



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS  
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL  
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL



JANAINA GRASIELLE DE ALMEIDA

## **Construção de uma impressora 3D de baixo custo**

MANAUS - AM

2021

JANAINA GRASIELLE DE ALMEIDA

## **Construção de uma impressora 3D de baixo custo**

Trabalho de Graduação apresentado ao corpo docente do departamento de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal do Amazonas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Tecnóloga em Mecatrônica Industrial.

Área de concentração: Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me. José Fábio de Lima Nascimento

MANAUS - AM

2021

Ministério da Educação



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas



Campus Manaus Distrito Industrial

Tecnologia em Mecatrônica Industrial

---

---

### Construção de uma impressora 3D de baixo custo

JANAINA GRASIELLE DE ALMEIDA

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AOS DOCENTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DO INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE TECNÓLOGA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL.

Aprovado em \_\_\_ de \_\_\_ de 20\_\_.

#### BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. José Fábio de Lima Nascimento

Orientador

Instituto Federal do Amazonas – IFAM CMDI

---

Prof. Me. Sandro Lino Moreira de Queiroga

Instituto Federal do Amazonas – IFAM CMDI

---

Prof. Me. Ricardo Brandão Sampaio

Instituto Federal do Amazonas – IFAM CMDI

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família, em especial a minha irmã Jaqueline, por ser meu porto seguro.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Mestre Fábio pela disponibilidade e pela autonomia que me deu durante a realização deste trabalho. Gostaria de agradecer a oportunidade que me ofereceu em realizar a dissertação numa área tão emergente como a impressão 3D.

À Prof. Dra. Hélvia Lira do Instituto Federal do Amazonas (IFAM) Campus Manaus Centro, pelo aconselhamento numa fase muito inicial do trabalho relativamente à possíveis caminhos que esta dissertação poderia tomar.

Aos meus amigos agradeço toda a compreensão.

Aos meus Pais, por estarem sempre presente, nos meus melhores e piores momentos, pelo carinho, paciência, e confiança com que sempre preencheram os meus dias.

*“Mesmo desacreditado e  
ignorado por todos, não posso  
desistir, pois para mim, vencer é  
nunca desistir”  
Albert Einstein*

## RESUMO

Neste estudo é apresentado o desenvolvimento do protótipo de uma impressora 3D caseira e de baixo custo. Há diversas técnicas de manufatura aditiva, e a modelagem por fusão e deposição é a tecnologia de impressão 3D mais comum, que a partir do método de prototipagem rápida, se torna útil para confecção de peças de forma simples, barata e personalizada. O frame (estrutura) foi feito com madeiras recicláveis, a parte da eletrônica foi adquirida no mercado de varejo on-line internacional e os demais itens com o menor preço disponível no mercado. Foram necessários estudos aprofundados acerca das principais técnicas de manufatura aditiva, de funcionamento e utilização de softwares e firmware específicos. Na construção da impressora 3D de baixo custo, foi definida a estrutura, a especificação de componentes, a aplicação de uma solução de controle em Arduino, a fabricação, a montagem e a realização de testes e ensaios do objeto real gerado. Após a montagem, calibração e aferição da impressora constatou-se o potencial e a qualidade das peças impressas.

**Palavras - chave:** impressora 3D de baixo custo, protótipo, calibração, aferição

## **ABSTRACT**

This project presents the prototype development of a low-cost 3D printer. There are several additive manufacturing techniques, and modeling by fusion and deposition is the most common 3D printing technology, which from the rapid prototyping method, becomes useful for making parts in a simple, cheap and personalized way. The frame (structure) was made with recyclable wood and the electronics compounds was acquired in the international online retail market and the other items with the lowest price available in the market. In-depth studies were needed on the main additive manufacturing techniques, functioning and use of specific software and firmware. In building the low-cost 3D printer, we defined the structure, the specification of components, the application of a control solution in Arduino, the fabrication, assembly and testing of the real generated object. After assembling, calibrating and gauging the printer, the potential and quality of the printed parts was verified.

Keywords: low cost 3D printer, prototype, calibration, gauging

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

IFAM Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

CAD Projeto Assistido por Computador

FDM Modelação por Extrusão de Plástico

IDE Integrated Development Environment

PID Proporcional Integrativo Derivativo

PLA Plástico de Políácido Láctico

ABS Copolímero de Acrilonitrilo, Butadieno e Estireno

PWM Pulse Width Modulation

RAMPS Arduino Mega Pololu Shield

RepRap Replicating Rapid Prototyper

3D Três dimensões

RP Prototipagem Rápida

MDF Placa de fibra de média densidade

MDP Painel de Partícula de Média Densidade



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Dados movimentação de recurso de impressora 3D até 2020.....	18
Figura 2 Demanda de impressora 3D de 2007 a 2017.....	18
Figura 3 Sethi3D AiP - 1.75mm.....	20
Figura 4 GTMax3D Core A2v2 .....	20
Figura 5 Creality Ender 3 .....	21
Figura 6 Impressora Volt 3D.....	22
Figura 7 Moust Builder 2 .....	22
Figura 8 3D Stella 3 Lite .....	23
Figura 9 Microcontrolador .....	29
Figura 10 Arduino Mega 2560 .....	30
Figura 11 Display LCD .....	30
Figura 12 Mesa aquecedora.....	32
Figura 13 Sensor de Temperatura NTC - Termistor 100k.....	32
Figura 14 Fonte de Alimentação 12V – 30A.....	33
Figura 15 Motor de Passo .....	33
Figura 16 Driver de motor de passo DRV8825.....	34
Figura 17 Modulo chave fim de curso .....	35
Figura 18 Hotend.....	36
Figura 19 Marlin .....	37
Figura 20 Repetier-Host .....	38
Figura 21 Arduino IDE .....	39
Figura 22 Diagrama de Funcionamento .....	40

Figura 23 Estrutura horizontal – Eixo Y .....	41
Figura 24 Estrutura vertical – Eixo Z .....	42
Figura 25 Estrutura do Eixo X .....	42
Figura 26 Estrutura montada.....	43
Figura 27 Eixo X Finalizado.....	44
Figura 28 Eixo Y Finalizado.....	44
Figura 29 Eixo Z Finalizado.....	45
Figura 30 Motores de passo com peças acopladas .....	45
Figura 31 Fim de curso (endstop) dos eixos .....	46
Figura 32 Mesa aquecida parafusada ao carro do eixo Y .....	46
Figura 33 Hotend V6 parafusado ao carro do eixo X .....	47
Figura 34 Local do Hardware para configuração dos passos .....	49
Figura 35 Modulo DRV8825 com resistores de 100 $\Omega$ .....	50
Figura 36 Método de configuração do módulo DRV8825.....	51
Figura 37 Interface de Configuration.h do Marlin .....	52
Figura 38 Objeto 3D na mesa virtual do Repetier .....	55
Figura 39 Impressora 3D.....	56
Figura 40 Cubo de Calibração.....	56
Figura 41 Medição do cubo, eixos X, Y e Z respectivamente. ....	56
Figura 42 Aquisição de peças no mercado .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Resolução do micro passo do motor .....	49
Tabela 2 Parâmetros no Firmware Marlin .....	52
Tabela 3 Parâmetros específicos alterados no Firmware Marlin, de acordo com software Repeitier. ....	54
Tabela 4 Parâmetros de calibração.....	57
Tabela 5 Custo com Insumos da impressora 3D.....	58

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo geral.....	16
2.2. Objetivos específicos .....	16
2.3. Justificativa .....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1. OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS E A PROTOTIPAGEM 3D .....	17
3.2. AS IMPRESSORAS 3D .....	19
3.3. MÉTODOS DE PROTOTIPAGEM 3D .....	23
3.3.1. Estereolitografia (SLA) .....	24
3.3.2. Impressão Tridimensional (TDP).....	24
3.3.3. Sinterização seletiva a laser (SLS) .....	24
3.3.4. Modelação por extrusão de plástico (FDM).....	24
3.3.5. Manufatura de objeto em lâminas (LOM) .....	25
3.4. INSUMOS UTILIZADOS NAS IMPRESSÕES 3D .....	25
3.4.1. PLA (Polylactic Acid) .....	25
3.4.2. ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene).....	26
3.4.3. PETG .....	26
3.4.4. NYLON.....	26
3.4.5. Flexíveis TPE, TPU e TPC .....	27
3.4.6. PC .....	27

3.5. PRINCIPAIS COMPONENTES E PROGRAMAS UTILIZADOS NAS IMPRESSORAS 3D .....	28
3.6. Sistema de Controle .....	28
3.7. Microcontrolador .....	28
3.8. Arduino Mega 2560.....	29
3.9. Smart Display LCD .....	30
3.10. Mesa Aquecida e Sensor de Temperatura NTC Termistor 100k.....	31
3.11. Fonte Chaveada.....	32
3.12. Motor de Passo .....	33
3.13. Número de passos de um motor .....	34
3.14. Drive motor de passo DRV8825.....	34
3.15. Chave Fim de Curso .....	35
3.16. Hotend.....	35
3.17. FIRMWARE E SOFTWARE .....	36
3.18. Marlin .....	36
3.19. Repetier-Host .....	37
3.20. Fatiador (Slicer).....	38
3.21. IDE Arduino.....	38
4. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO.....	39
4.1.FUNIONAMENTO.....	39
4.2.PROJETO MECÂNICO.....	40
4.3. Estrutura da impressora.....	40
4.3.1. Eixo X.....	43

4.3.2. Eixo Y.....	44
4.3.3. Eixo Z.....	44
4.4. PROJETO ELÉTRICO.....	45
4.5. CONFIGURAÇÕES.....	48
4.5.1. Configuração do passo dos motores.....	48
4.5.2. Configuração do módulo DRV8825.....	50
4.6. FIRMWARE / SOFTWARE.....	51
4.6.1. Marlin.....	52
4.6.2. Repetier Host.....	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
5.1. Montagem da Máquina.....	55
5.2. COMPARAÇÃO DE PEÇAS IMPRESSAS.....	56
5.3. INSUMOS UTILIZADOS NAS IMPRESSÕES 3D.....	57
6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....	60
REFERÊNCIAS.....	61

## 1. INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que não muito tempo atrás os avanços tecnológicos eram vistos apenas em filmes de ficção científica, como máquinas inteligentes, informática avançada e equipamentos “modernos”, como as que geravam materiais sólidos de forma imediata, que hoje, reconhecemos como impressoras 3D. Quem imaginaria que ainda no século XIX seriam desenvolvidos no seio das universidades e institutos a ideia da produção de impressoras 3D, sendo utilizado material de baixo custo, tal qual é evidenciado neste trabalho. No entanto, para que se chegue aos dias de hoje, é necessário retornar na linha do tempo para compreender de onde se originou essa tecnologia.

As impressoras 3D surgiram com um nome específico, “*Máquinas de prototipagem rápida*” (PR), estas máquinas imprimiam protótipos de peças, o que já era a constatação de um incrível avanço tecnológico (Cunha, 2013), tornando possível a obtenção dos produtos já em sua versão final, prontos para uso e comercialização. Porém, somente em 1995, o termo “impressora 3D”, surgiu com um maior apelo comercial, pelos estudantes do MIT, Tim Anderson e Jim Bredt, fundadores da Z Corporation.

Apesar de ser recentemente popularizada, quando muitos sequer sabiam o que era a internet, no final dos anos 60, o professor Herbert Voelcker, se questionou sobre as possibilidades de fazer “algo interessante” recorrendo a ferramentas de máquinas automáticas controladas por computador, e desenvolveu ferramentas matemáticas básicas para descrever aspectos tridimensionais, resultando nas primeiras teorias matemáticas e algorítmicas para modelação de sólidos. Em 1986, Carl Deckard, investigador da Universidade do Texas, surgiu com um uma ideia revolucionária, sendo pioneiro na construção de um modelo baseado em camadas, imprimindo objetos tridimensionais utilizando Sinterização Seletiva a Laser (SLS) em protótipos sólidos. Porém, no mesmo ano, o engenheiro americano Charles Hull patenteou em

1986 <sup>1</sup> a estereolitografia (SLA), criando uma lâmpada à base de resinas e com isso a indústria o reconhece como o “pai” desta tecnologia.

Poucos anos depois, em 1989, S. Scott Crump desenvolveu a primeira impressora de Modelagem por Extrusão de Plástico (FDM).

As patentes registradas por Crump expiraram em 2009, ano em que “coincidentalmente” começaram a surgir dezenas de startups (graças aos milhões que recebiam via crowdfunding, vide Pirate3D e a Formlab) como a MakerBot, fabricante da Thing-O-Matic e da Replicator, com o propósito de transformar impressoras 3D em máquinas pessoais, assim como a Apple fez com os computadores. (Roncolato, 2013)

Com a expiração das patentes de Fused Deposition Modeling (FDM) (Crump 1988) em meados dos anos 2000, Adrian Bowyer idealizou o conceito de máquinas auto-replicas, capazes de fabricar suas próprias peças sozinhas, tão simples e fáceis que qualquer pessoa seria capaz de construí-los (Holland, D, O’Donnell, G., Bennett 2010; Sells et al. 2007; Jones et al. 2011).

Este foi o início do projeto RepRap (ou Replicando Prototipador rápido). RepRap é um prototipador rápido para desktop de baixo custo que fabrica aproximadamente 57 % de seus próprios componentes mecânicos. Este projeto foi desenvolvido usando uma abordagem de Design aberto, em que informações detalhadas sobre o design técnico e as operações de dispositivo se encontram disponíveis publicamente na Internet.

Desta forma, são propostos abaixo, baseados nos conceitos e registros de desenvolvimento de impressoras 3D, os objetivos e justificativa da elaboração deste trabalho.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.google.com.br/patents/US4575330?hl=pt-BR&dq=charles+hull>.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Projetar, construir e testar uma impressora 3D baseada na tecnologia de modelagem por fusão e deposição, com um preço abaixo do valor de impressoras 3D similares existentes a venda no mercado, porém com uma qualidade de impressão e exatidão inferior.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Desenvolver o projeto estrutural da impressora (mecânica, elétrica e eletrônica), baseada em outras referências de mercado.
- Compilar *firmware* no projeto de controle da impressora.
- Especificar os componentes.
- Especificação dos desenhos de conjunto e das peças que compõe o frame da impressora.
- Fabricar e montar a impressora.
- Realizar teste das peças impressas do projeto desenvolvido.

### **2.3. Justificativa**

A acessibilidade a impressoras 3D por estudantes em geral é economicamente difícil, a proposta de construção neste projeto de uma impressora 3D com um custo muito inferior, visa tornar este acesso possível. O projeto envolve a idealização e montagem da impressora 3D com dimensões entre 20x20x20 cm de comprimento, largura e profundidade.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

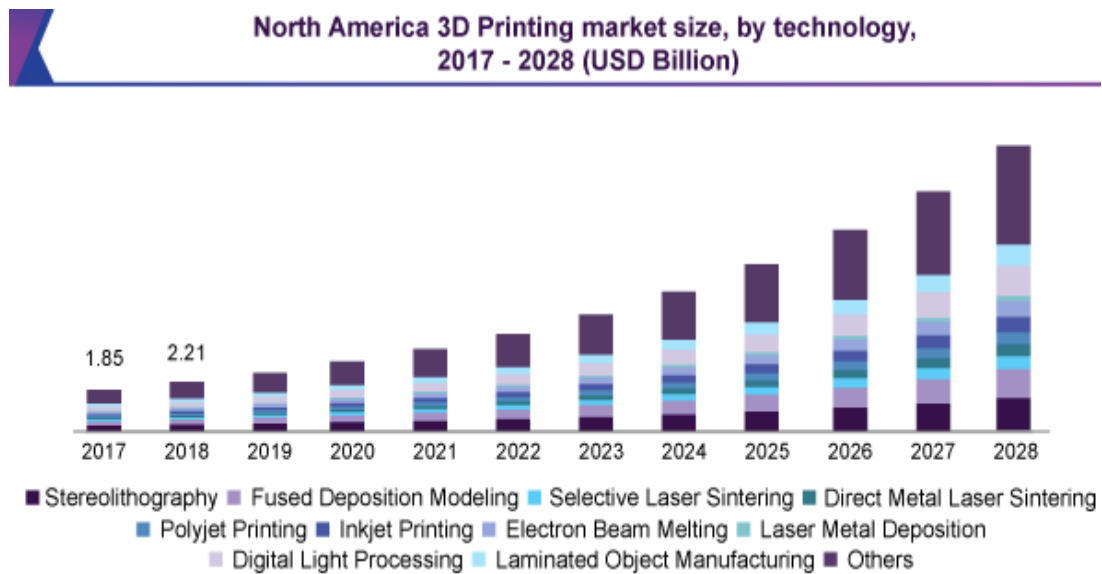
#### 3.1. OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS E A PROTOTIPAGEM 3D

Ao longo do tempo, a impressão 3D cresceu significativamente e está se sofisticando cada vez mais. Em 2008, havia 20 fabricantes de impressoras 3D no mundo. Hoje, são milhares, segundo a IDC do Brasil (International Data Corporation), de acordo com os dados da **Figura 1** a impressão 3D no mundo movimentará até 2030, o valor de US\$ 35,4 bilhões. Com aumento de 4,1 % no primeiro trimestre de 2020.

A manufatura aditiva amplia sua presença em empresas de diversos portes e setores com uma crescente demanda como apresentado na **Figura 2**.

Trata-se de uma condição essencial de competitividade, principalmente no contexto da evolução da indústria 4.0 e da construção de uma cultura de negócios voltada à inovação.

Figura 1 Dados movimentação de recurso de impressora 3D até 2020.



Fonte: <https://www.grandviewresearch.com/>

Figura 2 Demanda de impressora 3D de 2007 a 2017

Região	Demanda (Milhões de \$)				Crescimento Anual (%)	
	2007	2012	2017	2022	2007-2012	2012-2017
América do Norte	361	900	2285	5120	20	20.5
Estados Unidos	335	825	2085	4610	19.8	20.4
Canadá	26	75	200	510	23.6	21.7
Europa Ocidental	194	495	1225	2750	20.6	19.9
Ásia - Pacífico	183	445	1170	2930	19.4	21.3
China	56	155	500	1450	22.6	26.4
Japão	81	165	330	660	15.3	14.9
Demais locais Ásia	46	125	340	820	22.1	22.2
América Central e Sul	7	25	75	22	29	24.6
Europa Oriental	13	35	103	290	21.9	24.1
Africa/Oriente Médio	17	50	142	390	24.1	23.2
<b>Total</b>	<b>775</b>	<b>1950</b>	<b>5000</b>	<b>11700</b>	<b>20.3</b>	<b>20.7</b>

Fonte: Srivatsan et Sudarshan (2016)

### 3.2. AS IMPRESSORAS 3D

Impressão 3D é um processo em que um modelo tridimensional é feito em um sistema CAD (Desenho Auxiliado por Computador). Em seguida é gerado um arquivo que logo é enviado para um sistema CAM (Manufatura Auxiliada por Computador), para ser "fatiado" em camadas, então é desenrolado de uma bobina um filamento termoplástico até a extrusora da impressora 3D. O bico extrusor é aquecido para fundir o termoplástico, e um sistema mecânico permite a vazão do material sobre a mesa da impressora que pode ser aquecida ou não para deposição de camada sobre camada, sendo estas de baixo para cima até a finalização da peça projetada (Carlos H. Ahrens; Fernando Lafratta<sup>1</sup>; Gean V. Salmoria<sup>1</sup>; Manoella R. Cardenuto).

Existem mais de 20 sistemas de Prototipagem Rápida (RP) no mercado que, apesar de utilizarem diferentes tecnologias de adição de materiais, se baseiam no mesmo princípio de manufatura por camada.

O modelo base de impressora para o projeto em questão, foi similar ao Prusa i3. Ele é uma versão melhorada de projetos anteriores do RepRap. Por ser um método *Open source* (código aberto), há uma diversidade e variedades de projetos de impressoras 3D disponibilizados gratuitamente, em teoria, disponível a qualquer um com habilidade e recursos suficientes pode construir uma. Serão apresentadas a seguir as 5 melhores impressoras vendidas no país. A **Figura 3**, apresenta uma Impressora 3D desenvolvida e fabricada pela Sethi3D. Situada no estado de São Paulo, na cidade de Campinas, a Sethi é uma empresa com 18 anos de mercado, e nos últimos 7, voltados exclusivamente para o mercado de impressoras 3D. Com o valor 3.990,00, é uns dos modelos mais baratos vendidos no site da empresa.

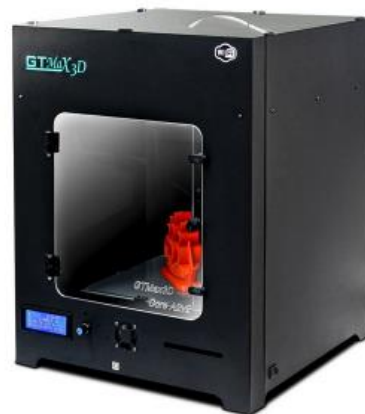
Figura 3 Sethi3D AiP - 1.75mm



Fonte: <http://www.sethi.com.br/blog/impressora-sethi3d-aip/>

Na **Figura 4**, A GT Max fabrica alguns modelos de impressora 3D, e a maioria deles são de modelos fechados. A empresa fica no estado de São Paulo, precisamente na cidade de Americana. No site da empresa, este modelo custa 4.399,85 e é o que se apresenta com o menor valor.

Figura 4 GTMax3D Core A2v2



Fonte: <https://www.gtmax3d.com.br/>

Na **Figura 5**, desde o seu lançamento em 2017, a ender -3 é um top de vendas,

já foram vendidas mais de 1 milhão de unidades no mundo. A Creality 3D, é uma fabricante de impressoras 3D e foi fundada em 2014 na China. Ela possui representantes e distribuidores oficiais em vários países, inclusive no Brasil. Os produtos da Creality tem manual e interface de usuário em português e também uma garantia nacional por meio da rede de parceiros autorizados.

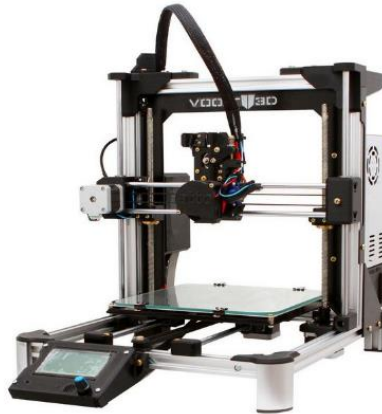
Figura 5 Creality Ender 3



Fonte: <https://www.creality.com/br/goods-detail/ender-3-3d-printer>

Na **Figura 6**, está a Voolt3D é uma empresa brasileira fundada no ano de 2014 na cidade de Santo André, São Paulo. É o modelo mais simples disponível no site da empresa, com valor de 3.700,00.

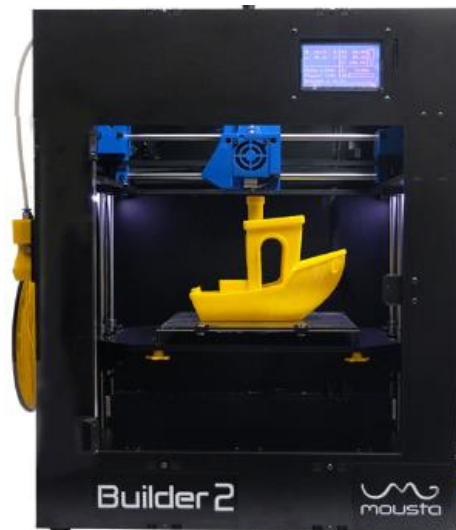
Figura 6 Impressora Volt 3D



Fonte: <https://www.lojavolt3d.com.br/>

Na **Figura 7**, apresenta – se a Moustá Impressoras 3D atua no segmento de Impressoras com tecnologia FDM, fabricando equipamentos robustos, confiáveis e de alta qualidade desde 2015. Todo o projeto, assim como fabricação, é próprio e nacional, realizada em São Paulo na cidade de Bauru. Entre os poucos modelos disponíveis, o modelo Builder 2, é o mais viável economicamente, custando 4.940,00.

Figura 7 Moustá Builder 2



Fonte: <https://www.mousta.com.br/produto/impressora-3d-mousta-builder-2/>

E por fim, na **Figura 8**, apresenta – se a Stella 3 Lite foi desenvolvida e é fabricada no Brasil, em Curitiba, no estado do Paraná. Dentro dos modelos citados acima, esse é o modelo mais simples e menos robusto. Atualmente ela se encontra por 2.200,00 no site da própria empresa.

Figura 8 3D Stella 3 Lite



Fonte: <https://boaimpressao3d.com.br/>

### 3.3. MÉTODOS DE PROTOTIPAGEM 3D

Os diferentes métodos de prototipagem que estão presentes no mercado brasileiro atualmente, são os processos de estereolitografia (SLA), impressão tridimensional (TDP), sinterização seletiva a laser (SLS), modelação por extrusão de plástico (FDM) e manufatura de objeto em lâminas (LOM).



### **3.3.1. Estereolitografia (SLA)**

Este processo pioneiro, patenteado em 1986, deflagrou a revolução da prototipagem rápida. O processo constrói modelos tridimensionais a partir de polímeros líquidos sensíveis à luz, que se solidificam quando expostos à radiação ultravioleta (GORNI, 2001)

### **3.3.2. Impressão Tridimensional (TDP)**

Tem funcionamento semelhante ao das impressoras comuns. Grimm (2005) descreve que um ato de agente aglutinante é direcionado, conforme o modelo virtual, a um reservatório contendo pó cerâmico ou polimérico. Quando o jato incide no material, a plataforma sobre a qual o modelo repousa desce e uma nova camada de material pulverulento é depositada sobre a fatia recém-conformada. O processo é, então, repetido até que todo o modelo 3D seja construído.

### **3.3.3. Sinterização seletiva a laser (SLS)**

Segundo Gorni (2001), a técnica SLS, patenteada em 1989, usa um raio de laser para fundir e solidificar, camada a camada, materiais pulverulentos, como elastômeros e metais. Com a incidência do laser, o material funde-se e solidifica-se em uma pequena fatia do modelo. Uma nova camada de material pulverulento é depositada sobre essa fatia e, então, o processo é repetido.

### **3.3.4. Modelação por extrusão de plástico (FDM)**

O processo de modelação por extrusão de plástico (FDM) constrói objetos por extrusão de polímeros, como ABS e Poliamida, em um sistema que conta com, pelo menos, um cabeçote que se movimenta no plano XY e uma plataforma que se movimenta verticalmente em Z (GRIMM, 2005).

### **3.3.5. Manufatura de objeto em lâminas (LOM)**

O processo LOM produz peças a partir de papel colado, metal, plástico e outros compostos na forma de finas lâminas (YAN e GU, 1996). As máquinas que utilizam essa tecnologia fazem a união de uma camada de material laminado a uma série de outras lâminas conformadas. Então, um feixe de laser contorna e corta a lâmina na forma explicitada pelo modelo CAD. A união das camadas pode ser feita através de colagem ou de fusão, enquanto o material em excesso, recortado, é removido por sucção.

## **3.4. INSUMOS UTILIZADOS NAS IMPRESSÕES 3D**

*A tecnologia FDM é a única tecnologia de impressão 3D profissional que utiliza termoplásticos de categoria de produção. Assim, as peças criadas são inigualáveis em termos de resistência mecânica, térmica e química (Stratasys, 2017).*

Quando se trata de filamentos para impressoras 3D, os materiais mais utilizados são PLA, ABS, PETG (PET, PTT), Nylon e os flexíveis TPE, TPU e TPC e o PC

### **3.4.1. PLA (Polylactic Acid)**

PLA é um poliéster alifático termoplástico e biodegradável derivado de fontes renováveis ricas em amido, como milho, tapioca e cana-de-açúcar, um material ecologicamente correto. (Montealegre; González, 2015; Salim et al., 2019). O PLA, atualmente é o principal filamento utilizado pelos recém iniciantes no mundo das impressoras 3D, devido ser de um material fácil de se trabalhar, com um custo relativamente baixo e em comparação com outros materiais plásticos ele é o mais

ecológico do que a maioria dos filamentos de impressoras 3D.

### **3.4.2. ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)**

O ABS é um termoplástico que apresenta uma estrutura molecular amorfa com alta resistência a produtos químicos, abrasivos e impactos, sendo amplamente utilizado na indústria automotiva e em eletrodomésticos, embora não seja um material ecológico, pode ser reciclado e reprocessado, além disso, é fácil de moldar. (Miròn; Ferràndiz; Juárez; Mengual, 2017; Salim; Termiti; Saad, 2019). O ABS é um plástico de origem petroquímica produzido através do processo de refino de petróleo. Pode ser considerado o segundo filamento mais utilizado no processo de manufatura aditiva, devido ao baixo custo e por ter uma maior facilidade de acabamento, porém exige uma maior complexibilidade na impressão.

### **3.4.3. PETG**

O Polietileno Tereftalato é um poliéster, transparente, brilhante, leve com boa performance de design e facilidade de moldagem, que proporciona alta resistência mecânica (impactos) e química além de ter barreiras para gases e odores (Lima, 2001, pg.18.). O Polietileno Tereftalato (PET) “bruto” não é muito usado em impressão 3D, mas este possui um derivado conhecido como polietileno tereftalato modificado com glicol ou PETG. Para alguns, ele é considerado como um bom meio termo entre o PLA e o ABS, dentre suas características ele é mais durável e flexível que o PLA, e mais fácil de imprimir do que o ABS. Ecologicamente ele é um produto reciclável.

### **3.4.4. NYLON**

O Nylon, ou “poliamida” é um polímero sintético bastante popular e é utilizado em muitas aplicações industriais. É um plástico de baixo custo, forte, leve e flexível

em comparação com os demais filamentos, classifica-se como “primeiro lugar” quando considerado suas principais características. As poliamidas ou nylons pertencem a uma classe de polímeros atraente para aplicações em engenharia devido à combinação de propriedades como: estabilidade dimensional, boa resistência ao impacto sem entalhe e excelente resistência química (Bassani, Pessan, Júnior, 2002, pg. 102). O Filamento Nylon é preciso ter um maior conhecimento sobre parâmetros de impressão, já que as faixas de temperatura de trabalho são muito maiores do que dos materiais já citados. Por conta de suas ligações químicas mais fortes, ele possui uma estabilidade térmica, ocasionando uma rigidez estrutural maior e uma elevada resistência mecânica e térmica.

### **3.4.5. Flexíveis TPE, TPU e TPC**

Esses polímeros surgiram a partir da busca por menor densidade, menor custo de produção, maior produtividade, fácil adição de cor, reciclabilidade e melhor processabilidade em termos de elastômeros” (Engenheiro de Materiais, 2016).

Podemos dizer que os filamentos flexíveis são uma mistura de polímeros. O (TPE) Elastômero Termoplástico são feitos a partir de um termoplástico rígido em combinação com um material suave de borracha, normalmente incorporando aditivos e.g. óleo e cargas.

O Poliuretano Termoplástico (TPU) é uma variação do TPE, um pouco mais rígido e mais durável. O (TPC) Copoliéster Termoplástico, é uma variação do TPE, onde o seu principal diferencial em relação ao TPE, é o fato de possuir uma maior resistência à exposição química e UV, além de resistir muito bem ao calor onde possui temperaturas de até 150°C e por suas características é indicado a ambientes externos.

### **3.4.6. PC**

O Policarbonato é semelhante ao vidro, caracteriza-se por possuir alta transparência, que pode chegar acima de 90 %. Essa transparência é

conseguida graças à sua estrutura amorfa. Dentre todos os termoplásticos, o Policarbonato é o que possui maior resistência ao impacto, sem qualquer aditivação, a não ser os elastômeros (Diel, pg. 3, 2000).

O (PC) policarbonato é um material termoplástico, sendo considerado o mais forte no uso em impressão 3D. Possui a capacidade de suportar temperaturas de até 110°C, é extremamente durável e resistente ao impacto físico.

### **3.5. PRINCIPAIS COMPONENTES E PROGRAMAS UTILIZADOS NAS IMPRESSORAS 3D**

#### **3.6. Sistema de Controle**

Richard et Bishop (2001) definem sistema de controle como um conjunto de dispositivos que formam uma configuração sistemática que irá promover uma resposta desejada do sistema.

#### **3.7. Microcontrolador**

Os microcontroladores, **Figura 9**, são pequenos sistemas computacionais bastante poderosos que englobam em um único chip: interfaces de entrada/saída digitais e analógicas, periféricos como a memória RAM, memória FLASH, interfaces de comunicação serial, conversores analógicos/digitais e temporizadores/contadores. Eles são responsáveis por executar e armazenar os programas escritos, para os mesmos (firmware). Com o advento dos microcontroladores de 16 e 32 bits (atualmente o padrão é de 8 bits) a capacidade de gerenciar soluções mais complexas e maior velocidade de processamento se iguala ao do microprocessador (CHASE, 2007)

Figura 9 Microcontrolador

## Microcontrolador



Tudo integrado em um Único CI

Fonte: CHASE, 2007

### 3.8. Arduino Mega 2560

O Arduino® Mega, mostrado na **Figura 10**, é destaque entre as placas Arduino®, apesar de não ser o mais usado no mundo, ele possui uma alta performance devido aos seus conectores extras colocados em um dos lados da placa. Ele usa o processador ATmega1280 que é fixo na placa, não sendo possível a substituição. Normalmente, esse Arduino® Mega é utilizado em projetos mais complexos e que exigem um maior número de componentes integrados a ele, além disso conta com uma maior quantidade de memória do que o UNO.

“RepRap Arduino Mega Pololu Shield”, ou RAMPS foi projetado para caber toda a eletrônica necessária para uma máquina de impressão 3D RepRap em um pacote pequeno e de baixo custo. O RAMPS é caracterizado com um shield (placa que pode ser conectada acima do Arduino Mega) dando ao microcontrolador a possibilidade de expansão. O design modular inclui encaixes para motores, sensores, chaves de fim de curso, display e outros dispositivos compatíveis com a tecnologia para Arduino. (RepRap, 2017)

Figura 10 Arduino Mega 2560

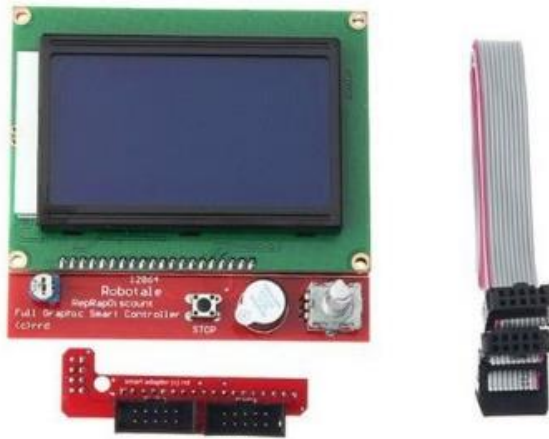


Fonte: ROCOCORE

### 3.9. Smart Display LCD

O Display LCD, **Figura 11**, é um módulo criado para ser empregado em impressoras 3D RAMPS RepRap como interface entre o usuário e a impressora. Após conectado ao shield Ramps 1.4, devidamente programado, este módulo poderá controlar diversas funções da impressora através de encoder rotativo e um botão, exibir informações no display e enviar feedback sonoro através de um buzzer. Além disso possui um slot para cartão de memória que pode ser utilizado para realizar impressões sem necessidade de conexão com um computador. (smartkits)

Figura 11 Display LCD



Fonte: Autocorerobotica

### 3.10. Mesa Aquecida e Sensor de Temperatura NTC Termistor 100k

Quando o plástico extrudado esfria, ele encolhe. Quando este processo de encolhimento não ocorre ao longo de uma parte impressa uniformemente, o resultado é uma parte deformada. Essa deformação é vista como cantos sendo levantados para fora da mesa de extrusão. Com a utilização da mesa aquecida, a parte impressa pode manter-se aquecida durante o processo de impressão, permitindo, assim, um encolhimento uniforme. Consegue-se uma maior qualidade de impressão, quando utilizada com materiais como ABS e PLA (HEATED..., 2015).

Uma mesa aquecida, **Figura 12**, também fornece aderência adicional, garantindo que a primeira camada fique bem firme e que a peça não se solte durante a impressão.

Termistor, na **Figura 13** é um sensor de temperatura, e o tipo NTC se refere ao Coeficiente Negativo de Temperatura. O termistor NTC diminui a sua resistência elétrica conforme o aumento da temperatura do local ou do dispositivo medido. (MUNDODAELETRICA)



Figura 12 Mesa aquecedora



Fonte: ELETROGATE

Figura 13 Sensor de Temperatura NTC - Termistor 100k



Fonte: ARDUINOEELETRONICA

### 3.11. Fonte Chaveada

A fonte chaveada, **Figura 14**, é um dispositivo capaz de converter corrente alternada em corrente contínua, fornecendo tensões elétricas com boa capacidade de corrente sem necessitar de um transformador. Portanto, a fonte chaveada é capaz de substituir fontes lineares, que precisam de transformadores. Assim, é um componente compacto e muito poderoso, indicado para aparelhos que precisam de corrente

continua para funcionar. (ATHOSELECTRONICS)

Figura 14 Fonte de Alimentação 12V – 30A.



Fonte: BAUDAELETRONICA

### 3.12. Motor de Passo

O movimento dos motores de passo **Figura 15**, pode ser brusco ou suave, dependendo da frequência e da amplitude dos passos em relação aos comuns (motor DC/AC), sendo adequados àquelas situações em que se necessita ter o controle preciso do movimento, a partir de sinais provenientes de um circuito controlador. Os sinais enviados ao motor pelo circuito controlador devem obedecer a uma ordem específica de pulsos e estarem perfeitamente sincronizados (MARTINS, 2005).

Eles são usados em aplicações onde é necessário controlar vários fatores tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. A grande característica de um motor de passo não é a sua força (torque), nem a capacidade de desenvolver altas velocidades, ao contrário da maioria dos outros motores elétricos, mas sim a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa. Devido a isto é amplamente usado em impressoras, scanners, robôs, câmeras de vídeo, automação industrial entre outros dispositivos que requerem precisão em seus movimentos. (JÚNIOR,2007)

Figura 15 Motor de Passo



Fonte: ROBOCORE

### 3.13. Número de passos de um motor

São classificados quanto ao tamanho pela norma NEMA. O motor é denominado de acordo com o tamanho da aresta de flange. O motor nema 17, tem aresta de flange de 1,7 polegadas, ou seja, aproximadamente 42 milímetros. (BALZANI, 2017).

Ex.:  $360^\circ / 1.8^\circ = 200$  passos ou pulsos por revolução (PPR)

### 3.14. Drive motor de passo DRV8825

O driver motor de passo DRV8825, **Figura 16**, é um módulo indicado para controle de motores de passo de impressoras 3D e equipamentos CNC, ele consegue realizar a divisão dos micro passos do motor para que alcance movimentos muito pequenos e precisos. Possui um potenciômetro para ajuste da corrente de saída (direcionada ao motor). O módulo aceita alimentação entre 8.2 e 45V e pode fornecer até 1.5 A por fase, suportando micro resolução até 1/32 passos.

Figura 16 Driver de motor de passo DRV8825



Fonte: ACELERA3D

### 3.15. Chave Fim de Curso

Este tipo de chave **Figura 17** tem por propósito indicar para o sistema de controle que a plataforma de construção atingiu algum de seus limites ao longo dos eixos.

Figura 17 Modulo chave fim de curso



Fonte: MARINOSTORE

### 3.16. Hotend

Hotend **Figura 18** componente no qual o material plástico é fundido, formando um filamento maleável para o processo de impressão. Sua temperatura é controlada através de um termistor ligado a placa de controle.

Figura 18 Hotend



Fonte: BAUDAELETRONICA

### 3.17. FIRMWARE E SOFTWARE

Firmware é o conjunto de instruções operacionais desenvolvidas com operações de baixo nível, sem as quais, o dispositivo não seria capaz de executar suas tarefas, ou seja, são códigos lógicos que interpretam os sinais físicos dos periféricos e os tornam transparentes no ponto de vista de programação e dos demais pontos do programa (ELEUTÉRIO, 2011).

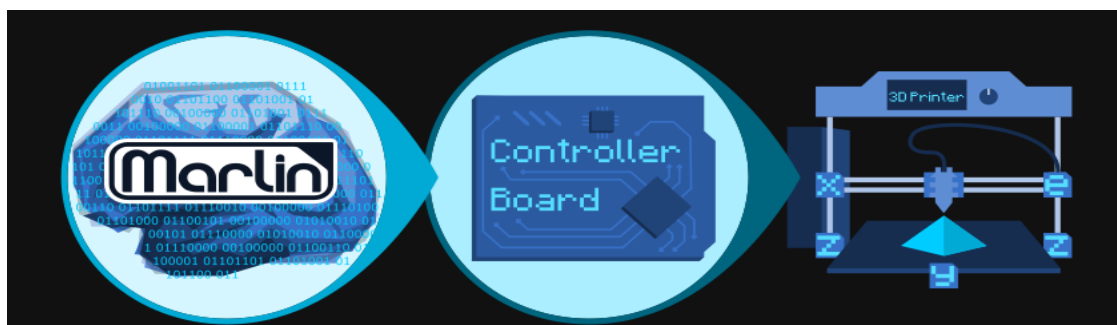
O firmware é responsável por interpretar os comandos, Código G, enviado pelo software de controle da impressora. Ele que vai determinar o quão bem sua impressora 3D irá imprimir um objeto. Existe diversos firmware para impressoras 3D, como: Sprinter, Marlin, SJFW, Repetier (EVANS, 2012). Para se fazer o controle, interface e comunicação do equipamento de impressão 3D com o operador, são utilizados determinados firmwares open source, destacando-se o firmware Marlin.

### 3.18. Marlin

Marlin **Figura 19**, é um firmware de código aberto para a família RepRap de

protótipos rápidos replicantes popularmente conhecido como “impressoras 3D”. Ele foi derivado do Sprinter e grbl e se tornou um projeto autônomo de código aberto em 12 de agosto de 2011 com seu lançamento no Github. O Marlin é licenciado sob a GPLv3 e é gratuito para todos os aplicativos. (marlinfw.org)

Figura 19 Marlin

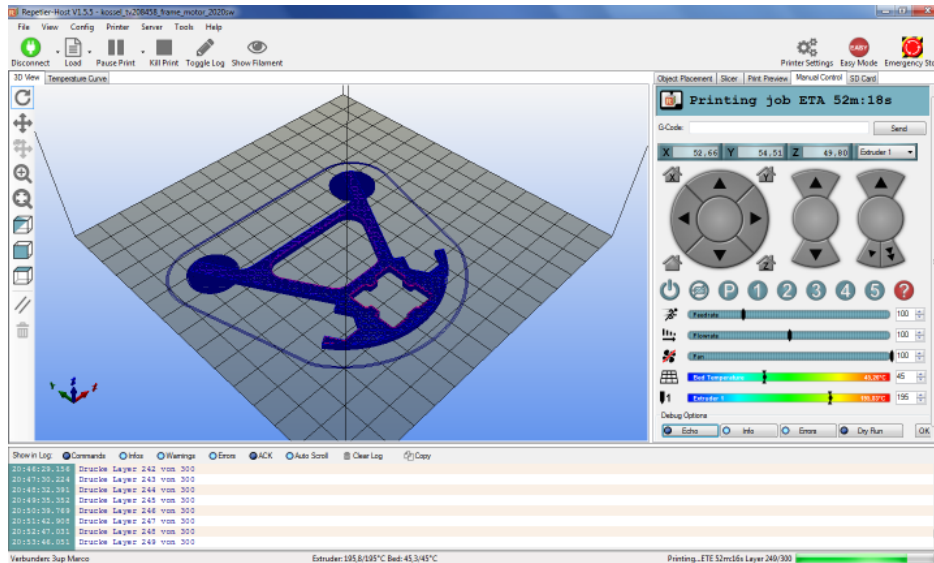


Fonte: MARLINFW.ORG

### 3.19. Repetier-Host

O software de controle da impressora, também conhecido como o software host ou interface da impressora, é o Repetier-Host, **Figura 20**, que comanda toda a ação de movimentação do extrusor e da mesa de impressão, além dos controles de temperaturas, e de como será fatiado o objeto para a impressão de cada camada, tipo de preenchimento, controle de velocidade, espessura de cada camada de material, gerando também o G-code que seria um código com todos os parâmetros de impressão. Caso a impressora esteja conectada ao computador pode-se fazer um acompanhamento online. Todas essas configurações são definidas pelo usuário de acordo com o material e a qualidade de impressão desejada.

Figura 20 Repetier-Host



Fonte: REPRAP

### 3.20. Fatiador (Slicer)

Para gerar o caminho para extrusora da impressora é preciso usar um aplicativo separado chamado fatiador. Ele é responsável por fatiar o elemento 3D em camadas adequadas para impressão. Este processo cria os comandos, ou códigos G, com informações de movimento da extrusora e a quantidade de plástico necessário para extrusão. Esses comandos são enviados para o firmware, que são responsáveis por interpretar esses códigos para controlar motores e aquecedores da impressora (EVANS, 2012). O Repetier-Host já possui um fatiador embutido no programa de controle de impressão.

### 3.21. IDE Arduino

A empresa Arduino também disponibiliza uma IDE própria **Figura 21**, com código-fonte aberto em uma linguagem C++ modificada, a fim de facilitar o desenvolvimento de iniciantes (ARDUINO, 2016).

Figura 21 Arduino IDE



Fonte: ARDUINO.CC

## 4. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Neste trabalho, foi desenvolvido uma nova estrutura para a impressora 3D, e as características do projeto são baseadas no modelo PrusaI3. Escolheu-se a PrusaI3 devido ao formato de sua estrutura original, sendo possível trocar com maior facilidade as peças plásticas por madeira. Para aquisição dos materiais do projeto utilizou-se o Aliexpress (mercado internacional), Mercado Livre, e o mercado local de forma a obter menor custo de compra.

### 4.1. FUNCIONAMENTO

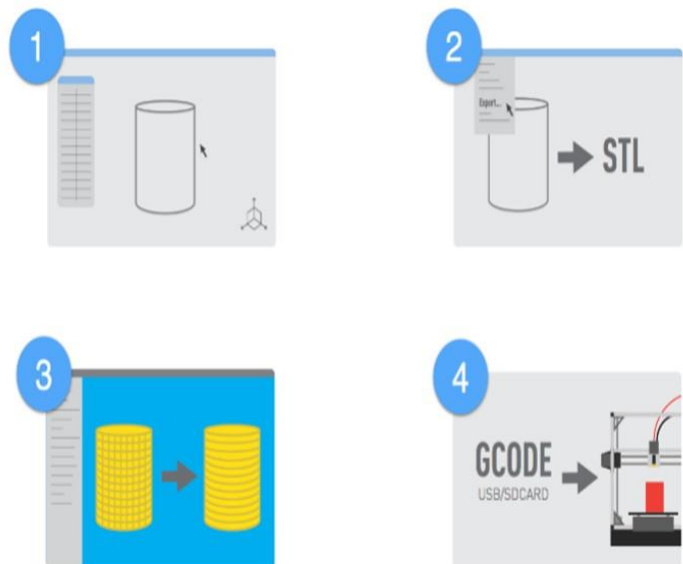
A impressora 3D é baseada no conceito de movimento tridimensional. Após produzir um modelo 3D da peça em um software CAD e convertido em STL, um software de impressão 3D fatia o modelo 3D e gera um GCode (instruções de impressão para a impressora 3D) para cada camada. O código G informa em linguagem de máquina, as posições cartesianas e parâmetros de impressão já estabelecidos. O microcontrolador recebe esses comandos via USB ou cartão de



memória tipo SD e envia sinais elétricos para driver do motor que os amplifica e transmite para o motor, que movimenta a plataforma de construção, conforme disposto na **Figura 22**.

Figura 22 Diagrama de Funcionamento

- 1 Criação em programas CADo**  
ex: Fusion 360, SolidWorks, OnShape, entre outros.
- 2 Exporta para modelo STL**  
Caso não tenha modelo no CAD, pode ser encontrado em alguns repositórios.  
Ex: Thingiverse, YouMagine, My Mini Factory, 3D Cults
- 3 Fatiamento**  
O arquivo STL transformar-se em código, através do fatiamento das camadas.
- 4 Impressão**  
No final do processo, o arquivo GCode, traz as informações para a impressora executar a operação de impressão 3D.



Fonte: MEDIUM.COM(Adaptado pela autora)

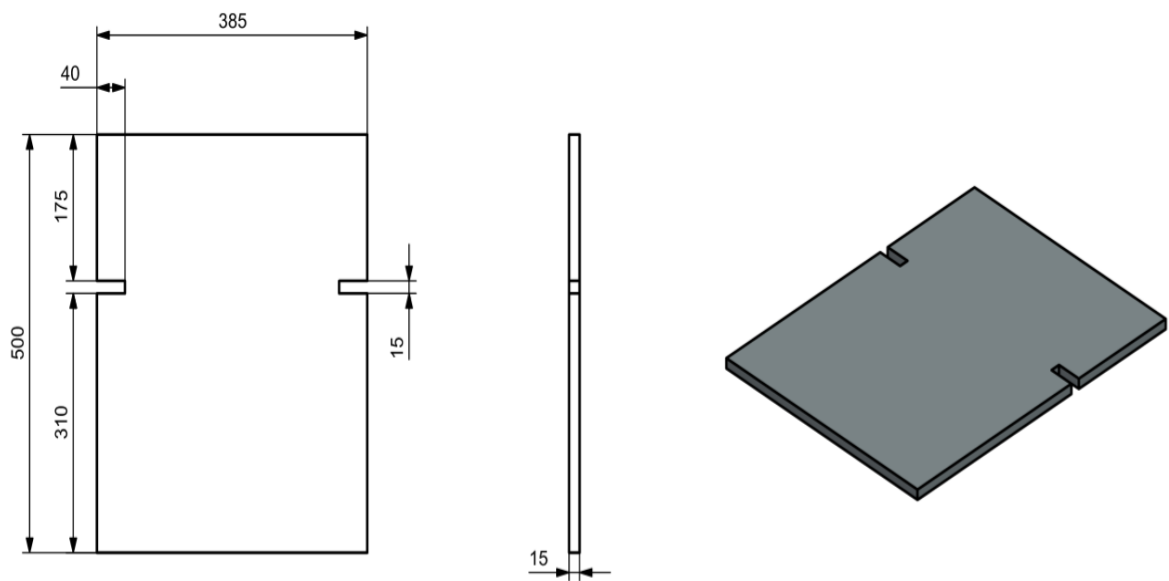
## 4.2. PROJETO MECÂNICO

## 4.3. Estrutura da impressora

Foi utilizado placa de fibra de média densidade (MDF) reciclada na estrutura da base, nos pés de apoio e no arco que sustenta o eixo vertical. O mdf apresenta acabamentos melhores do que o Painel de Partícula de Média Densidade (MDP) e um baixo custo em relação ao frame com perfil alumínio, além da fácil aquisição no mercado local. Devido aos vários movimentos dos eixos da impressora, optou-se por utilizar peças de 15 mm de espessura na estrutura, pois não ficaria muito robusta e

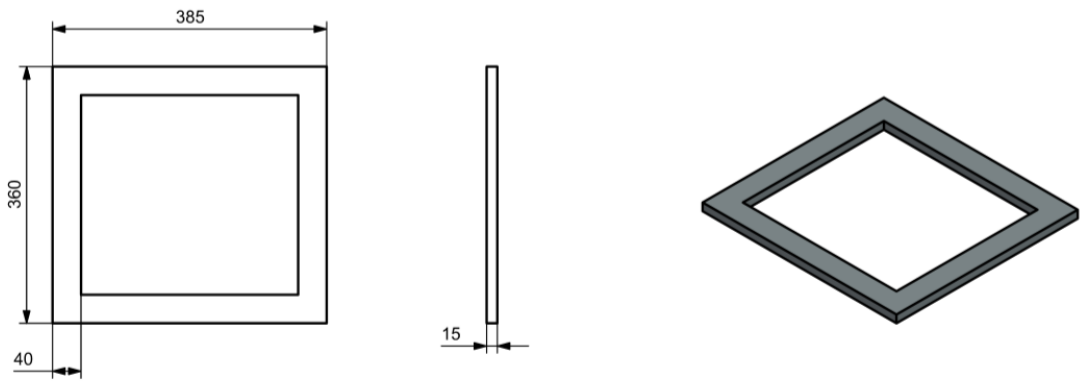
atenderia o objetivo de gerar uma maior rigidez, assim evitando folgas futuras nos eixos x,y e z. Para fixar e manter os perfis alinhados, foram utilizadas 4 cantoneiras. Foram utilizados também parafusos, porcas e arruelas para unir a estrutura. As **Figuras 23, 24 e 25**, mostram respectivamente o projeto e dimensões da estrutura e a **Figura 25** apresenta a estrutura montada.

Figura 23 Estrutura horizontal – Eixo Y



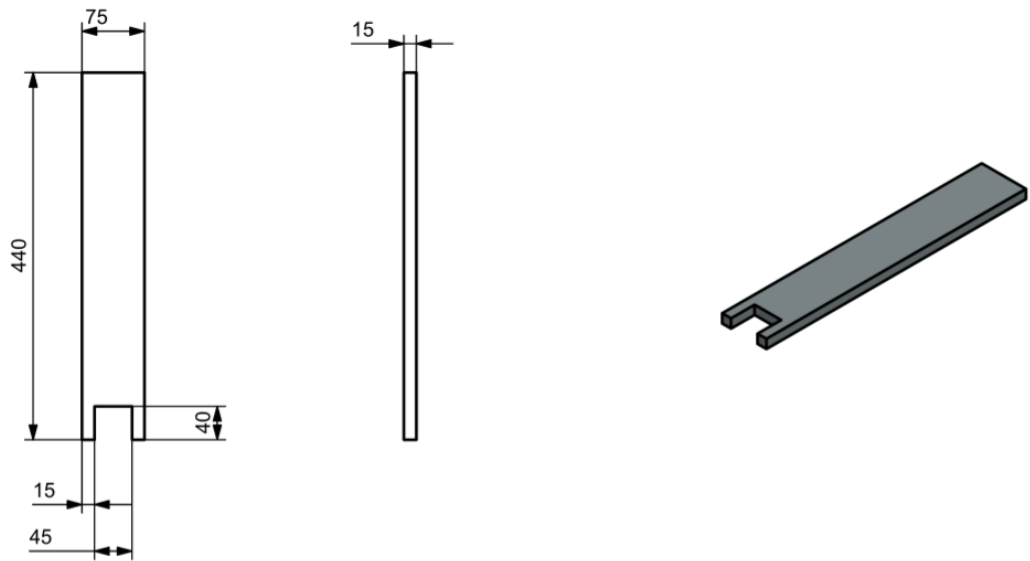
Fonte: AUTORA, 2021.

Figura 24 Estrutura vertical – Eixo Z



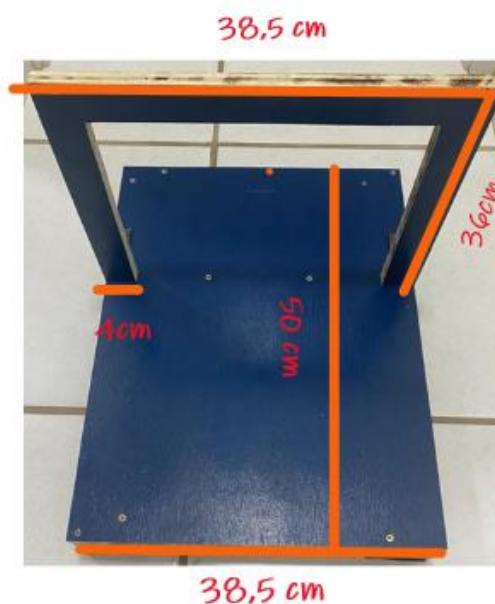
Fonte: AUTORA, 2021.

Figura 25 Estrutura do Eixo X



Fonte: AUTORA, 2021.

Figura 26 Estrutura montada

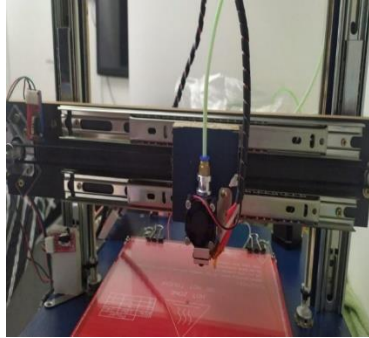


Fonte: AUTORA, 2021.

#### 4.3.1. Eixo X

A estrutura do eixo X, **Figura 27**, da impressora se dá por meio do tracionamento da correia posicionada paralelamente as corrediças. O movimento do carro do eixo X é feito também por corrediças telescópicas, no qual são fixadas e reforçadas com parafusos. O suporte do hotend deve ter liberdade no eixo X. Essa liberdade de movimento é limitada através do sensor fim de curso. Isso é possível pois tal suporte está ligado à uma correia, do qual o motor de passo junto à uma polia dentada, movimenta a correia e o hotend. Essa configuração de polia – correia é similar ao movimento do eixo Y.

Figura 27 Eixo X Finalizado

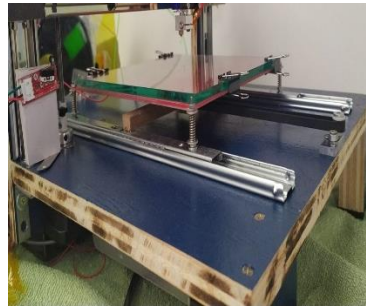


Fonte: AUTORA, 2021.

### 4.3.2. Eixo Y

A base da impressora **Figura 28**, abriga a peça que está em processo de impressão e seu movimento é feito através de correias telescópicas. O movimento linear no eixo Y, dá-se pela configuração polia dentada e correia. O motor de passo é que irá movimentar a cama aquecida ao longo do eixo Y. Com o sensor fim de curso como delimitador de movimento.

Figura 28 Eixo Y Finalizado



Fonte: AUTORA, 2021.

### 4.3.3. Eixo Z

A estrutura do eixo Z, **Figura 29**, é fixada à estrutura de base (eixo Y), através de encaixe e parafusos. A altura do objeto em impressão é dada por meio do movimento vertical do eixo Z, feitas através de correias telescópicas, mas, diferentemente dos outros eixos, o movimento é feito por dois motores que elevam o

mecanismo do eixo X por meio de uma barra roscada M3. O motor do eixo Z é conectado a um acoplador flexível, e conseqüentemente, é ligado a barra roscada, assim possibilitando a conversão do movimento rotacional do motor em movimento linear no sentido vertical. Para fixar os motores na base foi usado um suporte temporário.

Figura 29 Eixo Z Finalizado



Fonte: AUTORA, 2021.

#### 4.4. PROJETO ELÉTRICO

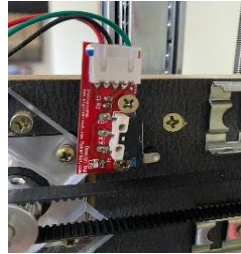
Logo após a montagem dos motores **Figura 3** no frame em seus respectivos lugares, iniciou -se a montagem das peças que determinam o ponto zero da área cartesiana de impressão. Cada eixo possui seu próprio fim de curso **Figura 31**, que delimita o ponto inicial de movimentação desse eixo.

Figura 30 Motores de passo com peças acopladas

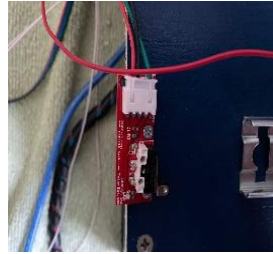


Fonte: GOOGLE IMAGENS (Adaptado pela autora)

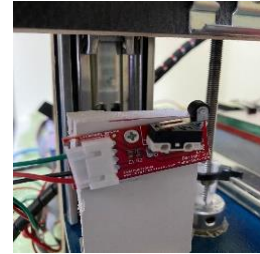
Figura 31 Fim de curso (endstop) dos eixos



Endstop eixo X



Endstop eixo Y

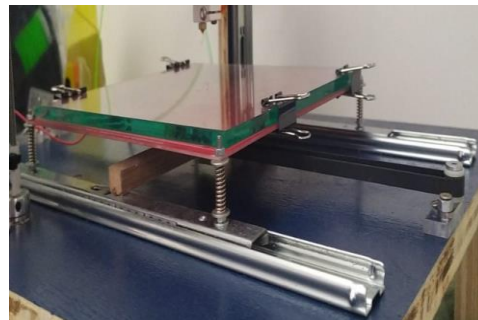


Endstop eixo Z

Fonte: AUTORA, 2021

Na sequência, iniciou o processo de montagem da mesa aquecida, **Figura 32**, utilizando quatro parafusos, fixados nos cantos da mesa. Após isso a mesa foi fixada nas correias Y, utilizando molas e roscas.

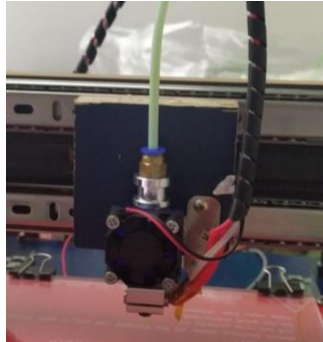
Figura 32 Mesa aquecida parafusada ao carro do eixo Y



Fonte: AUTORA, 2021

Logo mais, iniciou-se a montagem do Bico extrusor Hotend V6, **Figura 33**, que fica fixado no carro de movimentação do eixo X. Para fixação, foi utilizado uma pequena peça de MDF e um suporte de alumínio.

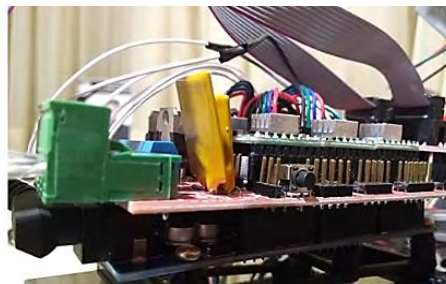
Figura 33 Hotend V6 parafusado ao carro do eixo X



Fonte: AUTORA, 2021

Depois de toda a montagem de todos os itens que compõem os eixos, se deu início a montagem da placa Ramps 1.4 **Figura 34** Esta parte da montagem em especial é composta por várias conexões que são feitas a placa RAMPS 1.4, como: cabos dos motores de passo, drives de controle dos motores de passo, mesa aquecida, Hotend V6, Termistores da mesa aquecida e do Hotend V6, Fins de curso, display LCD e coolers.

Figura 34 Arduino mega 2560 com a placa RAMPS 1.4 conectada



Fonte: AUTORA, 2021

Para finalizar, foi utilizado uma fonte chaveada **Figura 35**, de 12V e 30A para fornecer energia ao sistema. Ela é acionada através de um botão/interruptor. E Na **Figura 36** apresenta – se o circuito elétrico numa visão geral.

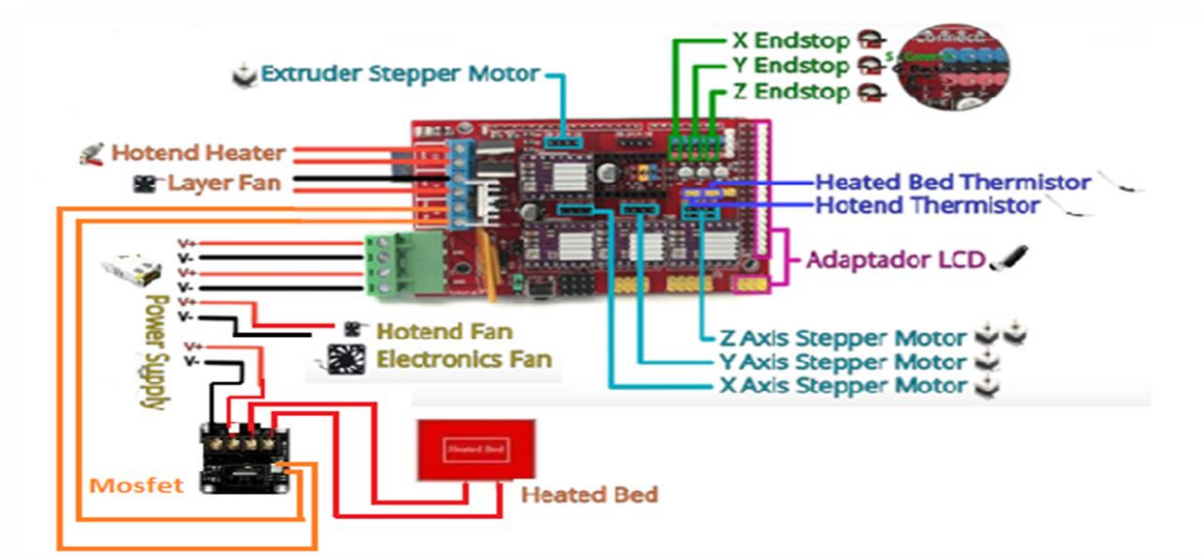


Figura 35 Fonte Chaveada



Fonte: AUTORA, 2021

Figura 36 Esquema elétrico geral



Fonte: RBRECH (Adaptado pela autora)

## 4.5. CONFIGURAÇÕES

### 4.5.1. Configuração do passo dos motores

O passo de cada motor é definido por conectores no escudo ramps 1.4 que são ligados na placa, de forma alterar a configuração do drive DRV8825, também configurados com curto circuito (com *Jumper, HIGH*) ou abertos (sem *jumper, LOW*).

O **MODE 0**, **MODE 1** e **MODE 2** são entradas para seleccionar o modo da sequência dos passos, de acordo com a **Tabela 1**.

Tabela 1 Resolução do micro passo do motor

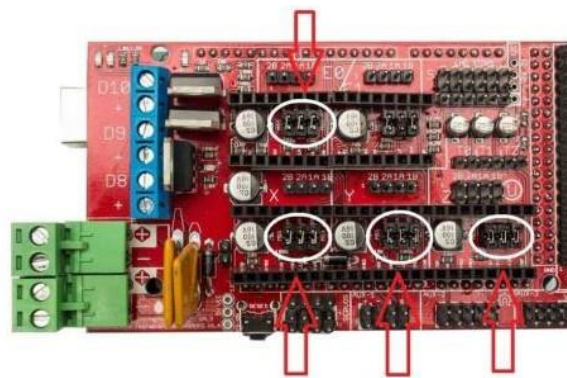
Resolução Micro-passo	M2	M1	M0
Passo completo	0	0	0
1/2	0	0	1
1/4	0	1	0
1/8	0	1	1
1/16	1	0	0
1/32	1	0	1

Fonte: JGAMBLOG.WORDPRESS.COM (Adaptado pela autora)

A precisão e a exatidão de uma impressora 3D ao imprimir uma peça, acaba sendo sua maior característica. O passo de 1/32 foi seleccionado pela máxima precisão permitida pelo drive, logo 3 pares de conectores, circulos na **Figura 34**, foram postos em modo HIGH.

Figura 34 Local do Hardware para configuração dos passos

zz



Fonte: SHONGAMES, 2014

## 4.5.2. Configuração do módulo DRV8825

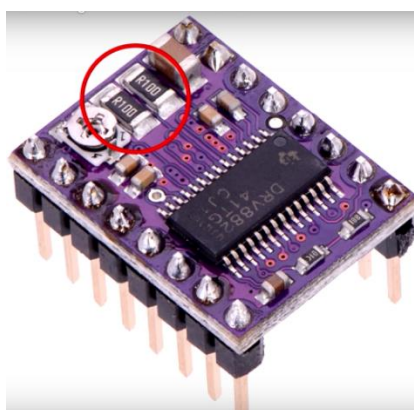
Antes de qualquer configuração no Módulo DRV8825, recomenda-se que faça o ajuste de corrente para se adequar ao motor de passo. O ajuste de corrente é feito através de um potenciômetro (POT). Existe uma fórmula no Datasheet do DRV8825 para se calcular a corrente do driver. O Chip DRV8825 tem um regulador interno de tensão de 3,3 V. Essa tensão é aplicada no POT e fazendo o ajuste, pode-se variar a tensão de Referência VREF entre 0 e 3,3 V. Essa tensão VREF determina a corrente no motor.

$$V_{ref} = I_{Max}5R_s \quad (1)$$

De acordo com o fabricante, a corrente máxima do motor de passo utilizado é de 1,5 A. Utilizando uma margem de segurança de 30%, equivale-se a 1,05 A.

No módulo DRV8825 utilizado no projeto **Figura 35** os resistores têm os valores de 100  $\Omega$ , ou seja, o RSense é de 0,1.

Figura 35 Modulo DRV8825 com resistores de 100  $\Omega$



Fonte: RBTECH.INFO

Portanto, a tensão de referência é 0,55V, calculado na equação (1) e ajustado no drive:

$$V_{ref} = 0,55 \text{ V} \quad (2)$$

No eixo Z, ele controla 2 motores, portando.

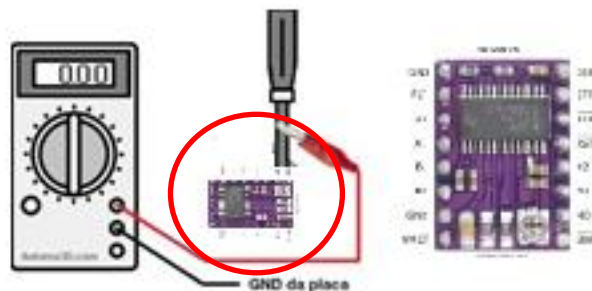
$$V_{ref} = 2 \times 0,55 \text{ V}$$

$$V_{ref} = 1,10 \text{ V} \quad (3)$$

Para facilitar a medição de VREF, aplique a ponta de prova Positivo sobre o potenciômetro do driver **Figura 36**, e conecte o Negativo do Voltímetro no terra do módulo (GND). E gire suavemente o potenciômetro com uma pequena chave de fenda.

- Girando no sentido do relógio – diminui VREF
- Girando no sentido anti-horário – aumenta VREF

Figura 36 Método de configuração do módulo DRV8825



Fonte: AUTOMA3D, 2018 (Adaptado pela autora)

## 4.6. FIRMWARE / SOFTWARE

### 4.6.1. Marlin

Marlin é um *firmware* **Figura 37**, que gerencia o sistema da impressora 3D, semelhante a um sistema operacional. Os parâmetros mecânicos e elétricos assim como os equipamentos periféricos utilizados devem ser informados ao Marlin através do algoritmo e esse sistema é compilado direto no Arduino Mega2560. A configuração é dada pelo arquivo configuration.h.

As alterações necessárias **Tabela 2**, foram em relação ao tamanho da mesa (largura, comprimento, altura), velocidade dos motores, distância do extrusor em relação a mesa, limites de movimentação de eixos, temperatura máxima e mínima da mesa aquecida e do Hotend V6, sistema de segurança de aquecimento, ativação do Display LCD.

Figura 37 Interface de Configuration.h do Marlin

```
1 |  
2 |  
3 | * Marlin 3D Printer Firmware  
4 | * Copyright (C) 2016 MarlinFirmware [https://github.com/MarlinFirmware/Marlin]  
5 | *  
6 | * Based on Sprinter and grbl.  
7 | * Copyright (C) 2011 Camiel Gubbels / Erik van der Zalm  
8 | *  
9 | * This program is free software: you can redistribute it and/or modify  
10 | * it under the terms of the GNU General Public License as published by  
11 | * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or  
12 | * (at your option) any later version.  
13 | *  
14 | * This program is distributed in the hope that it will be useful,  
15 | * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of  
16 | * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the  
17 | * GNU General Public License for more details.  
18 | *  
19 | * You should have received a copy of the GNU General Public License  
20 | * along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.  
21 | *  
22 | */  
23 |  
24 | * Configuration.h  
25 | *  
26 | * Basic settings such as:  
27 | *  
28 | * - Type of electronics
```

Fonte: AUTORA, 2021

Tabela 2 Parâmetros no Firmware Marlin

Comando	Valor	Descrição
#define BAUDRATE	115200	Define a velocidade de comunicação entre a placa eletrônica e o computador.
#define MOTHERBOARD	BOARD_RAMPS_14_EFB	Define qual o tipo de placa eletrônica é utilizado, no caso o modelo RAMPS 1.4 com saídas de alimentação para

		hotend, ventilador de exaustão e cama aquecida.
#define CUSTOM_MACHINE_NAME	IMPRESSORA 3D	Define um nome personalizado para a impressora 3D.
#define EXTRUDERS	1	Define o número de extrusoras na impressora 3D.
#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA	1,75	Define o diâmetro do filamento.
#define TEMP_SENSOR_0	1	Define qual o tipo de termistor que será utilizado na extrusora E0.
#define TEMP_SENSOR_BED	1	Define qual o tipo de termistor que será no hotend da extrusora.
#define ENDSTOPPULLUPS	Linha Comentada	Opção desativada devido a instalação dos endstop da impressora.
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING	TRUE	Habilita para inverter a lógica da chave de fim de curso para a posição mínima em X.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING	TRUE	Habilita para inverter a lógica da chave de fim de curso para a posição mínima em Y.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING	TRUE	Habilita para inverter a lógica da chave de fim de curso para a posição mínima em Z.
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT	(160, 160, 800, 205.77)	Define número de passos necessários por unidade de distância (mm) para respectivamente, X, Y, Z, E0.
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE	(100, 100, 3, 25)	Define a velocidade máxima em mm/s para respectivamente X, Y, Z, E0.
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION	(1000, 1000, 100, 10000)	Define a aceleração máxima em mm/s para respectivamente X, Y, Z, E0.
#define Z_MIN_PROBLE_USES_Z_MIN_ENDSTOP_PIN	Linha comentada	Define nivelamento automático da mesa
#define PROBLE_MANUALLY	Descomentar a Linha	Define nivelamento manual da mesa de impressão.
#define X_BED_SIZE	190	Define o tamanho da área de mesa aquecida em X.
#define Y_BED_SIZE	190	Define o tamanho da área de mesa aquecida em Y.
#define Z_MAX_POS	180	Define altura limite de altura em Z.
#define MESH_BED_LEVELING	Descomentar a Linha	Define nivelamento através do LCD com pontos específicos.
#define LCD_BED_LEVELING	Descomentar a Linha	Define a utilização do painel LCD como controle.
#define LEVEL_BED_CORNERS	Descomentar a Linha	habilita o nivelamento de canto da mesa de impressão.
#define GRID_MAX_POINTS_X	2	Define os pontos de nivelamento na mesa de impressão.
#define EEPROM_SETTINGS	Descomentar a Linha	habilita salvar as configurações do arquivo direto na memória da EEPROM do Arduino.
#define PREHEAT_1_TEMP_HOTEND	180	Nível de temperatura para filamento PLA.
#define PREHEAT_1_TEMP_BED	60	Nível de temperatura da mesa de impressão para PLA.
#define PREHEAT_2_TEMP_HOTEND	200	Nível de temperatura para filamento ABS.
#define PREHEAT_2_TEMP_BED	100	Nível de temperatura da mesa de impressão para ABS.

#define PRINTCOUNTER	Descomentar a Linha	Habilita a contagem de impressões.
#define SSDSUPPORT	Descomentar a Linha	Habilita a função através do cartão SD.
#define LCD_LANGUAGE	pt-br	Interface do LCD para linguagem em português.
#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER	Descomentar a Linha	Modelo de display utilizado no projeto.

Fonte: AUTORA, 2021.

Para a seguinte função **Tabela 2**, **#define DEFAULT\_AXIS\_STEPS\_PER\_UNIT (160, 160, 8000, 205.77)**, foram obtidos valores iniciais de acordo com a calculadora do software *Repetier*, como mostra a **tabela 3**, porém eles podem ser modificados, caso necessite de algum ajuste nos eixos.

Tabela 3 Parâmetros específicos alterados no Firmware Marlin, de acordo com software Repetier.

Valores utilizados na calculadora	Descrição
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ângulo de passo do motor = 1,8</li> <li>- Driver microstep = 1/32</li> <li>- Passos da correia = 2mm(GT2)</li> <li>- Contagem de dentes da polia = 20 dentes</li> </ul>	Os valores de X e Y, foram encontrados no software <i>repetier</i> , através do ícone "Calculadora de Correia", do qual são preenchidos dados dos motores, correias e polias do projeto.
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ângulo de passo do motor = 1,8</li> <li>- Drive microstep = 1/32</li> <li>- Passos do parafuso = M6</li> <li>- Relação da engrenagem = 1:1</li> </ul>	O valor do eixo Z, que esta relacionado a barra roscada, foi definido através do ícone "Calculadora de Parafusos", onde são informados angulos de passos do motor, drive do motor, passos do parafuso e a relação da engrenagem.
- $(200 \cdot 32) / (11 \cdot 3,1415)$	Definição do valor dos steps do motor para extrusora. (Passos do motor * Microsteps) / (diâmetro da Engrenagem (mm) * Pi).

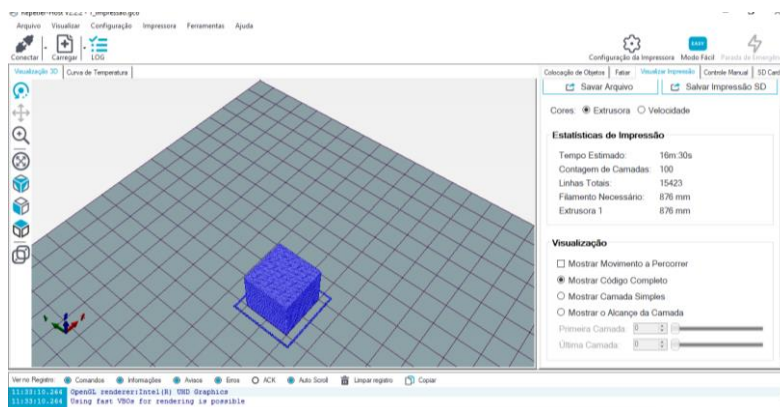
Fonte: AUTORA, 2021.

#### 4.6.2. Repetier Host

Um software que trabalha com o arquivo STL gerado pelo modelo CAD. Primeiramente, é posicionado o objeto 3D na mesa virtual, após isso é gerado o G-code através do fatiamento, resultando assim, na simulação da impressão desejada. A impressão dar-se-á por conexão USB, TCP/IP, *Repetier Server* ou via Cartão SD.

Para funcionar, o Repetier *host* **Figura 38**, precisa estar configurado com parâmetros como dimensão da impressão, distância da ferramenta extrusora em relação a mesa aquecida, tipos de insumo, temperatura do bico do hotend e da mesa, velocidade de impressão, espessura das camadas, porcentagem de preenchimento.

**Figura 38** Objeto 3D na mesa virtual do Repetier



Fonte: AUTORA, 2021

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

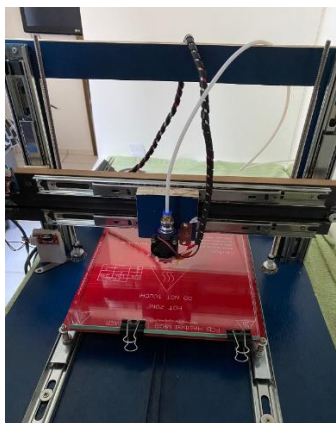
### 5.1. Montagem da Máquina.

Foi desenvolvido um projeto economicamente viável a todo tipo de pessoa que tenha interesse em construir uma impressora 3D de forma simples, com qualidade e agilidade. A construção foi feita utilizando materiais importados de baixo custo, seguindo uma modelagem já existente, porém no meio do percurso foram necessários ajustes levando em conta a realidade da cidade, principalmente no que se refere aos aspectos logísticos. Como finalização de todo desenvolvimento exposto nesse projeto, se obteve a impressora 3D **Figura 39** com um valor aproximado de R\$ 856,15.

Em comparação ao menor valor de impressora 3D encontrada no mercado **Figura 8**, e a economia realizada na construção da mesma, traduz -se uma impressora de baixo custo.



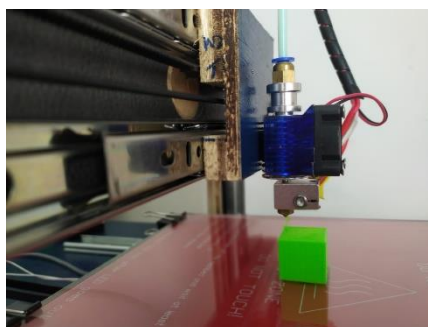
Figura 39 Impressora 3D



Fonte: AUTORA, 2021

Na **Figura 40**, temos a primeira peça feita na impressora 3D. Foram pré-configurados parâmetros, de acordo com a **Tabela 2 e 3**.

Figura 40 Cubo de Calibração

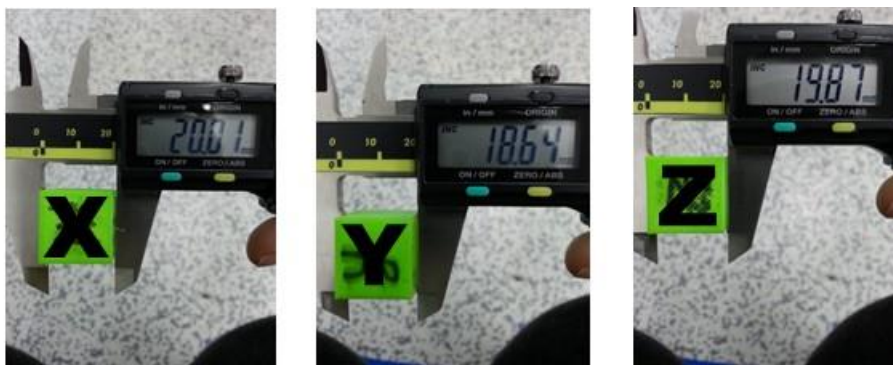


Fonte: AUTORA, 2021

## 5.2. COMPARAÇÃO DE PEÇAS IMPRESSAS

A mensuração do cubo de calibração foi efetuada através de um paquímetro digital, modelo/nº 500-196, com resolução de 0.01 mm da fabricante Mitutoyo e os resultados para as 3 dimensões do cubo (comprimento, largura e altura) são demonstrados na **Figura 41**. Os 3 eixos apresentaram variações, em relação ao valor esperado de 20 mm do cubo.

Figura 41 Medição do cubo, eixos X, Y e Z respectivamente.



a) Eixo X

b) Eixo Y

c) Eixo Z

Fonte: AUTORA, 2021.

Tabela 4 Parâmetros de calibração

Eixo	Valores desejados	Valores adquiridos	Varição	Situação
Eixo X	20 mm +/- 0,2	20,01 mm	0,01	Ok
Eixo Y	20 mm +/- 0,2	18,64 mm	1,36	Ajustar
Eixo Z	20 mm +/- 0,2	19,87 mm	0,13	Ajustar

Fonte: AUTORA, 2021.

Essas variações dimensionais encontradas no cubo de calibração referentes a **Tabela 4** são geradas pelas folgas no sistema mecânico das corredeiras, falhas na definição de parâmetros do firmware/software tais como: velocidade de impressão e vazão de deposição do insumo, entre outros.

Serão feitos ajustes nos steps do *firmware* Marlin, afim de melhor a dimensão da peça.

### 5.3. INSUMOS UTILIZADOS NAS IMPRESSÕES 3D

Abaixo, segue a **Tabela 5** com os dados de forma detalhada das peças e componentes adquiridos para a elaboração e construção da impressora 3 D de baixo custo.

Tabela 5 Custo com Insumos da impressora 3D

Tipo	Item	Descrição	Unid	Valor (Reais)
Mecânico	1	Motor de Passo Nema 17	5	R\$ 308
	2	Fuso Trapezoidal Passo 2mm $\phi$ 8mm x 300mm	2	R\$ 21,00
	3	1 par de corredeiras telescópicas de 30cm	1	R\$ 12,00
	4	1 par de corredeiras telescópicas de 40cm	1	R\$ 18,00
	5	1 par de corredeiras telescópicas de 45cm	1	R\$ 22,25
	6	Acoplador Flexível do eixo 5mm x 8mm	2	R\$ 60,00
	7	Polia acopladora 20 dentes 5mm	2	
	8	Correia GT2	2 m	
	9	Extrusor alumínio MK8	1	R\$ 39,90
	10	Vidro da mesa (21x20cmx6mm)	1	R\$ 20,00
	11	Tubo ptfе 1.75mm	1m	R\$ 20,00
	12	Cooler 40x40mm 12V	1	25
	13	Estrutura frame mdf	1	R\$ 60,00
	14	Parafusos, Porcas e arruelas em geral		R\$ 40,00
	15	Fim de Curso	3	R\$ 209,00
16	Arduino Mega 2560	1		
17	Ramps 1.4	1		
18	Drive DRV8825	4		
19	Display LCD smart 20x4	1		
20	Mesa Aquecida MK2B + Termistor	1		
21	Fonte Chaveada 12V 30A	1	R\$ 60,00	
22	Hotend Extruder V6 com fan 1,75mm	1	R\$ 26,00	
				<b>R\$ 856,15</b>

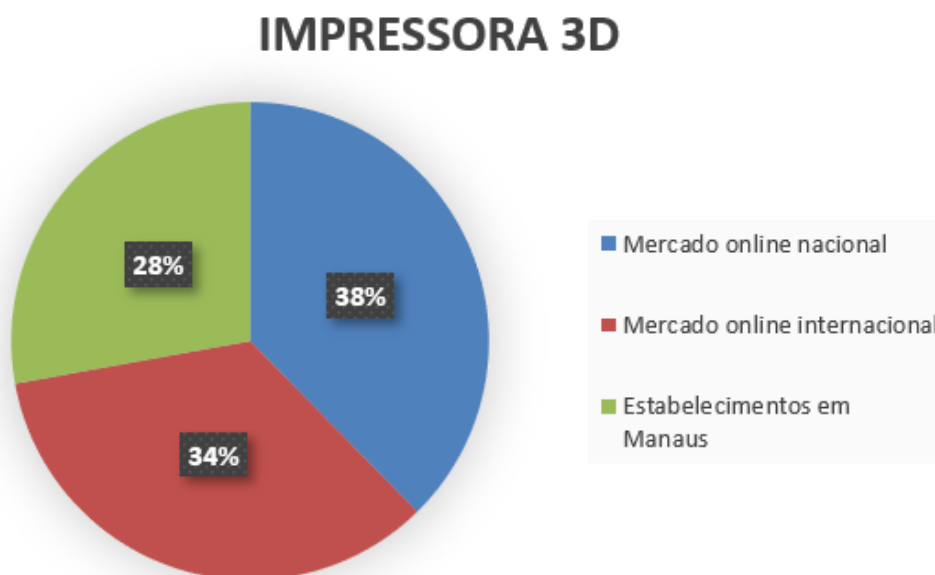
Fonte: AUTORA, 2021.

Não foi contabilizado o filamento PLA, pois o mesmo foi cedido pelo Polo de Inovação de Manaus, do Instituto Federal do Amazonas, e também não foram contabilizadas peças que foram compradas em duplicidade.

A aquisição de todos os itens pode ser resumida na **Figura 42**, com o percentual de aquisição do material, separado em categorias das quais foram compradas no mercado nacional ou internacional. Ao analisar os dados, em relação aos custos acerca do desenvolvimento da máquina, tem-se valor final de R\$ 856,15 para construção da impressora 3D. Ao comparar o custo de impressoras semelhantes

disponíveis no mercado com o modelo proposto, temos um custo aproximado de R\$ 2200,00. O que viabiliza e atinge a finalidade proposta neste projeto, que é a construção de uma impressora 3D de baixo custo.

Figura 42 Aquisição de peças no mercado



Fonte: AUTORA, 2021.

## 6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Através do projeto foi possível constatar a concepção de uma impressora 3D de baixo custo, considerando as premissas apresentadas. Foi atingida a finalidade do projeto, evidenciando que é possível construir uma impressora 3D economicamente acessível, contendo a demonstração de todas as fases do desenvolvimento de um projeto, descrevendo os materiais utilizados e os métodos aplicados na montagem. Em relação à aparência, o produto final ficou com um peso maior e um aspecto menos comercial por conta da utilização do MDF, mas, por outro lado, resultou num maior ganho de robustez se comparado à utilização de outros materiais.

Como perspectivas de aprimoramento desta impressora, pode-se incluir (i) sistema de nivelamento de mesa automático, (ii) substituição de peças improvisadas por peças bem dimensionadas e impressas na própria impressora, a fim de diminuir ou eliminar as folgas do suporte da bucha do eixo Z, que gera imprecisão no movimento, (iii) teste da impressão com o filamento ABS.

O projeto pôde ser concluído seguindo os objetivos iniciais, de baixo custo e de construção simples. A aplicação e uso da impressora 3D não tem limites, podendo ser utilizada para fins empresariais e para o uso doméstico. Além disso, pode ter uma aplicação nos Institutos Federais e em Universidades, nas disciplinas de programação, eletrônica ou mecânica, como um curso de extensão e como forma de elaboração de projetos integrados, principalmente como forma didático-pedagógico para o ensino, trabalhando a interdisciplinaridade entre os cursos.

## REFERÊNCIAS

- A. Bassani, LA Pessan e EH Júnior. (Polímeros: Ciência e Tecnologia de 2002). Polímeros: Ciência e Tecnologia. “*Propriedades Mecânicas de Blendas de Nylon-6 / Acrilonitrila-EPDM-Estireno (AES) Compatibilizadas com Copolímero Acrílico Reativo (MMA-MA)*”, vol. 12, pp. 102-108.
- Athoselectronics. (s.d.). Acesso em ago de 2021, disponível em Disponível em: <https://athoselectronics.com/fonte-chaveada/>.
- BALZANI, R.N. (2017). A produção de impressoras tridimensionais de baixo custo para estudantes de arquitetura. 100 p. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. UnB - Universidade Federal de Brasília. FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília.
- CHASE, O. (2007). SISTEMAS EMBARCADOS. v. 10, n.11. Fonte: < <HTTP://WWW.LYFREITAS.COM.BR/ANT/PDF/EMBARCADOS.PDF>>
- CUNHA, H. A. (2013). . Impressoras 3D: o direito da propriedade intelectual precisará alcançar novas dimensões? Em *Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Direito) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro* (p. 46 f).
- DIEL, Jefferson Luís. (2000). Policarbonato: Características e principais informações na sua utilização como material de construção. *ENGENHARIA QUÍMICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Rio Grande do SUL*, 15 p.
- ELEUTÉRIO, W. A.; HOVADICH, W. A. A.; BRAGA, E. Q. (2011). Controlador Lógico Programável Utilizando. *Revista e-Xacta*, p. 159-179. Acesso em ago de 2021, disponível em <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/695/392>>
- ENGENHEIRO DE MATERIAIS. (s.d.). *Elastômeros termoplásticos*. Acesso em ago de 2021, disponível em <https://engenheirodemateriais.com.br/2016/06/29/elastomeros-termoplasticos/#more-4200> .
- EVANS, B. (2012). *Practical 3D printers: The science and art of 3D printing*. Fonte: Apress.
- GORNI, A. (2001). INTRODUÇÃO À PROTOTIPAGEM RÁPIDA E SEUS PROCESSOS. *Revista Plástico Industrial*, V.3(N.31), P. 230-239.

- GRIMM, T. (s.d.).
- GRIMM, T. (2005). CHOOSING THE RIGHT RP SYSTEM: A STUDY OF SEVEN RP SYSTEMS.
- Heated Bed*. (2015). Acesso em ago de 2021, disponível em [HTTP://REPRAP.ORG/WIKI/HEAT\\_BED](HTTP://REPRAP.ORG/WIKI/HEAT_BED).
- Holland, D. O. (2010). "Open Design and the RepRap Project". In: 27th International Manufacturing Conference. Galway, Ireland.
- JÚNIOR, G. C. N. (2007). Máquinas Elétricas: teorias e ensaios. 2. ed. São Paulo.
- MARTINS, N. A. (2005). Sistemas Microcontrolados: Projeto 5 – Controle de Motores de Passo. São Paulo: Novatec. p. 159-165. Fonte: <<http://www.novateceditora.com.br/livros/sismicropic16f84/capitulo8575220748.pdf>>
- Miròn, V.; Ferràndiz, Santiago; Juárez, David; Mengual, Ana. (2017). Manufacturing and characterization of 3D printer filament using tailoring materials. *Procedia Manufacturing*. Fonte: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.151>
- Montealegre, Cristóbal; González, Luis. (2015). Diseño de una extrusora para filamento de impresión 3D (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Mundo da Eletrônica*. (s.d.). Acesso em ago de 2021, disponível em Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/sensor-ntc-caracteristicas-funcionamento/>.
- RepRap*. (2015). Fonte: [HTTP://REPRAP.ORG/WIKI/HEAT\\_BED](HTTP://REPRAP.ORG/WIKI/HEAT_BED).
- RepRap*. (2017). Acesso em ago de 2021, disponível em [http://reprap.org/wiki/Arduino\\_Mega\\_Pololu\\_Shield](http://reprap.org/wiki/Arduino_Mega_Pololu_Shield).
- Richard, C., & Bishop, R. (2001). *Modern Control Systems*. Prentice Hall.
- RONCOLATO, M. (s.d.). Fim das Patentes impulsionará o mercado de impressora 3D. *Revista Galileu*. Acesso em 4 de Julho de 2021, disponível em <https://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,ERT340645-17770,00.html>
- Salim, Mohd; Termiti, Zarif; Saad, Adzni. (2019). Mechanical Properties on ABS/PLA Materials for Geospatial Imaging Printed Product using 3D Printer Technology.

Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11357-8>

SALMORIA, G. V. (2007). *Prototipagem rápida por impressão 3d com resinas fotocuráveis: uma análise sobre as tecnologias disponíveis no mercado nacional*. Artigo Engenharia Mecânica UFSC, Santa Catarina.

SHAH, M. (2021). *Market Analysis Report*. Relatório de análise de tendências, compartilhamento e tamanho do mercado de impressão 3D por componente, por tipo de impressora (desktop, industrial), por tecnologia, por software, por aplicativo, por vertical, por material, por região e por segmento. Fonte: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-printing-industry-analysis>

SMARTKITS. (s.d.). Acesso em ago de 2021, disponível em <https://www.smartkits.com.br/display-lcd-20x4-para-impressora-3d-reprap-ramps-1-4>.

Srivatsan, T. &. (2016). *Additive Manufacturing: Innovations, Advances, and Applications*. Boca Raton, Florida, Estado Unidos: CRC Press.

TECNOLOGIA FDM. (s.d.). Acesso em ago de 2021, disponível em <https://www.stratasys.com/br/fdm-technology>.

YAN X.; GU,P.A. (1996). REVIEW OF RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGIES AND SYSTEMS. COMPUTER-AIDED DESIGN.