

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

GUSTAVO SEIJI HIGASHI NAGAO  
BRENO VIACELLI TORETO

**ADAPTAÇÃO DE UM FREASDORA CNC 3 EIXOS PARA USO EM PROCESSOS  
DE BIOFABRICAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

GUSTAVO SEIJI HIGASHI NAGAO

BRENO VIACELLI TORETO

**ADAPTAÇÃO DE FRESADORA CNC 3 EIXOS PARA USO EM PROCESSOS DE  
BIOFABRICAÇÃO**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. João Antônio Palma Setti

CURITIBA

2018

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "ADAPTAÇÃO DE UMA FRESADORA CNC 3 EIXOS PARA USO EM PROCESSOS DE BIOFABRICAÇÃO", realizado pelo aluno(s) Gustavo S. H. Nagao e Breno V. Toreto, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. João Antonio Palma Setti

DAMEC - UTFPR

Orientador

Prof. Sidney Carlos Gasoto

DAMEC - UTFPR

Avaliador

Prof. Dr. Walter Luís Mikos

DAMEC - UTFPR

Avaliador

Curitiba, 28 de Junho de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer inicialmente aos professores João Antonio Setti e Sidney Gasoto pelo grande apoio ao desenvolver este trabalho.

Agradecimentos ao grupo de Biofabricação da UTFPR pela oportunidade deste trabalho.

Agradecemos também a professora Márcia Silva de Araújo do DAMEC por nos possibilitar o uso da impressora 3D em diversas ocasiões.

Um enorme agradecimento aos nossos pais pela oportunidade que nos deram de ingressar nesta faculdade e todo o apoio durante toda sua extensão.

Agradecimentos aos nosso amigos de curso que nos apoiaram, ajudaram e deram todo o suporte que estava aos seus alcances.

## RESUMO

Nagao, Gustavo S. H.; TORETO, Breno V. Adaptação de uma Fresadora CNC 3 Eixos para uso em Processos de Biofabricação. 34 f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Em caso de perda parcial ou total da função de órgãos ou tecidos, há casos em que é possível realizar um transplante. Atualmente o número de transplantes necessários é muito superior ao de doadores e este problema se agrava a cada ano com mais pacientes morrendo na lista de espera. Uma possível solução para este problema é a tecnologia de biofabricação na qual é capaz de realizar a construção de estruturas biológicas, como órgãos e tecidos, com uso de células vivas, biomoléculas e biomateriais. A engenharia entra com o propósito de projetar, desenvolver e viabilizar os equipamentos necessários. Com o novo grupo de biofabricação sendo formado na UTFPR, o enfoque deste trabalho foi a adaptação de um cabeçote de impressão 3D em uma fresadora CNC 3 eixos para ser utilizada em futuras pesquisas. Com a realização do projeto, fabricação e instalação do cabeçote assim como a montagem completa dos componentes, a adaptação foi bem sucedida, apesar de não executados os testes de parâmetros de impressão.

**Palavras-chave:** biofabricação, fresadora, manufatura aditiva.

## **ABSTRACT**

Nagao, Gustavo S. H.; TORETO, Breno V. Adaptação de uma Fresadora CNC 3 Eixos para uso em Processos de Biofabricação. 34 f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

In case of partial or total loss of an organ or tissue function, there are cases in which it is possible to perform a transplant. Currently the amount of transplants needed is much higher than the number of donors and this problem is aggravated each year with more patients dying on the waiting list. A possible solution to this problem is the biofabrication technology in which it is able to perform the construction of biological structures, such as organs and tissues, using living cells, biomolecules and biomaterials. The mechanical engineering comes with the purpose of designing, developing and making feasible the necessary equipment. With the new biofabrication group being assembled at UTFPR, the focus of this work was the adaptation of a 3D print head to a 3 axis CNC milling machine to be used in future research. For this project, it was necessary to the design, manufacture and install the printing head as well as the complete assembly of the complementary components. Although not performed the printing parameters tests, the adaptation was successful.

**Keywords:** Biofabrication, milling machine, additive manufacture.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bioimpressoras da empresa RegenHU® .....	12
Figura 2 – 3D-Bioplotter® da empresa EnvisionTEC®.....	12
Figura 3 - BioPrinter do grupo BioCurious.....	12
Figura 4 – Necessidade Estimada e Número de Transplantes realizados no Brasil 2016 .....	14
Figura 5 – As três disciplinas que compõem a biofabricação.....	16
Figura 6 – Etapas da bioimpressão .....	18
Figura 7 – Representação esquemática da técnica de Extrusão de Material.....	19
Figura 8 – Exemplo de peça que descolou da mesa e empenou.....	20
Figura 9 – Foto da máquina CNC.....	22
Figura 10 - MK8 Extruder da empresa Geeetech®.....	24
Figura 11 – <i>Hotend</i> E3D V6 da E3D .....	24
Figura 12 – Suporte da extrusora da empresa Geeetech .....	25
Figura 13 – Primeira versão do projeto do suporte .....	25
Figura 14 – Projeto final do suporte e montagem.....	26
Figura 15 – Impressora 3D Up Plus 2 da empresa Akad .....	27
Figura 16 - Representação esquemática para instalação da SmoothieBoard.....	28
Figura 17 - Suporte montado sem o cabeamento .....	28
Figura 18 - Interface do programa Repetier Host.....	29

## **LISTA DE QUADROS E TABELAS**

Tabela 1 – Necessidade anual estimada e número de transplantes realizados.....	14
Tabela 2 – Parâmetros de impressão propostos.....	29
Quadro 1- Comparativo de materiais para impressão 3D .....	23



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CNC - Comando Numérico Computadorizado

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

ABTO - Associação Brasileira de Transplante de Órgãos

*Open Source* – Código Aberto de *software*

CAD – *Computer Aided Desing* (Design assistido por computador)

FDM - *Fused Deposition Modelling*

PLA - Políácido láctico

ABS - Acrilonitrila butadieno estireno

PTFE – Politetrafluoretileno (Teflon)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	CONTEXTO DO TEMA	11
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.3	OBJETIVOS	13
1.4	JUSTIFICATIVA	13
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>16</b>
2.1	BIOFABRICAÇÃO	16
2.1.1	Ciência dos Materiais e Biomateriais	16
2.1.2	Biologia Celular e Engenharia Tecidual	17
2.2	TECNOLOGIAS DE BIOFABRICAÇÃO	17
2.3	IMPRESSÃO 3D	18
2.3.1	Extrusão de material	19
2.3.2	Terminologia	19
2.3.3	Configuração da Extrusão de Material	20
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>22</b>
3.1	DESCRIÇÃO DA MÁQUINA	22
3.2	MATERIAL DE IMPRESSÃO	23
3.3	PLANEJAMENTO	23
<b>4</b>	<b>PROJETO E ADAPTAÇÃO DO EQUIPAMENTO</b>	<b>24</b>
4.1	COMPONENTES	24
4.2	PROJETO DO SUPORTE DA EXTRUSORA E DO <i>HOTEND</i>	24
4.3	FABRICAÇÃO	26
4.4	ELETRÔNICA	27
4.5	MONTAGEM E INSTALAÇÃO	28
4.6	SOFTWARE	28
4.7	TESTES E DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO	29
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>32</b>
	<b>ANEXO A – PROJETO DO SUPORTE DA EXTRUSORA</b>	<b>34</b>
	<b>ANEXO B – PROJETO DO SUPORTE DO HOTEND</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Transplantes de órgãos e tecidos são muitas vezes necessários na correção da perda parcial ou total de suas funções. O ideal seria, quando possível, o transplante autólogo no qual utilizaria o tecido do próprio paciente. Quando um doador é necessário, como no caso de doação de órgãos completos, é muito comum a doação só ocorrer após o óbito do doador e com a aprovação familiar. Outro grande problema reside na incompatibilidade imunológica, ou seja, a rejeição, que acarreta o uso de drogas imunossupressoras até o resto da vida do paciente. Além disso, ainda deve-se levar em conta os altos custos e toda logística necessária desde a coleta até a cirurgia de implantação do órgão. Assim, dada toda essa problemática, uma possível alternativa emergente é a tecnologia da biofabricação de órgãos e tecidos. (SILVA, J; DUAILIBI, S. 2008).

A biofabricação pode ser definida como um conjunto de técnicas cuja a finalidade é a produção de estruturas biológicas tridimensionais, vivas ou não, com o uso de células vivas, biomoléculas e biomateriais. Essa tecnologia emergente surgiu da união de três principais disciplinas: biologia celular e de desenvolvimento, ciência dos materiais com ênfase em biomateriais e a engenharia mecânica na área de manufatura aditiva (MIRONOV, 2009).

### 1.1 Contexto do Tema

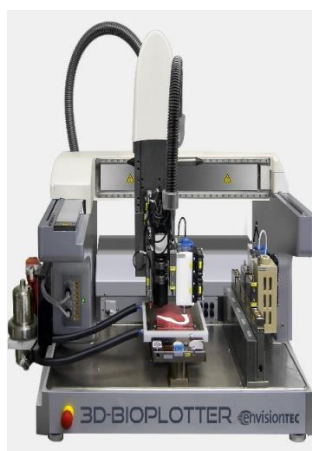
Dada a complexidade e multidisciplinaridade requerida na biofabricação, além da biologia, medicina e ciências dos materiais, diversas engenharias também ocupam funções importantes no seu desenvolvimento. (SILVA, J; DUAILIBI, S. 2008).

A engenharia mecânica sempre foi fundamental nas áreas de fabricação e manufatura. O fato de se utilizar materiais vivos ao invés dos comumente utilizados na indústria, não altera seu papel essencial de projetar tais processos de fabricação. A aplicação de tecnologias de prototipagem rápida, também conhecidas como impressão 3D ou manufatura aditiva, na biomedicina exemplificam a importante contribuição da engenharia mecânica na biofabricação (MIRONOV, 2009).

Para suprir a atual demanda na área de engenharia tecidual, algumas bioimpressoras já vêm sendo desenvolvidas e comercializadas. Alguns exemplos são a Biofactory® e 3Ddiscovery® (Figura 1) ambas da empresa suíça RegenHU® e a 3D-Bioplotter® (Figura 2) da EnvisionTEC® (PEREIRA, F. 2014).

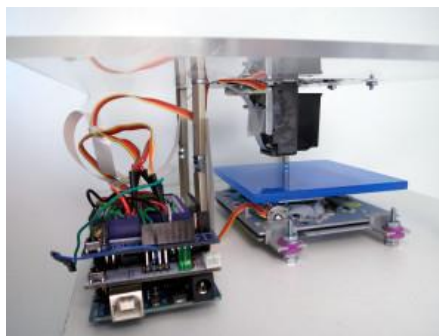


**Figura 1 - Bioimpressoras da empresa RegenHU®**  
**Fonte: Site Oficial RegenHU®**



**Figura 2 – 3D-Bioplotter® da empresa EnvisionTEC®**  
**Fonte: Site Oficial EnvisionTEC®**

Por outro lado, uma alternativa utilizada na pesquisa é uso de máquinas de código aberto ou *Open Source*. Com livre acesso ao público dos projetos, ela possibilita a construção, utilização, modificação e distribuição de equipamentos científicos de baixo custo (PEREIRA, F. 2014). Um exemplo de bioimpressora de código aberto é a BioPrinter (Figura 3) do grupo BioCurious.



**Figura 3 - BioPrinter do grupo BioCurious**

## 1.2 Caracterização do Problema

De acordo com Mironov (2009), bioimpressoras comerciais ainda apresentam um custo muito elevado ou são inacessíveis para pesquisa. Por serem tecnologias proprietárias, podem existir limitações técnicas nas variações de parâmetros de funcionamento ou na gama de materiais que podem ser utilizados (PEREIRA, F. 2014).

Algumas alternativas apontadas anteriormente, como a BioPrinter do Grupo BioCurious ou os projetos em código aberto, são formas de se contornar alguns dos problemas citados acima. A proposta deste trabalho é apresentar uma alternativa, por meio da adaptação de um cabeçote de impressão 3D, para uso em pesquisas na área de biofabricação.

## 1.3 Objetivos

O papel das engenharias na biofabricação é desenvolver e viabilizar os equipamentos necessários tanto para pesquisa quanto para uso comercial. Com isso, o objetivo geral deste trabalho é realizar a adaptação de um cabeçote de impressão 3D em uma fresadora CNC 3 eixos que será posteriormente utilizada no laboratório de pesquisa de biofabricação da UTFPR.

Assim, para desenvolver este projeto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Descrever os passos essenciais na construção do equipamento.
- Descrever as dificuldades e limitações encontradas.
- Testar a máquina e definir os parâmetros de impressão.
- Manter a funcionalidade da fresadora.

Em essência, a ideia é adicionar um sistema de manufatura por extrusão em uma fresadora CNC 3 eixos, já existente no laboratório de biofabricação, isto é desenvolver uma máquina híbrida.

## 1.4 Justificativa

Segundo dados da Associação Brasileira de Transplante de Órgãos (ABTO), a necessidade estimada ainda é muito superior ao número de transplantes realizados no Brasil em 2016. (Figura 4 e Tabela 1).

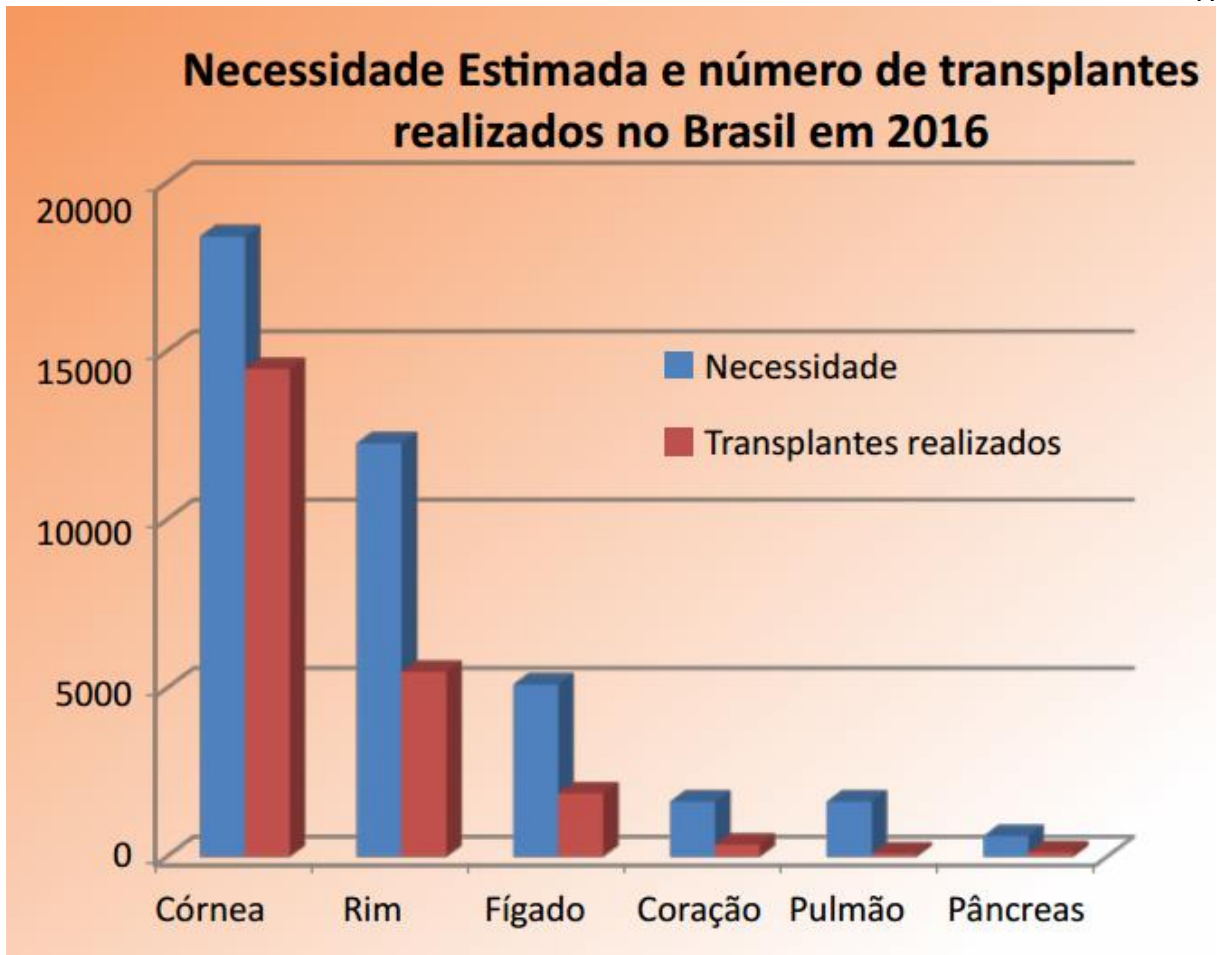


Figura 4 – Necessidade Estimada e Número de Transplantes realizados no Brasil 2016

Fonte: ABTO

Tabela 1 – Necessidade anual estimada e número de transplantes realizados

Necessidade anual estimada e n° de transplantes	Córnea	Rim	Fígado	Coração	Pulmão
<b>Necessidade estimada</b>	18.401	12.267	5.111	1.636	1.636
<b>Transplantes realizados</b>	14.534	5.492	1.880	357	92

Fonte: ABTO

Além disso, a ABTO constatou alguns aspectos importantes com relação à doação de órgãos no Brasil. Dentre os positivos, ressalta-se que o sistema de transplantes está bem consolidado e regulado no país, existe apoio do setor público aos programas relacionados e que há uma melhora progressiva nos resultados dos transplantes. Por outro lado, as dificuldades residem no recente crescimento insuficiente de doações, disparidades significativas entre estados e regiões e limitações financeiras de alguns programas. De acordo com a associação, dentre os principais motivos que restringem o

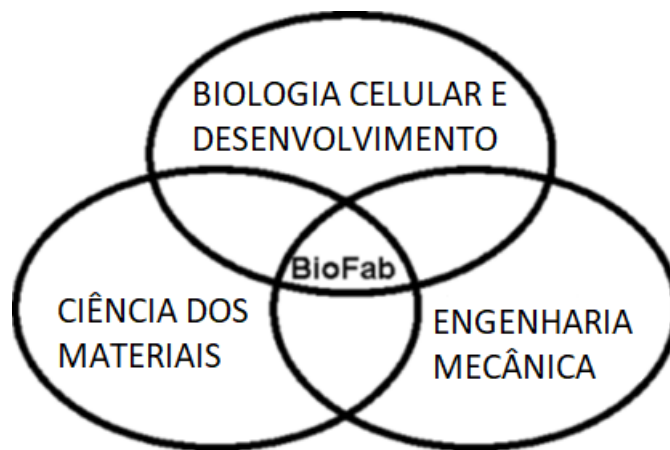
número de doações está na recusa familiar com uma taxa média de 43% (chegando à uma taxa superior à 75% em alguns estados na região Norte) e ao baixo índice de notificações de morte encefálica.

Dada situação atual do Brasil, segundo Mironov (2009), as pesquisas em torno da biofabricação vêm auxiliando na busca de alternativas aos problemas enfrentados com a doação. Com o potencial de reduzir significativamente os custos envolvidos e também salvar milhares de vidas, o investimento nesta tecnologia é justificável tanto economicamente quanto socialmente.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Biofabricação

A biofabricação é uma tecnologia constituída pela união de três disciplinas principais: biologia celular e de desenvolvimento, ciência dos materiais com ênfase em biomateriais e a engenharia mecânica na área de manufatura aditiva. O prefixo “bio” significa que os materiais, processos e/ou produtos finais são baseados ou inspirados na biologia. Já o termo “fabricação” engloba a construção de algo a partir da matéria-prima ou de material semi acabado. Assim, neste caso, a biofabricação faz uso de materiais como moléculas biológicas, matrizes extracelulares e células e tecidos vivos para a construção de estruturas biológicas tridimensionais (MIRONOV, 2009).



**Figura 5 – As três disciplinas que compõem a biofabricação**

Fonte: MIRONOV, V. et al. Biofabrication: a 21st century manufacturing paradigm

Apesar da fabricação e transplante de órgãos e tecidos ser uma das aplicações mais óbvias, a biofabricação não se limita apenas nisso. Há uma grande gama de possibilidades como, por exemplo, na produção de biocombustíveis a partir de algas, produtos como carnes, couros e peles sem origem animal, desenvolvimento de tecidos para serem utilizados em pesquisas de doenças e também em testes de medicamentos entre outros (MIRONOV, 2009).

#### 2.1.1 Ciência dos Materiais e Biomateriais

Ciência dos materiais é o campo de ciência voltado ao estudo das propriedades dos materiais. No caso dos biomateriais, um aspecto chave é o desenvolvimento de materiais com características específicas que permitem tanto o seu uso em tecnologias de biofabricação quanto a sua implantação em organismos vivos (MIRONOV, 2009.)



Em geral, os biomateriais requerem algumas propriedades para serem utilizados em tecnologias de manufatura aditiva: ser imprimível, biocompatível, ter propriedades mecânicas apropriadas, velocidades de degradação adequadas, gerar subprodutos seguros e não tóxicos e ter a habilidade de mimetizar tecidos (GUVENDIREN, 2016).

### **2.1.2 Biologia Celular e Engenharia Tecidual**

A biologia celular atua nas mais diversas etapas da biofabricação. A sobrevivência das células durante os processos, diferenciação celular, técnicas para cultivo de células tronco, entre outros são estudos na biologia de grande importância para a biofabricação (MIRONOV, V et al. 2009). Este campo da ciência é fundamental na viabilização e obtenção de células com comportamento previsível para serem cultivadas tanto in vitro (bioreatores) ou in vivo (pacientes) e, assim, dar início à formação de tecidos (SILVA, J; DUALIBI, S. 2008).

A engenharia tecidual é um campo da ciência que engloba a biologia celular, biologia de desenvolvimento e biomateriais. O objetivo desta área é o desenvolvimento de técnicas de fabricação de tecidos que podem ser utilizados no tratamento de tecidos danificados ou perdidos por doenças (CORRÊA, M. 2006). A definição deste termo foi aceita em 1988 como “A aplicação dos princípios e métodos de engenharias e ciências da vida na direção do entendimento fundamental das relações estrutura-função em tecidos normais e patológicos de mamíferos e o desenvolvimento de substitutos biológicos para restaurar, manter ou incrementar a função do tecido”(SILVA, J; DUALIBI, S. 2008).

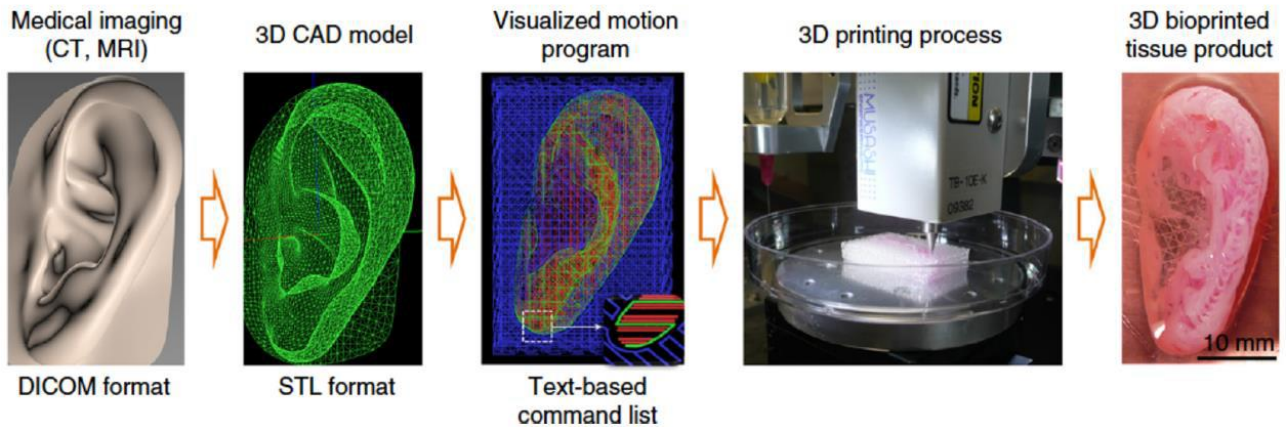
## **2.2 Tecnologias de Biofabricação**

Dentro da biofabricação existem métodos e técnicas para se obter o produto final como um tecido ou até mesmo um órgão. Sendo a impressão 3D de *scaffolds* e a bioimpressão as mais conhecidas. Independente do uso ou não de scaffolds, geralmente o passo a passo se resume à estas cinco etapas (Figura 6) (GUVENDIREN, 2016):

- Obtenção da imagem de exames como tomografia computadorizada ou ressonância magnética.
- Modelagem 3D em software de CAD do modelo a ser impresso a partir das imagens dos exames.
- Com auxílio de um programa de manufatura assistida por computador (do inglês computer aided manufacturing – CAM), fatia-se o modelo 3D em camadas e o traduz em um código que a impressora 3D consegue ler.

- Processo de impressão 3D

- Obtenção do produto a ser utilizado nos processos posteriores de biofabricação.



**Figura 6 – Etapas da bioimpressão**

Fonte: Guvendiren, M et al. *Designing Biomaterials for 3D Printing*

### 2.3 Impressão 3D

Mais conhecida como tecnologias de prototipagem rápida ou, popularmente, impressão 3D, a manufatura aditiva consiste na construção de objetos tridimensionais por meio da deposição de material de camada em camada (GIBSON, 2010). O desenvolvimento dessas tecnologias teve início no começo dos anos 80, onde o foco principal era voltado para a construção rápida de protótipos sem a necessidade de moldes ou remoção de material (CUNICO, M. 2015). Eventualmente, a qualidade da impressão melhorou e, atualmente em muitos casos, a impresso já pode ser considerado como produto final. Assim o termo “protótipo” não poderia ser aplicado e, com isso, adotou-se o nome manufatura aditiva. (GIBSON, 2010)

A grande vantagem desta tecnologia é a facilidade de transformar um modelo 3D, gerado anteriormente por um programa de desenho assistido por computador (do inglês *Computer Aided Design* ou CAD), em um objeto real. A manufatura aditiva simplifica significativamente o planejamento dos processos, uma vez que só requer alguns dados dimensionais básicos, conhecimento de como a impressora funciona e de qual material será utilizado (GIBSON, 2010). Outro aspecto relevante é que a construção em camadas permite trabalhar de forma rápida geometrias complexas ou até mesmo impossíveis quando comparadas com outros processos industriais (OLIVEIRA, 2007).

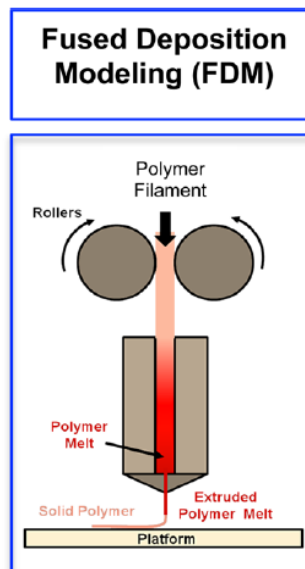
Dentro da área médica, essa tecnologia permite a fabricação de *scaffolds* (ver capítulo 2.2.1) de alta complexidade e de design flexível. Ela também possibilita o desenvolvimento de *scaffolds* modulares ou até mesmo específicos para o paciente a

partir de exames de imagem como a tomografia computadorizada ou por ressonância magnética (GUVENDIREN, 2016).

Por fim, capacidade de um biomaterial ser impresso depende fortemente do método de impressão utilizado. Dentre as mais diversas técnicas conhecidas na manufatura aditiva, listam-se abaixo as que comumente são utilizadas e adaptadas para área da biomédica (GUVENDIREN, 2016).

### 2.3.1 Extrusão de material

*Material Extrusion*, ou conhecido comercialmente como FDM, é um processo que envolve a extrusão do material aquecido até sua temperatura de fusão e solidificação sobre uma mesa enquanto o cabeçote de impressão e/ou a mesa se movem em um caminho predeterminado. É um método mais simples e amplamente utilizado na engenharia tecidual.



**Figura 7 – Representação esquemática da técnica de Extrusão de Material**  
**Fonte: Guvendiren, M et al. Designing Biomaterials for 3D Printing**

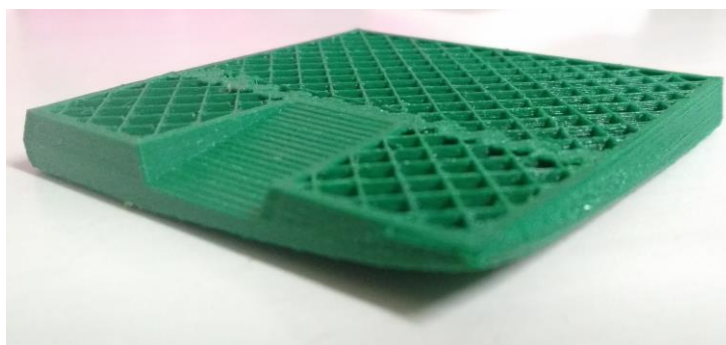
A maior limitação deste método se encontra ao tentar construir longas estruturas sem suporte, pois o material não consegue suportar a si mesmo imediatamente após extrusão (GUVENDIREN, M et al. 2016).

### 2.3.2 Terminologia

Para melhor compreensão dos capítulos a seguir, serão abordadas as terminologias mais comumente utilizadas dentro da impressão 3D. Mais especificamente, para a impressão do tipo extrusão de material.

### 2.3.2.1 Mesa Aquecida

Este componente tem como função melhorar a adesão da peça na mesa e prevenir que o material extrudado se resfrie rápido demais, causando uma falha na peça impressa conhecida como empenamento. (REPRAP ORG. 2017)



**Figura 8 – Exemplo de peça que descolou da mesa e empenou**  
Fonte: Autoria própria

Comumente feitas de alumínio, são placas metálicas que possuem internamente resistências elétricas para elevar sua temperatura.

### 2.3.2.2 Hotend

O *Hotend* compreende a parte do bocal aquecido no mecanismo da extrusora. Ela deve ser capaz de se aquecer o suficiente para derreter o plástico ou, potencialmente, outros materiais. Geralmente para os materiais polímeros mais utilizados como PLA ou ABS, as temperaturas variam de 180°C à 220°C e 240°C à 260°C respectivamente. (REPRAP ORG. 2017)

### 2.3.2.3 Termistores

Estes componentes têm a função medir a temperatura em um ponto, neste caso, no *hot-end* e na mesa aquecida. Por meio da alteração de sua resistência elétrica em função da temperatura, eles permitem o controle preciso das temperaturas de trabalho em uma impressora 3D. (STEFFENS. 2016)

## 2.3.3 Configuração da Extrusão de Material

Dentro da impressão por extrusão de material, há duas formas de configuração para o funcionamento da extrusora: a *Direct-Drive* e a *Bowden*, ambas com suas vantagens e desvantagens. Na configuração *Direct-Drive* o motor da extrusora é conectada

diretamente com o *Hotend*. Esta é a configuração mais comumente encontrada nas impressoras devido à simplicidade e praticidade do projeto. No caso da configuração Bowden, todo o sistema de tração do filamento fica separado do cabeçote de extrusão. Neste caso, a vantagem reside na redução de peso das partes móveis o que resulta em menos inércia e possibilita uma máquina menos robusta. (GRIFFEY, J. 2014)

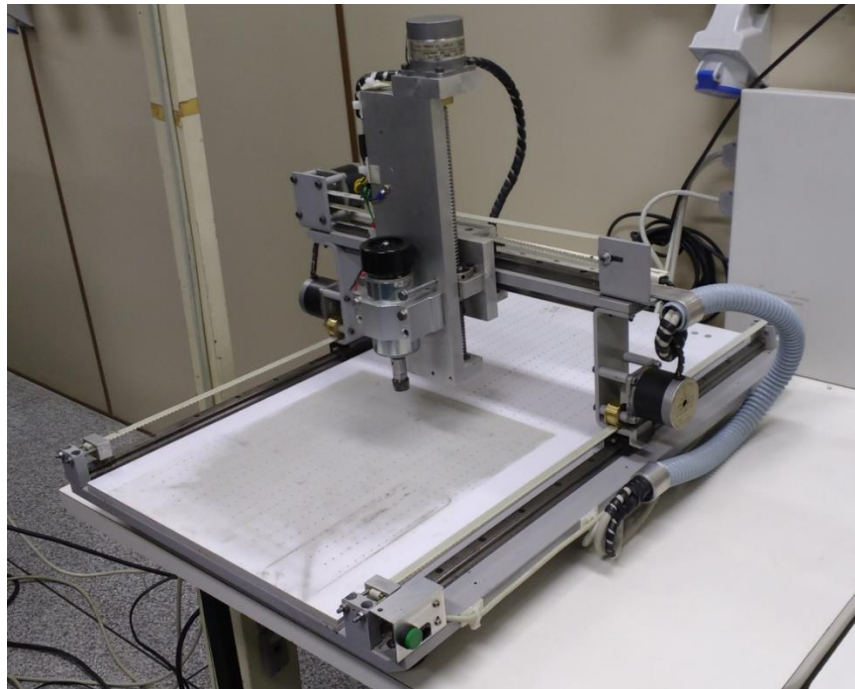
Neste projeto, optou-se por projetar o cabeçote em uma configuração do tipo *Direct-Drive*. A máquina é, devido à sua natureza como uma fresadora CNC, mais que suficientemente robusta para aplicação em manufatura aditiva e também essa configuração.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da Máquina

O equipamento a ser trabalhado é um fresadora CNC de 3 eixos (Figura 9) construída pelo professor orientador Sidney Gasoto. Sua mesa permanece parada e é o cabeçote que realiza os movimentos nos eixos X, Y e Z. Ela possui dimensões de trabalho de 63x30x35 cm e alcança uma resolução de aproximadamente 0,01mm.

Sua estrutura é composta principalmente de placas de aço integradas por uniões parafusadas e foi construída numa configuração do tipo ponte rolante (Gantry). A escolha por este tipo de configuração é pela simplicidade do projeto e para promover maior rigidez.



**Figura 9 – Foto da máquina CNC**


**Fonte: Autoria própria**

Nos eixos X (maior curso) e Y, o movimento é dado por motores de passo sendo dois no eixo X e apenas um no Y. Suas transmissões são realizadas por correias dentadas que deslizam sobre guias lineares. O carro do eixo Z é composto por uma mesa deslizante no qual seu movimento é dado por um fuso de esferas.

O controle da máquina é realizado pelo *software* de código aberto LinuxCNC.

### 3.2 Material de Impressão

Existe uma vasta gama de materiais utilizados para impressão 3D e, com o rápido avanço dessa tecnologia, cada vez mais novos polímeros são desenvolvidos. A tabela abaixo, adaptada da empresa Simplify3D, compara esses materiais em diversos critérios.

	 ABS	 PLA	 PETG
<b>Tensão de Ruptura</b>	 40 MPa	 65 MPa	 53 MPa
<b>Rigidez</b>	 5 / 10	 7.5 / 10	 5 / 10
<b>Durabilidade</b>	 8 / 10	 4 / 10	 8 / 10
<b>Imprimibilidade</b>	 8 / 10	 9 / 10	 9 / 10
<b>Mesa aquecida</b>	Required	Optional	Required

**Quadro 1- Comparativo de materiais para impressão 3D**  
Adaptado do site da Simplify3D

Para este trabalho, foi selecionado o PLA devido à não necessidade da mesa aquecida e, além disso, esse material é comumente conhecido como um dos mais fáceis de imprimir.

### 3.3 Planejamento

Para melhor organizar o que e como seria realizado este projeto, os seguintes passos foram definidos:

- Escolha dos componentes.
- Projeto do suporte da extrusora e do *hotend*.
- Fabricação
- Eletrônica
- Montagem e instalação
- Software
- Testes e definição de parâmetros de impressão

## 4 PROJETO E ADAPTAÇÃO DO EQUIPAMENTO

### 4.1 Componentes

Para a escolha dos componentes a serem utilizados, primeiramente foi necessário decidir qual tipo de impressora seria construída. Dentre as diversas opções citadas anteriormente, a impressão por extrusão de material foi escolhida devido ao projeto mais simples.

Neste trabalho, só foi necessário a compra da extrusora, pois todo sistema de controle do cabeçote já estava pronto. Por fim, foi selecionado o conjunto MK8 Extruder da empresa GeeTech com o *Hotend* E3D V6 .



Figura 10 - MK8 Extruder da empresa GeeTech®  
Fonte: Site oficial da GeeTech



Figura 11 – *Hotend* E3D V6 da E3D  
Fonte: Site oficial da E3D

### 4.2 Projeto do suporte da extrusora e do *Hotend*

Como mencionado, foram considerados dois tipos de configuração para extrusora: *Direct-Drive* ou *Bowden*. Como a máquina é robusta o suficiente para suportar o peso da extrusora, foi escolhida a configuração do tipo *Direct-Drive*. Outra consideração levantada



foi a de minimizar ao máximo as alterações na fresadora, ou seja, evitar a adição de mais furos no carro do eixo Z.

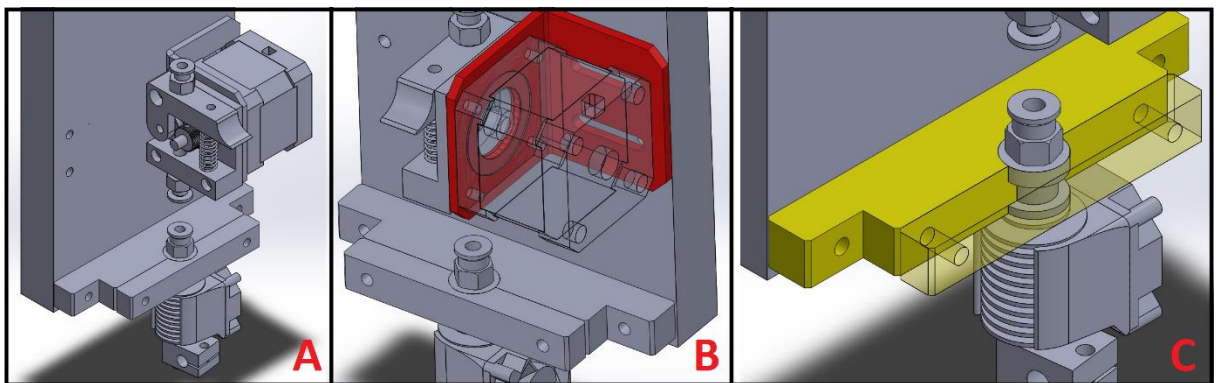
Inicialmente, foi utilizado como referência alguns suportes comerciais.

Este projeto é relativamente simples: uma chapa metálica dobrada com furos para encaixe do motor e ranhuras para fixação na máquina. Entretanto, devido a posição dos furos roscados na fresadora, o bico extrusor não alcançaria a mesa.



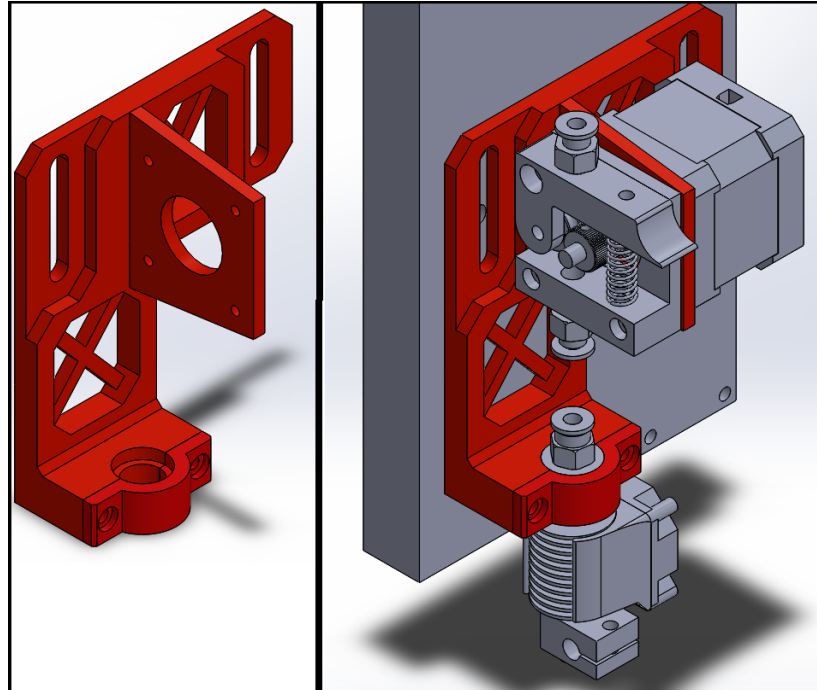
**Figura 12 – Suporte da extrusora da empresa GeeTech**  
**Fonte: Site Oficial GeeTech®**

Para contornar este problema, um segundo projeto inspirado na configuração do tipo Bowden foi concebido. Não é exatamente um Bowden, pois o motor continua acoplado ao carro Z, mas o *hot end* ficaria separado do motor em um suporte a parte e ambos seriam conectados por um tubo de PTFE (*Teflon*). O impasse, agora, é que só havia furos disponíveis no lado inferior direito do carro Z o que tornaria difícil o alinhamento da entrada do *hot end* com a saída do motor (não era possível alterar o sentido em que o motor estava acoplado devido à geometria do restante da extrusora).



**Figura 13 – Primeira versão do projeto do suporte**  
**Fonte: Autoria própria**

Levando em consideração os problemas levantados anteriormente, uma terceira opção foi projetada. Aó invés de fabricar os suportes por fresamento, poderia ser empregada a própria impressão 3D, o que daria maior liberdade na geometria da peça. Baseado no projeto anterior, o suporte do motor e do *hotend* seriam uma única peça como demonstrado na imagem abaixo.

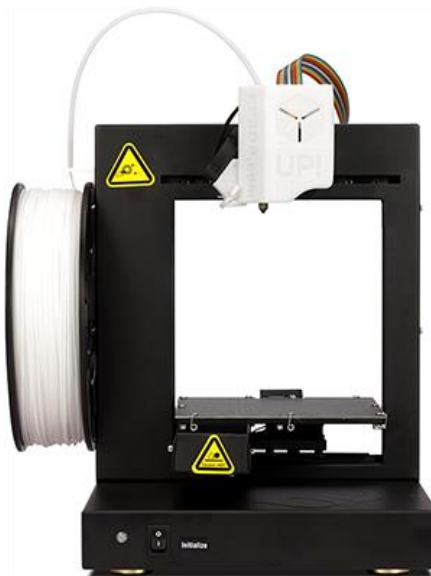


**Figura 14 – Projeto final do suporte e montagem**  
**Fonte: Autoria própria**

O desenho final da peça pode ser encontrda no anexo 1.

### **4.3 Fabricação**

A fabricação do suporte foi realizada por uma outra impressora 3D modelo Up Plus 2 da marca Akad, ilustrada na figura abaixo. Ela possui um volume de impressão de 140x140x135mm, sistema de nivelamento automático, software próprio e capacidade de trabalhar com ABS ou PLA.



**Figura 15 – Impressora 3D Up Plus 2 da empresa Akad**  
**Fonte: Site Oficial da Akad**

Neste trabalho, o material utilizado foi o polímero ABS devido à sua disponibilidade no momento. O grau de preenchimento (“densidade” da malha para preencher a peça) foi definido em 50%. Inicialmente devido à erros nas medidas, as primeiras peças foram descartadas e o projeto foi corrigido posteriormente.

#### **4.4 Eletrônica**

Microcontroladores são pequenos computadores comumente utilizados para realizar tarefas específicas e seus respectivos *Firmwares* são os *softwares* que carregam sua programação. Neste trabalho, foi utilizado a placa SmoothieBoard da SmoothieWare. Ela executa o *firmware* Smoothie, um sistema *opensource* de controle CNC e interpretador de G-code capaz de controlar tanto impressoras 3D como fresadoras CNC e máquinas de corte à laser.

A imagem abaixo representa esquematicamente os pinos da placa.

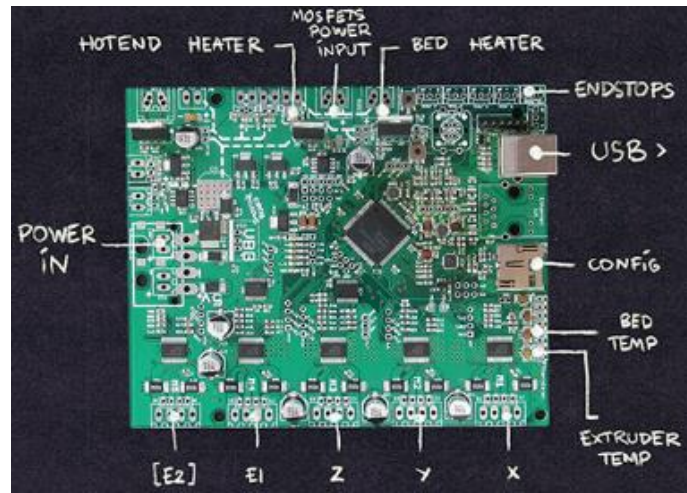


Figura 16 - Representação esquemática para instalação da SmoothieBoard  
Fonte: Site hackaday

#### 4.5 Montagem e Instalação

Após a fabricação do suporte, a montagem da extrusora foi realizada. Para a fixação do conjunto suporte-extrusora na máquina, aproveitou-se dos furos roscados que o cabeçote de fresamento utilizava.

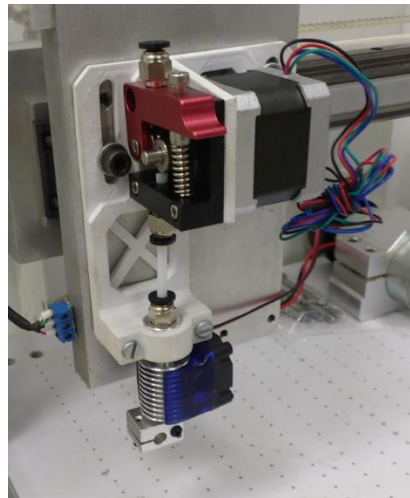
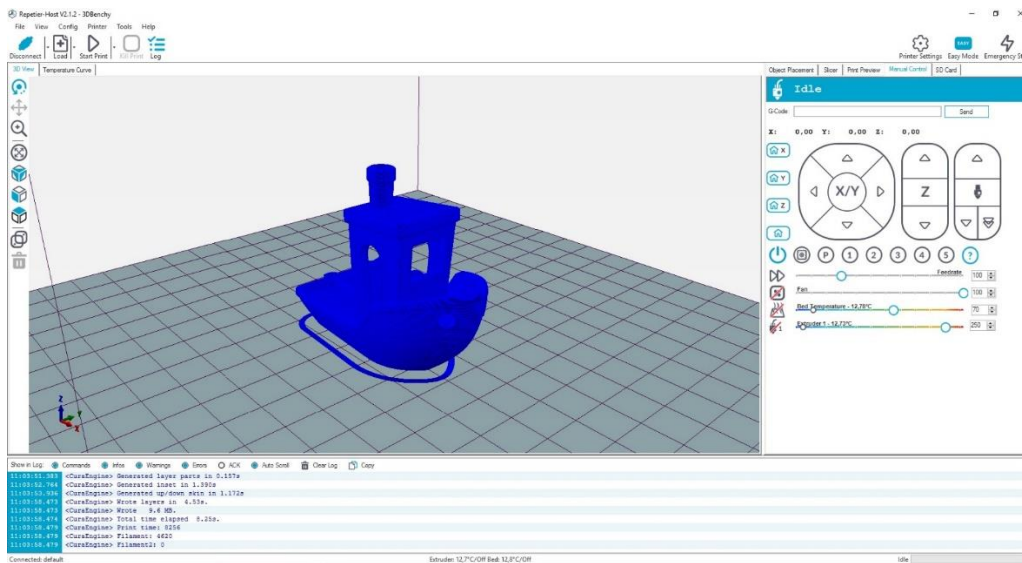


Figura 17 - Suporte montado sem o cabeamento  
Fonte: Autoria própria

#### 4.6 Software

Programas de *host* de impressoras 3D realizam a interface entre o usuário e a máquina. Geralmente são utilizados para carregar o modelo 3D gerado por um programa de CAD, fatia-lo em camadas e gerar o G-Code para realizar a impressão.

Neste caso, o *software* utilizado foi o Repetier Host da empresa Hot-World GmbH & Co. Esse programa promove uma interface amigável que já possui incluso um programa de fatiar (Slicer), permite a pré-visualização e edição do G-Code gerado.



**Figura 18 - Interface do programa Repetier Host**  
**Fonte: Autoria Própria**

#### 4.7 Testes e definição de parâmetros de funcionamento

O método proposto foi imprimir vários cubos de 1 cm de lado em PLA variando os parâmetros de impressão para, assim, determinar qualitativamente qual combinação resultava em uma peça satisfatória. Dentre as diversas variáveis existentes, a tabela abaixo resume os parâmetros trabalhados: (RITTER, 2014)

**Tabela 2 – Parâmetros de impressão propostos**

**(continua)**

Parâmetro	Unidade	Descrição
Altura de camada	mm	Altura, em mm, de cada camada. Quanto menor o valor, melhor o acabamento.
Velocidade de impressão (perímetro)	mm/s	Velocidade do movimento da máquina durante impressão dos perímetros externos. Geralmente, quanto mais devagar, melhor a qualidade.

**Tabela 2 – Parâmetros de impressão propostos**

			<b>(conclusão)</b>
Parâmetro	Unidade	Descrição	
Velocidade de impressão (preenchimento interno)	mm/s	Velocidade do movimento da máquina durante impressão do preenchimento interno. Não afeta o acabamento externo, mas influencia a integridade estrutural da peça.	
Velocidade de impressão (Base e topo)	mm/s	Velocidade do movimento da máquina durante impressão da base e do topo. Valores menores ajudam a promover uma melhor adesão na mesa.	
Temperatura da extrusora	°C	Deve ser uma temperatura suficiente para permitir o fluxo do material.	

**Fonte: Autoria Própria**

Nota-se que o objetivo na definição destes parâmetros é obter um balanço entre a qualidade da peça e o tempo de impressão, pois, geralmente, peças com melhor acabamento requerem maior tempo de impressão. Observa-se também que existem mais fatores que podem influenciar, como suportes, padrões de preenchimento, pontes, entre outros que não foram testados.

## 5 RESULTADOS

A construção e instalação do cabeçote da extrusora foi realizado com sucesso. A máquina se movimentou nos 3 eixos X, Y e Z e realizou a extrusão de material com controle de temperatura do *Hotend*. Em relação aos objetivos específicos, todo o passo a passo da adaptação foi documentado e, como o cabeçote é intercambiável, a máquina ainda é capaz de trabalhar como uma fresadora.

Entretanto, durante os primeiros testes de movimentação e extrusão, houve um curto circuito na placa eletrônica. Assim, não foi possível realizar o restante dos testes de impressão e, com isso, não se obteve os parâmetros de impressão.

## 6 CONCLUSÕES

O objetivo geral proposto neste trabalho foi a adaptação de um cabeçote de impressão 3D em uma fresadora CNC de 3 eixos. Todo o suporte da extrusora foi projetado, fabricado e instalado, porém não foi possível realizar os testes de impressão até a presente data.

Como outras recomendações para trabalhos futuros, há medidas que podem melhorar a qualidade de impressão e também possibilitar a utilização de outros materiais. Primeiramente, a instalação de uma mesa aquecida facilitaria a adesão na mesa e permitiria a utilização de outros polímeros como o ABS ou PETG. A construção de um enclausuramento na máquina promoveria um ambiente mais controlado e protegeria a peça de fatores externos que podem prejudicar sua qualidade final. Por fim, dedicar mais tempo na determinação de parâmetros de impressão pode melhorar dramaticamente o acabamento final do produto.

## REFERÊNCIAS

ARAI, Kenichi et al. **Three-dimensional inkjet biofabrication based on designed images**. *Biofabrication*, v. 3, n. 3, p. 034113, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS. **Dimensionamento dos Transplantes no Brasil e em cada estado**. 2016. Disponível em <<http://www.abto.org.br/abtov03/Upload/file/RBT/2016/RBT2016-leitura.pdf>> Acesso em 29 de Abril de 2017

CORRÊA, Mônica Grazieli. **Engenharia tecidual e regeneração periodontal**. 2006

CUNICO, Marlon Wesley Machado. **Impressoras 3D: O novo Meio Produtivo**. Concep3d Pesquisas Científicas, 2015.

ENVISIONTEC. **3D-BioPlotter**. Disponível em <<https://envisiontec.com/3d-printers/3d-bioplotters/>> Acesso em 6 de Maio de 2017

FERRIS, Cameron J. et al. **Biofabrication**: an overview of the approaches used for printing of living cells. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 97, n. 10, p. 4243-4258, 2013.

GIBSON, Ian et al. **Additive manufacturing technologies**. New York: Springer, 2010.

GUVENDIREN, Murat et al. **Designing biomaterials for 3D printing**. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, v. 2, n. 10, p. 1679-1693, 2016.

MELCHELS, Ferry PW et al. **Additive manufacturing of tissues and organs**. *Progress in Polymer Science*, v. 37, n. 8, p. 1079-1104, 2012.

MIRONOV, V. et al. **Biofabrication**: a 21st century manufacturing paradigm. *Biofabrication*, v. 1, n. 2, p. 022001, 2009.

MIRONOV, Vladimir; KASYANOV, Vladimir; MARKWALD, Roger R. **Organ printing**: from bioprinter to organ biofabrication line. *Current opinion in biotechnology*, v. 22, n. 5, p. 667-673, 2011.

MURPHY, Sean V.; ATALA, Anthony. **3D bioprinting of tissues and organs**. *Nature biotechnology*, v. 32, n. 8, p. 773-785, 2014.



NAKAMURA, M. et al. **Biomatrices and biomaterials for future developments of bioprinting and biofabrication.** Biofabrication, v. 2, n. 1, p. 014110, 2010.

OLIVEIRA, Marcelo F. et al. **Construção de Scaffolds para engenharia tecidual utilizando prototipagem rápida.** Revista Matéria, v. 12, n. 2, p. 373-382, 2007.

PEREIRA, Frederico David Alencar de Sena et al. **Desenvolvimento de um cabeçote para extrusão de filamento fundido aplicado a manufatura aditiva.** 2014. Disponível em  
<[http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265944/1/Pereira%2c%20Frederico%20David%20Alencar%20de%20Sena\\_M.pdf](http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265944/1/Pereira%2c%20Frederico%20David%20Alencar%20de%20Sena_M.pdf)> Acesso em 18 de Abril de 2017

REGENHU. 3D Bio-Printers. Disponível em <<https://www.regenhu.com/products/3d-bioprinting.html>> Acesso em 6 de Maio de 2017

REPRAP ORG. Heated Bed. 2017. Disponível em <<https://reprap.org>> Acesso em 15 de Abril de 2018

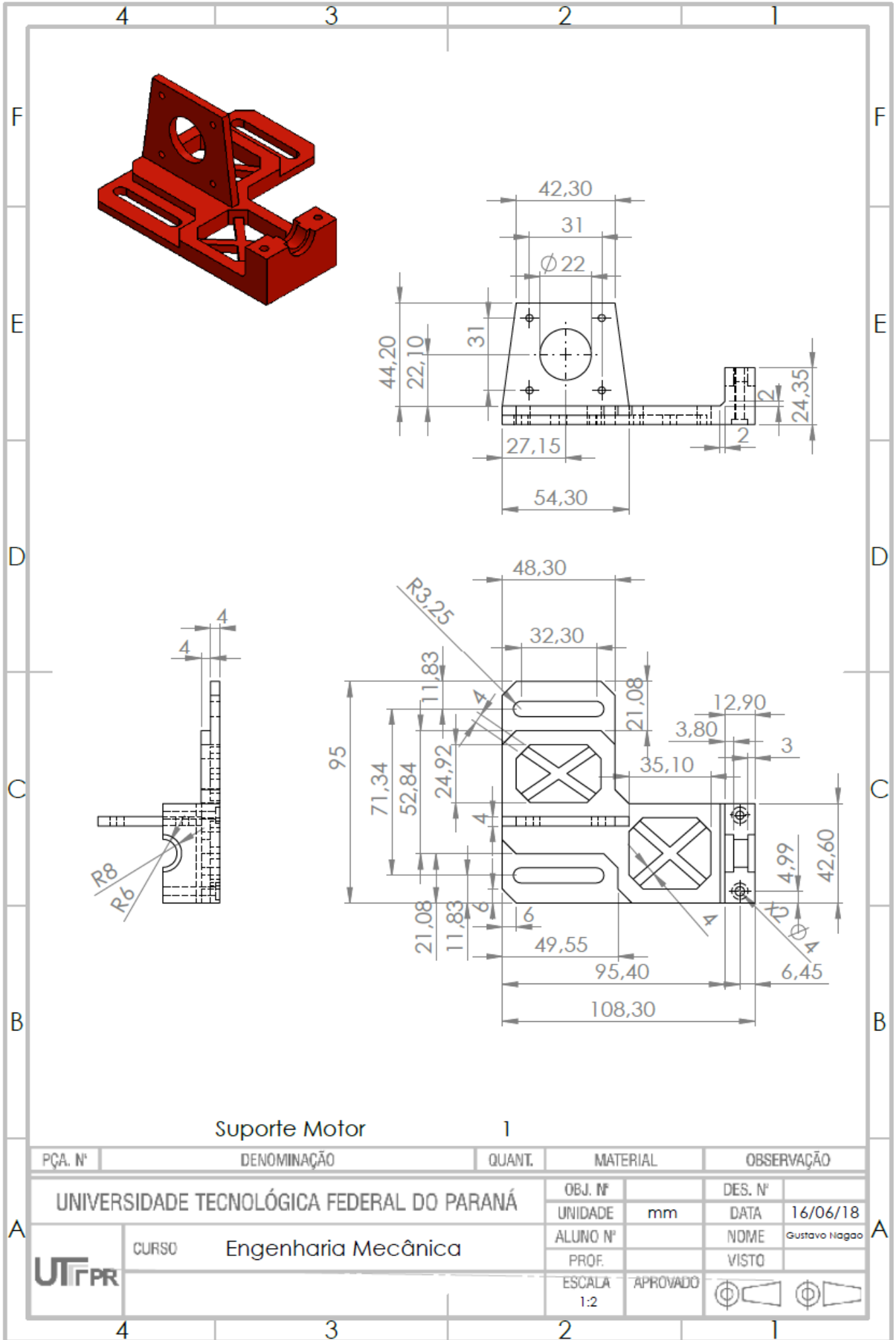
REPRAP ORG. Hot End. 2017. Disponível em <<https://reprap.org>> Acesso em 15 de Abril de 2018

RITTER, Gustavo Marques. Influência dos Parâmetros de uma Impressora 3D Sobre a Produção de Peças. 2014. Disponível em  
<[http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Gustavo\\_Marques\\_Ritter.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Gustavo_Marques_Ritter.pdf)>  
Acesso em 16 de Junho de 2018

SILVA, Jorge Vicente Lopes da; DUAILIBI, Silvio Eduardo. **A biofabricação de tecidos e órgãos.** ComCiência, n. 102, p. 0-0, 2008. Disponível em  
<[http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-76542008000500010&lng=es&nrm=iso](http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542008000500010&lng=es&nrm=iso)> Acesso em 18 de Abril de 2017

STEFFENS, César Augusto. O funcionamento e uso de alguns sensores. 2016. Disponível em  
<<http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20061/Cesar/SENSORES-Termistor.html>> Acesso em 15 de Abril de 2018

ANEXO A – PROJETO DO SUPORTE DA EXTRUSORA



Suporte Motor

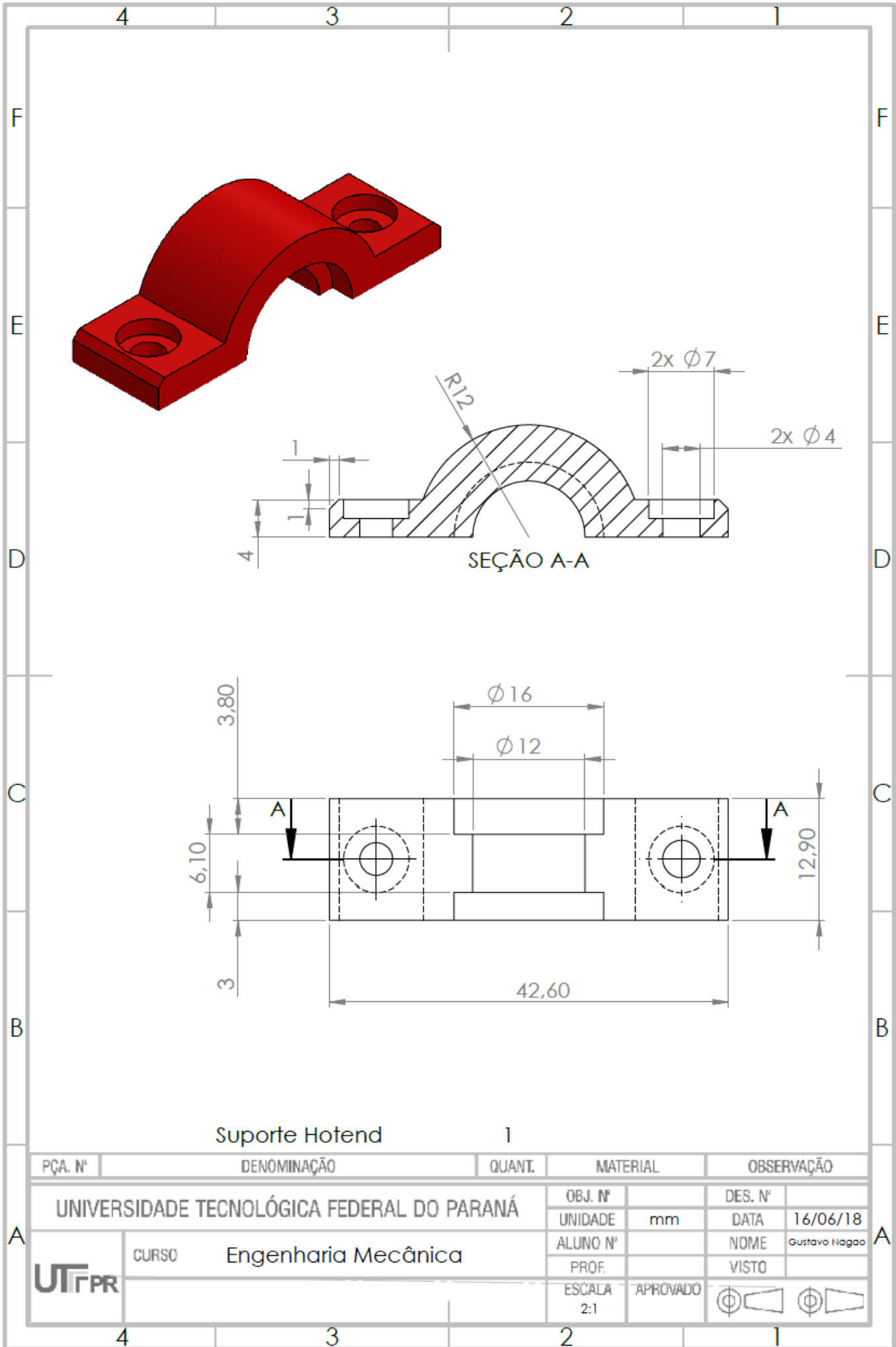
1

PÇA. N°	DENOMINAÇÃO	QUANT.	MATERIAL	OBSERVAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ				
			OBJ. N°	DES. N°
			UNIDADE	mm
			ALUNO N°	DATA 16/06/18
			PROF.	NOME Gustavo Nagao
			ESCALA	VISTO
			1:2	APROVADO



CURSO Engenharia Mecânica

ANEXO B – PROJETO DO SUPORTE DO HOTEND



Suporte Hotend 1

PÇA. N°	DENOMINAÇÃO	QUANT.	MATERIAL	OBSERVAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. N°	DES. N°	
		UNIDADE	mm	DATA 16/06/18
		ALUNO N°	NOME	Gustavo Nagao
		PROF.	VISTO	
		ESCALA 2:1	APROVADO	

A

A



CURSO Engenharia Mecânica

