplamento do motor na engrenagem motora, entretanto, nenhuma vedação para o local foi determinada durante a realização do projeto.

Visto que a causa raiz dos problemas foi detectada, alternativas de contornar os contratempos foram buscadas. Para o vazamento no furo de acoplamento do eixo do motor, uma opção seria a inclusão de um retentor, entretanto o protótipo deveria ser remodelado e fabricado novamente, o que se tornou inviável para o presente projeto. Já para a baixa capacidade de sucção de material, chegou-se à conclusão que um rebaixo na parte superior da carcaça poderia ser suficiente para diminuir a folga entre a tampa e as engrenagens e possibilitar

a diferença de pressão necessária para a extrusão do material. Entretanto, em contato com o responsável pela usinagem para avaliar a possibilidade de retrabalho percebeu-se que a correção do problema demandaria um tempo maior que o estabelecido, logo não poderia ser realizado.

Desta forma, as modificações de diminuição da folga entre a tampa e as engrenagens do sistema e o desenvolvimento de uma vedação para o furo de acoplamento do eixo do motor estão disponibilizadas como melhorias para futuros projetos. Outro ponto observado e então apresentado como melhoria trata-se de um prolongamento do encaixe do bico extrusor, pois o mesmo encontra-se acima do nível da carcaça, dificultando o processo de impressão. Este inconveniente, para o presente trabalho, foi resolvido através do uso de uma contramedida – uma extensão temporária para acoplamento do bico extrusor –.

Sendo assim acredita-se que o projeto cumpriu com os parâmetros e requisitos determinados como imprescindíveis para a validação do mesmo. Logo, este contribui com o estado da arte sendo capaz de auxiliar no dimensionamento de bombas de engrenagens externas adaptadas a cabeçotes de impressão tridimensionais para diversas finalidades, incluindo a extrusão de materiais biocompatíveis.



## REFERÊNCIAS

- AHRENS, C. H. E. A. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.
- CERAMTEC. CeramTec - The Ceramic Experts, 2018. Disponível em: <<https://www.ceramtec.com.br/materiais-ceramicos/>>. Acesso em: 2018.
- COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; DE SANTA MARIA, L. C. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, p. 1-13, 2003.
- DALLA LANA, M. A. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. [S.l.]: [s.n.], 2005.
- DEL CARLO, R. J. **Células-tronco: Células da esperança. Medicina Regenerativa**, Brasília, n. 35, p. 60-68, Agosto 2005.
- EGBE, E. A. P. Design Analysis and Testing of a Gear Pump. **International Journal of Engineering and Science**, Minna, v. 3, p. 1-7, 2013.
- HELMUS, M.; GIBBONS, D.; CERBOND. **Biocompatibility: Meeting a Key Functional Requirement of Next-Generation Medical Devices**. [S.l.]: Toxicologic Pathology, 2008. 70-80 p.
- JUNIOR, F. A. D. L. **Unidades de Potência e Bombas Hidráulicas**. [S.l.]: [s.n.], 2005.
- LINSINGEN, I. V. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. Florianópolis: ED. da UFSC, v. 4ª edição, 2014.
- MARAT-MENDES, R. **Folhas de Apoio à Unidade Curricular Elementos de Máquinas II: Engrenagens**. [S.l.]: IPS, 2012.
- MARX, R. E. et al. **Platelec-rich plasma: growth factor enhancement for bone grafts**. 6. ed. St. Louis: Oral Surg. Oral Méd. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod. , v. 85, 1998.
- MISCH, C. E. **Prótese Sobre Implantes Dentais**. [S.l.]: Mosby Elsevier, v. 2, 2015. 78-79 p.
- MOTT, R. L. Machine Elements in Mechanical Design for Optimal Performance. **SME Gear Processing and Manufacturing Clinic**, Columbus, OH, 2003. AGMA's EXPO'03.
- NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas - Uma abordagem Integrada**. 4. ed. Bookman, 2013.
- PLASTECNO. Catálogo de Produtos. **http: //www.plastecno.com.br/produtos/poliacetal-pom.html**, 2018.
- PLASTIREAL, 2018. Disponível em: <[http://www.plastireal.com.br/pdf/especificacoes\\_tecnicas\\_poliacetal-pom.pdf](http://www.plastireal.com.br/pdf/especificacoes_tecnicas_poliacetal-pom.pdf)>. Acesso em: 2018.

PONTUAL, M. A. B.; MAGINI, R. S. Plasma rico em plaquetas (PRP) e fatores de crescimento. **Pesquisas Científicas à Clínica Odontológica**, Santos, 2004.

REDOME. INCA - Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes Silva. **Redome - Instituto Nacional de Câncer**, 2018. Disponível em: <<http://redome.inca.gov.br/medula-ossea/o-que-e-celula-tronco/>>. Acesso em: 2018.

RICHERSON, D. W. **Modern Ceramic Engineering: properties, processing, and use in design**. 2. ed. [S.l.]: CRC Taylor & Francis, 1992.

TABATA, Y. **Biomaterial Technology for Tissue Engineering Applications**. [S.l.]: Journal of the Royal Society Interface, v. 6, 2009. 311-324 p. ISBN 3.

TUMBLESTON, J. R. et al. **Continuous Liquid Interface production of 3D objects**. [S.l.]: Science, 2015.

VENDRAMIN, F. S.; FRANCO, D.; FRANCO, T. R. Método de obtenção do gel de plasma rico em plaquetas autólogo. **Bras. Cirurgia Plástica**, Nazaré, v. 24, n. 2, p. 212-218, 2009.

VISSER, S.; HERGENROTHER, R.; COOPER, S. **Polymers: Biomaterials Science**. San Diego: [s.n.], 1996. 50-60 p.

ZIMMERMANN, M. A. **Sistema Especialista em Protótipo para Auxílio na Seleção de Bombas**. [S.l.]: UFSC, 2003.

## APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO UTILIZADA NO MICROCONTROLADOR ARDUINO UNO PARA O FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE PASSO

```

int RST = 8;          // Porta digital D08 - reset do DRV8825
int SLP = 9;          // Porta digital D09 - dormir (sleep) DRV8825
int ENA = 7;          // Porta digital D07 - ativa (enable) DRV8825
int M0 = 4;           // Porta digital D04 - M0 do DRV8825
int M1 = 5;           // Porta digital D05 - M1 do DRV8825
int M2 = 6;           // Porta digital D06 - M2 do DRV8825
int DIR = 3;          // Porta digital D03 - direção (direction) do DRV8825
int STP = 2;          // Porta digital D02 - passo(step) do DRV8825

int MeioPeriodo = 400; // MeioPeriodo no pulso em microsegundos correcao de +10
ms 1490

float PPS = 200;      // Pulsos por segundo
boolean sentido = true; // Variavel de sentido
long PPR = 200;       // Número de passos por volta
long Pulsos;          // Pulsos para o driver do motor
int Voltas;           // voltas do motor
float RPM;            // Rotacoes por minuto

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  DDRD = DDRD | B11111100; // Configura Portas D02 até D07 como saída
  disa_DRV8825();         // Desativa as saidas DRV8825
  FULL();                 // Seleciona modo Passo Completo

  DDRB = 0x0F;           // Configura Portas D08,D09,D10 e D11 como saída
  digitalWrite(SLP, HIGH); // Desativa modo sleep do DRV8825
  rst_DRV8825();         // Reseta o chip DRV8825
  digitalWrite(ENA, LOW); // Ativa as saidas DRV8825
}

```

```

void rst_DRV8825()
{
  digitalWrite(RST, LOW); // Realiza o reset do DRV8825
  delay (1);             // Atraso de 1 milisegundo
  digitalWrite(RST, HIGH); // Libera o reset do DRV8825
  delay (10);           // Atraso de 10 milisegundos
}

```

```

void disa_DRV8825()
{
  digitalWrite(ENA, HIGH); // Desativa o chip DRV8825
  delay (10);             // Atraso de 10 milisegundos
}

```

```

void ena_DRV8825()
{
  digitalWrite(ENA, LOW); // Ativa o chip DRV8825
  delay (10);             // Atraso de 10 milisegundos
}

```

```

void HOR() // Configura o sentido de rotação do Motor
{
  digitalWrite(DIR, HIGH); // Configura o sentido HORÁRIO
  Serial.print(" Sentido Horario ");
}

```

```

void AHR() // Configura o sentido de rotação do Motor
{
  digitalWrite(DIR, LOW); // Configura o sentido ANTI-HORÁRIO
  Serial.print(" Sentido Anti-horario ");
}

```

```

void PASSO() // Pulso do passo do Motor
{

```

```

digitalWrite(STP, LOW);      // Pulso nível baixo
delayMicroseconds (MeioPeriodo); // MeioPeriodo de X microsegundos
digitalWrite(STP, HIGH);    // Pulso nível alto
delayMicroseconds (MeioPeriodo); // MeioPeriodo de X microsegundos
}

void Frequencia()           // Configura Frequencia dos pulsos
{
  Pulsos = PPR * Voltas;    // Quantidade total de Pulsos PPR = pulsos por volta
  PPS = 1000000 / (2 * MeioPeriodo); // Frequencia Pulsos por segundo
  RPM = (PPS * 60) / PPR;   // Calculo do RPM
}

void FULL()
{
  PPR = 200;                // PPR pulsos por volta
  digitalWrite(M0, LOW);   // Configura modo Passo completo (Full step)
  digitalWrite(M1, LOW);
  digitalWrite(M2, LOW);
  Serial.println(" Passo Completo ");
}

void HALF()
{
  PPR = 400;                // PPR pulsos por volta
  digitalWrite(M0, HIGH);  // Configura modo Meio Passo (Half step)
  digitalWrite(M1, LOW);
  digitalWrite(M2, LOW);
  Serial.println(" Meio Passo ");
}

void P1_4()
{
  PPR = 800;                // PPR pulsos por volta

```

```
digitalWrite(M0, LOW); // Configura modo Micro Passo 1/4
digitalWrite(M1, HIGH);
digitalWrite(M2, LOW);
Serial.println(" Micropasso 1/4 ");
}

void P1_8()
{
  PPR = 1600;          // PPR pulsos por volta
  digitalWrite(M0, HIGH); // Configura modo Micro Passo 1/8
  digitalWrite(M1, HIGH);
  digitalWrite(M2, LOW);
  Serial.println(" Micropasso 1/8 ");
}

void P1_16()
{
  PPR = 3200;          // PPR pulsos por volta
  digitalWrite(M0, LOW); // Configura modo Micro Passo 1/16
  digitalWrite(M1, LOW);
  digitalWrite(M2, HIGH);
  Serial.println(" Micropasso 1/16 ");
}

void P1_32()
{
  PPR = 6400;          // PPR pulsos por volta
  digitalWrite(M0, HIGH); // Configura modo Micro Passo 1/32
  digitalWrite(M1, LOW);
  digitalWrite(M2, HIGH);
  Serial.println(" Micropasso 1/32 ");
}

void TesteMotor() // Gira motor nos dois sentidos
```

```
{  
  HOR();  
  Serial.print(" / Voltas = ");  
  Serial.println(Voltas);  
  for (int i = 0; i <= Pulsos; i++)    // Incrementa o Contador  
  {  
    PASSO();                          // Avança um passo no Motor  
  }  
  disa_DRV8825();  
  delay (2750);                       // Atraso de 750 mseg  
  // Avança um passo no Motor  
}
```

```
void Print_RPM ()  
{  
  Serial.print(" PPR = ");  
  Serial.print(PPR);  
  Serial.print(" / Pulsos = ");  
  Serial.println(Pulsos);  
  Serial.print(" 1/32 T = ");  
  Serial.print(MeioPeriodo);  
  Serial.print(" us / ");  
  Serial.print(" PPS = ");  
  Serial.print(PPS, 2);  
  Serial.print(" / RPM = ");  
  Serial.println(RPM, 2);  
}
```

```
void loop()  
{  
  Serial.println();  
}
```

```
Voltas =10;    // Numero de voltas no Motor

P1_32();      // Seleciono o Modo do Passo FULL() HALF() P1_4() P1_8() P1_16()
P1_32()

Frequencia(); // Calcula RPM
Print_RPM (); // Imprime configuracao
TesteMotor(); // Testa o Motor
}
```