

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LEONARDO ZANINI NICLOTE

**MONTAGEM E INSTRUÇÃO DE CONFIGURAÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D
UTILIZANDO ARDUINO**

PATO BRANCO

2023

LEONARDO ZANINI NICLOTE

**MONTAGEM E INSTRUÇÃO DE CONFIGURAÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D
UTILIZANDO ARDUINO**

**ASSEMBLY AND SETUP INSTRUCTIONS FOR A 3D PRINTER USING
ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Marcio Tadayuki Nakaura

PATO BRANCO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LEONARDO ZANINI NICLOTE

**MONTAGEM E INSTRUÇÃO DE CONFIGURAÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D
UTILIZANDO ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 01 de dezembro de 2023

Prof. Adelino Carlos Maccarini
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Joamilton Stahlschmidt
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Marcio Tadayuki Nakaura - Orientador
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO
2023

Dedico esse trabalho especialmente para à família que eu amo, e sempre esteve comigo durante toda a trajetória da minha vida, e meus momentos difíceis. Agradeço a paciência.

AGRADECIMENTOS

Em uma trajetória longa como essa, cheia de dúvida e dificuldades, há várias pessoas que cruzaram meu caminho, e fizeram parte de tudo isso. Primeiro e mais importante à minha família, sem eles nada disso seria possível, já que em cada parte do caminho, seguraram minha mão. Em seguida, amigos que fortalecem o espírito e ajudam a abraçar as dificuldades da vida, e complementam a base de tudo.

Na academia, agradeço diretamente ao esforço e paciência do meu orientador professor Marcio, junto com todo o pessoal do FabLab, que deram todo o suporte para fazer funcionar a impressora, e em especial o Luiz Vigiato, que disponibilizou horas extras e não mediu esforços na ajuda.

Embora o futuro seja incerto, ao menos a fundação para ele já foi estabelecido, obrigado à todos que fizeram parte dessa jornada de aprendizado, conhecimento e estresse.

RESUMO

Com o avanço contínuo da tecnologia, a impressão 3D não se limita mais apenas ao centro das discussões, mas sua evolução incessante continua a surpreender. Esse cenário nos instiga a explorar um estudo detalhado de seu funcionamento e construir uma impressora 3D ao invés de adquiri-la pronta. Neste projeto, foi desenvolvido uma impressora com configuração HBOT, abordando a montagem do projeto mecânico, incluindo a estrutura, suas medidas, e um guia completo sobre os aspectos elétricos e eletrônicos, bem como a configuração do código no Marlin. Além disso, foi elaborado orientações sobre ajustes simplificados, procedimentos de calibragem para todo o equipamento e considerações importantes para melhorias adicionais. Destaca-se que as dimensões do volume de impressão útil da máquina abrangem 300 mm x 300 mm x 430 mm, com um foco principal na impressão de filamento em PLA.

Palavras-chave: impressora 3d; marlin; arduino; configuração hbot; filamento pla.

ABSTRACT

With the continuous advancement of technology, 3D printing is no longer confined solely to the center of discussions, but its incessant evolution continues to astonish. This scenario urges us to delve into a detailed study of its functionality and construct a 3D printer rather than acquiring a pre-made one. In this project, a printer was developed with an HBOT configuration, addressing the assembly of the mechanical design, including the structure, its measurements, and a comprehensive guide on the electrical and electronic aspects, as well as the configuration of the code in Marlin. Furthermore, simplified adjustment guidelines, calibration procedures for the entire equipment, and important considerations for additional improvements were outlined. It is noteworthy that the useful printing volume dimensions of the machine encompass 300 mm x 300 mm x 430 mm, with a primary focus on filament printing in PLA.

Keywords: 3d printer; marlin; arduino; hbot setup; pla filament.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sete categorias de MA segundo a ISO/ASTM 52900(2015)	14
Figura 2 – Configuração HBOT onde 3 e 4 são motores	15
Figura 3 – Torção na Configuração HBOT	16
Figura 4 – Pirâmide categorizando filamentos e suas propriedades	16
Figura 5 – Página de <i>download</i> do Marlin	17
Figura 6 – Editor de texto VS Code com extensões do Marlin e Arduino para desenvolvimento do projeto	18
Figura 7 – Fluxograma de configurações iniciais do Marlin	20
Figura 8 – Configuração da orientação do conjunto e a opção de inversão dentro do Marlin	20
Figura 9 – Habilitando a <i>bootscreen</i> customizável	20
Figura 10 – Adicionando a placa <i>Shield</i> correta no código	21
Figura 11 – Habilitando o nome personalizado e alterando	21
Figura 12 – Selecionando os <i>Steppers Drivers</i> responsáveis por regular a corrente enviada aos motores, no Eixo X, Y e Z, e na Extrusora "E0"	21
Figura 13 – Escolha de número de extrusores e diâmetro de filamento	22
Figura 14 – Escolha dos termistores e sua habilitação	22
Figura 15 – Habilitando <i>endstops</i> do eixo X,Y e Z	23
Figura 16 – Escolha da ordem da lógica para os <i>endstops</i>	23
Figura 17 – Calculadora de passos Atividade <i>Maker</i> para o eixo X E Y, com os parâmetros de construção da impressora, os <i>steps</i> por milímetro e sua resolução	24
Figura 18 – Calculadora de passos Atividade <i>Maker</i> para o fuso eixo Z, com os parâmetros de construção da impressora, os <i>steps</i> por milímetro e sua resolução	25
Figura 19 – Escolha do <i>Driver</i> DRV8825 dentro das configurações para o eixo X, Y, Z e extrusor	25
Figura 20 – Habilitando a EEPROM nas configurações para que seja salvo as alterações feitas na tela	26
Figura 21 – Trocando a linguagem para português do Brasil	26

Figura 22 – Habilitando o suporte para cartões SD	26
Figura 23 – Habilitando Visor Full Graphics da RepRap	27
Figura 24 – Habilitando a opção Sonda Bltouch para ser o endstop no eixo Z	27
Figura 25 – Configuração de <i>Offset</i> para eixos X, Y e Z	28
Figura 26 – Configuração de <i>Offset</i> para eixos X, Y e Z	28
Figura 28 – Definindo o método de nivelamento da mesa aquecida como bilinear, a melhor opção para mesas grandes	29
Figura 27 – Alterando dimensões da mesa aquecida no código, e da distância máxima percorrida no eixo Z	29
Figura 29 – Configuração de parâmetros de impressão dentro do <i>software</i> Cura a respeito da qualidade	30
Figura 30 – Configuração de parâmetros de impressão dentro do <i>software</i> Cura a respeito da estrutura das paredes	30
Figura 31 – Esquemático geral de conexões elétricas e eletrônicas no Shield Ramps 1.4 para uma Impressora 3D CORE XY	32
Figura 32 – Esquemático indicando cada modo de configuração para cada micro-passo	33
Figura 33 – Placa Shield Ramps 1.4 com <i>Jumpers</i> no lugar com a configuração " <i>HIGH</i> ", " <i>HIGH</i> " e " <i>HIGH</i> "1/32 <i>steps</i> sem conexão na segunda extrusora.	34
Figura 34 – Placa Shield Ramps 1.3 para demonstrar <i>Jumpers</i> no lugar com a configuração " <i>HIGH</i> ", " <i>HIGH</i> " e " <i>HIGH</i> "1/32 <i>steps</i>	34
Figura 35 – Esquemático geral de conexões dos jumpers e drivers na placa Shield Ramps 1.4	35
Figura 36 – Conjunto de <i>drivers</i> DRV8825 conectados corretamente no <i>Shield</i> Ramps 1.4.	36
Figura 37 – Conjunto Shield Ramps 1.4 conectado sobre o Arduino	37
Figura 38 – Transistor <i>mosfet</i> conectado na fonte, e sua conexão saindo para a placa <i>Shield</i> 1.4	38
Figura 39 – Esquemático geral para conexão elétrica e eletrônica do <i>mosfet</i> e o termistor da mesa aquecida na placa Shield Ramps 1.4	39
Figura 40 – Esquemático geral de conexões elétricas e eletrônicas para o bico extrusor	39

Figura 41 – Esquemático de conexões, fios e suas possibilidades de arranjos para diferentes <i>drivers</i> segundo a orientação da bobina.	40
Figura 42 – Esquemático geral de conexões elétricas de alimentação e orientação para cada motor e seus respectivos eixos	41
Figura 43 – Esquemático geral de conexões eletrônicas para endstops eixo X, Y e Z	42
Figura 44 – Esquemático de conexões para Bltouch na placa Shield Ramps 1.4 com jumper	43
Figura 45 – Esquemático geral de conexões de alimentação do conjunto <i>Shield</i> Ramps 1.4 na fonte	44
Figura 46 – Conector tela LCD <i>Full Graphics</i> RepRap para Placa <i>Shield</i> 1.4	44
Figura 47 – Conjunto completo finalizado com conexões elétricas e eletrônicas	45
Figura 48 – Conexões na fonte, com os quatro fios para a alimentação da placa <i>Shield</i> , sempre respeitando positivo e GND	46
Figura 49 – Terminais conectores para poder fazer a fixação nos parafusos da fonte	47
Figura 50 – Mesa aquecida de alumínio 300 mm por 300 mm modelo Mk2a	48
Figura 51 – Esquemático de conexão para mesa aquecida de alumínio 300 mm por 300 mm modelo Mk2a 12 Volts	49
Figura 52 – Esquemático de conexão para mesa aquecida de alumínio 300 mm por 300 mm modelo Mk2a 24 Volts	49
Figura 53 – Tela LCD <i>Full Graphics</i> RepRap 128 mm x 64 mm durante impressão de componente	50
Figura 54 – Impressora 3D imprimindo componente teste em PLA	51
Figura 55 – Documentação Marlin em relação a GCODE e exemplos de códigos	52
Figura 56 – Ajustes de temperatura de impressão e micro passos gerando uma impressão mais precisa	54
Figura 57 – Medidas do cubo impresso final para constatação de parametros e iteração de cálculo de micro passos no eixo X	55
Figura 58 – Medidas do cubo impresso final para constatação de parametros e iteração de cálculo de micro passos no eixo Y	56
Figura 59 – Vista frontal montagem completa mecânica impressora 3D	61
Figura 60 – Vista lateral completa mecânica impressora 3D	62
Figura 61 – Vista superior completa mecânica impressora 3D	63

Figura 62 – Vista isométrica completa mecânica impressora 3D	64
Figura 63 – Vista explodida da Impressora 3D dividida em três visualizações	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de componentes e seus respectivos preços em dólares (AliExpress: 21/11/2023), importados da China	56
Tabela 1 – Lista de componentes e seus respectivos preços em dólares (AliExpress: 21/11/2023), importados da China	57
Tabela 2 – Lista de materiais relacionados a vista explodida Impressora 3D	65
Tabela 2 – Lista de materiais relacionados a vista explodida Impressora 3D	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
1.2	Justificativa	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Manufatura aditiva	14
2.2	Configuração de movimento dos eixos	15
2.3	Tipos de filamentos	16
2.4	Marlin <i>firmware</i>	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1	Configuração do Marlin	19
3.2	Elétrica e eletrônica	30
3.3	Ajustes e calibragem	51
4	RESULTADOS	53
5	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A MONTAGEM, DESCRIÇÃO DE COMPONENTES E VISTA EXPLODIDA DA PARTE MECÂNICA	61

1 INTRODUÇÃO

No mundo moderno das indústrias, muito se fala sobre a quarta revolução industrial e quais são os benefícios e características das quais ela possui. Dentre os mais diversos tópicos o intuito geral pregado é automatização, eficiência, precisão, velocidade e conectividade.

Essas ideias estão alinhadas com os métodos de manufatura aditiva atuais, os quais buscam atingir uma precisão sem precedentes, potencialmente revolucionando a indústria de manufatura como um todo, uma vez que suas aplicações são ilimitadas.

Impressoras 3D baseiam nesse tipo de manufatura para materializar um projeto de alto detalhe, e precisão, desenhado num *software* de CAD. Quando é mencionado tal precisão, não é só de detalhe, mas também com um nível de complexidade agregado, podendo com a alteração de geometria conseguir valores excelentes de resistência a tração e compressão em polímeros de baixo valor.

No que diz respeito aos materiais e às opções de filamentos, bem como ao tipo de impressora, pode haver uma grande variedade. Atualmente, com o avanço da tecnologia, não estamos limitados apenas aos filamentos plásticos. Temos também opções de impressão em pó metálico, concreto e até filamentos feitos de madeira.

Há inúmeras variações de configurações numa máquina de impressão 3D, desde a quantidade de extrusores, como também o arranjo estrutural de movimentação dos eixos, e aqui aplica-se novamente a regra geral de engenharia, que é, tudo depende da aplicação. O método aditivo de manufatura por filamento se destaca por sua simplicidade, oferecendo uma construção compacta e modular por impressoras 3D, que podem ser reproduzidas facilmente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Montar uma impressora 3D funcional e documentar o processo, fornecendo instruções abrangentes nos conjuntos mecânicos, elétricos, eletrônicos e de *software*.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a pesquisa dos componentes que integram a impressora para o entendimento da montagem adequada do equipamento;
- Configurar parâmetros em *software* e realizar ajuste fino com base nesses parâmetros;
- Elaborar um roteiro de instruções para a configuração inicial do Arduino;
- Testar o funcionamento da impressora 3D conforme os parâmetros especificados.

1.2 Justificativa

Dentro do contexto do avanço rápido e contínuo da tecnologia, é crucial compreender os parâmetros da estrutura de uma impressora 3D, assim como a programação por trás dela, pois isso se encaixa em uma nova categoria de métodos de manufatura. Essas impressoras pertencem a um campo com uma gama variada de modelos disponíveis de código aberto na internet, além de diversos projetos prontos para serem baixados e executados com poucos cliques. Torna-se evidente a importância de dominar essa tecnologia, dada sua praticidade e utilidade no cenário atual.

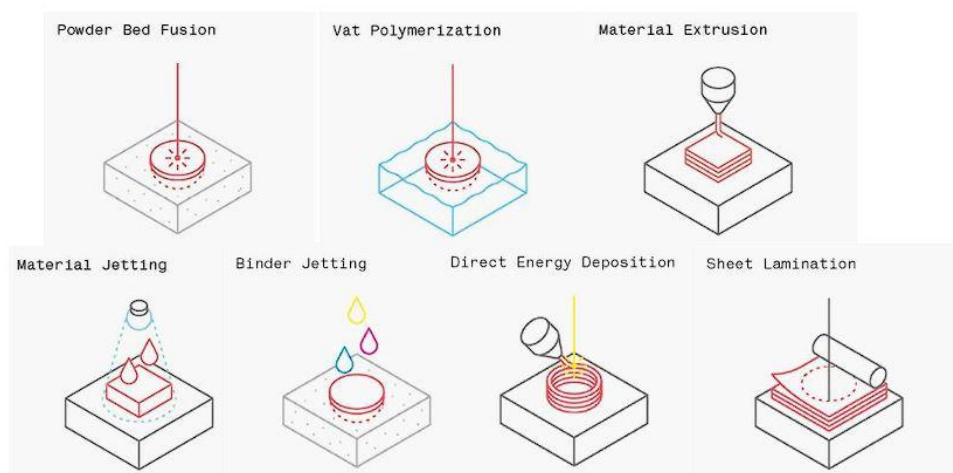
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manufatura aditiva

A tecnologia de manufatura tradicional muitas vezes não consegue gerar formatos complexos e irregulares, o que torna a impressão 3D uma forma de manufatura promissora com um grande potencial comercial (QIN; HUANG; YAO, 2019).

Nesse quesito, foi criada a norma ASTM F2792 (2010), que regulamentou o termo Manufatura Aditiva (MA) para definir os processos de união de materiais para construção de objetos a partir de um modelo 3D, geralmente camada a camada, em oposição aos métodos de manufatura por subtração (SANTANA et al., 2015). A Figura 1 apresenta as sete categorias de MA conforme definidas pela ISO/ASTM 52900 (2015).

Figura 1 – Sete categorias de MA segundo a ISO/ASTM 52900(2015)



Fonte: Redwood, Schöffner e Garret (2017)

Dentre essas sete categorias, o foco deste trabalho está na categoria de extrusão de material, mais precisamente no modelo conhecido como *Fused Deposition Modeling* (FDM) ou *Fused Filament Fabrication* (FFF). Esse método se destaca por suas características únicas devido a seu baixo custo e a simplicidade das impressoras 3D. No entanto, apesar da relativa simplicidade, esse processo ainda é complexo e envolve uma variedade significativa de parâmetros para a impressão.

Dentre esses parâmetros, estão inclusos o caminho de impressão da ferramenta, a espessura da camada, a estrutura de suporte (quando necessário), a orientação da construção, a taxa de alimentação do filamento e a temperatura. Tudo isso tem uma influência substancial na qualidade e propriedades das peças impressas em FFF (He et al., 2016; Gazzato et al., 2016; Cong et al., 2016 Masood et al., 2015).

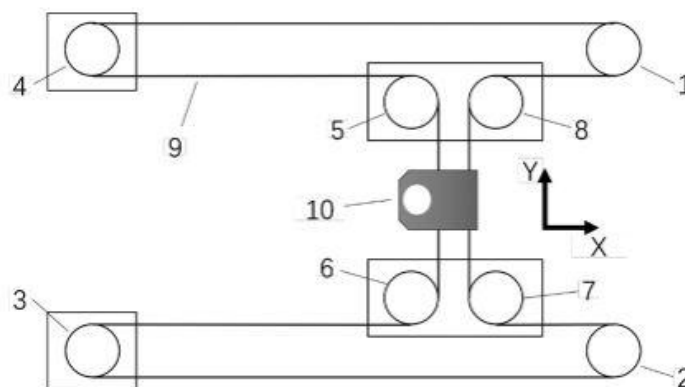
2.2 Configuração de movimento dos eixos

Um exemplo de arranjo estrutural para impressoras FFF é a configuração HBOT, onde apenas uma correia passa por várias polias e realiza o movimento em ambos os eixos X e Y com o auxílio de dois motores, possibilitando uma montagem mais simples e, conseqüentemente, mais barata.

Para esses dois motores, existem quatro tipos de possibilidades: quando ambos rotacionam no mesmo sentido, o bico injetor localizado no meio do "H" se locomove na horizontal; se o sentido da rotação para ambos for esquerda, o bico irá para a direita, e o contrário é válido. Logo, se ambos rotacionarem em sentidos opostos, o bico sobe e desce.

No entanto, a configuração HBOT apresenta um problema de torção no eixo Y devido ao movimento do bico injetor. A movimentação da correia gera reações nas polias, criando forças de sentido contrário que tendem a torcer a estrutura, resultando em imprecisões durante a impressão. A Figura 2 ilustra a configuração HBOT, onde os componentes, incluindo os motores identificados como 3 e 4, estão representados.

Figura 2 – Configuração HBOT onde 3 e 4 são motores

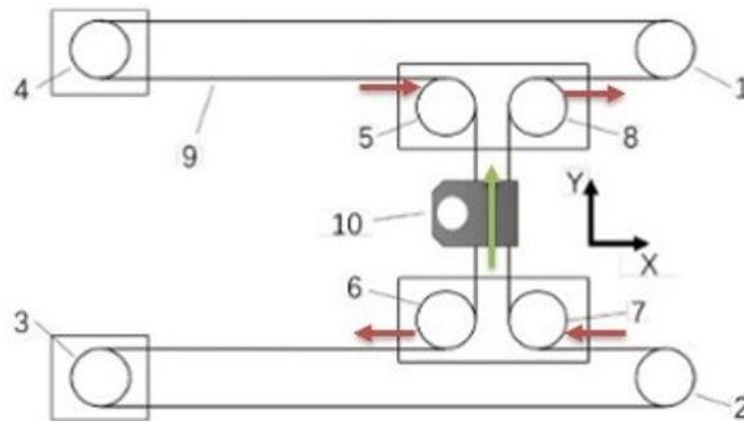


Fonte: Qin, Huang e Yao (2019)

Na Figura 2, é representado o esquema básico de estrutura HBOT, onde há oito polias, sendo as centrais, os números 5, 6, 7 e 8 polias de apoio e tensionamento, 1, 2, 3 e 4 polias de movimento, onde 3 e 4 são conectadas nos motores, responsáveis pela movimentação direta do conjunto. 9 a correia que une o conjunto inteiro e 10 a extrusora.

O problema dessa configuração é a torção gerada pelo movimento do bico injetor no eixo Y demonstrado na Figura 3, já que a movimentação da correia, gera reações nas polias, reação essa que por sua vez, possui sentidos contrários e tende a torcer a estrutura, gerando imprecisão na hora da impressão.

Figura 3 – Torção na Configuração HBOT

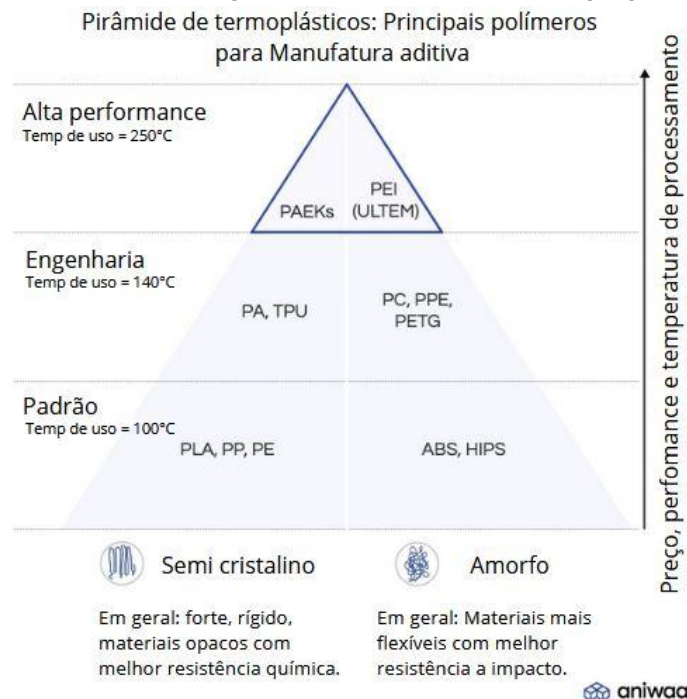


Fonte: Qin, Huang e Yao (2019)

2.3 Tipos de filamentos

Em relação a filamentos, se houver a necessidade de maior resistência mecânica e propriedades desejadas na engenharia, por exemplo, isso torna-se uma variável dependente da temperatura do bico injetor e por consequência, custo. Na Figura 4 pode-se observar uma pirâmide com vários tipos de compostos utilizados em impressões 3D, ranqueados conforme suas prioridades mecânicas, temperatura de impressão e custo, sendo o topo da pirâmide os melhores, e a base, os mais comuns e simples.

Figura 4 – Pirâmide categorizando filamentos e suas propriedades



Fonte: Alejandro Auerbach (2021)

A pirâmide, representa uma classificação de termoplásticos para serem utilizados em manufatura aditiva. Dependendo da necessidade, no eixo vertical, aumenta-se a resistência mecânica e resistência as demais solicitações para a aplicação determinada, mas por consequência, aumenta também o custo.

No lado direito há termoplásticos de estrutura amorfa e na esquerda, semi-cristalina, com o aumento da resistência as solicitações, também há um aumento na temperatura de uso contínuo, para o fundir o filamento corretamente, aplicando de forma adequada durante a impressão.

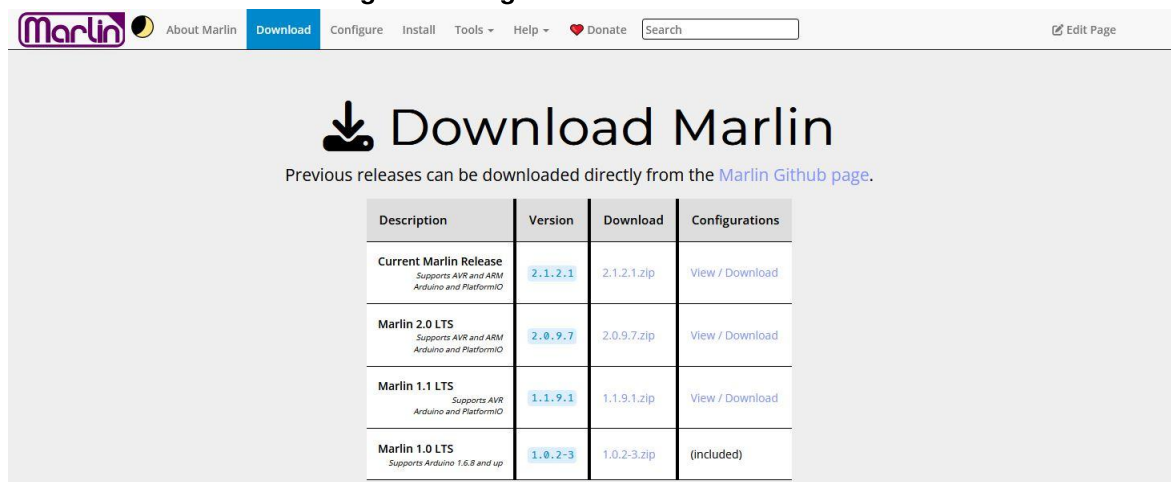
2.4 Marlin *firmware*

Um *firmware* é o *software* responsável pela comunicação do *hardware*, uma vez que os dois juntos, executam funções, tarefas e interpretação de parâmetros. Nesse contexto, o Marlin são linhas de códigos na linguagem C, onde é especificado todas as possíveis configurações de parâmetros, para os componentes disponíveis de impressão 3D, para que eles sejam interpretados e reconhecidos pelo Arduino.

Dessa forma, é possível ter um comportamento esperado e uma calibração em cima desses fundamentos, tudo graças ao Marlin. Ainda assim, é importante ressaltar que não é necessário qualquer programação, já que trata-se de um *firmware*, algo que já é disponível pronto.

A configuração do Marlin é realizada baixando o *firmware* do seu site como indicado na Figura 5. A versão utilizada foi 2.1.2.1. Utiliza-se um editor de código ou texto de sua preferência, sendo a *Integrated Development Environment (IDE)* do Arduino a opção padrão recomendada. A IDE do Arduino permite a leitura, edição e o *upload* das configurações para o *hardware* do Arduino. No entanto, devido à sua extrema simplicidade, pode se tornar um pouco complicado identificar problemas na configuração.

Figura 5 – Página de *download* do Marlin

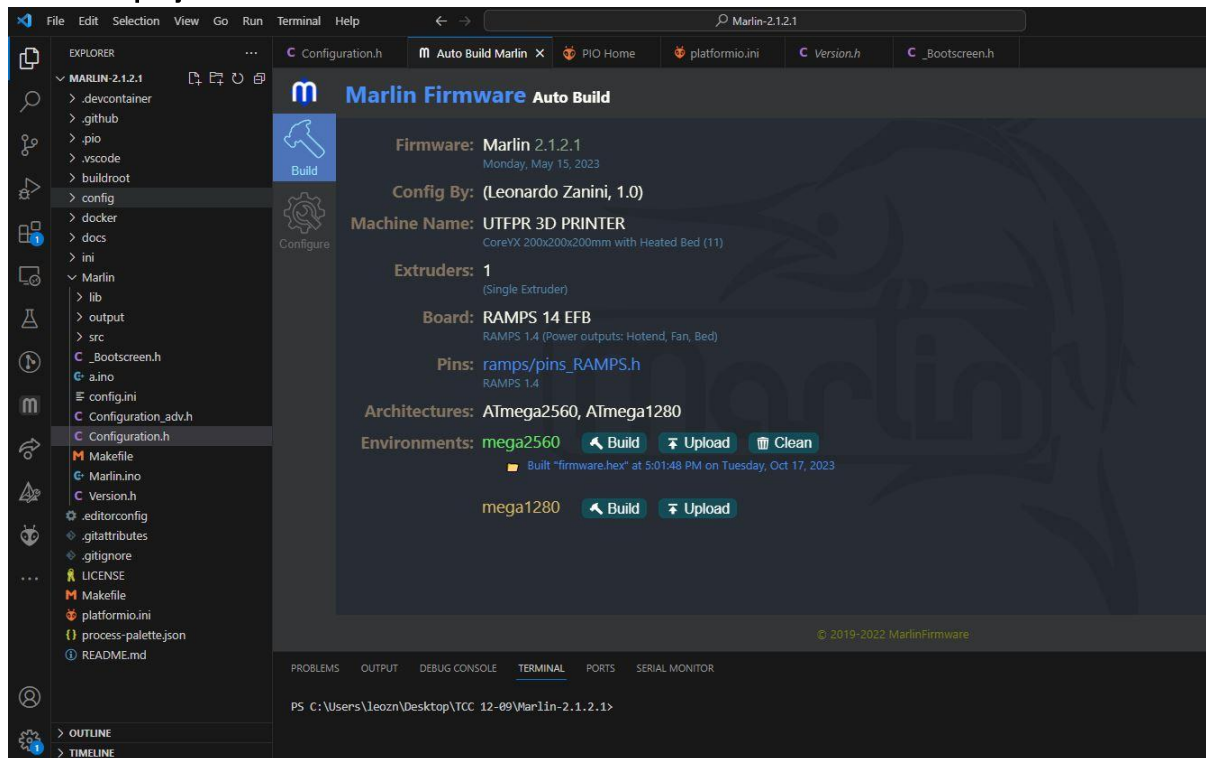


Description	Version	Download	Configurations
Current Marlin Release <small>Supports AVR and ARM Arduino and PlatformIO</small>	2.1.2.1	2.1.2.1.zip	View / Download
Marlin 2.0 LTS <small>Supports AVR and ARM Arduino and PlatformIO</small>	2.0.9.7	2.0.9.7.zip	View / Download
Marlin 1.1 LTS <small>Supports AVR Arduino and PlatformIO</small>	1.1.9.1	1.1.9.1.zip	View / Download
Marlin 1.0 LTS <small>Supports Arduino 1.6.8 and up</small>	1.0.2-3	1.0.2-3.zip	(included)

Fonte: Marlin (2023).

Por esse motivo, a melhor escolha é o editor de códigos mais difundido da atualidade *Visual Studio Code*, para a edição das configurações e leitura, já com as demais extensões necessárias para poder carregar as configurações por dentro do próprio ambiente do *VS Code*, aumentando exponencialmente a velocidade de compilação e *upload* para a placa, facilitando os ajustes.

Figura 6 – Editor de texto VS Code com extensões do Marlin e Arduino para desenvolvimento do projeto



Fonte: Autoria própria (2023).

Aqui no ambiente demonstrado pela Figura 6, é possível compilar o código e carregar para o Arduino na menor velocidade possível, e ainda usufruir de todo potencial das extensões que o *Visual Code Studio* ofertam.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Configuração do Marlin

A configuração do Marlin envolve principalmente a remoção dos comentários das linhas de código referentes a cada componente ou editar os valores existentes, na primeira edição foi feita para mostrar um *custom bootscreen* na tela, ao ligar o *display* da impressora.

Há várias formas de combinar as configurações apresentadas no Marlin com os componentes de *hardware* disponíveis. Por essa razão, é necessário uma configuração inicial indicada, e um ajuste fino logo após, conforme as necessidades, caso haja um comportamento diferente do esperado.

Desta forma, o método de trabalho geralmente envolve uma sequência de iterações, em que são realizados ajustes e modificações repetidas até que se obtenha um resultado final satisfatório na impressão. Esse resultado é alcançado através da interação entre o conjunto de *hardware* e *software* utilizado.

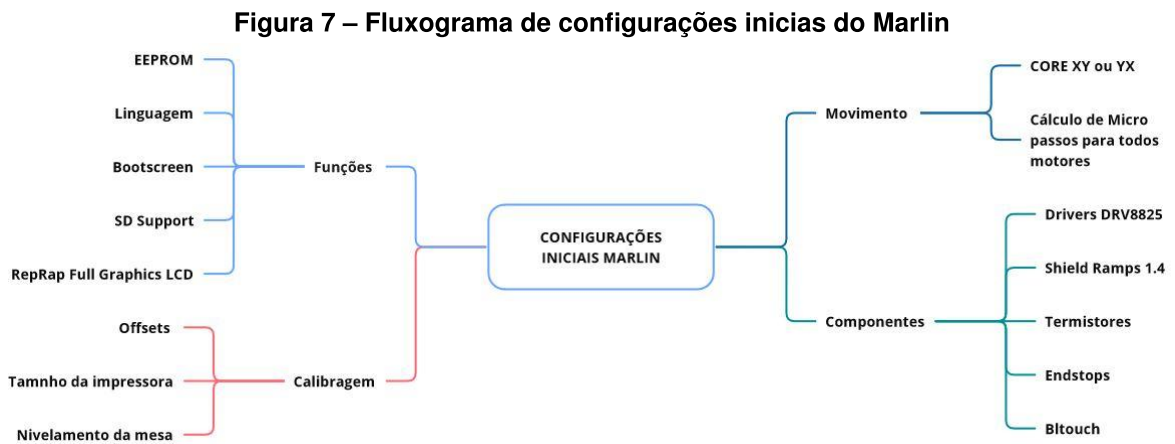
Embora a configuração inicial seja amplamente difundida e já preestabelecida, a combinação de diferentes componentes frequentemente exige uma compreensão mais aprofundada. Isso leva à necessidade de explorar novas combinações, já que a modularidade e variedade de peças para a construção de uma impressora, tornam as soluções de nicho cada vez mais frequentes.

Neste contexto, foi necessário realizar pesquisas em fontes que desenvolveram impressoras similares, dando assim um ponto de partida inicial para a primeira configuração no Marlin. Conforme os testes foram sendo realizados, observou-se que algumas funções não se comportavam conforme o esperado, levando à necessidade de buscar mais informações por meio de novas pesquisas. Um exemplo claro é o da mesa aquecida com dificuldade em atingir a temperatura desejada, para que o resfriamento do polímero impresso, ocorresse de forma correta.

Uma forma exemplificada do processo de iteração tanto no conjunto eletrônico como no código, é quando a primeira movimentação é realizada, e percebe-se que ou a orientação dos eixos está errada, ou ao mover o eixo X, o Y é o que se locomove. Para a resolução desse problema, é necessário ou alterar o código no Marlin, ou alterar a orientação da fiação na Ramps. Caso o X positivo e X negativo estejam invertidos, é possível alterar a posição do conector ao simplesmente inverter 180 graus na conexão, como também, é possível simplesmente inverter o eixo no código.

Esse processo apesar de parecer fácil, pode tomar mais tempo do que desejado, já que as interações entre o código e o circuito eletrônico, podem gerar resultados inesperados. Assim, o recomendado é fazer esse processo iterativo em apenas um ambiente, ou seja, caso a movimentação apresente problema de orientação ou de eixos, alterar apenas no código ou apenas na parte eletrônica.

Na Figura 7, o fluxograma apresentado, mostra as configurações mais essenciais para os primeiros movimentos, e testes da impressora 3D.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 8 – Configuração da orientação do conjunto e a opção de inversão dentro do Marlin

```

1 // @section machine
2
3 // Enable one of the options below for CoreXY, CoreXZ, or CoreYZ kinematics ,
4 // either in the usual order or reversed
5 // #define COREXY
6 // #define COREXZ
7 // #define COREYZ
8 #define COREYX
9 // #define COREZX
10 // #define COREZY

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D..

Após o início da configuração, o próximo passo torna-se habilitar a *bootscreen* personalizável, onde é possível utilizar um aplicativo chamado *bitmap converter*, para converter imagens desejadas em uma tela personalizada que será exibida ao iniciar a impressora.

Figura 9 – Habilitando a *bootscreen* customizável

```

1 // @section machine
2
3 // Show the Marlin bootscreen on startup. ** ENABLE FOR PRODUCTION **
4 #define SHOW_BOOTSCREEN
5
6 // Show the bitmap in Marlin/_Bootscreen.h on startup.
7 #define SHOW_CUSTOM_BOOTSCREEN

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Em sequência, escolhe-se qual é o *Shield* da configuração. As últimas três letras no *setup* correspondem à forma como a impressora está construída: "E" para extrusora, "F" para

ventoinha e "B" para mesa aquecida. Também é possível acessar o arquivo "*Boards.h*", onde encontra-se todas as possíveis placas *Shields* configuradas e funcionais com o Marlin.

Figura 10 – Adicionando a placa *Shield* correta no código

```

1 // Choose the name from boards.h that matches your setup
2 #ifndef MOTHERBOARD
3   #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
4 #endif

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D. .

Na tela de inicialização, é possível adicionar um nome personalizado na impressora, como na Figura 8.

Figura 11 – Habilitando o nome personalizado e alterando

```

1 // Name displayed in the LCD "Ready" message and Info menu
2 #define CUSTOM_MACHINE_NAME "UTFPR 3D Printer"

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Uma das partes fundamentais para garantir o movimento correto dos eixos e o controle do filamento é a seleção adequada do *driver* dentro do código. Essa escolha impacta diretamente a capacidade de traduzir os comandos de movimentação exibidos na tela LCD e no Marlin para a execução correta dos movimentos da impressora 3D.

Figura 12 – Selecionando os *Steppers Drivers* responsáveis por regular a corrente enviada aos motores, no Eixo X, Y e Z, e na Extrusora "E0"

```

1 /**
2  * Stepper Drivers
3  *
4  * These settings allow Marlin to
5  * tune stepper driver timing and enable advanced options for stepper drivers
6  * that support them.
7
8  * You may also override timing options in Configuration_adv.h.
9  *
10 * Options: A4988, A5984, DRV8825, LV8729, L6470, L6474, POWERSTEP01,
11 *           TB6560, TB6600, TMC2100,
12 *           TMC2130, TMC2130_STANDALONE, TMC2160, TMC2160_STANDALONE,
13 *           TMC2208, TMC2208_STANDALONE, TMC2209, TMC2209_STANDALONE,
14 *           TMC26X, TMC26X_STANDALONE, TMC2660, TMC2660_STANDALONE,
15 *           TMC5130, TMC5130_STANDALONE, TMC5160, TMC5160_STANDALONE
16
17 #define X_DRIVER_TYPE  DRV8825
18 #define Y_DRIVER_TYPE  DRV8825
19 #define Z_DRIVER_TYPE  DRV8825
20 #define E0_DRIVER_TYPE DRV8825

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

A escolha do diâmetro do filamento é necessária, assim como o número de extrusores. A adição de vários extrusores, permite a troca de cor durante o processo de impressão.

Figura 13 – Escolha de número de extrusores e diâmetro de filamento

```

1 // This defines the number of extruders
2 // :[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
3 #define EXTRUDERS 1
4
5 // Generally expected filament diameter (1.75, 2.85, 3.0, ...).
6 Used for Volumetric, Filament Width Sensor, etc.
7 #define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 1.75

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

A seleção adequada do tipo de termistor, assim como habilitá-los dentro do código, já que por padrão eles não estão ativos. Termistores configurados incorretamente podem resultar na exibição de temperaturas incorretas na tela LCD e no envio de informações imprecisas ao Arduino. Isso pode levar a resultados inesperados, por exemplo, temperatura superior desejada.

Figura 14 – Escolha dos termistores e sua habilitação

```

1 //=====
2 //===== Thermal Settings =====
3 //=====
4 // @section temperature
5
6 * Analog Thermistors - pullup - Normal
7 * -----
8 * 1 : EPCOS - Best choice for EPCOS thermistors
9 * 331 : Same as #1, but 3.3V scaled for MEGA
10 * 332 : Same as #1, but 3.3V scaled for DUE
11 * 2 : ATC Semitec 204GT-2
12 * 202 : Copymaster 3D
13 * 3 : Mendel-parts thermistor
14 * 4 : Generic Thermistor !!
15 DO NOT use for a hotend - it gives bad resolution at high temp. !!
16
17 #define TEMP_SENSOR_0 4
18 #define TEMP_SENSOR_BED 1

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Para a calibragem da movimentação e informar ao *software* onde está a extrusora em cada eixo, é necessário habilitar os *endstops* de cada um, sendo dois mecânicos, um para o X e outro para o Y, e no eixo Z a sonda Bltouch. Desta forma, ao realizar o comando *auto home* no Marlin, a máquina irá para o zero de cada dimensão, e o *endstop* informará, que o a contra parte física atingiu realmente o zero, parando assim o movimento, e informando ao *software*.

Figura 15 – Habilitando *endstops* do eixo X,Y e Z

```

1 //=====
2 //===== Endstop Settings =====
3 //=====
4
5 // @section homing
6
7 // Specify here all the endstop connectors
8 that are connected to any endstop or probe.
9 // Almost all printers will be using one per axis.
10 Probes will use one or more of the
11 // extra connectors. Leave undefined
12 any used for non-endstop and non-probe purposes.
13 #define USE_XMIN_PLUG
14 #define USE_YMIN_PLUG
15 #define USE_ZMIN_PLUG

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Salienta-se também a necessidade de verificar como estão configurados os *endstops*, sendo a configuração recomendada no mínimo de cada eixo, ou seja, ao atingir o zero, já que assim, pode-se utilizar apenas um para cada eixo, e informar o tamanho da máquina em cada dimensão, e o próprio *software* irá limitar o movimento, sem a necessidade de um *endstop* para o mínimo e outro para o máximo de cada eixo.

Figura 16 – Escolha da ordem da lógica para os *endstops*

```

1 // Mechanical endstop with COM to ground and NC
2 to Signal uses "false" here (most common setup).
3 #define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true
4 #define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true
5 #define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

A parte mais importante do código para a calibração dos eixos e da extrusora é a definição dos *steps* (passos por milímetro) do motor de passo. Isso envolve a correlação física direta entre os componentes e a resolução indicada pelos *jumpers* na placa *shield*. Esses elementos se combinam em uma lógica matemática que possibilita a calibração inicial dos movimentos.

É importante ressaltar a necessidade contínua de um processo iterativo, pois este influencia diretamente as dimensões da impressão final, além do nível de ruído gerado pelos motores durante seus movimentos. Se a impressão final revelar imprecisões nas medidas desejadas, é viável relacionar essas discrepâncias com os passos do motor. Utilizando uma regra de três simples, é possível derivar uma nova relação com base na anterior, efetuando a correção necessária.

Na Figura 17 a utilização de uma calculadora faz-se necessária, pois ela já contém as fórmulas necessárias para calcular a resolução e os passos por milímetro. Essa etapa configura

a calibração da máquina, sendo de extrema importância para garantir a qualidade das peças impressas.

No caso deste motor, ele opera com uma divisão de 200 passos por rotação. Os micropassos são configurados de acordo com a disposição dos *jumpers* na placa, estabelecendo um modo de 1/32 de passo para os eixos X e Y. Considerando que a correia possui um *pitch* de 20 mm e as polias têm 20 dentes, isso resulta em uma configuração de 160 passos por milímetro e proporciona à máquina uma resolução de 0,00625 mm.

Figura 17 – Calculadora de passos Atividade *Maker* para o eixo X E Y, com os parâmetros de construção da impressora, os *steps* por milímetro e sua resolução

CORREIAS

Se a sua máquina se movimenta através de correias, utilize esse formulário!

Qual a Revolução do seu Motor

1.8 (200 passos por revolução)

Como você configurou seus Micropassos

1/32 Passo

Pitch da Correia (mm)

2

Número de Dentes da polia

20

CALCULAR

Passos por milímetro = **160 Steps/mm**

Resolução da máquina = **0.00625 mm**

Fonte: Rogrigo Conrado (2023).

Figura 18 – Calculadora de passos Atividade *Maker* para o fuso eixo Z, com os parâmetros de construção da impressora, os *steps* por milímetro e sua resolução

FUSOS EM MILÍMETROS

Se a sua máquina se movimenta através de fusos em milímetros, utilize esse formulário!

Qual a Revolução do seu Motor

1.8 (200 passos por revolução)

Como você configurou seus Micropassos

1/8 Passo

Passos do fuso (mm/revolução)

8

CALCULAR

Passos por milímetro = **200 Steps/mm**

Resolução da máquina = **0.005 mm**

Fonte: Rogrigo Conrado (2023).

Por fim, os dados obtidos da calculadora são utilizados para atualizar os parâmetros nos códigos correspondentes aos eixos X, Y e Z. Quanto à extrusora, mantém-se o valor padrão inicial e, após o movimento do filamento, realiza-se a calibração utilizando o método corretivo previamente mencionado (quando as impressões apresentam problemas).

Figura 19 – Escolha do *Driver DRV8825* dentro das configurações para o eixo X, Y, Z e extrusor

```

1  /*
2  * Default Axis Steps Per Unit (linear=steps/mm, rotational=steps/degree)
3  * Override with M92
4  * X, Y, Z [, I [, J [, K...]]], E0 [, E1[, E2...]]
5  */
6  #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT \
7  {                                     \
8    160, 160, 200, 500                 \
9  }
```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Habilitar a EEPROM faz com que seja possível salvar qualquer alteração feita via tela LCD, porém, é necessário que após as alterações desejadas sejam feitas, ainda na tela, o acionamento do botão para salvar as configurações.

Figura 20 – Habilitando a EEPROM nas configurações para que seja salvo as alterações feitas na tela

```

1  /**
2  * EEPROM
3  *
4  * Persistent storage to preserve configurable settings across reboots.
5  *
6  * M500 – Store settings to EEPROM.
7  * M501 – Read settings from EEPROM. (i.e., Throw away unsaved changes)
8  * M502 – Revert settings to "factory" defaults.
9  (Follow with M500 to init the EEPROM.)
10 */
11 #define EEPROM_SETTINGS // Persistent storage with M500 and M501

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Figura 21 – Trocando a linguagem para português do Brasil

```

1  /**
2  * LCD LANGUAGE
3  *
4  * Select the language to display on the LCD. These languages are available:
5  *
6  * en, an, bg, ca, cz, da, de, el, el_CY, es, eu, fi, fr, gl, hr, hu, it,
7  * jp_kana, ko_KR, nl, pl, pt, pt_br, ro, ru, sk, sv, tr, uk, vi, zh_CN
8  *
9  */
10
11 #define LCD_LANGUAGE pt_br

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Figura 22 – Habilitando o suporte para cartões SD

```

1  /**
2  * SD CARD
3  *
4  * SD Card support is disabled by default. If your controller has an SD slot,
5  * you must uncomment the following option or it won't work.
6  */
7  #define SDSUPPORT

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Para que a tela funcione corretamente, também é necessário a instalação de uma biblioteca adicional U8glib, disponível gratuitamente.

Figura 23 – Habilitando Visor Full Graphics da RepRap

```

1 //
2 // RepRapDiscount FULL GRAPHIC Smart Controller
3 // https://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Full_Graphic_Smart_Controller
4 //
5 #define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do firmware Marlin para impressoras 3D.

Figura 24 – Habilitando a opção Sonda Bltouch para ser o endstop no eixo Z

```

1 /**
2  * The Bltouch probe uses a Hall effect sensor and emulates a servo.
3  */
4 #define Bltouch

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do firmware Marlin para impressoras 3D.

Além da calibração dos movimentos, a etapa complementar envolve a configuração da correção para o posicionamento da sonda Bltouch em relação ao bico extrusor, um parâmetro que varia conforme cada instalação e montagem. Neste caso, o foco é a configuração dos eixos "X" e "Y", enquanto o ajuste do eixo "Z" é realizado durante a impressão. Isso pode ser alcançado por meio de técnicas como *babystepping* ou intervenção direta via *serial monitor* do Arduino.

Figura 25 – Configuração de *Offset* para eixos X, Y e Z

```

1  /**
2  * Nozzle-to-Probe offsets { X, Y, Z }
3  * Tune and Adjust
4  * - Probe Offsets can be tuned at runtime with 'M851',
5  LCD menus, babystepping, etc.
6  * - PROBE_OFFSET_WIZARD (configuration_adv.h)
7  can be used for setting the Z offset.
8  *
9  * Assuming the typical work area orientation:
10 * - Probe to RIGHT of the Nozzle has a Positive X offset
11 * - Probe to LEFT of the Nozzle has a Negative X offset
12 * - Probe in BACK of the Nozzle has a Positive Y offset
13 * - Probe in FRONT of the Nozzle has a Negative Y offset
14 *
15 *
16 *      +--- BACK ----+
17 *      |      [+]      |
18 *      L |          1 | R <-- Example "1" (right+, back+)
19 *      E |  2          | I <-- Example "2" ( left -, back+)
20 *      F |[ -]  N  [+] | G <-- Nozzle
21 *      T |          3 | H <-- Example "3" (right+, front -)
22 *      |  4          | T <-- Example "4" ( left -, front -)
23 *      |      [-]      |
24 *      O-- FRONT ---+
25 */
26 #define NOZZLE_TO_PROBE_OFFSET \
27 {                                \
28   -35, 10, -8                    \
29 }

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Outra possibilidade de alteração no código, referente a orientação dos eixos "X" e "Y" para configurações "CORE XY", é realizar a inversão da direção diretamente no código. A vantagem desse método é a possibilidade de efetuar essa mudança via serial monitor com o Arduino, assim, não há necessidade de desconectar cabos e reiniciar a impressora.

Figura 26 – Configuração de *Offset* para eixos X, Y e Z

```

1  // Invert the stepper direction. Change (or reverse the motor connector)
2  if an axis goes the wrong way.
3  #define INVERT_X_DIR false
4  #define INVERT_Y_DIR true
5  #define INVERT_Z_DIR false

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Figura 28 – Definindo o método de nivelamento da mesa aquecida como bilinear, a melhor opção para mesas grandes

```

1
2 // #define AUTO_BED_LEVELING_3POINT
3 // #define AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
4 #define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR
5 // #define AUTO_BED_LEVELING_UBL
6 // #define MESH_BED_LEVELING

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Figura 27 – Alterando dimensões da mesa aquecida no código, e da distância máxima percorrida no eixo Z

```

1 // The size of the printable area
2 #define X_BED_SIZE 300
3 #define Y_BED_SIZE 300
4
5 // Travel limits (mm) after homing,
6 corresponding to endstop positions.
7 #define X_MIN_POS 0
8 #define Y_MIN_POS 0
9 #define Z_MIN_POS 0
10 #define X_MAX_POS X_BED_SIZE
11 #define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
12 #define Z_MAX_POS 500

```

Fonte: Trecho do arquivo "configuration.h" do *firmware* Marlin para impressoras 3D.

Por fim, o processo de nivelamento da mesa aquecida conclui a configuração do Marlin, garantindo que todos os ajustes necessários foram realizados para assegurar uma impressão precisa e de qualidade.

Com o Marlin configurado, o passo seguinte para a impressão, foi utilizado um *software* que programe o Gcode e faça o fatiamento do modelo CAD. Essa ferramenta atua como uma interface que permite configurar parâmetros estruturais e de qualidade para a impressão de maneira fácil. Por exemplo, é possível definir a espessura mínima entre uma camada e outra.




O *software* em questão mais difundido do mercado é o Ultimaker Cura, onde há a configuração inicial de uma impressora ao abri-lo, e após a abertura de um componente CAD transformado para STL, é possível ver uma previsão de como ficará o modelo na área útil da impressora, e fazer as demais configurações para que seja possível imprimir.

Figura 29 – Configuração de parâmetros de impressão dentro do *software* Cura a respeito da qualidade

Quality			
Layer Height		0.2	mm
Initial Layer Height		0.2	mm
Line Width		0.4	mm
Wall Line Width		0.4	mm
Outer Wall Line Width		0.4	mm
Inner Wall(s) Line Width		0.4	mm
Top/Bottom Line Width		0.4	mm
Infill Line Width		0.4	mm
Initial Layer Line Width		100.0	%

Fonte: UltiMaker Cura (2023).

Figura 30 – Configuração de parâmetros de impressão dentro do *software* Cura a respeito da estrutura das paredes

Walls			
Wall Thickness	 	1.2	mm
Wall Line Count		3	
Optimize Wall Printing Order		<input checked="" type="checkbox"/>	
Fill Gaps Between Walls		Everywhere	
Horizontal Expansion		0.0	mm

Fonte: UltiMaker Cura (2023).

3.2 Elétrica e eletrônica

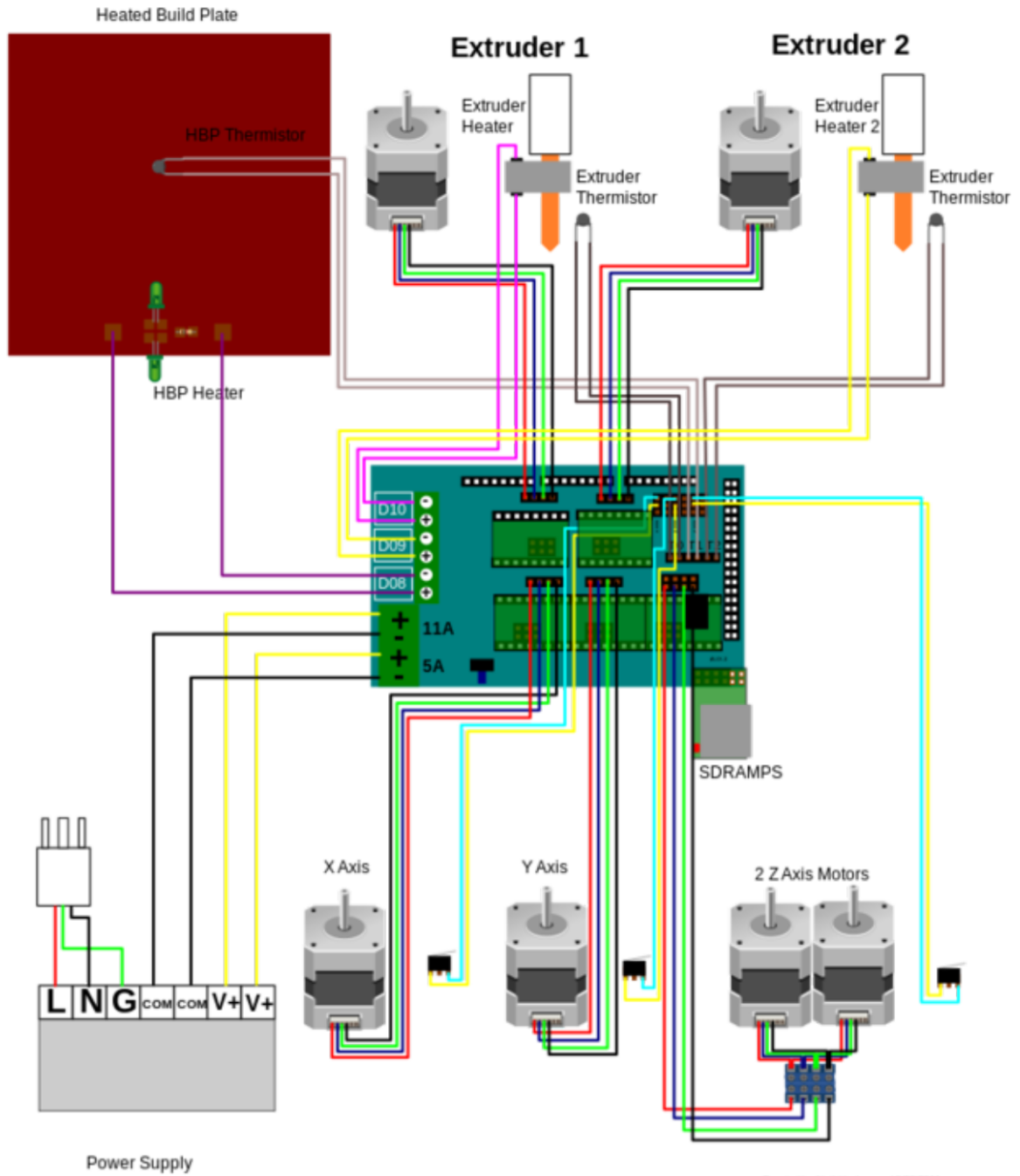
Neste capítulo é apresentado a parte lógica e elétrica do sistema. Aqui é apresentado como os motores, resistores, placa lógica e outros componentes são alimentados; e onde os sinais são transmitidos para os *endstops*, termistores e demais elementos essenciais. Isso permite que o código se comunique, de maneira que estabelece a integração entre a eletrônica e o conjunto físico.

Durante a montagem do conjunto elétrico, é necessário ter cautela, pois qualquer erro na montagem ou um curto circuito pode resultar na queima do Arduino ou de outros componentes. É fundamental seguir rigorosamente as instruções e garantir a correta conexão dos componentes para evitar danos irreversíveis no sistema. A Figura 31 mostra o esquema geral da montagem das conexões elétricas.

Sumarizando brevemente de todas conexões na placa *Shield Ramps 1.4* se dá por, cinco *drivers*, cinco motores, *jumpers*, dois termistores, *mosfet*, mesa aquecida, conexão para extrusora, dois *endstops* e um Bltouch.

Figura 31 – Esquemático geral de conexões elétricas e eletrônicas no Shield Ramps 1.4 para uma Impressora 3D CORE XY

RepRap Arduino Mega Pololu Shield 1.4



Fonte: RepRap (2022).

O primeiro passo na montagem eletrônica é a conexão dos *jumpers* em seus respectivos locais, para cada *driver* a ser utilizado. A forma com que são conectados está ligada diretamente a qual será a resolução de micropassos por milímetro que os motores terão. Cada *driver* possui a sua forma específica, por isso é importante acessar a Figura 32 com informações a respeito do *microstepping* do *driver* que será utilizado, para ver o esquemático da configuração.

Figura 32 – Esquemático indicando cada modo de configuração para cada micropasso

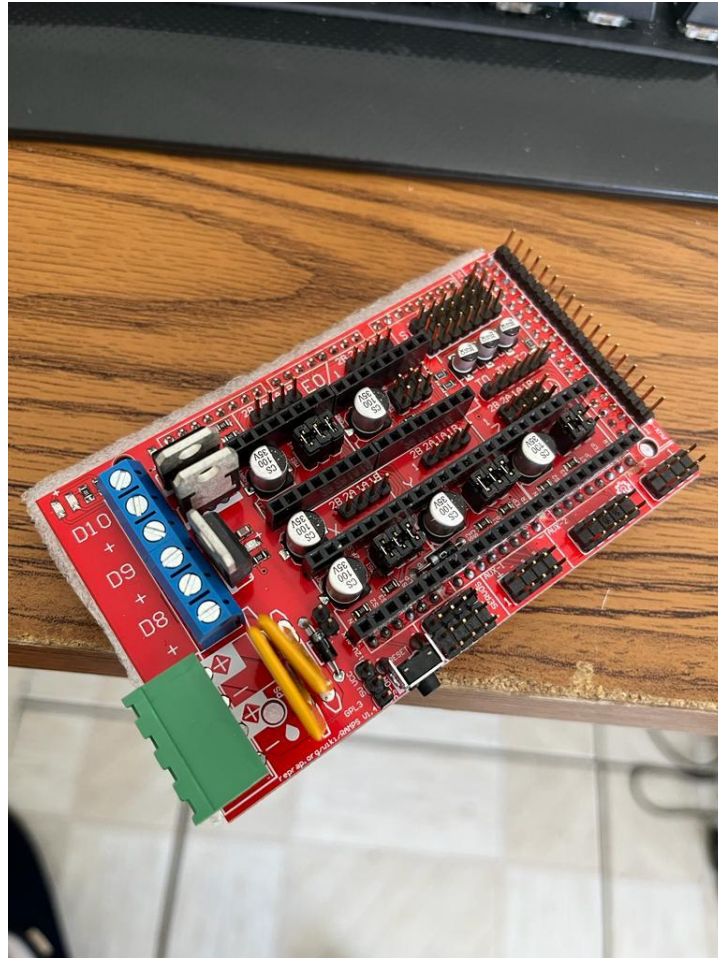
MODE0	MODE1	MODE2	Microsteps
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	1/4 step
High	High	Low	1/8 step
Low	Low	High	1/16 step
High	Low	High	1/32 step
Low	High	High	1/32 step
High	High	High	1/32 step

Fonte: RepRap (2022).

Ao consultar a Figura 32 para o *Driver* correto, a informação é a seguinte: Caso o *jumper* esteja conectado, o modo do par é considerado "*HIGH*", e caso esteja sem conexão alguma, ou seja, sem o *jumper*, é considerado "*Low*".

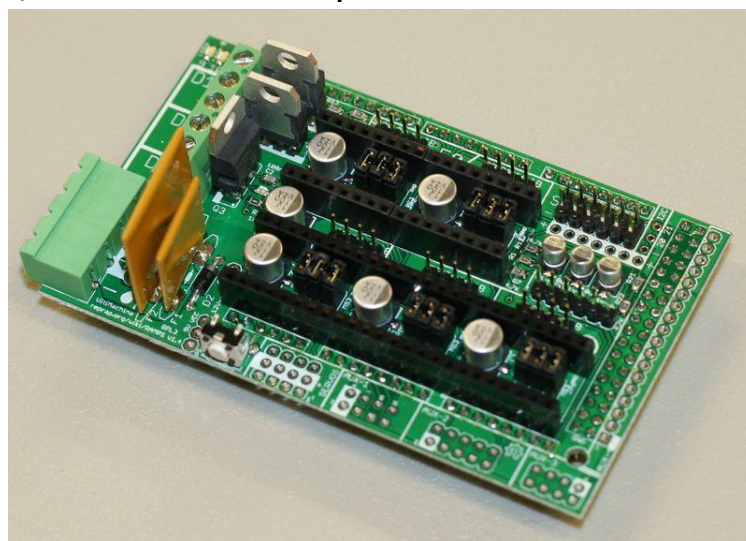
Para obter a melhor resolução nos eixos X e Y, opta-se pela configuração 1/32 *step*. Nesse caso, qualquer uma das últimas três opções de configuração é válida, porém, por conveniência e facilidade de verificação visual, configura-se "*HIGH*", "*HIGH*" e "*HIGH*". Essa abordagem simplifica a identificação da configuração, se necessário.

Figura 33 – Placa Shield Ramps 1.4 com *Jumpers* no lugar com a configuração "HIGH", "HIGH" e "HIGH" 1/32 steps sem conexão na segunda extrusora.



Fonte: Autoria própria (2023).

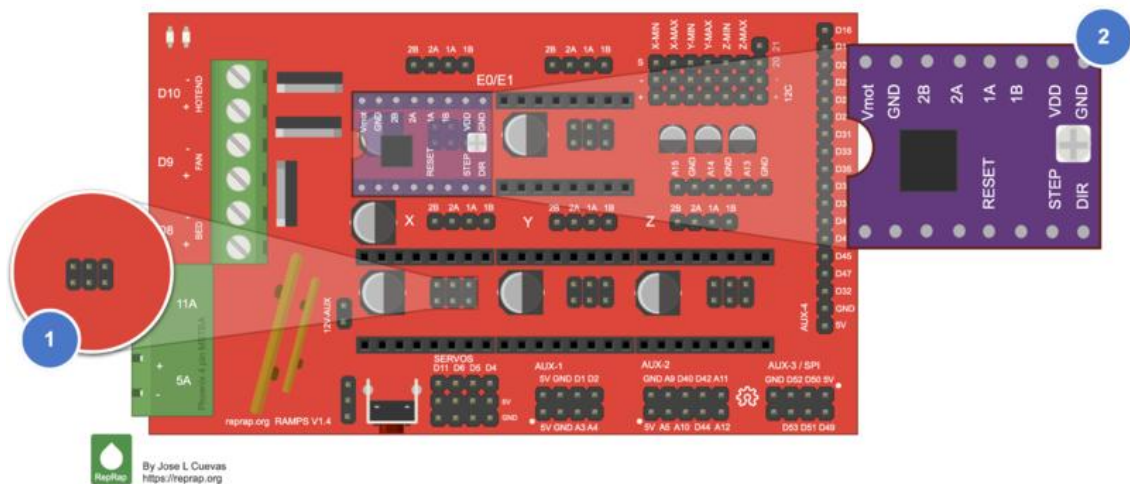
Figura 34 – Placa Shield Ramps 1.3 para demonstrar *Jumpers* no lugar com a configuração "HIGH", "HIGH" e "HIGH" 1/32 steps.



Fonte: RepRap (2022).

Nas Figuras 33 e 34, mostram que os *jumpers* estão no lugar certo. Uma boa observação é colocar os *jumpers* somente onde os *drivers* serão utilizados. Figura 34, há a configuração para os eixos X, Y, Z e duas extrusoras E0 e E1. No caso de uma impressora com apenas uma extrusora, não há necessidade de configurar o segundo *slot* assim como na Figura 33.

Figura 35 – Esquemático geral de conexões dos jumpers e drivers na placa Shield Ramps 1.4

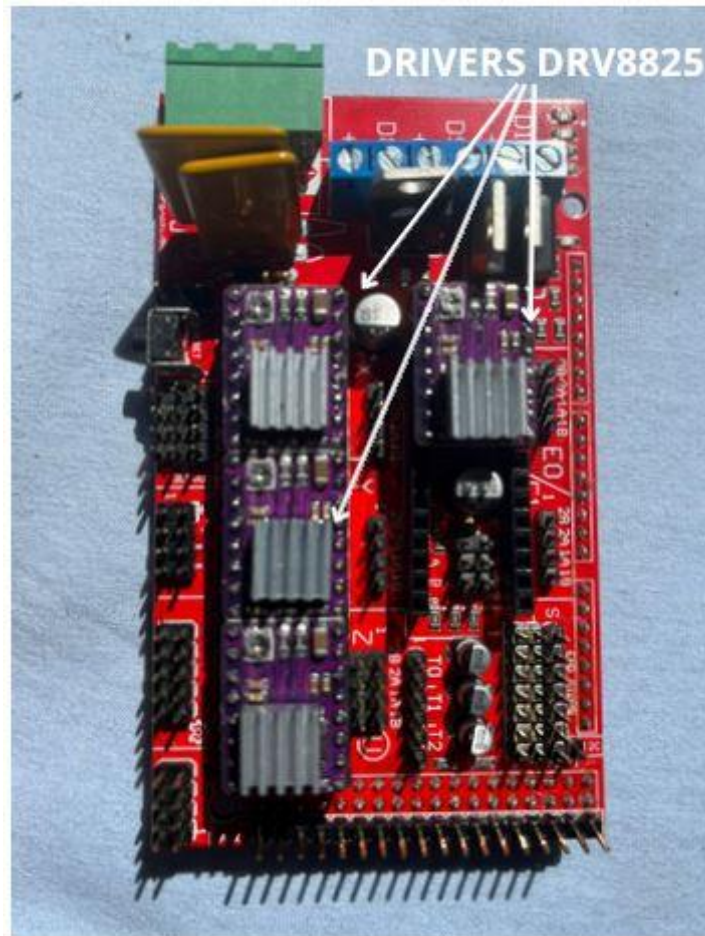


Fonte: RepRap (2022).

O número "1" da Figura 35, mostra onde os *jumpers* devem ser conectados de forma que, cada par é um modo, tendo três pares possíveis. Como mencionado, para a configuração "HIGH", "HIGH" e "HIGH", é necessário conectar três *jumpers*, um em cada par. Na Figura 35 também demonstra o *Driver*, número "2" e a orientação de conexão.

É importante ressaltar que uma ligação incorreta na conexão do *driver* pode resultar na queima de todos os componentes eletrônicos quando o sistema é alimentado. Portanto, o ponto mais crítico na conexão do *driver* é identificar o pino "ENABLE", indicado pelas letras "EN", e localizar sua correspondência no *slot* da placa *SHIELD ramps 1.4*. Além disso, é importante observar a ordem de montagem, dando prioridade à instalação dos *jumpers* em primeiro lugar, visto que os *drivers* são posicionados em *slots* que se tornam inacessíveis após sua instalação.

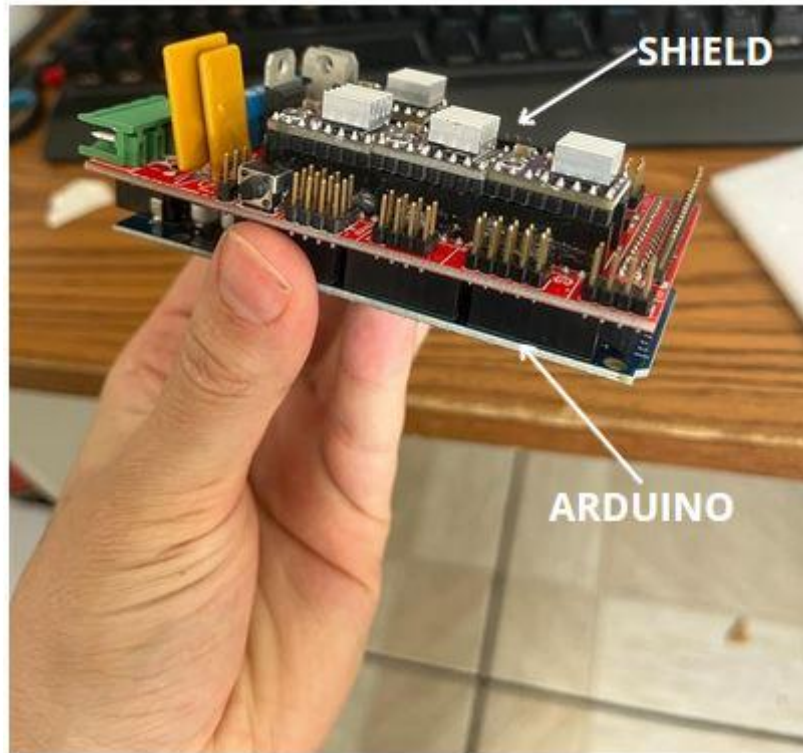
Figura 36 – Conjunto de *drivers* DRV8825 conectados corretamente no *Shield Ramps 1.4*.



Fonte: Autoria própria (2023).

Ao finalizar o encaixe dos *drivers* e dos *jumpers*, o conjunto pronto para ser conectado sobre o Arduino. Para isso, é necessário ainda alinhar cuidadosamente os pinos, garantindo que nenhum esteja conectado no lugar errado durante esse processo.

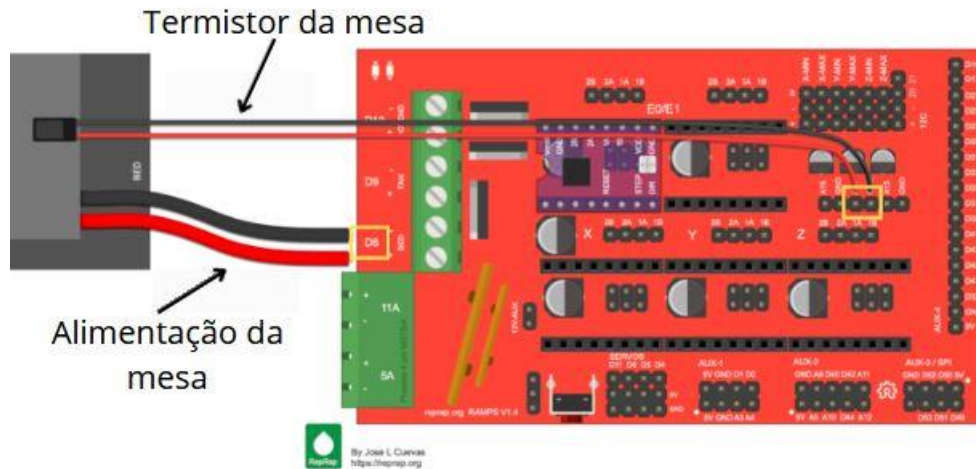
Figura 37 – Conjunto Shield Ramps 1.4 conectado sobre o Arduino



Fonte: Autoria própria (2023).

Na parte elétrica, deve-se ter cuidado especial na conexão da mesa aquecida. Embora haja a possibilidade de conexão direta na placa, essa configuração pode resultar em mau funcionamento e representa um risco de incêndio devido à alta corrente necessária para aquecer a mesa, a qual não é suportada diretamente pela placa. Assim, uma solução comum adotada é o uso de um *mosfet*. Esse dispositivo controla tanto a tensão quanto a corrente, mitigando eficazmente esses riscos.

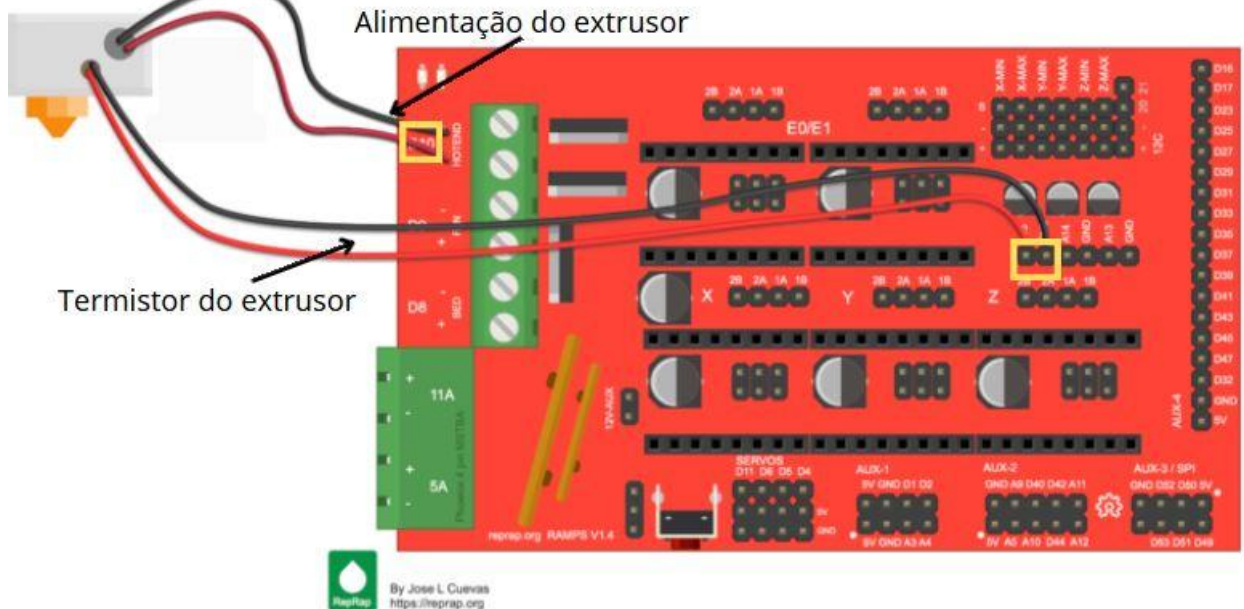
Figura 39 – Esquemático geral para conexão elétrica e eletrônica do *mosfet* e o termistor da mesa aquecida na placa Shield Ramps 1.4



Fonte: (RepRap, 2022).

Em seguida, é importante atentar para as conexões do bico extrusor, lembrando sempre que a primeira conexão é destinada ao termistor do extrusor, e a segunda conexão é do termistor da mesa aquecida. Qualquer inversão nessa ordem pode resultar em leituras incorretas de temperatura.

Figura 40 – Esquemático geral de conexões elétricas e eletrônicas para o bico extrusor

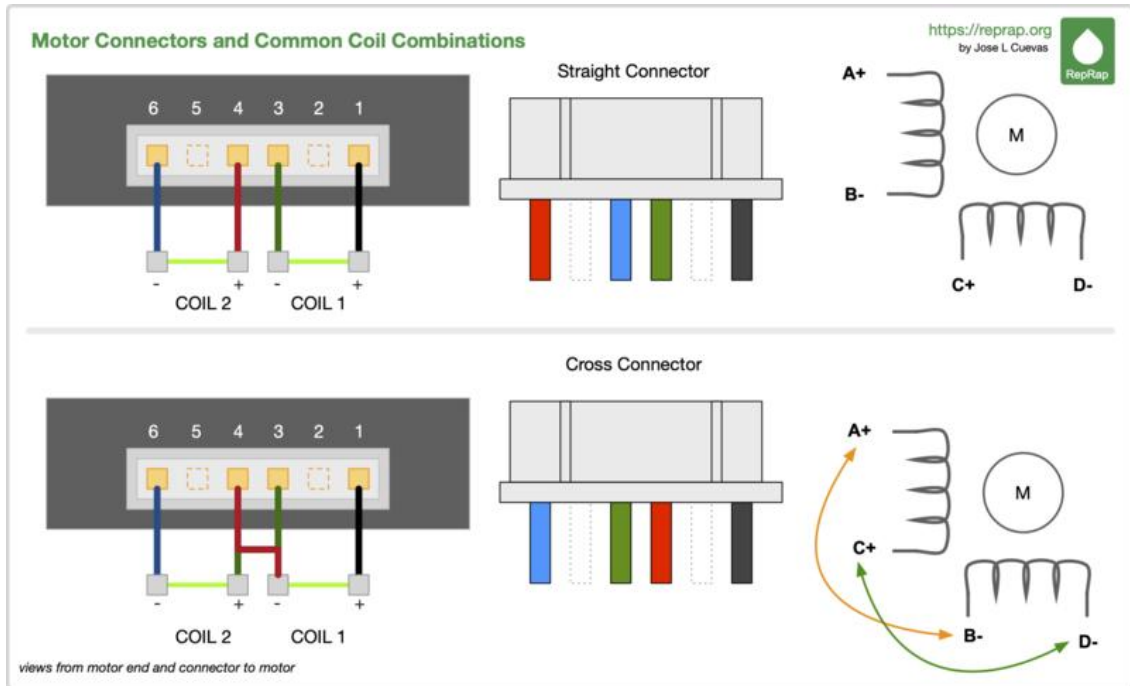


Fonte: (RepRap, 2022).

Atenção especial é necessária ao passar os fios do motor e ao conectar esses fios à placa. Devido ao motor ser composto por um par de bobinas, é essencial garantir que essas estejam orientadas para gerar campos magnéticos na mesma direção. Qualquer conexão incorreta pode resultar em movimentos indesejados do motor.

Vale ressaltar que os *drivers* DRV8825 possuem uma configuração de fiação diferente em comparação com outros modelos, sendo a primeira opção mostrada na Figura 41 a correta para esses casos.

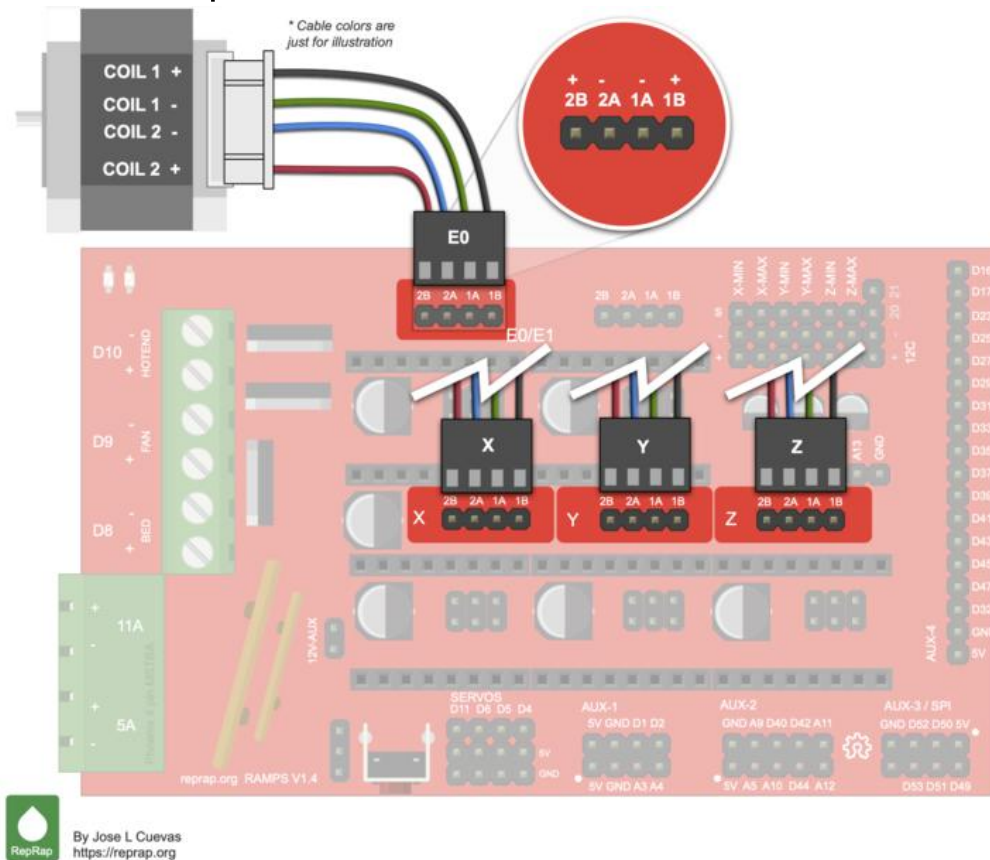
Figura 41 – Esquemático de conexões, fios e suas possibilidades de arranjos para diferentes *drivers* segundo a orientação da bobina.



Durante a conexão dos motores, é necessário verificar a orientação de cada fio no conector. Caso o fio seja conectado de forma invertida, o sentido do movimento será invertido. Como a proposta de montagem é a configuração CORE XY neste trabalho, é importante destacar que o sentido dos eixos X e Y afetam diretamente um ao outro, já que são interdependentes.

Em relação ao eixo Z, é importante manter a orientação idêntica para ambos os motores, uma vez que esses motores trabalham em conjunto para elevar tanto a extremidade esquerda quanto a extremidade direita da mesa aquecida.

Figura 42 – Esquemático geral de conexões elétricas de alimentação e orientação para cada motor e seus respectivos eixos

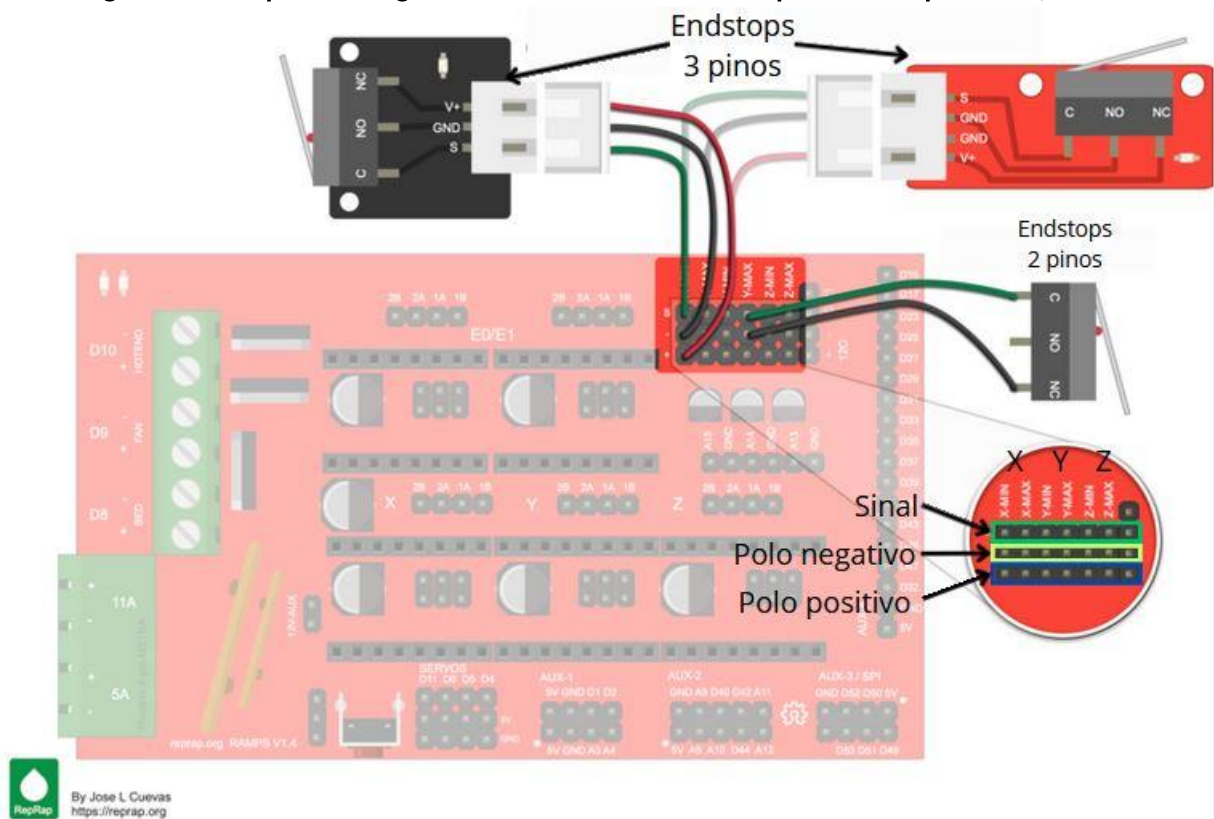


Fonte: RepRap (2022).

A polaridade inversa nos *endstops* pode resultar na queima de componentes do Arduino. Portanto, é importante respeitar a orientação específica, que é a seguinte: a primeira fileira para o positivo, a segunda fileira para o neutro e a terceira fileira para os conectores negativos. Geralmente, apenas um *endstop* por eixo é necessário.

Dessa forma, a conexão mínima de *endstops* é feita para cada eixo, permitindo que todos sejam ativados durante a calibração da máquina, garantindo que a posição seja correta para cada coordenada. A Figura 43 mostra as fileiras mencionadas.

Figura 43 – Esquemático geral de conexões eletrônicas para endstops eixo X, Y e Z



Fonte: RepRap (2022).

Para o uso da sonda Bltouch, a conexão segue o padrão indicado na Figura 44, onde apenas os fios positivo e neutro são conectados. Além disso, outro conector é colocado nos servos, observando a orientação de positivo, neutro e negativo novamente. Para garantir que o Bltouch seja alimentado com a tensão correta, é necessário posicionar um *jumper*, conforme mostra a Figura 44, a fim de ativar a configuração de 5 volts.

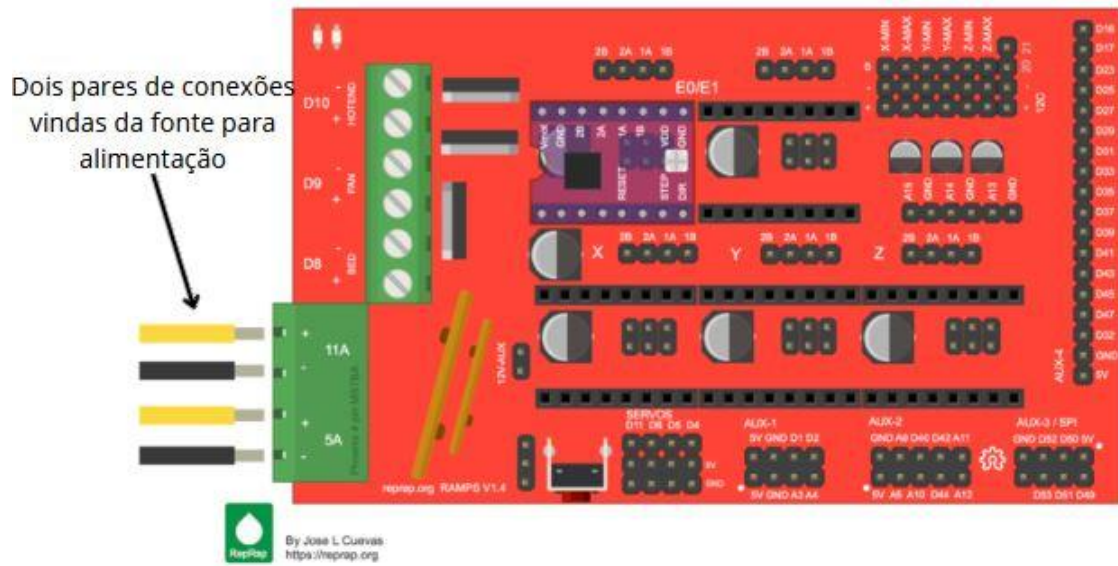
Figura 44 – Esquemático de conexões para BLtouch na placa Shield Ramps 1.4 com jumper



Fonte: (RepRap, 2022).

A alimentação da placa é fornecida por dois pares de conexões positivas e negativas, que são conectadas diretamente à fonte de energia. É necessário prestar atenção aos polos durante essa etapa, pois a inversão do positivo e negativo também pode resultar na queima de componentes.

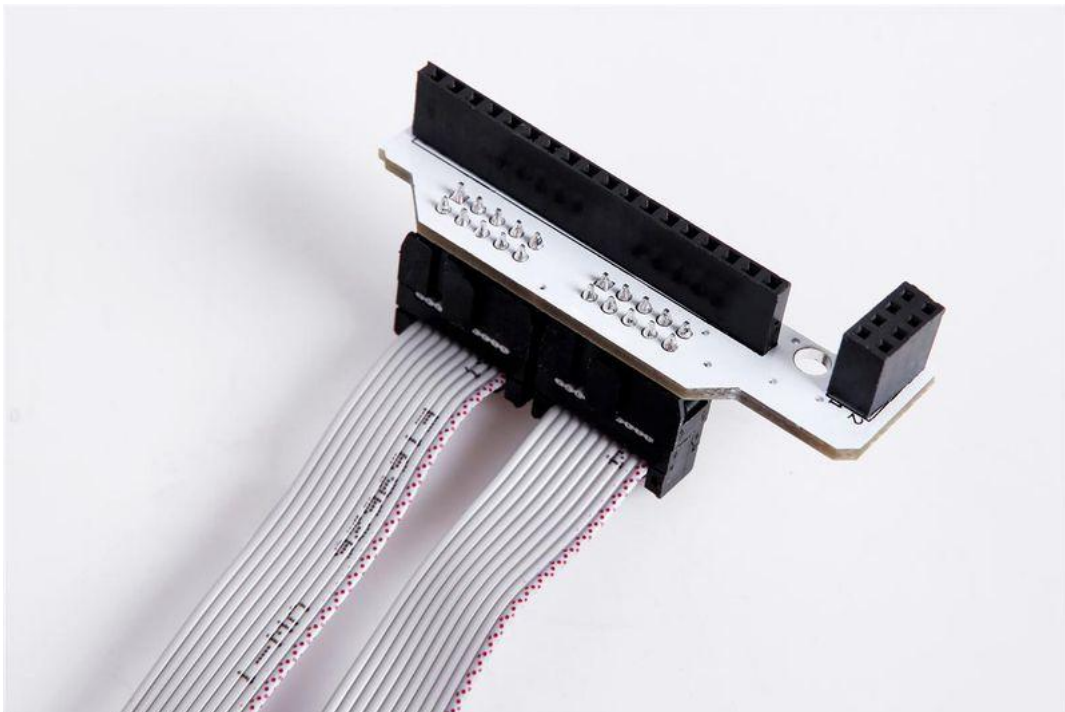
Figura 45 – Esquemático geral de conexões de alimentação do conjunto *Shield Ramps 1.4* na fonte



Fonte: (RepRap, 2022).

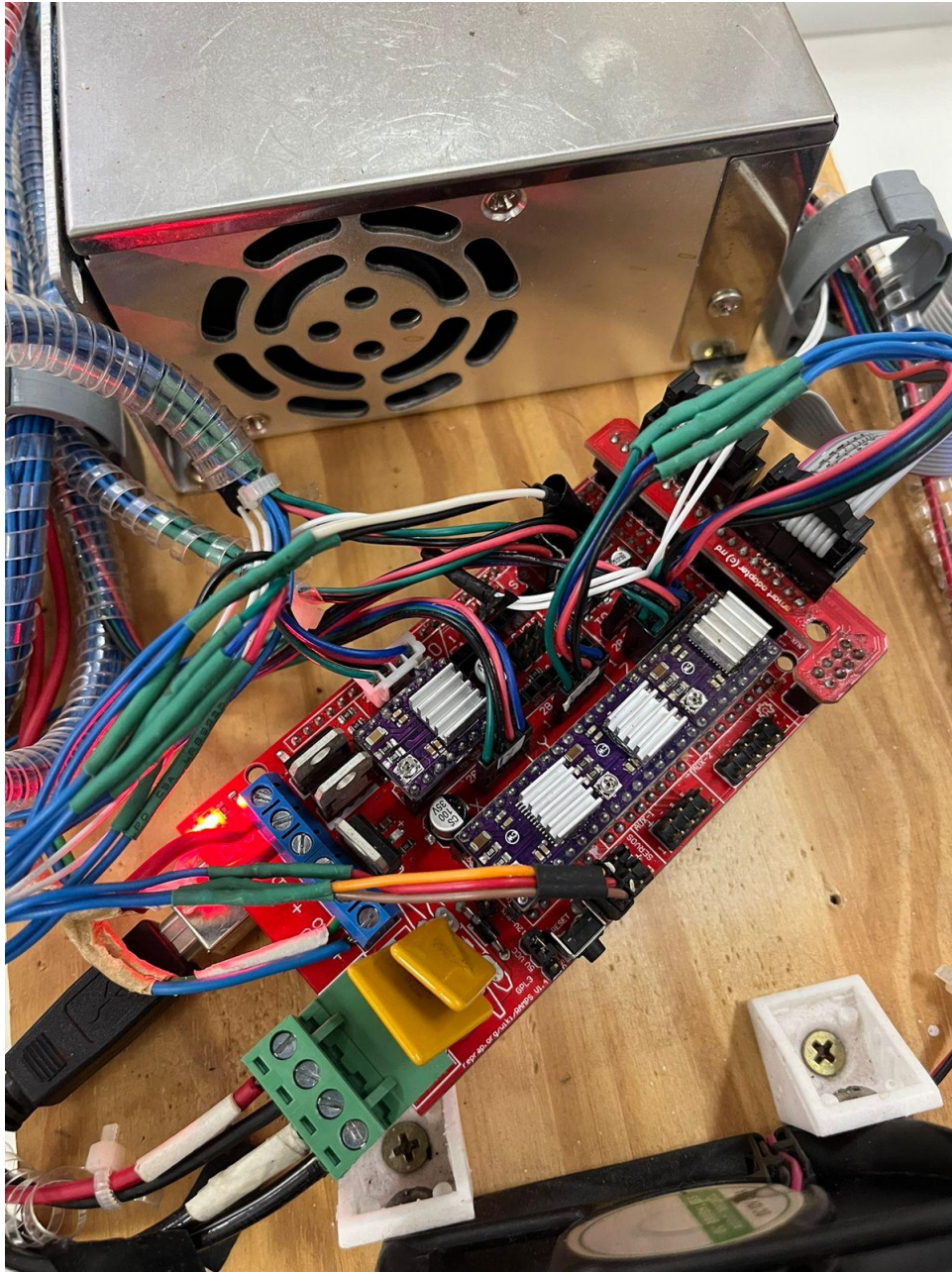
Ademais, a tela LCD *Full Graphics* é conectada nos pinos auxiliares, com o conector da Figura 46.

Figura 46 – Conector tela LCD *Full Graphics* RepRap para Placa *Shield 1.4*



Fonte: RepRap (2022).

Figura 47 – Conjunto completo finalizado com conexões elétricas e eletrônicas



Fonte: Autoria própria (2023).

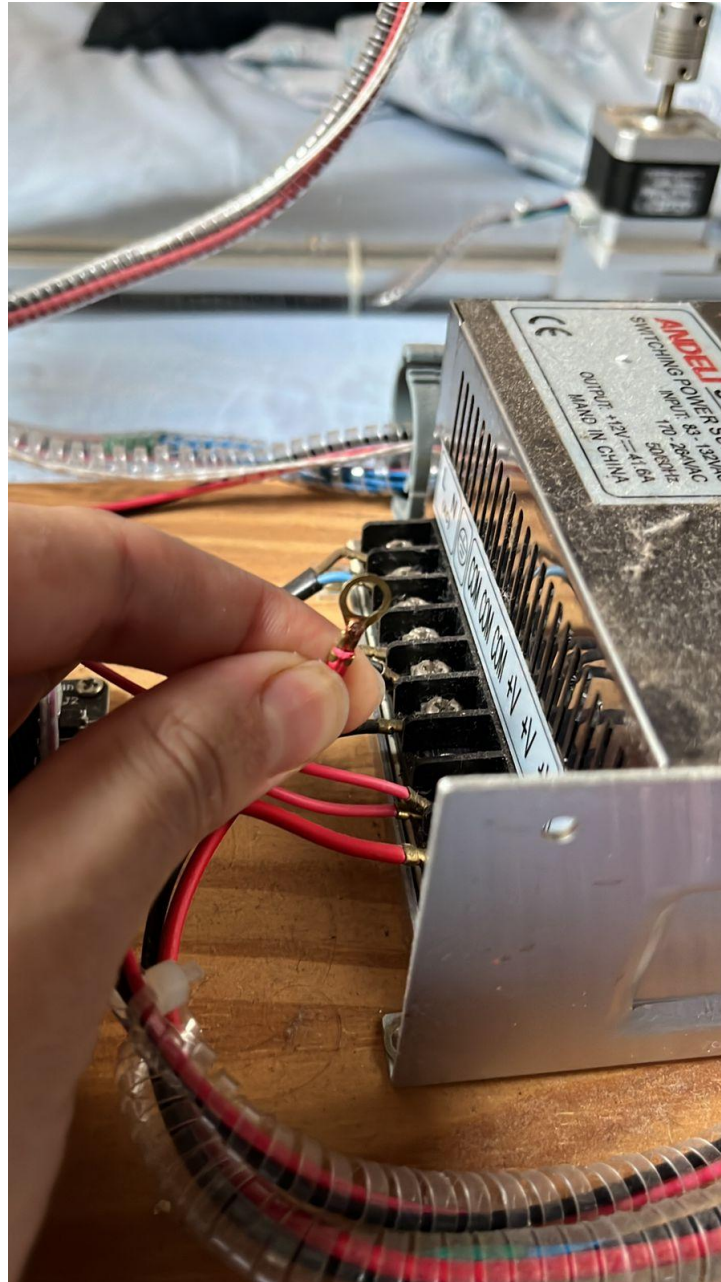
Para finalizar as conexões elétricas, é necessário conectar todas as respectivas conexões mencionadas na fonte de alimentação, incluindo a mesa aquecida ao *mosfet*. Recomenda-se o uso de uma fonte de 24 volts para permitir o aquecimento rápido e alcançar a temperatura desejada. Quanto maior for a dimensão da mesa, mais difícil será manter a temperatura recomendada para cada tipo de filamento. Por exemplo, nos filamentos mais comuns, como o PLA, a temperatura recomendada para a mesa é de 60 °C.

Figura 48 – Conexões na fonte, com os quatro fios para a alimentação da placa *Shield*, sempre respeitando positivo e GND



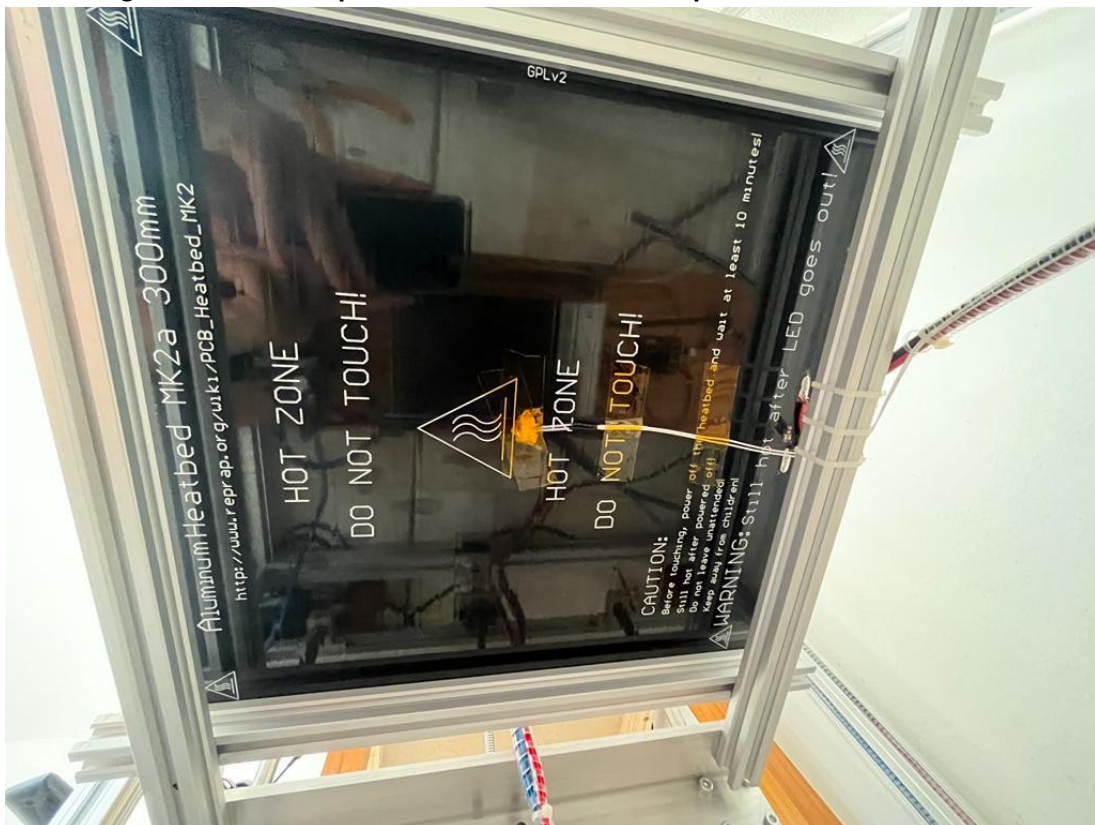
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 49 – Terminais conectores para poder fazer a fixação nos parafusos da fonte



Fonte: Autoria própria (2023).

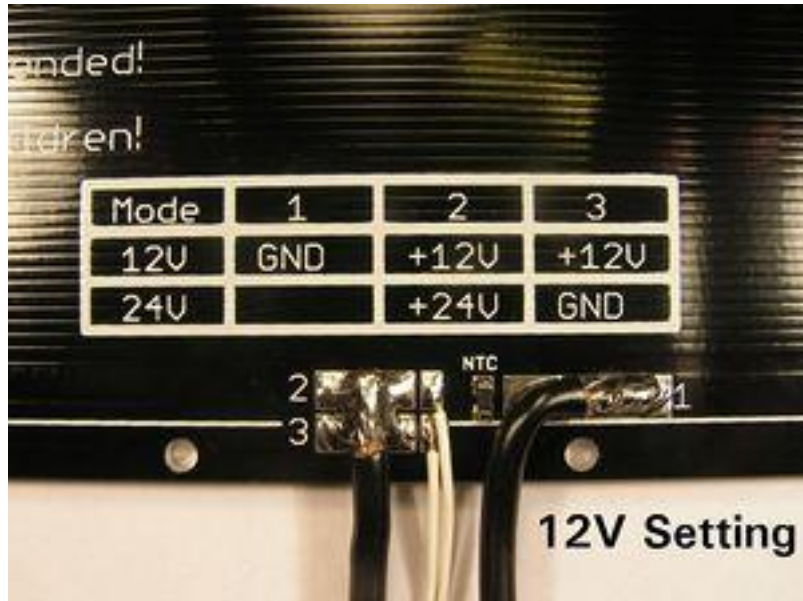
Figura 50 – Mesa aquecida de alumínio 300 mm por 300 mm modelo Mk2a



Fonte: Autoria própria (2023).

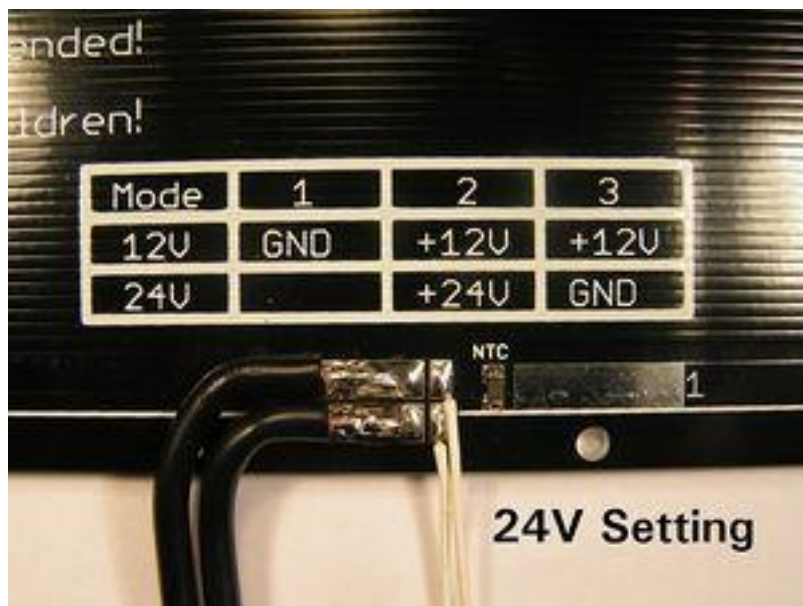
A conexão da mesa aquecida requer uma configuração específica dependendo da tensão da fonte de alimentação. Na parte inferior da mesa, existem três polos e a ordem de conexão determina a tensão esperada pela mesa. Essa ordem define o padrão de voltagem adequado para o funcionamento correto da mesa aquecida de acordo com a fonte de energia utilizada. As Figura 51 e 52 mostram as configurações para 12 e 24 V.

Figura 51 – Esquemático de conexão para mesa aquecida de alumínio 300 mm por 300 mm modelo Mk2a 12 Volts



Fonte: RepRap (2022).

Figura 52 – Esquemático de conexão para mesa aquecida de alumínio 300 mm por 300 mm modelo Mk2a 24 Volts



Fonte: RepRap (2022).

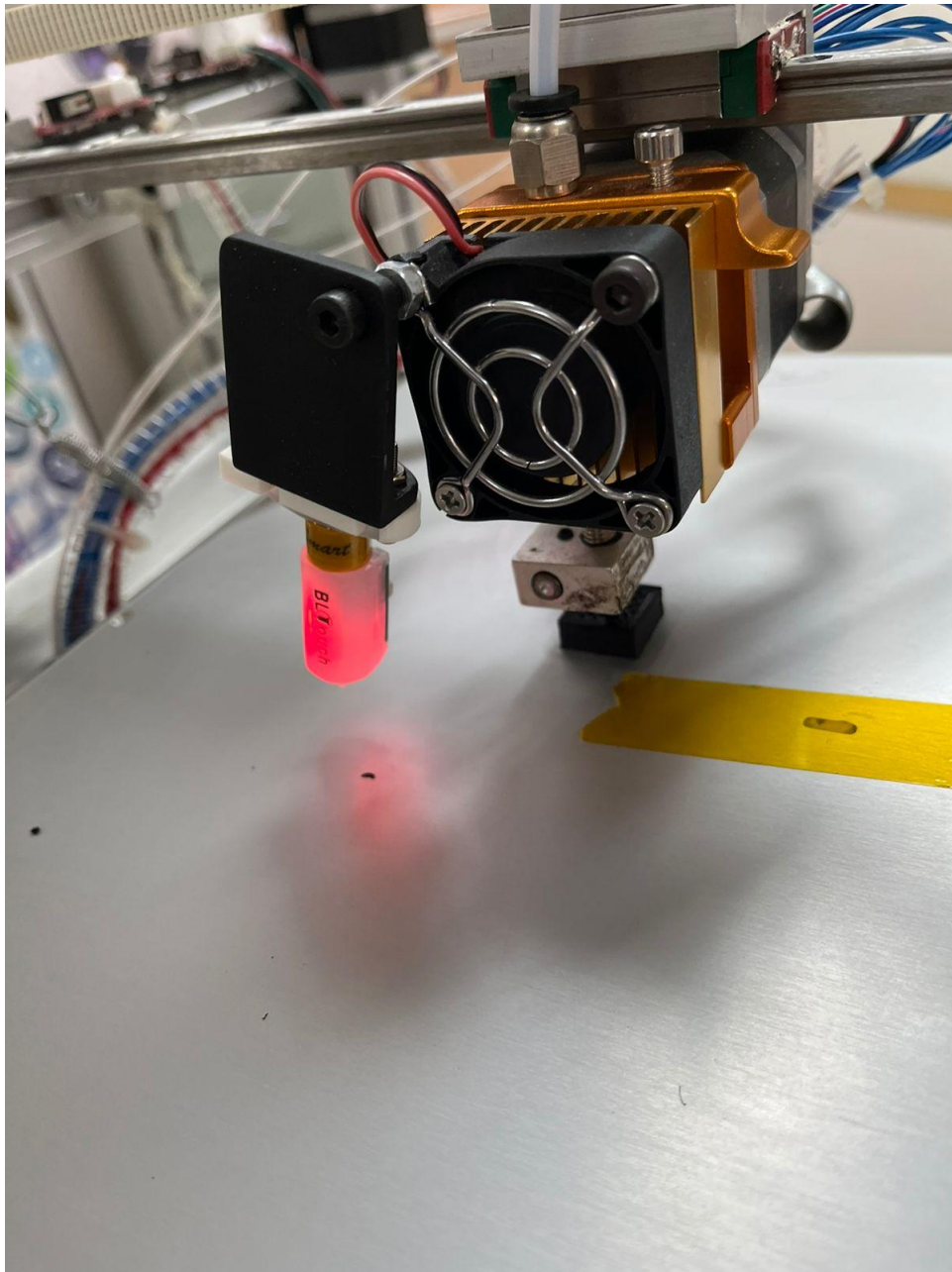
Com todos os componentes montados, alimentados, o *firmware* Marlin configurado e transferido para o Arduino, além da peça modelada processada pelo fatiador e convertida para G-code, e o filamento carregado, deixa em condições para por em operação a impressora 3D. Isso inclui verificar a movimentação dos eixos, a temperatura e até mesmo iniciar o processo de impressão, utilizando o cartão SD inserido no *slot* localizado atrás do tela LCD *Full Graphics*.

Figura 53 – Tela LCD *Full Graphics* RepRap 128 mm x 64 mm durante impressão de componente



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 54 – Impressora 3D imprimindo componente teste em PLA



Fonte: Autoria própria (2023).

3.3 Ajustes e calibragem

No processo de montagem de uma impressora 3D, é imprescindível adotar um método iterativo, no qual uma configuração inicial é estabelecida e os componentes são testados. Com base nos resultados obtidos, são realizados ajustes necessários, que podem ser tanto elétricos, eletrônicos ou até mesmo de *software*, utilizando o Marlin, G-code ou o fatiador. Mesmo para tarefas simples, como a movimentação dos eixos na impressora, se a operação não ocorrer conforme o desejado, é fundamental avaliar o problema minuciosamente para buscar a solução adequada.

A ocorrência de vibração nos eixos acompanhada da falta de movimento da extrusora é provavelmente originada pela organização inadequada da fiação. Embora seja um problema que possa ser corrigido com facilidade, o processo de ajuste pode ser trabalhoso, já que envolve ajustes físicos. Caso o eixo se mova em direção oposta à desejada, inverter os polos dos motores ou alterar o sentido no código pode solucionar o problema. No entanto, a maior complexidade no sistema Core XY está em acertar a orientação e o sentido dos eixos, pois ambos são interdependentes. Por exemplo, ao movimentar a extrusora positivamente em apenas um eixo, ambos os motores devem ser acionados para proporcionar esse deslocamento.

No caso de erro nas medidas durante o deslocamento, é necessário realizar um cálculo iterativo dos passos por milímetro até que estejam diretamente relacionados com as medidas informadas pelo Marlin para o Arduino, correspondendo ao conjunto físico. Esse processo é fundamental, pois todas as outras configurações, como *offsets*, dependem da precisão dessas medidas para funcionarem corretamente.

Em quaisquer alterações de código, o ideal é manter o conjunto do Arduino conectado ao computador enquanto se utiliza o *serial monitor* na aba da IDE do Marlin para comunicação por meio de G-code. Existe uma documentação extensa que aborda cada possível configuração e comando via G-code para o Arduino. É importante lembrar que as modificações feitas nesse ambiente são temporárias e não persistirão após reiniciar a impressora. Por isso, os parâmetros de teste e ajuste devem ser incorporados diretamente no código final do Marlin e carregados no Arduino posteriormente.

Figura 55 – Documentação Marlin em relação a GCODE e exemplos de códigos

The screenshot shows the Marlin documentation website. The navigation bar includes 'Marlin', 'About Marlin', 'Download', 'Configure', 'Install', 'Tools', 'Help', 'Donate', and a search box. A sidebar on the left lists various M-code macros from M701 to M919. The main content area is titled 'Examples' and contains three sections:

- Section 1:** 'The most basic move sets a feedrate and moves the tool to the given position.' It shows a G-code block:


```
G0 X12 ; Move to 12mm on the X axis
G0 F1500 ; Set the feedrate to 1500 mm/min
G1 X90.6 Y13.8 ; Move to 90.6mm on the X axis and 13.8mm on the Y axis
```
- Section 2:** 'There are some caveats related with feedrates. Consider the following:' It shows a G-code block:


```
G1 F1500 ; Set the feedrate to 1500 mm/min
G2 E0
G1 X50 Y25.3 E22.4 ; Move while extruding
```
- Section 3:** 'In the above example the feedrate is set to 1500 mm/min, then the tool is moved 50mm on the X axis and 25.3mm on the Y axis while extruding 22.4mm of filament between the two points.' It shows a G-code block:


```
G1 F1500
G2 E0
G1 X50 Y25.3 E22.4 F3000
```

A final note states: 'However, in the above example, we set a feedrate of 1500 mm/min on line 1 then do the move described above, accelerating to a feedrate of 3000 mm/min (if possible). The extrusion will accelerate along with the X and Y movement, so everything stays synchronized.'

Fonte: Marlin (2023).

4 RESULTADOS

Conforme a descrição dos materiais apresentada, a montagem do conjunto ocorre em etapas, começando pela parte mecânica, seguida pela elétrica e, por último, a eletrônica. Perfis extrudados metálicos, fixados com parafusos allen M6, conferem uma estrutura externa, ou seja o *frame* robusto da impressora 3D. Numa configuração de forma cúbica e reforçada com suportes adicionais para garantir maior resistência e estabilidade durante o processo de impressão.

Fusos de rosca sem fim, fixados na estrutura por meio de suportes, são conectados aos motores de passo usando acoplamentos flexíveis e são responsáveis pela movimentação vertical da mesa. Esta movimentação é restrita apenas na direção vertical neste arranjo específico. Além disso, os perfis, de tamanho menor, formam uma estrutura quadrada unida simetricamente dos dois lados por grandes suportes metálicos, configurando o suporte da mesa onde ela é fixada.

Na parte superior, dois motores de passo adicionais são fixados na parte interna dos perfis, utilizando suportes apropriados. Estes motores são responsáveis pela movimentação dos eixos X e Y, seguindo o arranjo HBOT, onde o sentido de rotação de cada motor é responsável por uma coordenada específica.

Todo esse sistema é montado por polias dentadas, correias e também polias lisas, que são utilizadas para tracionar e conectar os dois motores, o extrusor, o bico aquecido e o tracionador de filamento. Esses componentes estão posicionados em um carro montado sobre um trilho metálico, formando uma estrutura em formato de "H". Esse conjunto se move em apenas uma dimensão, especificamente no eixo X, e é fixado em mais dois trilhos por meio de suportes, além de outros dois carros responsáveis pelo movimento na coordenada Y.

O tracionador de filamento é um subconjunto pronto que é acoplado ao último motor elétrico. A função desse motor é movimentar o filamento, o qual será aquecido posteriormente. No entanto, a movimentação do filamento só acontece quando o bico aquecido alcança a temperatura ideal, controlada pelo *firmware* Marlin, de acordo com o polímero configurado.

Os fins de curso do conjunto HBOT são posicionados ao final de cada trilho, sendo um para cada coordenada. No caso do eixo Z, foi utilizado um sensor vertical adquirido, capaz de se expandir e realizar a calibração precisa, informando a distância entre o bico injetor e a mesa para evitar qualquer contato entre os dois. A impressora 3D possui dois termistores, um localizado no bico injetor e outro na mesa aquecida, essa é uma peça pronta (que pode ser adquirida comercialmente), desenvolvida especificamente para essa finalidade.

Toda a parte eletrônica é conectada na placa *Shield Ramps 1.4*, cuja função principal é expandir as conexões disponíveis e facilitar o acesso ao Arduino, onde todo o processamento e a lógica são realizados. As duas placas são conectadas sobrepondo um ao outro e fazendo a ligação por meio de pinos metálicos.

Na placa *Shield Ramps 1.4*, são conectados os motores dos eixos X, Y, Z e do extrusor, além do termistor da mesa aquecida e do bico aquecido, os fins de curso X, Y e o sensor de fim

de curso Z. Também são feitas as conexões para a alimentação de duas ventoinhas auxiliares: uma para o Arduino e o *Shield*, e outra para regular a temperatura do bico aquecido. Todo o sistema é alimentado por uma fonte de alimentação AC para DC PSU de 24V e 30A.

Alguns ajustes finais ainda são necessários aqui, já que como dito no texto, o processo iterativo pode ser de constante melhora, só depende apenas de quais são as metas de impressão. Na Figura 56, o cálculo de micro passos foi refeito, após as medidas constatarem estarem fora do dimensional do corpo de calibragem (Cubo), com os novos parâmetros e um ajuste de temperatura, a impressão começou a apresentar resultados esperados, dentro da resolução de operação da máquina.

Figura 56 – Ajustes de temperatura de impressão e micro passos gerando uma impressão mais precisa



Fonte: Autoria própria (2023).

No cubo da esquerda na Figura 56, percebe-se uma inconsistência na posição das camadas, como também numa contração dimensional, resultado de temperaturas muito altas e resfriamento rápido. Como também a primeira camada na base da impressão possui uma completa perda de forma e dimensão, já que o *offset* do eixo Z estava errado.

É possível observar também, que na direita, apesar das correções apresentarem um resultado melhor, ainda, a contração dimensional na parte superior da peça, indica a necessidade de um resfriamento mais lento, e um ambiente de impressão mais controlado, para atingir novos níveis de impressão.

Para o cálculo de micro passos, uma opção bem simples, porém ainda com necessidade de iteração é de forma comum, tirando as medidas com um paquímetro da peça final, e comparando com o esperado, dentro da resolução máquina. Como mostra nas Figuras 57 e 58, as dimensões para o eixo X e Y, apesar de estarem iguais, estão fora, já que o cubo havia uma medida de 21,5 mm x 21,5 mm x 21,5 mm. Dito isso, com a medida de 13,35, é possível recalcular os micro passos dentro do Marlin, ajustando para um novo valor, utilizando uma singela regra de três.

Figura 57 – Medidas do cubo impresso final para constatação de parametros e iteração de cálculo de micro passos no eixo X



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 58 – Medidas do cubo impresso final para constatação de parametros e iteração de cálculo de micro passos no eixo Y



Fonte: Autoria própria (2023).

Após todo o processo de desenvolvimento da impressora 3D, é relevante realizar uma estimativa de preço dos componentes. Cada componente utilizado durante o processo de construção, montagem e fabricação é contabilizado na Tabela 1. Isso permite avaliar a viabilidade econômica e o custo-benefício da montagem em relação à aquisição de um equipamento pronto.

Descrição da Peça	Qtd.	US\$ por Unidade	US\$ Total
Perfil extrudado alumínio 30x30x565	6	9,00	54,00
Perfil extrudado alumínio 30x30x700	4	11,69	46,76
Perfil extrudado alumínio 30x30x580	8	9,57	76,56
Suporte guias cilíndricas auxiliares eixo Z	8	0,98	7,84
Suporte de auxilio fuso eixo Z	4	1,52	6,08
Suporte fuso eixo Z Central	4	1,62	6,48
Suporte L motores eixo Z	2	0,99	1,98
Suportes L laterais mesa aquecida	2	3,5	7,00
Bloco de suporte fuso Central	2	2,00	4,00
Fuso sfu1204x500	2	34,00	68,00
Parafusos e porcas para fixação	1	55,00	55,00
Acoplamento flexível 8mm para 5mm	2	0,75	1,50
Perfil menor 20x20x400mm	2	2,02	4,04
Perfil menor 20x20x440mm	2	2,35	4,70

Tabela 1 – Lista de componentes e seus respectivos preços em dólares (AliExpress: 21/11/2023), importados da China

Descrição da Peça	Qtd.	US\$ por Unidade	US\$ Total
Guia linear MGH 12 500mm	3	9,00	27,00
União fixadora carrinhos guia linear	1	1,50	1,50
Suporte L extrusora	1	2,00	2,00
Suporte para montagem vertical motores Nema 17	2	1,00	2,00
Correia GT2	1	16,00	16,00
Fixadores correia GT2	2	1,50	3,00
Suporte L para polias	2	2,00	4,00
B18.2.2.4M - Hex flange nut, M5 x 0.8 -N	2	0,50	1,00
B18.2.4.5M - Hex jam nut, M5 x 0.8 -D-N	2	0,55	1,10
B18.3.4M - 8 x 1.25 x 20 SBHCS -N	16	0,60	9,60
Polia lisa - GT2 idler pulley	2	0,72	1,44
Polia 20T W10 B5	10	0,75	7,50
		Total - Mecânico	420,08
Drivers DRV8825	4	0,98	3,92
Shield Ramps 1.4	1	0,98	0,98
Display LCD Full Graphics	1	2,71	2,71
Nema motor 17	4	8,22	32,88
Arduino Mega 2650	1	20,64	20,64
Fonte 24V 30A	1	29,82	29,82
Mesa aquecida Mk2a 300 mm x 300 mm	1	36,34	36,34
Kit bico extrusor + Nema motor + Fan + Tracionador de filamento	1	10,52	10,52
Endstops	2	0,98	1,96
BLTouch	1	4,00	4,00
Transistor mosfet para mesa aquecida	1	0,98	0,98
		Total - elétrico e eletrônico	144,75
Total Geral			564,83

Tabela 1 – Lista de componentes e seus respectivos preços em dólares (AliExpress: 21/11/2023), importados da China

5 CONCLUSÃO

Com o avanço constante da tecnologia, a impressão 3D deixou de ser apenas o assunto do momento; ela continua a evoluir. Mesmo diante das considerações financeiras e das vantagens oferecidas por modelos prontos, é importante destacar a significativa relevância da construção de uma impressora 3D a partir do zero no contexto acadêmico e na documentação de conhecimento.

Embora o custo, os possíveis problemas com componentes e a disponibilidade de alternativas prontas no mercado possam levantar questões sobre a viabilidade financeira dessa empreitada, é crucial reconhecer o valor intrínseco de tal empreendimento no ambiente acadêmico. A montagem de uma impressora 3D não se restringe apenas a uma mera comparação de custos; trata-se de um processo educacional valioso.

A construção modular de uma impressora 3D oferece a oportunidade de compreender profundamente cada componente, suas interações e seu funcionamento. Esse processo proporciona um conhecimento prático que vai além do simples uso de uma impressora pronta. É uma oportunidade de aprendizado sobre eletrônica, mecânica, programação e design, aspectos fundamentais no campo da engenharia e tecnologia.

Além disso, a documentação desse processo de construção não só contribui para o acervo de conhecimento disponível, mas também serve como referência para futuros estudos e melhorias. A capacidade de adaptar, modificar e otimizar a impressora de acordo com as necessidades específicas de um projeto acadêmico é uma vantagem inestimável.

É importante ressaltar que a construção de uma impressora 3D para fins acadêmicos vai muito além do resultado final ou da viabilidade financeira imediata. Ela proporciona uma compreensão mais profunda dos princípios subjacentes da impressão 3D e abre portas para inovações futuras no campo, permitindo que novos conhecimentos sejam gerados e compartilhados.

REFERÊNCIAS

- Alejandro Auerbach. **Thermoplastics for AM: Breakdown by Performance**. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.aniwaa.com/insight/am-materials/am-thermoplastics-breakdown-by-performance/>. Acesso em: 30 out. 2023.
- Marlin. **Marlin Firmware**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://marlinfw.org/>. Acesso em: 19 nov 2023.
- QIN, Q.; HUANG, J.; YAO, J. A real-time adaptive look-ahead speed control algorithm for fdm-based additive manufacturing technology with hbot kinematic system. **Rapid Prototyping Journal**, Emerald Publishing Limited, v. 25, n. 6, p. 1095–1107, 2019.
- REDWOOD, B.; SCHÖFFER, F.; GARRET, B. **The 3D Printing Handbook: Technologies, Design and Applications**. 3D Hubs B.V., 2017. ISBN 9789082748505. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=R3OvswEACAAJ>.
- RepRap. **RAMPS 1.6**. [S.l.], 2022. Disponível em: https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.6#Wiring_guide. Acesso em: 06 nov. 2023.
- Rogrido Conrado. **Atividade Maker**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://atividademaker.com.br/>. Acesso em: 19 nov 2023.
- UltiMaker Cura. **Software Cura para impressão 3D**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>. Acesso em: 19 nov 2023.

**APÊNDICE A – Montagem, descrição de componentes e vista explodida
da parte mecânica**

Figura 59 – Vista frontal montagem completa mecânica impressora 3D

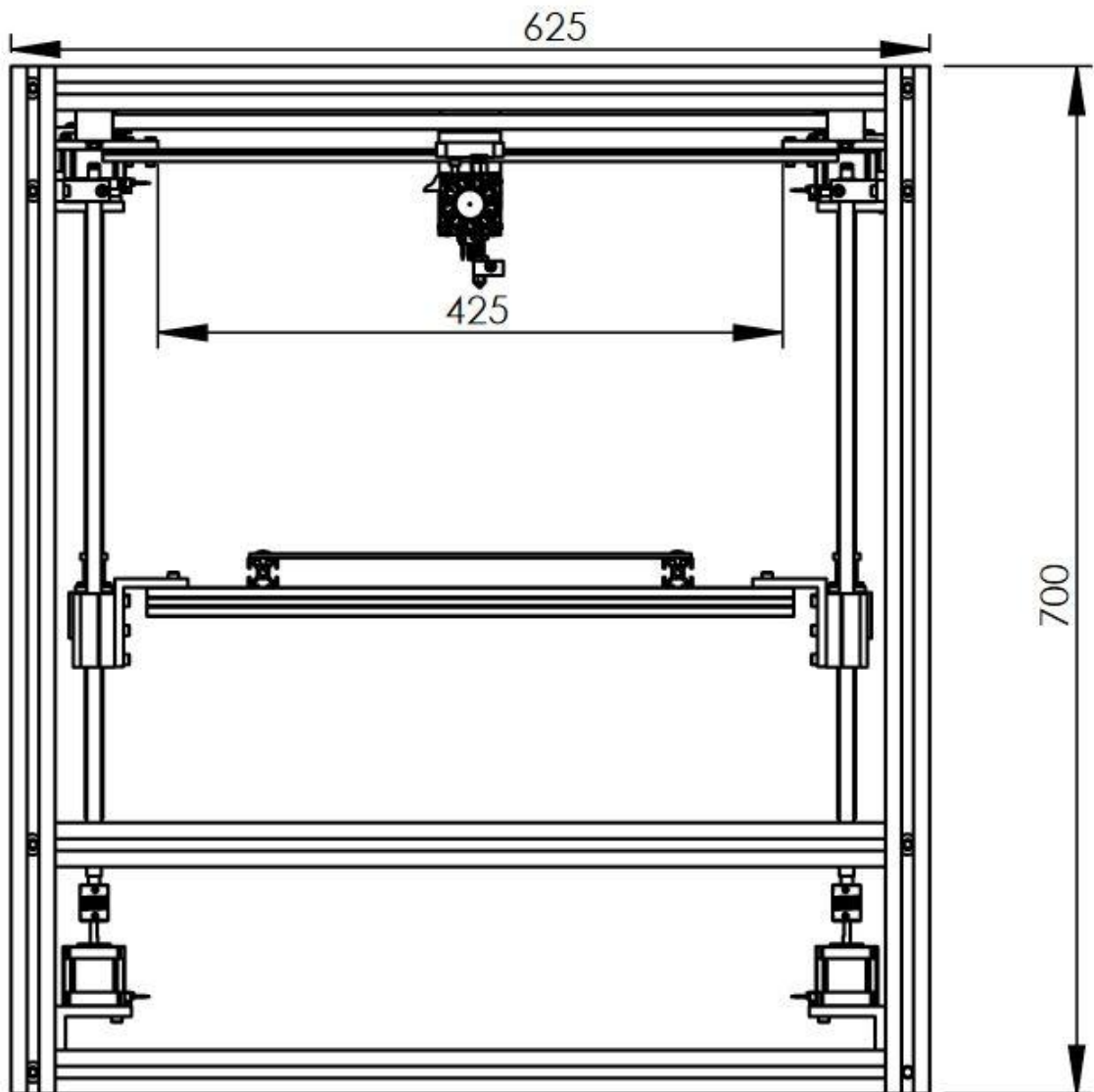


Figura 60 – Vista lateral completa mecânica impressora 3D

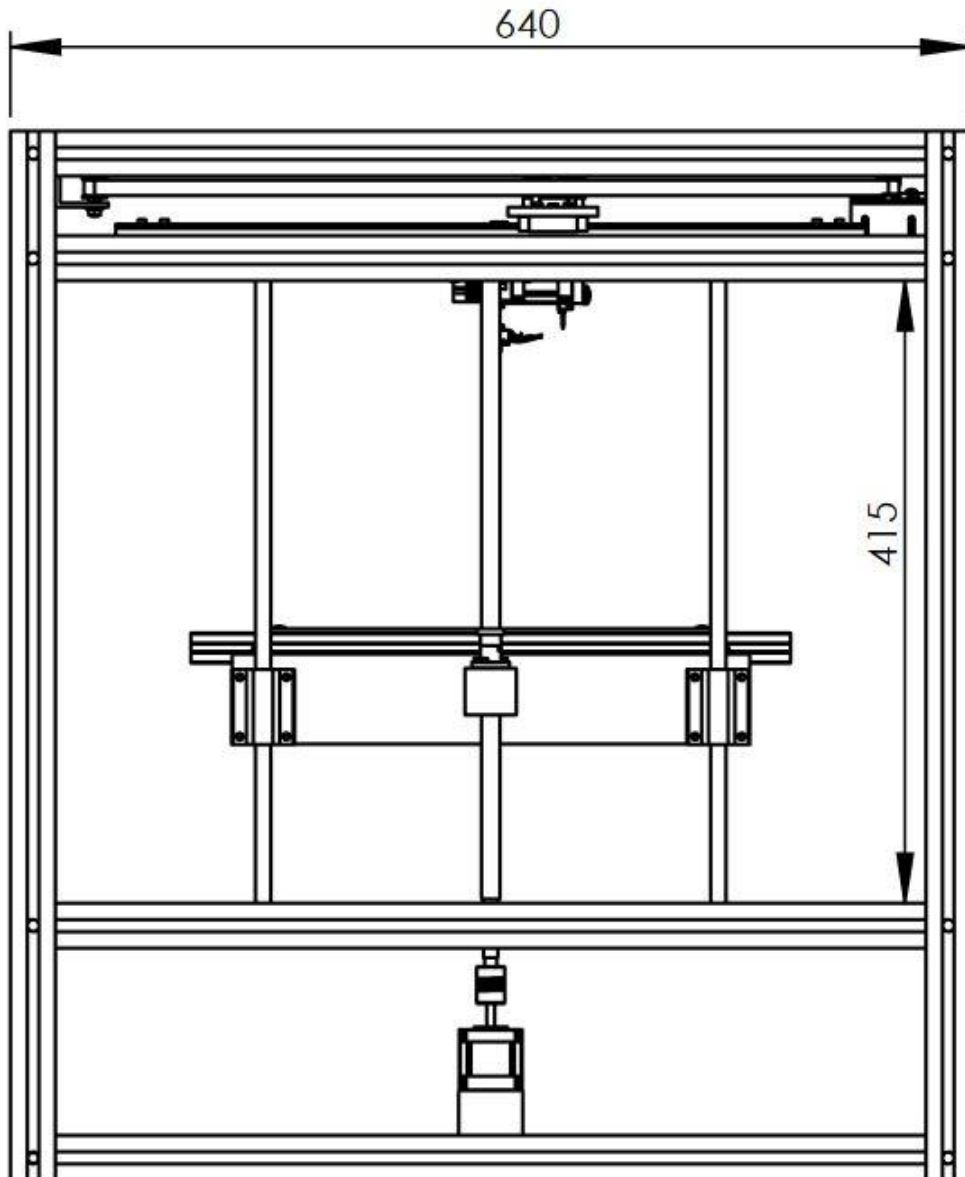


Figura 61 – Vista superior completa mecânica impressora 3D

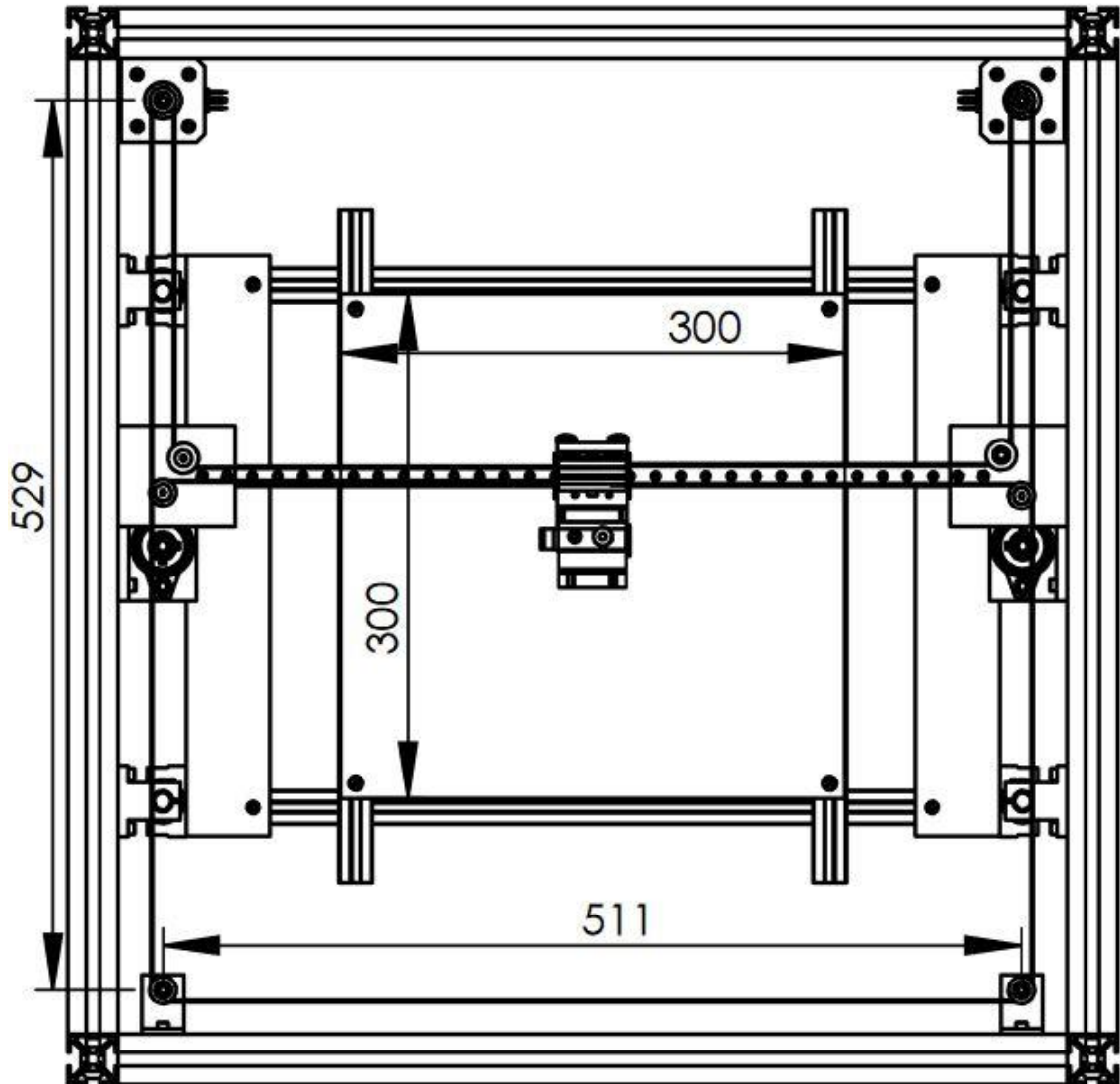


Figura 62 – Vista isométrica completa mecânica impressora 3D

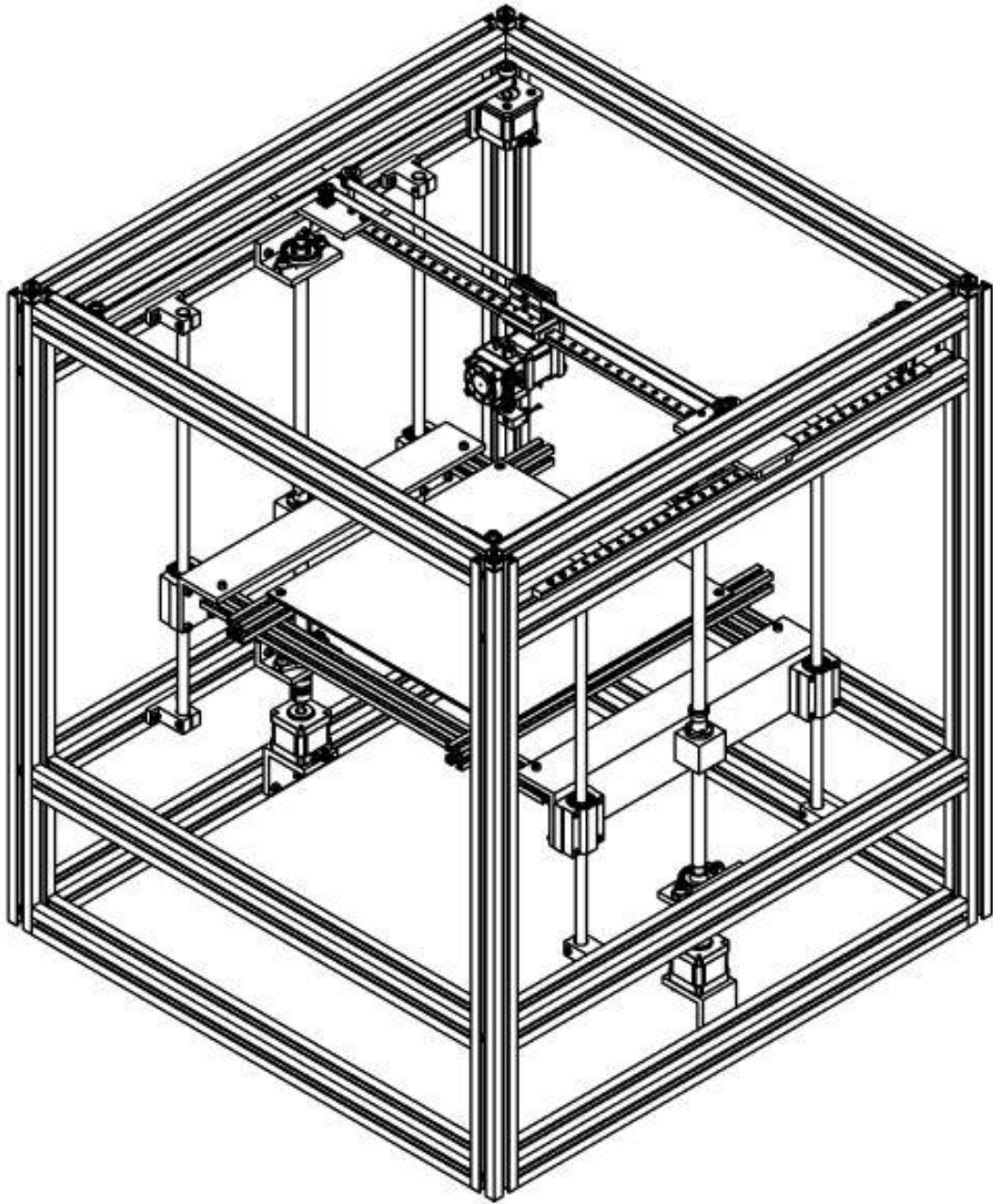
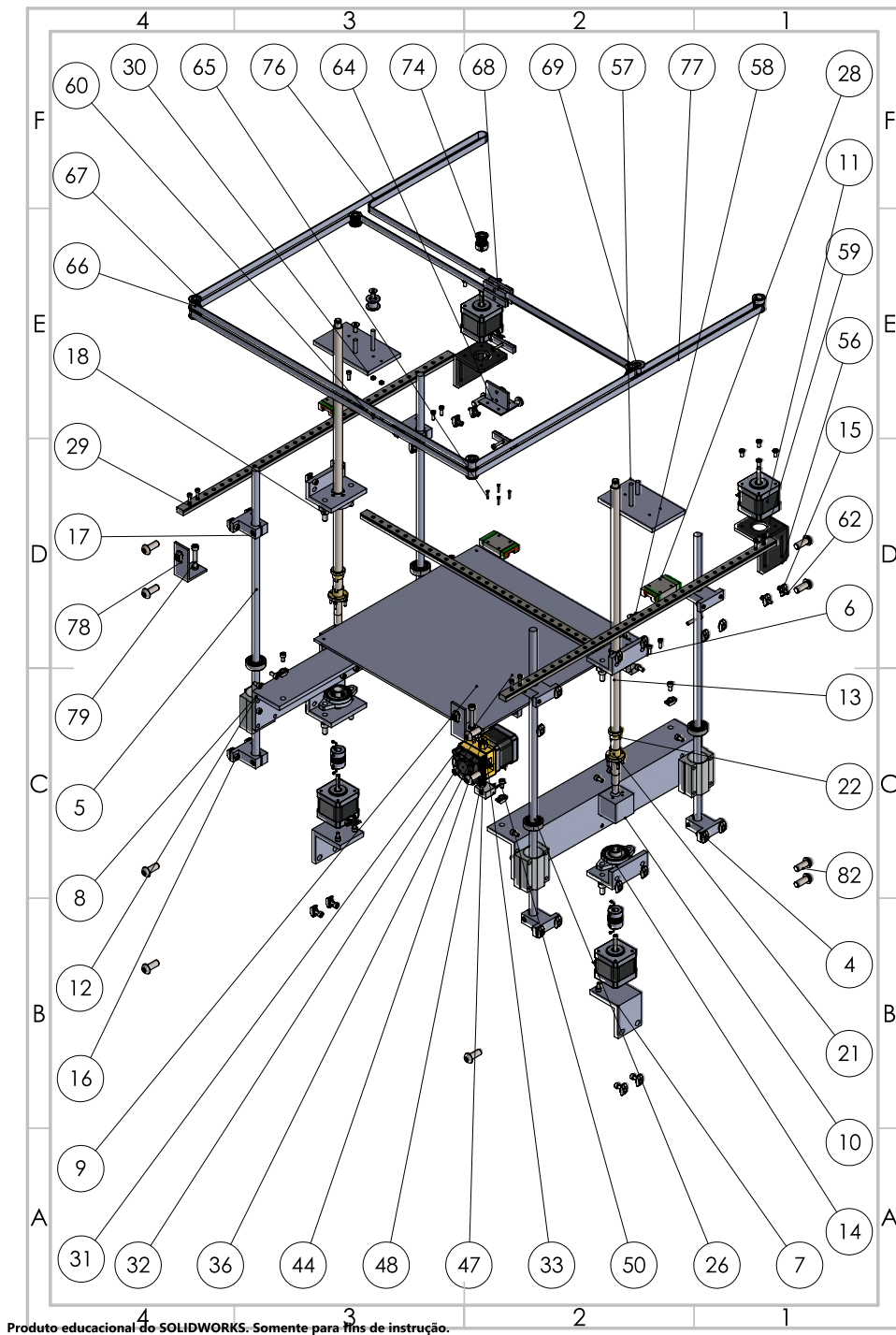


Figura 63 – Vista explodida da Impressora 3D dividida em três visualizações



Nº	DESCRIÇÃO DA PEÇA	QTD.
1	Perfil Extrudado Alumínio 30x30x565	6
2	Perfil Extrudado Alumínio 30x30x700	4
3	Perfil Extrudado Alumínio 30x30x580	8
4	Suporte Guias cilíndricas Auxiliares EixoZ	8
5	Suporte De Auxilio Fuso Eixo Z	4
6	Suporte FusoEixo Z Central	4

Tabela 2 – Lista de materiais relacionados a vista explodida Impressora 3D

7	Suporte L motores Eixo Z	2
8	Suportes L Laterais Mesa Aquecida	2
9	Mesa Aquecida Mk2a Alumínio 300x300	1
10	Bloco de Suporte Fuso Central	2
11	Motor elétrico Nema 17	4
12	SUPORTE SPINDLE D20	4
13	Fuso sfu1204x500	2
14	Rolamentos para fuso 12mm	4
15	PMT30-06 - PORCA MARTELO M6 CANAL 8MM - BASE 30	38
16	B18.3.1M - 4 x 0.7 x 8 Hex SHCS – 8NHX	62
17	B18.3.1M - 4 x 0.7 x 20 Hex SHCS – 20NHX	8
18	B18.3.1M - 6 x 1.0 x 12 Hex SHCS – 12NHX	8
19	Acoplamento flexível 8mm para 5mm	2
20	B18.3.1M - 1.6 x 0.35 x 5 Hex SHCS – 5NHX	8
21	B18.3.1M - 2.5 x 0.45 x 8 Hex SHCS – 8NHX	8
22	B18.3.1M - 3 x 0.5 x 10 Hex SHCS – 10NHX	12
23	B18.3.1M - 3 x 0.5 x 16 Hex SHCS – 16NHX	6
24	B18.3.1M - 1.6 x 0.35 x 10 Hex SHCS – 10NHX	4
25	B18.3.1M - 5 x 0.8 x 40 Hex SHCS – 22NHX	2
26	Castanha central para fuso SFU1204	2
27	Complemento da Castanha	2
28	Perfil menor 20x20x400mm	2
29	Perfil menor 20x20x440mm	2
30	Rolamentos Fixadores BF12	4
31	B18.6.7M - M4 x 0.7 x 8 Type I Cross Recessed OHMS –8C	4
32	Carro para Guia Linear MGH 12	3
33	Guia Linear MGH 12 500mm	3
34	União Fixadora Carrinhos Guia Linear	1
35	Suporte L Extrusora	1
36	KIT EXTRUSOR MK8	1
37	B18.6.7M - M6 x 1.0 x 8 Type I Cross Recessed PHMS –8N	4
38	B18.6.7M - M3 x 0.5 x 16 Type I Cross Recessed PHMS – 16N	4
39	B18.6.7M - M3.5 x 0.6 x 8 Type I Cross Recessed PHMS – 8N	8
40	Suporte Para Montagem Vertical Motores Nema 17	2
41	União Carrinho Guia Linear Direita	1
42	B18.3.5M - 5 x 0.8 x 12 Socket FCHS – 12N	4
43	Porca M3	6
44	Correia GT2	1
45	Conjunto HBOT	1
46	Fixadores Correia GT2	2
47	Suporte L Para Polias	2
48	B18.2.2.4M - Hex flange nut, M5 x 0.8 –N	2
49	B18.2.4.5M - Hex jam nut, M5 x 0.8 –D-N	2
50	B18.3.4M - 8 x 1.25 x 20 SBHCS –N	16
51	Body, GT2 Idler Pulley, Configurable	1
52	Polia 20T W10 B5	1

Tabela 2 – Lista de materiais relacionados a vista explodida Impressora 3D