



**Adaptação de equipamentos para gravação a *LASER*:
casos de estudo de impressora 3d e de manipulador colaborativo industrial**

Geovanni de Souza da Silva - a57294

Relatório final da unidade curricular de Projeto/Dissertação apresentado à **Escola Superior de Tecnologia e Gestão** para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica no âmbito de dupla diplomação com o **CEFET/RJ**.

Orientadores:

**Professor Doutor José Alexandre de Carvalho Gonçalves
Professor Doutor João Eduardo Pinto Castro Ribeiro
Professor Doutor Rafael José Elinó da Silveira**

**Bragança, Portugal
Maio de 2024**



**Adaptação de equipamentos para gravação a *LASER*:
Casos de Estudo de Impressora 3D e de manipulador colaborativo
industrial**

Geovanni de Souza da Silva - a57294

Relatório final da unidade curricular de Projeto/Dissertação apresentado à **Escola Superior de Tecnologia e Gestão** para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica no âmbito de dupla diplomação com o **CEFET/RJ**.

Orientadores:

**Professor Doutor José Alexandre de Carvalho Gonçalves
Professor Doutor João Eduardo Pinto Castro Ribeiro
Professor Doutor Rafael José Elinó da Silveira**

**Bragança, Portugal
Maio de 2024**

Agradecimentos

A realização desta tese não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de diversas pessoas e instituições, às quais expresso minha profunda gratidão.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, avós e à minha família e amigos, mas em especial a minha irmã (Dayanni Victória de Souza da Silva) e minha mãe (Luciana Amaral Gonçalves de Souza), por todo o amor, apoio e compreensão incondicionais. Vocês foram minha fonte de motivação, inspiração e força nos momentos mais desafiadores. Mãe, obrigado por cada sacrifício, cada sorriso e cada abraço em meio as alegrias ou dificuldades, obrigado por tudo.

Agradeço também aos meus orientadores, José Gonçalves, João Ribeiro e Rafael Silveira, por suas orientações, paciência e apoio ao longo deste percurso. Sua expertise e conselhos foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Não posso deixar de expressar minha gratidão aos meus colegas, Layanni e Mariano (Doutorandos do Instituto Politécnico de Bragança), pelo apoio na instalação dos equipamentos e programação do manipulador industrial, assim como nos testes do *laser*.

Finalmente, um agradecimento especial a Letícia Aragão Silva, por seu apoio constante, paciência e encorajamento. Sua presença ao meu lado foi essencial para que eu pudesse concluir esta etapa.

A todos, meu sincero agradecimento.

Resumo

Esta dissertação tem como objetivo principal a adaptação de equipamentos para gravação a *laser*, com particular enfoque no estudo para uma impressora 3D e um manipulador colaborativo industrial (braço robótico). Para a adaptação da impressora foram utilizados *softwares* de código aberto, possibilitando a incorporação de novos componentes, como um gravador a *LASER*. O método de pesquisa adotado consiste em uma revisão bibliográfica abrangendo temas relacionados ao desenvolvimento das impressoras 3D desde sua origem, a produção de protótipos de impressoras utilizando *softwares* de código aberto e Arduino, além do desenvolvimento de máquinas de gravação e corte a *LASER* e PDCA. Foram, também, abordados parâmetros para a melhoria da qualidade de impressão e para a realização de gravações a *LASER* em objetos. Por fim, será realizada uma análise comparativa da viabilidade do projeto, incluindo os custos de produção do adaptador *LASER* comercial para impressoras da marca em comparação com o desenvolvido neste estudo.

Palavras-chave: Manufatura aditiva. Impressora 3D. *Software* de código aberto. Gravação a *LASER*. Arduino.

Abstract

This dissertation aims to adapt equipment for *laser* engraving, with a particular focus on the study of a 3D printer and a collaborative industrial manipulator (robotic arm). Open-source *software* was used for the adaptation of the printer, allowing the incorporation of new components, such as a *LASER* engraver. The research method adopted consists of a literature review covering topics related to the development of 3D printers since their inception, the production of printer prototypes using open-source *software* and Arduino, as well as the development of *LASER* engraving and cutting machines and PDCA. Parameters for improving print quality and performing *LASER* engravings on objects were also addressed. Finally, a comparative analysis of the project's feasibility will be conducted, including the production costs of the commercial *LASER* adapter for branded printers compared to the one developed in this study.

Keywords: Additive Manufacturing. 3D Printing. Software Open Source. LASER Engraving. Arduino.

Sumário

1. Introdução.....	16
1.1. Objetivo	18
1.2. Organização da Dissertação	18
2. Referencial teórico	19
2.1. Metodologia de pesquisa	19
2.1.1. Revisões Bibliográficas	20
2.1.2. Método PDCA	20
2.1.3. Integração dos Métodos.....	21
2.2. Impressão 3D	22
2.2.1. Manufatura Aditiva ou Impressão 3D	22
2.2.2. Licenças	24
2.2.3. Impressão de modelos 3D.....	24
2.2.3.1. Modelo 3D.....	25
2.2.3.2. <i>Software</i> para fatiamento 3D.....	27
2.2.3.3. <i>Firmware</i>	28
3. Adaptação dos Equipamentos	29
3.1. Componentes presentes na adaptação	29
3.1.1. Sensores	30
3.1.2. Motores.....	33
3.1.3. Extrusora.....	35
3.1.4. Fonte de alimentação	37

3.1.5.	Unidade de control ou placa mãe	39
3.1.6.	Estrutura	40
3.1.7.	Materiais de impressão	42
3.1.8.	<i>LASER</i> para gravação	44
3.1.8.1.	Principais características e aplicações:.....	46
3.1.9.	Módulo conversor de tensão 24V para 12V	47
3.2.	Adaptação mecânica e elétrica do <i>LASER</i> na impressora.....	48
3.2.1.	Adaptador mecânico criado para posicionar o <i>LASER</i> no cabeçote da extrusora 49	
3.2.2.	Instalação elétrica do módulo <i>LASER</i> na impressora	53
3.2.3.	Detalhamento do <i>software</i> que converte a imagem em GCODE para leitura da impressora	55
3.2.3.1.	Parâmetros utilizados no <i>software</i>	55
3.2.4.	Instalação do <i>firmware</i> Marlin.....	58
3.3.	Adaptação mecânica do <i>LASER</i> ao manipulador colaborativo industrial.....	69
3.4.	Comparações entre os custos dos materiais utilizados e o modelo existente no mercado.....	71
3.5.	Resultados obtidos nos testes de potência do <i>LASER</i>	72
4.	Conclusões e proposta de trabalhos futuros	74

Índice de Figuras

Figura 1 - O Sistema Cartesiano no Espaço 3D [13].....	25
Figura 2 - ENDER 5 Plus [17, p. 5]	29
Figura 3 - Sensor de temperatura da extrusora [18]	30
Figura 4 - Sensor de nível da mesa (BLTouch ou 3DTouch) [19].....	31
Figura 5 - Interruptor de fim de curso [20].....	31
Figura 6 - Sensor de filamento	32
Figura 7 - Sensor de Umidade [21]	32
Figura 8 – Acelerômetros [22].....	33
Figura 9 - Motor de passo.....	34
Figura 10 - Extrusora Ender 5 Plus[23].....	35
Figura 11 - Motor de passo e engrenagens na extrusora[24].....	36
Figura 12 – Hotend [23]	36
Figura 13 - Bico de impressão [25]	37
Figura 14 - Fonte de Alimentação [26].....	38
Figura 15 - Placa mãe [27]	40
Figura 16 - LASER para gravação e/ou corte [29].....	46
Figura 17 - Módulo Conversor 12V para 24V DC-DC [30]	48
Figura 18 - Modelo De Adaptador Do LASER Para Impressora 3D 1	50
Figura 19 - Modelo Final Adaptador Do LASER Para Impressora 3D.....	51
Figura 20 - Foto Do Modelo Final Do Adaptador Na Impressora	52
Figura 21 - Foto 2 Do Modelo Final Do Adaptador Na Impressora.....	52
Figura 22- Esquema Elétrico Da Adaptação Do Módulo LASER Para Impressora Ender 5 ...	53
Figura 23 - Botão <i>three way</i> [31].....	54
Figura 24 – Montagem modelo botão com suporte.....	54

Figura 25 - Configuração Para O <i>Software</i> De Conversão De Imagem Para GCODE	56
Figura 26 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – Abrindo modelo de código .	58
Figura 27 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – Seleção do Modelo do Arduino.....	59
Figura 28 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – Seleção de Porta Conectada ao Arduino	60
Figura 29 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – <i>Upload</i> do Código.....	60
Figura 30 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – Conexão Elétrica Do Arduino a Mainboard – (<i>Print Screen</i> Retirado do Vídeo de Michael Laws [32]).....	61
Figura 31 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin - Adicionando o “Sanguino <i>Board</i> ” (1).....	61
Figura 32 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – Adicionando o “Sanguino <i>Board</i> ” (2).....	62
Figura 33 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin - Adicionando o “Sanguino <i>Board</i> ” (3).....	62
Figura 34 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin - Adicionando o “Sanguino <i>Board</i> ” (4).....	63
Figura 35 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – Selecionando o Modelo do Arduino.....	63
Figura 36 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – <i>Tools, Programmer, Arduino as ISP</i>	63
Figura 37 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – <i>Tools Burn Bootloader</i>	64
Figura 38 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – <i>Tools, Programmer, AVRISP mkll</i>	64
Figura 39 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – <i>Download Marlin</i> [33]	65
Figura 40 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (1).....	65
Figura 41 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin - Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (2).....	65
Figura 42 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin - Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (3).....	66

Figura 43 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin - Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (4).....	66
Figura 44 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin - Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (5).....	67
Figura 45 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin - – Executando Marlin.ino	67
Figura 46 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin – Adicionando a Biblioteca u8glib (1)	68
Figura 47 - Procedimento para Instalação do <i>firmware</i> Marlin - Adicionando a Biblioteca u8glib (2)	68
Figura 48 - Adaptador do LASER e do sensor de distância para o braço robótico	69
Figura 49 - Adaptar mecânico montado no braço robótico	70
Figura 50 – Placa de Teste MDF do LASER.....	72
Figura 51 - Melhores parâmetros de altura.....	73
Figura 52 – Parâmetros de velocidade.....	73

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Custo dos materiais utilizados no trabalho (modelo 0.5W).....	71
Tabela 2 - Custo para modelo de 10W	71
Tabela 3 - Custo para o modelo de 15W	71
Tabela 4 - Custo para o modelo de 40W	72
Tabela 5 - Materiais utilizados e seus respectivos endereço eletrônico de onde foram obtidos	80

Lista de Símbolos e Abreviaturas

Símbolos

A	Ampére
CO ₂	Dióxido de Carbono
I	Corrente Elétrica [A]
mm	Milímetro
P	Potência [W]
U	Diferença de Potencial [V]
V	Volt
W	Watts
X	Eixo X
Y	Eixo Y
Z	Eixo Z

Abreviaturas

3D	Tridimensional
ABS Polímero	<i>Acrilonitrilo-butadieno-estireno</i>
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i>

CAD	<i>Computer-aided design</i> – Desenho assistido por computador
CAM	<i>Computer-aided manufacturing</i> – Manufatura assistida por computador
DC	Corrente Contínua
DIY	<i>Do it Yourself</i>
FIA	Fundação Instituto de Administração
GCODE	Linguagem de Máquina Universal
GNU	Projeto criado pela Free Software Foundation
GPL	<i>General Public License</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
Max	Máximo
MDF	Placa de Fibra de Média Densidade
Mín	Mínimo
OSI	<i>Open Source Initiative</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Act</i>
PETG	<i>Polietileno Tereftalato Glicol</i>
PLA	<i>Biopolímero ácido poliláctico</i>
RTD	Termorresistência
STL	<i>Standard Triangle Language</i>
TPU	Poliuretano Termoplástico
URL	Localizador Uniforme de Recursos

USB	Porta Serial Universal
UV	Ultravioleta
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
EPI	Equipamento de proteção individual

Introdução

A tecnologia de impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, está em constante desenvolvimento e abrange um grande espaço no cenário mundial, dado que sua capacidade de criação de um produto complexo ou de moldes altamente elaborados.

A indústria se mostra interessada na manufatura aditiva, esta tecnologia é considerada um pilar para a revolução da indústria 4.0 e até mesmo da 5.0. Além de sua grande utilidade em escala industrial, as impressoras 3D, em menor escala, estão presentes cada vez mais nas residências e em pequenas empresas, em razão de sua versatilidade de produção e criação de produtos e utensílios personalizados e que melhor atendem ao consumidor, também possibilita a manutenção de diversos produtos que seriam apenas possíveis com a compra de um novo. Unindo esta praticidade com a acessibilidade a modelos 3D na “*WEB*” e sua produção facilitada com *softwares* que fazem tudo de forma automatizada, convertendo para uma linguagem para leitura da impressora e criação de suportes para impressão de superfícies mais complexas e suspensas, torna as possibilidades quase que infinita, estando limitado apenas ao nível de complexidade de impressão, dimensão e material.

O princípio básico de funcionamento da tecnologia de impressão 3D é a criação de produtos em 3 dimensões a partir da deposição de material por camadas. As primeiras tecnologias do tipo registradas surgiram na década de 80. De acordo com Lonjon (2017) [1], o primeiro protótipo que há registros foi criado por Hideo Kodama, do Instituto Municipal de Pesquisa Industrial de Nagoya. A patente solicitada, que não foi aceita, era de um sistema de prototipagem rápida baseado em uma cuba de material fotopolímero exposto a luz UV. Este sistema constrói modelos em camadas utilizando fotopolímero, uma resina que, ao ser exposta

à luz, pode alterar sua estrutura química para tornar a peça firme e rígida, no entanto este sistema tem uma longa duração para produção.

Em 1983 o engenheiro Charles Hull enfrentou desafios semelhantes devido à demora na produção de produtos plásticos, o que resultava em gastos e esperas desnecessárias. Com formação pela Universidade do Colorado em 1961 e experiência com luz UV, Hull experimentava colocar finas camadas de plástico sobre mesas e móveis, mas o processo levava cerca de 2 meses para completar uma peça simples. Motivado a encontrar uma nova tecnologia, Hull desenvolveu a primeira impressora 3D baseada na técnica de estereolitografia (SLA) a partir de seus estudos. Em 1986, fundou a 3D Systems, a primeira empresa de impressão 3D do mundo, que rapidamente lançou sua impressora estereolitográfica, o SLA-1 [1].

“A primeira versão comercial, muito parecidas com as que são vendidas atualmente, que utiliza a tecnologia FFF, foi desenvolvida por S. Scott Crump, co-criador da empresa Stratasys, Ltd, em 1989” [2, p. 172]. Hoje grande parte dos esforços se dão no aperfeiçoamento da tecnologia, seja com o uso de novos materiais, o aumento na velocidade de impressão e/ou na dimensão de produção.

Em escala doméstica, a adição de novos componentes, como mais extrusoras, sensores ou gravador a *LASER*, possibilitam atingir uma nova gama de utilidades para um mesmo equipamento. Atualmente, com a redução de custos para aquisição de componentes e ao compartilhamento das tecnologias e *softwares* sem serem completamente limitadas por patentes exclusivas (“*softwares* livres”), é possível produzir estas melhorias com a adaptação dos componentes na estrutura, mecânica e elétrica, da impressora 3D e com a modificação do *firmware*.

1.1. Objetivo

Esta dissertação tem como objetivo principal a adaptação de equipamento para gravação a *LASER*, com particular enfoque na adaptação em uma impressora 3D e manipulador colaborativo industrial (braço robótico), também será bordado parâmetros para a melhoria na impressão por adição de material e a gravação a *LASER* de objetos. O *firmware* utilizado será o Marlin.

Por fim, será comparado o custo de produção do modelo comercial do adaptador *LASER* para as impressoras da marca e a desenvolvida no presente trabalho.

1.2. Organização da Dissertação

O presente trabalho está dividido em sete capítulos: Introdução, Referencial teórico, Materiais e métodos, Resultados e Discussões, Conclusão.

Neste capítulo foi apresentado o desenvolvimento do tema, os objetivos e a organização da mesma.

O capítulo 2 abordará o referencial teórico para o trabalho, iniciando com a metodologia de pesquisa e seguindo abordagens referente ao tema como a Manufatura aditiva, o que é, suas áreas de utilização, vantagens e desafios, a Licença Pública Geral GNU e sua importância, a obtenção de modelos 3D, o uso de *software* e *firmware* e o princípio de funcionamento da impressora.

O capítulo 3 abordará os materiais utilizados para o trabalho e os componentes da impressora 3D como os sensores, a fonte de alimentação, a extrusora, os motores para movimentação, além do funcionamento de cada um deles.

O capítulo 4 abordará o desenvolvimento do trabalho, como as modificações feitas para a montagem dos componentes, o estudo do *firmware* e os parâmetros de configuração do equipamento.

Por fim, o capítulo 5 abordará as conclusões do trabalho e as possíveis abordagens para desenvolvimento posterior do trabalho apresentado.

2. Referencial teórico

2.1. Metodologia de pesquisa

Para Rodrigues (2007), a Metodologia científica “é um conjunto de abordagens, técnicas e processos utilizados pela ciência para formular e resolver problemas de aquisição objetiva do conhecimento, de uma maneira sistemática” [3, p. 2].

A metodologia de pesquisa desempenha um papel fundamental na condução de estudos acadêmicos, fornecendo uma estrutura sistemática para coletar, analisar e interpretar dados. Neste subcapítulo, será discutida a metodologia adotada para este estudo, que integra revisões bibliográficas com o método PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) [4], [5, p. 113, 114].

Para a elaboração deste estudo foram consultados materiais disponíveis na base de dados da CAPES, Scielo, Google Acadêmicos e repositórios universitários, analisando obras literárias, artigos acadêmicos, dissertações e outros recursos que contribuíram para ampliação da compreensão sobre o assunto em análise.

2.1.1. Revisões Bibliográficas

A metodologia de pesquisa utilizando revisões bibliográficas é uma abordagem amplamente reconhecida para analisar criticamente o conhecimento existente sobre um tema específico. Envolve a busca de artigos e trabalhos relacionados ao tema, seleção dos que mais se assemelham ao tema e contribuem para a pesquisa e a análise crítica de trabalhos acadêmicos, livros e outras fontes de informação relevantes.

Como dito por Garcia (2016), a revisão bibliográfica “é uma parte muito importante de toda e qualquer pesquisa, pois é a fundamentação teórica, o estado da arte do assunto que está sendo pesquisado”.

Os passos típicos incluem:

Formulação da Questão de Pesquisa: O primeiro passo é definir claramente a questão de pesquisa que orientará a revisão bibliográfica.

Identificação e Seleção de Fontes: Em seguida, realiza-se uma busca abrangente em diversas fontes de informação, como bases de dados acadêmicas e bibliotecas digitais, para identificar estudos relevantes.

Análise Crítica dos Estudos: Os estudos selecionados são então analisados criticamente para identificar tendências, lacunas na literatura e insights importantes.

Síntese dos Resultados: Por fim, os resultados da revisão são sintetizados e apresentados de forma clara e objetiva.

2.1.2. Método PDCA

Método é “uma palavra de origem grega composta pela palavra meta, que significa “além de”, e pela palavra *hodos*, que significa caminho”. Portanto método significa “caminho para se chegar a um ponto além do caminho” [6, p. 113].

Segundo FIA Business School [4], o método PDCA é uma abordagem cíclica para a melhoria contínua em diversos contextos. Ele consiste em quatro etapas interligadas: *Plan* (Planejar), *Do* (Fazer), *Check* (Verificar) e *Act* (Agir), como detalhadas a seguir:

Planejar: Nesta etapa, são estabelecidos objetivos e desenvolvido um plano de ação para alcançá-los.

Fazer ou Execução: As atividades são executadas de acordo com o plano estabelecido.

Verificar: Os resultados são monitorados e avaliados em relação aos objetivos estabelecidos.

Agir: Com base na análise dos resultados, são identificadas ações corretivas ou preventivas para melhorar continuamente o processo.

2.1.3. Integração dos Métodos

Ao combinar revisões bibliográficas com o método PDCA, os pesquisadores podem obter uma abordagem sistemática e iterativa para coletar, analisar e aplicar o conhecimento em um determinado campo de estudo. A revisão bibliográfica pode ser guiada pelo ciclo PDCA, permitindo que os pesquisadores planejem, realizem e avaliem a revisão de forma mais eficaz.

A metodologia de pesquisa adotada neste estudo, que integra revisões bibliográficas com o método PDCA, oferece uma abordagem robusta e sistemática para investigar e avançar o conhecimento no tema. Ao seguir os passos descritos neste capítulo, espera-se que este estudo

contribua significativamente para a compreensão do tema e aplicação do conhecimento e modelos para a elaboração do projeto como um todo.

2.2. Impressão 3D

A impressão 3D com o decorrer dos anos foi sendo melhor desenvolvida e adquirindo grande importância no cenário mundial nos seus diversos ramos de atuação. Com a evolução da tecnologia de automação e impressão 3D, também ocorreu barateamento dos seus componentes e surgiu diversos protótipos de baixo custo. Este capítulo descreve sobre os conceitos de impressão 3D e sua importância, assim como as licenças, termos e os princípios por detrás da impressão 3D.

2.2.1. Manufatura Aditiva ou Impressão 3D

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, é um processo de fabricação que se destaca pela capacidade de criar objetos camada por camada, adicionando materiais sequencialmente em vez de cortá-los ou modelá-los, como citado por Vareio (2021, [7, p. 1, 2]). A tecnologia está disponível em uma variedade de materiais, incluindo plásticos, metais, cerâmicas e compósitos, tornando-a versátil.

“A tecnologia da impressão 3D é um mercado que tem muito potencial de geração de receita, visto que existe muito espaço para evoluir o desenvolvimento em todos os processos que envolvem a tecnologia” [8, p. 15].

Uma das principais vantagens da manufatura aditiva é a capacidade de customização e prototipagem rápida. É amplamente utilizado em indústrias como design, engenharia e

medicina para criar peças personalizadas e protótipos de produtos de forma rápida e econômica. Além disso, pode produzir peças com geometrias complexas que são desafiadoras ou impossíveis de produzir com métodos tradicionais.

Outra característica positiva da manufatura aditiva é a redução de desperdícios, contribuindo para uma abordagem mais sustentável. Produz menos desperdício de material do que os métodos tradicionais de fabricação. Isso o torna uma opção atraente para empresas focadas na sustentabilidade ambiental.

A tecnologia de impressão 3D é amplamente utilizada em vários setores, como aeroespacial, automotivo, odontológico, médico, joalheiro e construção. Sua versatilidade o torna uma escolha valiosa para uma variedade de necessidades de campo. No entanto, a fabricação aditiva também enfrenta desafios, incluindo a qualidade das peças produzidas, a velocidade de produção e os custos dos materiais. À medida que a tecnologia avança, muitos desafios estão sendo superados.

Olhando para o futuro, a produção aditiva tem o potencial de transformar as cadeias de abastecimento, permitindo uma produção localizada e personalizada. Além disso, está explorando aplicações médicas inovadoras. Os usos médicos para impressão em 3D, tanto real como potencial, abrangem diversas categorias como por exemplo: fabricação de tecidos vivos e órgãos; criação e personalização de próteses, implantes, e modelos anatômicos; e uso farmacêutico [9, p. 145].

Simplificando, a manufatura aditiva é uma tecnologia revolucionária que está redefinindo a forma como os produtos são projetados, prototipados e fabricados. A sua flexibilidade, personalização e capacidade de criar geometrias complexas tornam-no numa ferramenta valiosa numa vasta gama de aplicações industriais, olhando para um futuro repleto de possibilidades inovadoras.

2.2.2. Licenças

A impressora 3D possui dependência dos *softwares* para seu funcionamento e, com isso, grande parte das impressoras possuem códigos abertos pois são mais acessíveis e possui uma gama de vantagens de utilização, compartilhamento e modificação. Os tópicos a seguir abordam sobre os conceitos, princípios dos códigos abertos, *softwares* livres e *copyleft* e licenças.

2.2.3. Impressão de modelos 3D

A impressão 3D é uma forma de fabricação aditiva que constrói modelos tridimensionais através da sobreposição de camadas de material, utilizando um modelo digital 3D como guia [10, p. 16]. Distinguindo-se de métodos convencionais como injeção de plástico em moldes, desbaste ou modelagem, a impressão 3D se destaca pela dispensa de moldes, viabilizando a produção de formas impraticáveis por outros meios. Essa abordagem apresenta vantagens em termos de eficiência, sendo mais rápida e econômica em algumas circunstâncias.

Os benefícios da impressão 3D não se limitam à otimização de recursos. Esta técnica capacita os desenvolvedores a fabricarem peças com propriedades físicas e mecânicas distintas, tudo por meio de um único processo. A ampla variedade de materiais disponíveis, incluindo polímeros sintéticos, orgânicos, concreto, metais e até alimentos, amplia consideravelmente as possibilidades de aplicação. Além disso, as impressoras industriais proporcionam uma extensa paleta de cores, permitindo a criação de protótipos precisos e funcionalmente próximos aos produtos finais. Essa versatilidade confere à impressão 3D um papel essencial no desenvolvimento e inovação de produtos em diversos setores industriais [10, p. 24–27].

2.2.3.1. Modelo 3D

Sua representação é gerada através de *softwares* de modelagem em três dimensões, geralmente se utiliza os planos cartesianos X, Y e Z como na seguinte imagem.

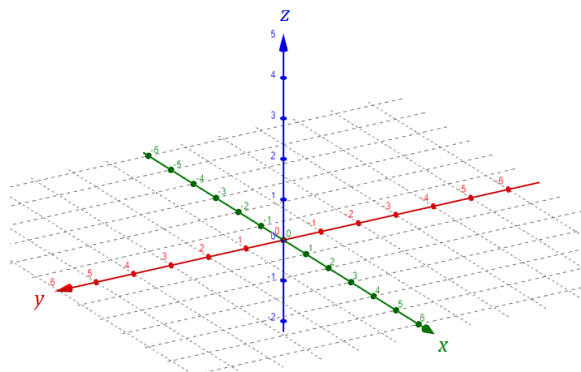


Figura 1 - O Sistema Cartesiano no Espaço 3D [11]

Este modelo pode obtido através de diversos *softwares* 3D, dentre os mais conhecidos estão:

Fusion 360: Desenvolvido pela Autodesk, é uma ferramenta de modelagem 3D paramétrica e CAD/CAM. Oferece funcionalidades abrangentes para design industrial, engenharia e fabricação.

Blender: *Software* de código aberto utilizado para modelagem, animação e renderização 3D. Além de ser uma ferramenta de modelagem poderosa, é amplamente usado na produção de animações e efeitos visuais.

Autodesk Inventor: Outra oferta da Autodesk, é focado em modelagem paramétrica 3D e design de produtos. É utilizado principalmente na engenharia mecânica e design industrial.

SolidWorks: Um *software* CAD 3D amplamente utilizado na engenharia mecânica e design industrial. Oferece recursos avançados para modelagem paramétrica, simulação e análise.

FreeCAD: *Software* de modelagem paramétrica 3D de código aberto. É utilizado para design mecânico, arquitetura e engenharia, proporcionando uma alternativa gratuita ao *software* comercial.

3D Builder: Ferramenta simples da Microsoft para criação e edição de modelos 3D. É adequada para usuários iniciantes e oferece funcionalidades básicas de modelagem.

ZBrush: Um *software* especializado em escultura digital 3D, frequentemente utilizado na indústria de entretenimento para criar modelos complexos e detalhados.

SketchUp: Desenvolvido pela Trimble, é conhecido por sua interface amigável e é utilizado para design arquitetônico, engenharia civil e modelagem em geral.

TinkerCAD: Ferramenta de modelagem 3D baseada em navegador, projetada para ser fácil de usar, sendo adequada para iniciantes e educação. Permite criar modelos simples de forma intuitiva.

A listagem para as ferramentas citadas foi obtida selecionando as mais conhecidas entre as citadas nos sites da All3DP [12] e 3DLab [13].

O formato mais utilizado de arquivo de modelos 3D é o STL.

Um arquivo STL (*Stereolithography*) é descrito pela Adobe [14] como um formato de arquivo utilizado na computação gráfica e na impressão 3D. Ele é amplamente empregado na indústria de prototipagem rápida e fabricação aditiva. O formato STL descreve a geometria tridimensional de um objeto por meio da representação de suas superfícies em forma de triângulos.

O arquivo STL armazena informações sobre os vértices (pontos), arestas e faces de um modelo tridimensional. Para criar uma representação visual e precisa do objeto, a superfície é dividida em uma malha de triângulos. Quanto maior a complexidade do objeto, maior será o número de triângulos necessários para representar suas superfícies de maneira fiel.

Devido à sua simplicidade e eficiência, o formato STL tornou-se um padrão na comunicação de dados para a fabricação de protótipos rápidos e impressão 3D. Esses arquivos são utilizados para transmitir as informações geométricas do modelo 3D para as impressoras 3D e outros *softwares* de design e fabricação.

2.2.3.2. *Software* para fatiamento 3D

Os *softwares* de fatiamento 3D são ferramentas essenciais na impressão 3D, pois convertem modelos tridimensionais em camadas que a impressora pode entender e utilizar para criar o objeto final [10, p. 17]. Dentre os mais conhecidos estão:

Cura: Desenvolvido pela Ultimaker, é um *software* de fatiamento de código aberto amplamente utilizado. Ele é compatível com uma variedade de impressoras 3D e oferece uma série de opções de personalização.

PrusaSlicer: Criado pela Prusa *Research*, é projetado para funcionar com impressoras 3D Prusa, mas também é compatível com outras marcas. Ele oferece uma interface amigável e diversas opções de configuração.

Simplify3D: Um *software* pago, mas popular, que oferece recursos avançados de personalização. Ele suporta uma ampla gama de impressoras 3D e é conhecido por sua qualidade de fatiamento.

2.2.3.3. *Firmware*

O *firmware* de uma impressora 3D é um componente crítico que controla o funcionamento da impressora, incluindo movimentos dos motores, temperatura do bico (extrusor) e da mesa, e outras configurações importantes. Um *firmware* eficiente e bem configurado é crucial para obter impressões precisas e de alta qualidade. Existem vários *firmwares* populares para impressoras 3D, cada um com suas características e configurações específicas. Alguns dos *firmwares* mais conhecidos incluem:

Marlin: É um *firmware* de código aberto muito popular, utilizado em muitas impressoras 3D, especialmente em impressoras de código aberto e projetos DIY. O Marlin é altamente configurável e suporta uma ampla variedade de hardware.

Repetier: Outro *firmware* de código aberto que oferece suporte a uma variedade de impressoras 3D. Ele é conhecido por ser estável e ter uma interface amigável.

Smoothieware: Projetado principalmente para placas controladoras baseadas no processador ARM. É conhecido por sua configuração relativamente simples e pela capacidade de executar códigos G mais complexos.

Klipper: Um *firmware* que move parte do processamento da impressora para um Raspberry Pi, proporcionando maior velocidade e desempenho. Ele é conhecido por ser eficiente em termos de recursos e é uma escolha popular para atualizar o desempenho de impressoras mais antigas.

Duet RepRap: Projetado para ser usado com placas *Duet*, oferece uma ampla gama de recursos e é conhecido por sua interface web intuitiva.

É de grande importância a utilização de um *firmware* compatível com hardware da impressora utilizada para que não ocorra problemas e a impressão tenha uma boa qualidade

também. É possível confirmar a compatibilidade do *software* e o procedimento de modificação/atualização do *firmware* através do site da fabricante ou na própria descrição do *firmware*, seja no site do *firmware*, como o do Marlin ou Klipper, ou no GitHub.

3. Adaptação dos Equipamentos

3.1. Componentes presentes na adaptação

A impressora 3D utilizada no projeto é a ENDER 5 *Plus*, como dito anteriormente, demonstrada na imagem a seguir.



Figura 2 - ENDER 5 Plus [15, p. 5]

3.1.1. Sensores

Uma impressora 3D utiliza vários sensores para monitorar e controlar diferentes aspectos do processo de impressão, garantindo a precisão e qualidade do produto final. Alguns dos sensores comuns encontrados em impressoras 3D incluem:

Sensor de temperatura: Termopares ou Termorresistências (RTDs): São usados para medir a temperatura do bico (*HotEnd*) e da mesa de impressão. Essas informações são cruciais para garantir que o material de impressão esteja na temperatura adequada para uma boa aderência e fusão.



Figura 3 - Sensor de temperatura da extrusora [16]

Sensor de nível da mesa (Interruptores ou Sensores Indutivos): Usados para calibrar a altura da mesa de impressão em relação ao bico. Isso é crucial para garantir que a primeira camada da impressão seja feita com a altura correta.



Figura 4 - Sensor de nível da mesa (BLTouch ou 3DTouch) [17]

Interruptores de fim de curso: Colocados em diferentes partes da impressora para detectar limites de movimento, indicando quando o extrusor ou a mesa atingiram sua posição máxima ou mínima.



Figura 5 - Interruptor de fim de curso [18]

Sensor de filamento: Alguns modelos de impressoras 3D têm sensores que monitoram a presença e movimento do filamento. Isso é útil para interromper a impressão se o filamento acabar ou se houver um entupimento.



Figura 6 - Sensor de filamento

Higrômetros ou sensores de umidade: Alguns materiais de filamento, como o filamento de filamentos higroscópicos, podem absorver umidade do ambiente. Sensores de umidade ajudam a monitorar essa condição para evitar problemas durante a impressão. Estes sensores geralmente são inseridos em dispositivos de armazenamento de filamentos, onde são controladas a temperatura e a umidade para que mantenha os filamentos nas melhores condições possíveis para impressão.

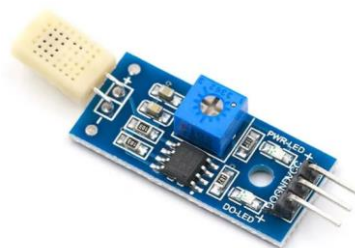


Figura 7 - Sensor de Umidade [19]

Sensor de Movimento, Acelerômetros ou *Encoders*: Podem ser utilizados para monitorar e corrigir movimentos durante a impressão, garantindo precisão.

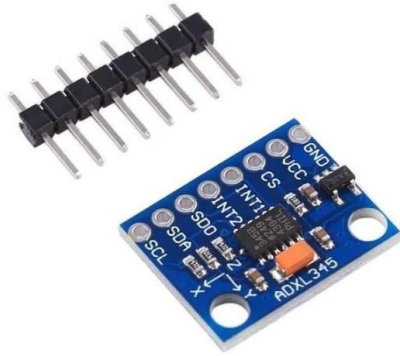


Figura 8 – Acelerômetros [20]

A presença e o tipo de sensores podem variar dependendo do modelo e fabricante da impressora 3D. O uso desses sensores contribui para uma experiência de impressão mais confiável e autônoma, minimizando a necessidade de intervenção manual durante o processo.

3.1.2. Motores

As impressoras 3D utilizam motores para controlar os movimentos dos eixos e a extrusão do material de impressão. Os tipos de motores mais comuns em impressoras 3D incluem:

Motores de Passo (*Stepper Motors*):

Motores NEMA 17: São os mais comuns em impressoras 3D e são usados para controlar os movimentos dos eixos X, Y e Z, bem como para acionar o extrusor (eixo E). Eles são motores de passo, o que significa que se movem em incrementos discretos (passos), proporcionando um control preciso sobre o posicionamento.



Figura 9 - Motor de passo

Motores de Corrente Contínua (DC Motors):

Motores DC com Redutores: Podem ser usados em algumas impressoras 3D para controlar funções específicas, como o avanço ou retratação do filamento.

Servomotores: Embora menos comuns do que os motores de passo, alguns sistemas de impressão 3D mais avançados podem usar servomotores para controlar certos movimentos, proporcionando uma resposta mais dinâmica em comparação com os motores de passo.

Cada tipo de motor tem suas próprias características e aplicações específicas no contexto de uma impressora 3D. Os motores de passo são preferidos para os movimentos principais devido à sua capacidade de posicionamento preciso e ao control fácil proporcionado pelos drivers de motor de passo. Os motores DC, quando usados, geralmente são acompanhados por redutores para aumentar o torque e reduzir a velocidade, adequando-se melhor a funções específicas.

O control dos motores é realizado por meio de placas controladoras, como as baseadas em Arduino, que enviam sinais aos motores por meio de drivers específicos, como os *drivers* A4988 ou DRV8825 para motores de passo. Esses componentes trabalham em conjunto para movimentar os eixos e controlar outras funcionalidades durante o processo de impressão 3D.

3.1.3. Extrusora

A extrusora é uma parte fundamental de uma impressora 3D responsável por alimentar e fundir o filamento de material (como PLA, ABS, PETG) e depositá-lo em camadas sucessivas para construir o objeto tridimensional. O termo "extrusora" pode ser usado para se referir à unidade completa ou a componentes específicos que realizam funções relacionadas.



Figura 10 - Extrusora Ender 5 Plus[21]

A extrusora geralmente é composta por vários componentes, dentre eles estão:

Motor de Passo (*Stepper Motor*): O motor de passo fornece a energia necessária para impulsionar o movimento do parafuso sem-fim ou engrenagem que empurra o filamento.

Engrenagens ou Parafuso Sem-fim (*Hobbed Bolt*): Localizadas no interior da extrusora, essas engrenagens ou parafusos sem-fim ajudam a alimentar o filamento de maneira controlada em direção ao bico aquecido.

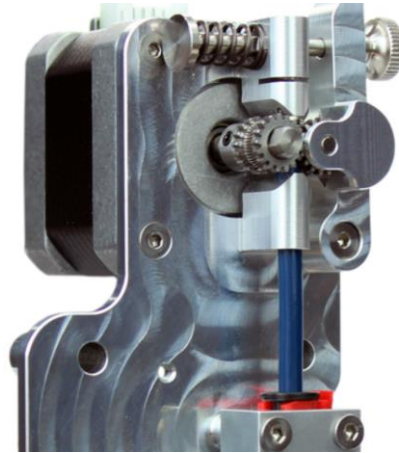


Figura 11 - Motor de passo e engrenagens na extrusora[22]

Hotend (Bico Aquecido): O *hotend* é a parte da extrusora que aquece e funde o filamento para que ele possa ser depositado em camadas. Ele geralmente inclui um bloco de metal quente, um termistor para medir a temperatura e uma resistência para aquecer o bloco.



Figura 12 – Hotend [21]

Bico de Impressão: Localizado na extremidade do *hotend*, o bico de impressão é a abertura pela qual o material fundido é depositado na cama de impressão.

Cooling Fan (Ventoinha de Resfriamento): Algumas extrusoras incluem uma ventoinha para resfriar o filamento após a extrusão, ajudando a solidificar a camada impressa.



Figura 13 - Bico de impressão [23]

Sensor de Filamento: Em algumas impressoras 3D, há um sensor que detecta a presença ou ausência de filamento. Isso é útil para interromper a impressão se o filamento acabar ou se houver um entupimento.

Tubo de PTFE (*Politetrafluoretileno*): Em algumas configurações, há um tubo de PTFE que guia o filamento do rolo até o *hotend*, proporcionando uma alimentação mais suave.

O control preciso da extrusora é essencial para garantir uma deposição de material uniforme e consistente durante a impressão 3D. Configurações como a taxa de alimentação do filamento, a temperatura do *hotend* e a velocidade de impressão são ajustadas para otimizar o desempenho da extrusora e garantir uma qualidade de impressão satisfatória.

3.1.4. Fonte de alimentação

A fonte de alimentação de uma impressora 3D é responsável por fornecer energia elétrica para todos os componentes da impressora, incluindo motores, placas de control, aquecedores e outros dispositivos.



Figura 14 - Fonte de Alimentação [24]

A seguir se encontram alguns aspectos importantes relacionados à fonte de alimentação de uma impressora 3D:

Tensão e Corrente: As impressoras 3D podem ter fontes de alimentação que operam em diferentes tensões, como 12V ou 24V. A escolha da tensão pode afetar a eficiência e o desempenho da impressora. Além disso, a corrente fornecida pela fonte de alimentação deve ser suficiente para atender às demandas de todos os componentes conectados.

Potência: A potência da fonte de alimentação (*watts*) deve ser adequada para suportar o consumo total de energia da impressora 3D. Isso inclui o consumo dos motores, aquecedores (*hotend* e cama), eletrônica de control, ventoinhas e outros componentes.

Conectores e Cabos: A fonte de alimentação deve ter os conectores adequados para se conectar aos diferentes componentes da impressora 3D, como a placa-mãe (mainboard), motores, *hotend* e cama aquecida. Os cabos devem ser dimensionados corretamente para suportar a corrente necessária.

Segurança: A segurança é uma consideração crítica. Fontes de alimentação para impressoras 3D geralmente incluem proteções contra curto-circuito, sobrecarga e superaquecimento para garantir operação segura.

Eficiência Energética: Fontes de alimentação eficientes convertem a energia da rede elétrica em uma forma utilizável pela impressora 3D de maneira eficaz, minimizando as perdas de energia na forma de calor. Fontes de alimentação com certificações de eficiência, como a certificação 80 *PLUS*, são preferíveis.

Seleção de Tensão: Algumas fontes de alimentação permitem a seleção da tensão de operação (por exemplo, 110V ou 220V), como é o caso da fonte de alimentação da Impressora 3D *Ender 5*.

Ao selecionar uma fonte de alimentação de uma impressora 3D, é fundamental a escolha de uma unidade compatível com os requisitos elétricos da impressora, para garantir que atenda aos padrões de segurança relevantes.

3.1.5. Unidade de control ou placa mãe

A placa-mãe, também conhecida como mainboard ou controladora, é o componente central de uma impressora 3D. Sua função principal é gerenciar e controlar todas as operações da impressora, coordenando motores, sensores, extrusora e outros componentes para criar o objeto desejado. A placa-mãe possui controladores de motor para motores de passo, conectores para interagir com a fonte de alimentação, *display*, sensores e extrusora, bem como um processador e memória para executar o *firmware* da impressora 3D. Ela se conecta ao *display* da impressora, permitindo a interação do usuário e exibindo o status da impressão. Além disso,

a placa-mãe oferece suporte a sensores, interruptores de fim de curso e outros dispositivos que monitoram a temperatura, movimento e níveis de filamento.

Os modelos de impressoras 3D Ender 5 são conhecidos por utilizar uma placa-mãe personalizada baseada no microcontrolador Atmel ATmega1284P. Este microcontrolador é comumente associado à plataforma Arduino, e o *firmware* dessas impressoras é de código aberto, podendo ser modificado usando o Arduino IDE.



Figura 15 - Placa mãe [25]

3.1.6. Estrutura

A estrutura de uma impressora 3D é o suporte físico que mantém todos os componentes da impressora e fornece a base para a construção dos objetos. Ela é projetada para garantir estabilidade, precisão e facilidade de montagem. A estrutura pode variar em design e materiais dependendo do modelo e fabricante da impressora. Vou descrever os componentes principais comuns na estrutura de uma impressora 3D:

Estrutura Principal: É a base da impressora 3D. Pode ser feita de alumínio, aço, acrílico ou outros materiais resistentes. Ela fornece suporte estrutural para todos os outros componentes.

Guias Lineares e Trilhos: são usados para garantir movimentos precisos dos eixos X, Y e Z. Eles mantêm os movimentos da impressora suaves e livres de folgas.

Motores e Polias: A estrutura abriga os motores que movem os eixos X, Y e Z, bem como a extrusora (eixo E). Polias e correias são frequentemente usadas para transmitir o movimento dos motores para os componentes móveis.

Mesa de Impressão (Cama Aquecida): A mesa de impressão, geralmente aquecida, fornece uma superfície plana para a impressão. Pode ser feita de vidro, alumínio ou outros materiais, e a capacidade de aquecimento ajuda na aderência e estabilidade do material impresso.

Braços e Mecanismos para a Extrusora: A estrutura suporta a extrusora, que é responsável por empurrar o filamento derretido através do bico de impressão. Mecanismos adequados são necessários para garantir a estabilidade e precisão desse processo.

Display e Eletrônica de Control: O *display* e a eletrônica de control estão muitas vezes localizados em uma parte elevada da estrutura para fácil acesso. Eles permitem ao usuário interagir com a impressora, iniciar/parar a impressão e ajustar configurações.

Ventoinhas e Sistema de Refrigeração: Ventoinhas e sistemas de refrigeração são integrados à estrutura para manter a temperatura dos componentes críticos, como o *hotend*, em níveis adequados.

Estrutura de Suporte para Filamento: Algumas impressoras 3D possuem um suporte dedicado para a bobina de filamento, mantendo-a estável e evitando problemas durante a impressão.

A estrutura da impressora 3D é projetada para equilibrar resistência e rigidez, garantindo a estabilidade necessária para movimentos precisos e repetíveis. Materiais leves e rígidos são

frequentemente preferidos para evitar vibrações indesejadas durante a impressão. A configuração da estrutura pode variar de acordo com o tipo de impressora (cartesiana, *delta* etc) e o fabricante específico.

A estrutura da impressora é muito importante para o funcionamento dela, pois além de comportar todos os componentes da impressora, deve manter a melhor estabilidade possível durante a impressão, para que não ocorra deposição incorreta do material. A qualidade em altas velocidades de impressão e deposição de material está também diretamente ligada a estabilidade da estrutura, além da extrusora, da potência dos motores, refrigeração etc.

3.1.7. Materiais de impressão

Impressoras 3D (domésticas) utilizam uma variedade de materiais de impressão. Os dois tipos mais comuns de filamentos usados em impressoras 3D são os termoplásticos PLA (*ácido polilático*) e o ABS (*acrilonitrila butadieno estireno*). Além disso, há uma crescente variedade de filamentos especializados que oferecem propriedades únicas. Aqui estão alguns materiais comuns de impressão 3D:

PLA (*ácido polilático*) :O PLA é um dos filamentos mais populares para impressoras 3D domésticas. É derivado de fontes renováveis, como milho ou cana-de-açúcar. O PLA é conhecido por sua facilidade de impressão, baixo odor durante o processo, e é biodegradável. No entanto, ele pode não ser tão resistente ao calor quanto alguns outros materiais.

ABS (*acrilonitrila butadieno estireno*): O ABS é resistente e durável, tornando-o adequado para uma variedade de aplicações. Ele tem uma temperatura de transição vítrea mais alta do que o PLA, o que o torna mais adequado para peças que estarão sujeitas a temperaturas

mais altas. No entanto, a impressão com ABS pode exigir uma impressora com câmara aquecida devido à sua propensão a empenamento.

PETG (Polietileno Tereftalato Modificado com Glicol): O PETG combina as vantagens do PLA e do ABS, oferecendo durabilidade e resistência ao calor. Ele é transparente e tem uma resistência superior ao impacto em comparação com o PLA e o ABS. O PETG é menos propenso ao empenamento do que o ABS e não emite odores desagradáveis durante a impressão.

TPU (Polímero Termoplástico de Poliuretano): O TPU é um filamento flexível e elástico, sendo frequentemente usado para imprimir peças que requerem flexibilidade, como capas protetoras e solas de sapato. Ele é resistente a impactos e pode ser dobrado sem quebrar.

Nylon: O nylon é conhecido por sua resistência mecânica, durabilidade e resistência à abrasão. Ele é usado para peças que exigem essas propriedades, como engrenagens e rolamentos. No entanto, a impressão com nylon pode exigir condições específicas, como uma câmara aquecida.

Madeira PLA: Filamentos compostos com partículas de madeira, proporcionando uma aparência e sensação de madeira às peças impressas. São frequentemente usados para objetos decorativos.

Filamentos Especiais: Existem muitos filamentos especializados, como filamentos condutores (para imprimir circuitos), filamentos magnéticos, filamentos brilhantes, entre outros, que oferecem propriedades específicas para aplicações particulares.

A compatibilidade dos materiais depende das especificações de cada impressora, como a temperatura máxima de trabalho do bico (*HotEnd*) e a temperatura e aderência da mesa de impressão.

3.1.8. *LASER* para gravação

O termo LASER é uma sigla que, em inglês, significa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* ou Amplificação de Luz Estimulada por Radiação, em português.

O conceito básico de funcionamento de um laser se dá pelo princípio do estímulo de emissão, definido por Albert Einstein em 1917. Esse princípio diz que um elétron ou molécula excitada pode emitir energia em forma de luz [26].

A gravação a laser, também conhecida como gravação ou marcação a laser, utiliza a tecnologia de laser para marcar ou gravar materiais. A origem dessa tecnologia está intimamente ligada ao desenvolvimento dos próprios lasers, que começaram a ser explorados na década de 1960.

Origens e Desenvolvimento:

O laser foi demonstrado pela primeira vez em 1960 por Theodore H. Maiman, que usou um cristal de rubi para gerar um laser vermelho. Este desenvolvimento abriu o caminho para a exploração de diversas aplicações do laser, incluindo a gravação e marcação [27].

Durante as décadas de 1960 e 1970, as primeiras aplicações industriais dos lasers começaram a ser exploradas, incluindo o corte, perfuração e gravação. A gravação a laser começou a ser utilizada em materiais como metais, polímeros e cerâmicas devido à sua precisão e durabilidade [28].

Nos anos 1970 e 1980, o desenvolvimento de lasers de estado sólido (como o laser Nd) e lasers de CO₂ expandiu ainda mais as aplicações de gravação a laser. Esses lasers eram mais eficientes e adequados para a marcação de uma ampla gama de materiais [29].

Já nas décadas de 1990 e 2000, houve avanços significativos em lasers de fibra e lasers de diodo, que são mais compactos, eficientes e oferecem maior precisão. Esses avanços permitiram a gravação a laser em alta resolução e velocidade [30].

O uso de *LASER* para gravação e corte de peças nos dias de hoje é uma aplicação comum em diversos setores, incluindo fabricação, prototipagem, arte e artesanato. Existem dois tipos principais de sistemas de *LASER* utilizados para essas finalidades: *LASER* de CO₂ e *LASER* de fibra. Resumindo cada modelo brevemente, como descrito pela HPC *LASER* [31]:

LASER de CO₂: O *LASER* de CO₂ é frequentemente utilizado para gravação e corte em materiais não metálicos, como madeira, papel, tecido, acrílico e polímeros. Esse *LASER* emite luz na faixa do infravermelho, sendo absorvidos por muitos desses materiais, resultando em corte ou marcação. O *LASER* de CO₂ é popular devido à sua versatilidade e eficiência em materiais não condutores.

LASER de Fibra: O *LASER* de fibra é mais adequado para o corte de materiais metálicos, como aço inoxidável, alumínio e ligas de metais. Ele emite luz em uma faixa de comprimento de onda diferente (infravermelho próximo) que é altamente absorvida por metais. Isso os torna eficazes para aplicações de corte em materiais metálicos.

Software de Control: O control do *LASER* é frequentemente realizado por meio de *software* dedicado, que permite a importação de designs, ajuste de configurações e control do movimento do *LASER*.

As aplicações incluem marcação e corte de peças para fabricação de protótipos, fabricação de produtos personalizados, trabalhos em couro, acrílico, gravação em vidro, sinalização, entre outras.

É crucial observar medidas de segurança ao usar *LASER*, como óculos de proteção específicos para a faixa de comprimento de onda do *LASER*, para evitar danos aos olhos. Também é importante ter ventilação no local devido aos gases produzidos, assim como a própria refrigeração do local de corte, para manter um corte limpo e sem queimaduras. Além disso, é importante conhecer as regulamentações locais relacionadas ao uso de *LASER*.

3.1.9. Módulo conversor de tensão 24V para 12V

Para converter uma fonte de 24V para 12V, pode ser utilizado um regulador de tensão ou um conversor DC-DC. Existem duas opções mais comuns, estas são:

Regulador de Tensão Linear:

Um regulador de tensão linear é uma opção simples e de fácil de utilização. No entanto, ele pode ser menos eficiente em comparação com outras opções, especialmente se a diferença entre as tensões de entrada e saída for grande.

Conversor DC-DC (Step-Down):

Um conversor DC-DC, também conhecido como regulador de comutação ou *step-down converter*, é geralmente mais eficiente do que um regulador de tensão linear.

Escolha um conversor DC-DC que suporte uma entrada de 24V e forneça uma saída de 12V. Esses dispositivos geralmente são ajustáveis para atender às suas necessidades específicas.

Além dos modelos de conversores, é necessário verificar se o conversor é capaz de lidar com a corrente utilizada, e analisar a corrente de saída do conversor para garantir que ela seja adequada para suas necessidades.

Considere a potência ($P = VI$) e a corrente necessárias para o seu dispositivo ao escolher o regulador de tensão ou conversor DC-DC apropriado. Além disso, observe as especificações de entrada e saída para garantir compatibilidade e sempre siga as orientações do fabricante do regulador de tensão ou do conversor DC-DC e tome as precauções adequadas para garantir uma operação segura do seu sistema.



Figura 17 - Módulo Conversor 12V para 24V DC-DC [33]

3.2. Adaptação mecânica e elétrica do *LASER* na impressora

A modificação consiste em adaptar um suporte para o módulo *LASER* na extrusora da impressora, através da alimentação das ventoinhas, e utilizar o control de rotação das ventoinhas de refrigeração do filamento no *software* da impressora, para controlar a intensidade do *LASER*. Também foi implementado um módulo “*Switch*” para fazer a troca da Gravação a *LASER* para a Impressão padrão da impressora, sem a necessidade de ficar removendo e encaixando conectores todas as vezes.

3.2.1. Adaptador mecânico criado para posicionar o *LASER* no cabeçote da extrusora

O primeiro modelo foi criado para uma fixação mais básica para verificação da distribuição do peso e da vibração durante o uso do mesmo, como pode ser visto na Figura 18.

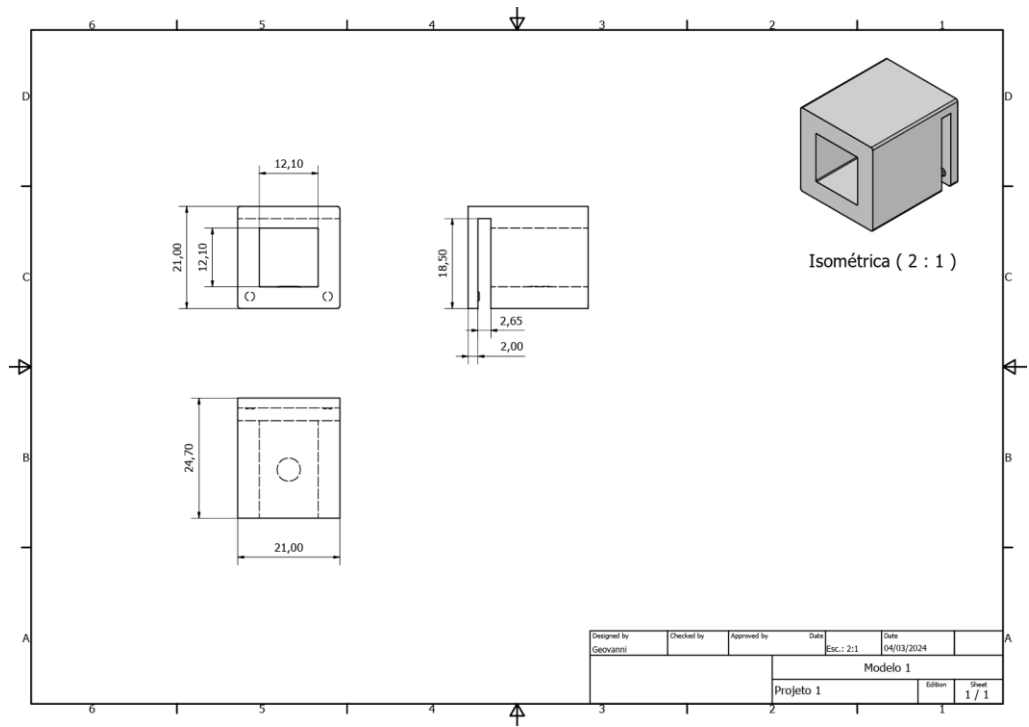


Figura 18 - Modelo De Adaptador Do LASERr Para Impressora 3D 1

A partir das modificações necessárias foram criados diversos modelos até a chegar no modelo final, apresentado na Figura 19.

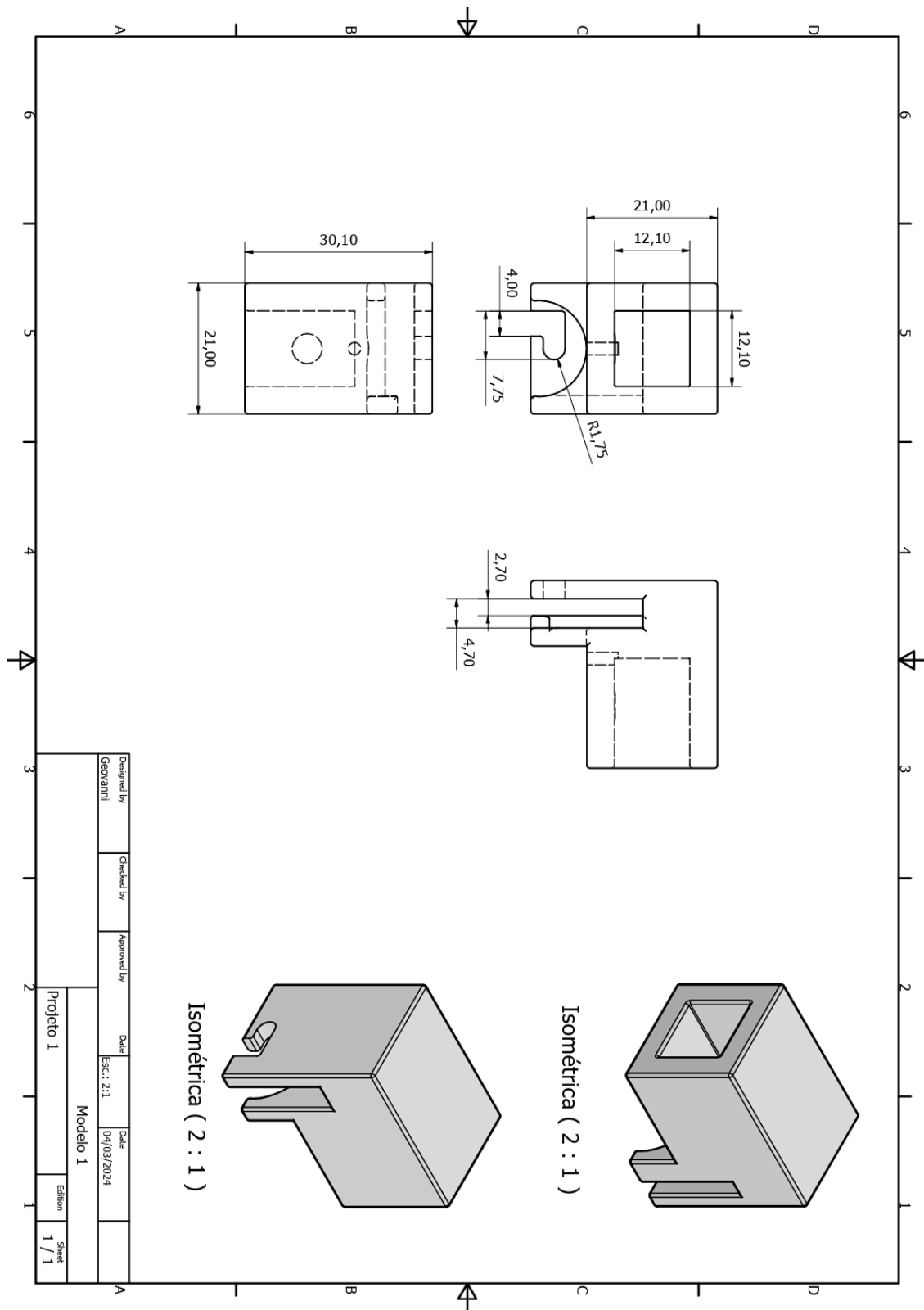


Figura 19 - Modelo Final Adaptador Do LASER Para Impressora 3D

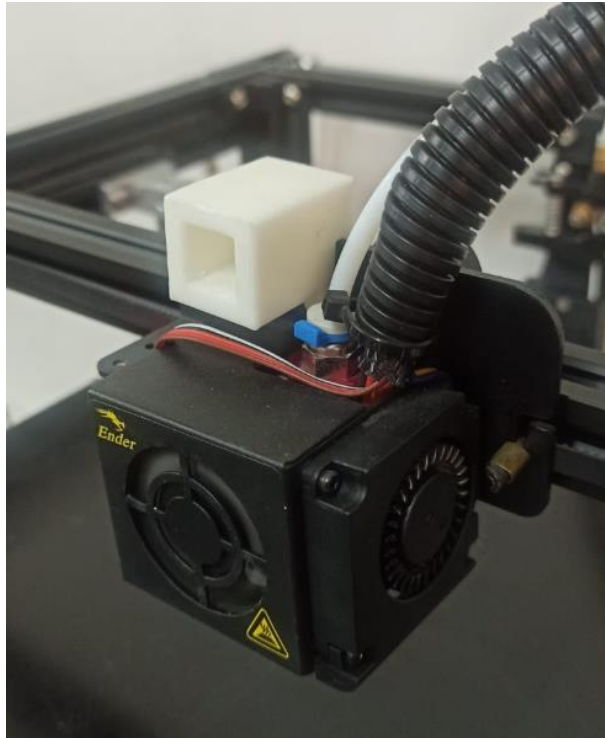


Figura 20 - Foto Do Modelo Final Do Adaptador Na Impressora

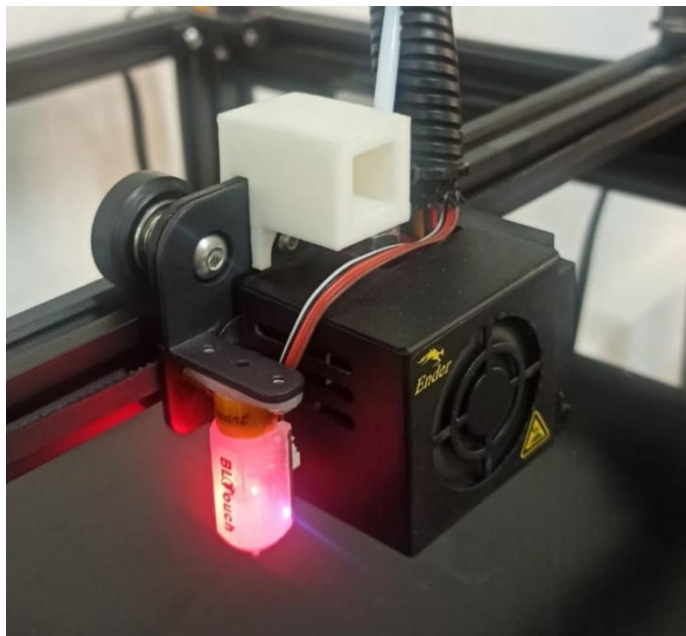


Figura 21 - Foto 2 Do Modelo Final Do Adaptador Na Impressora

3.2.2. Instalação elétrica do módulo LASER na impressora

A figura a seguir, figura 22, apresenta o esquema elétrico de montagem para a instalação do laser na placa mãe da impressora 3D.

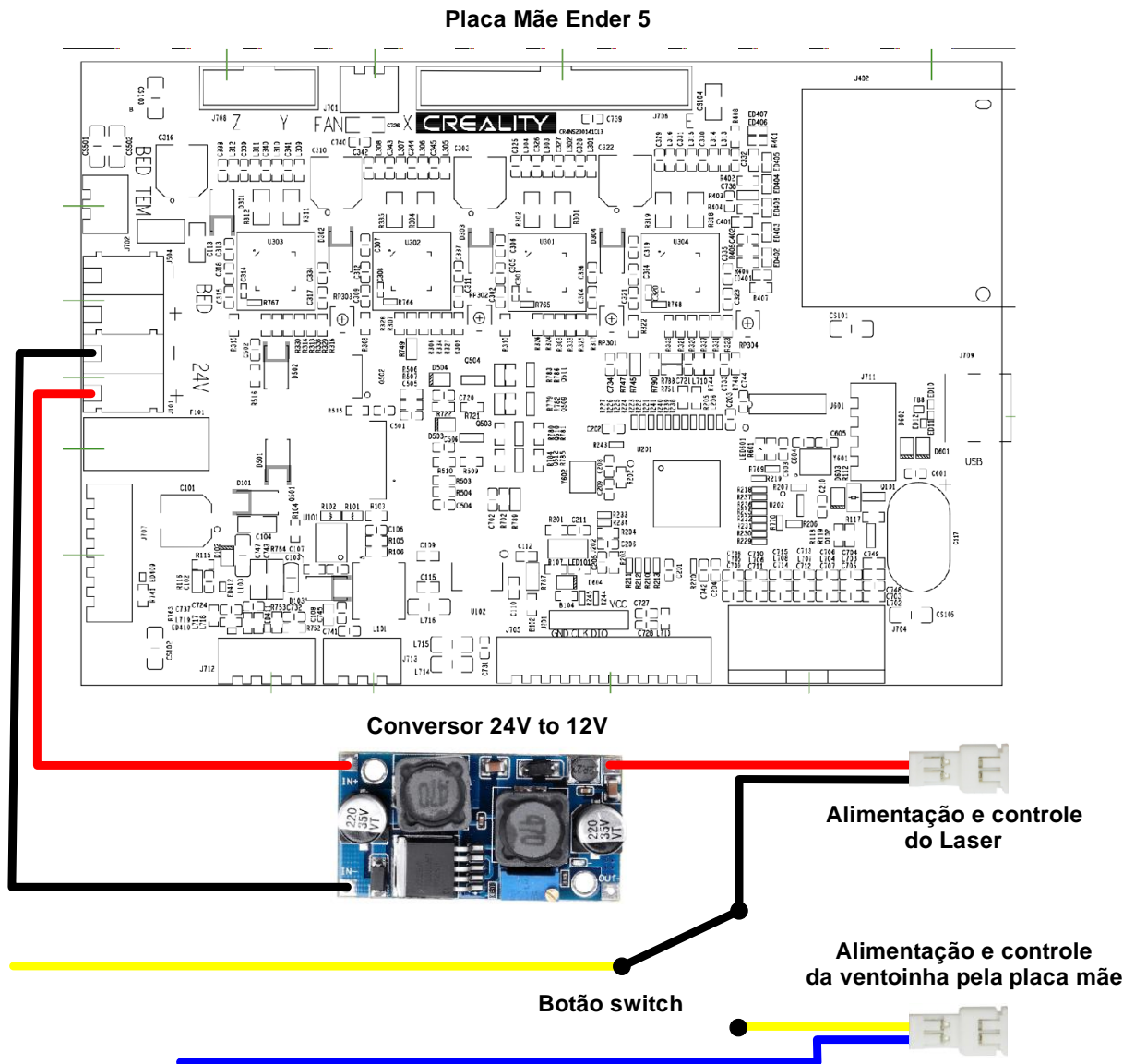


Figura 22- Esquema Elétrico Da Adaptação Do Módulo LASER Para Impressora Ender 5

Para melhor uso da impressora para impressão e gravação, é ideal o uso de um *Switch* para comutar a alimentação do *LASER* e do cooler, sem a necessidade de inverter o conector entre eles.



Figura 23 - Botão three way [34]



Figura 24 – Montagem modelo botão com suporte

3.2.3. Detalhamento do *software* que converte a imagem em GCODE para leitura da impressora

Foi utilizado um *Software* para conversão de imagem em GCODE para leitura na impressora com os parâmetros necessários para gravação. Foi criado pelo usuário Nebarnix e postado no Github e outros sites (*link* para os respectivos sites estão localizados no anexo do trabalho).

O *software* também possibilita a visualização da imagem em escala de cinza antes de gerar o código. Caso queira uma melhor edição, é necessária a utilização de programas de edição de imagem antes de inserir no *software*.

Existem alguns *softwares* gratuitos que podem ser utilizados para essa finalidade, como por exemplo:

Movavi Photo Editor, GIMP, Colorcinch, Canva, Paint.NET, Fotor, PhotoScape, Photo Pos Pro, Pixlr, Ashampoo Photo Optimizer, PiZap, Darktable, BeFunky.

3.2.3.1. Parâmetros utilizados no *software*

Para gerar o arquivo GCODE através do *software* é necessário adicionar os parâmetros listados no mesmo, como detalhado na seguinte imagem e em sequência o motivo da escolha e descrição de cada.

Laser Min Power [0-255]:
 Laser Max Power [0-255]:
 Laser 'Off' Power [0-255]:
 Skip over values above [0-255]:
 Travel (noncutting) Rate [mm/min]:
 Scan (cutting) Rate [mm/min]:
 Overscan Distance (prevents twang from showing) [mm]:
 Height (width autocalculated) [mm]:
 Horizontal Resolution [mm/pixel]:
 Scangap [mm/line]:
 Start X [mm from 0 for right of image]:
 Start Y [mm from 0 for top of image]:
 Image File: Nenhum arquivo escolhido
 Output: Gcode Grayscale Preview White-level Preview (test, may not work yet)

[Full Documentation](#)

About this tool: This tool was created because I could not find any useable image to gcode converters suitable for lasers based on 3D printers. It assumes that your fan PWM (M106 Sxxx) is used to drive a TTL driver.

Laser Power and Speed: You should set laser min to a level just below where it makes a mark on your given material and the laser max to a level where it makes a nice black mark and where increasing power does not make the mark any darker. Trial and error is certainly required here, so please test your material BEFORE you ruin that nice thing you were trying to make.

A note on commands per second: My Printboard can handle about 280 commands per second over USB and about 380 when printing from the SDcard. This is somewhat abstracted to this program only because commands can vary considerably in length.

Figura 25 - Configuração Para O Software De Conversão De Imagem Para GCODE

Parâmetros selecionados:

- ▶ “*LASER Min Power* [0-255]”: Comando mínimo de sinal para o que corresponderia o branco. Esse valor é diferente de 0 para que ainda que não haja cor na imagem, o *LASER* se mantenha ligado, ainda assim não irá gravar por não ter potência suficiente. Isto permite que o *LASER* seja acionado mais rapidamente quando voltar a gravar, evitando o delay para ligar.
- ▶ “*LASER Max Power* [0-255]”: Comando para potência máxima do *LASER*. Dependendo da potência do *LASER*, poderá cortar ou queimar a peça, por isto é necessário fazer testes com valores inferiores caso o módulo *LASER* tenha uma alta potência.
- ▶ “*LASER 'Off' Power* [0-255]”: Comando para desligar o *LASER*.

- ▶ “*Skip over values above [0-255]*”: Desconsidera valor acima do valor estipulado.

- ▶ “*Travel (noncutting) Rate [mm/min]*”: Velocidade de movimentação do módulo *LASER*, deve ser alta para que não marque nada durante a movimentação.

- ▶ “*Scan (cutting) Rate [mm/min]*”: Velocidade de gravação. Deve testar a velocidade para ajustar os tons de cor da gravação. Quanto mais lento, mais escura ficará a imagem.

- ▶ “*Overscan Distance (prevents twang from showing) [mm]*”: Não é necessário a utilização desse parâmetro, deixar zerado.

- ▶ “*Height (width autocalculated) [mm]*”: Dimensão da imagem que quer gerar.

▶ A resolução da imagem é determinada pelos seguintes parâmetros.

“*Horizontal Resolution [mm/pixel]*”;

“*Scangap [mm/line]*”:

▶ Pontos iniciais de operação em referência ao ponto 0 da impressora e a compensação da posição do *LASER*.

Start X [mm from 0 for right of image]: “0”

Start Y [mm from 0 for top of image]: “0”

Antes de enviar o arquivo para a impressora é possível visualizar como ficou o programa através de qualquer *software* de fatiamento como o Ultimaker Cura, PrusaSlicer ou Simplify3D. No entanto, é apenas o contorno do desenho projetado.

3.2.4. Instalação do *firmware* Marlin

Para fazer a modificação do *firmware* conectando o PC diretamente a impressora, é necessário fazer a conexão do Arduino a mainboard da impressora. Para isto, é necessário preparar o Arduino anteriormente.

- ▶ Faça a instalação do *software* do Arduino através do link a seguir:

<https://www.arduino.cc/en/software>

- ▶ Abra o modelo de código de control do Arduino:

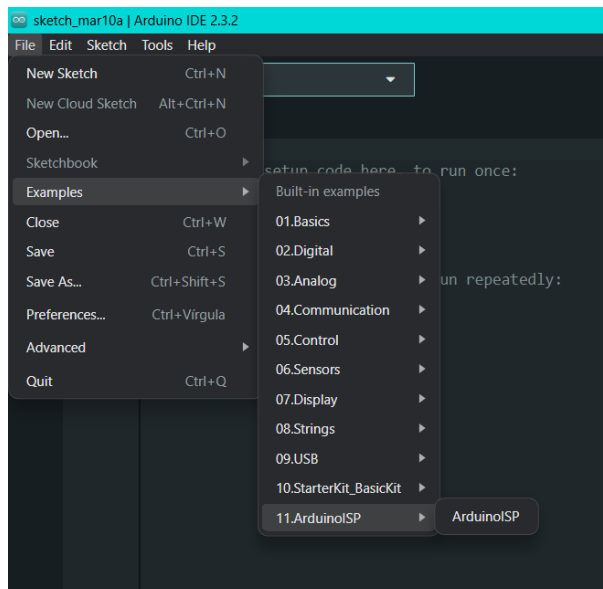


Figura 26 - Procedimento para Instalação do *firmware* Marlin – Abrindo modelo de código

- ▶ Selecione o Modelo do Arduino:

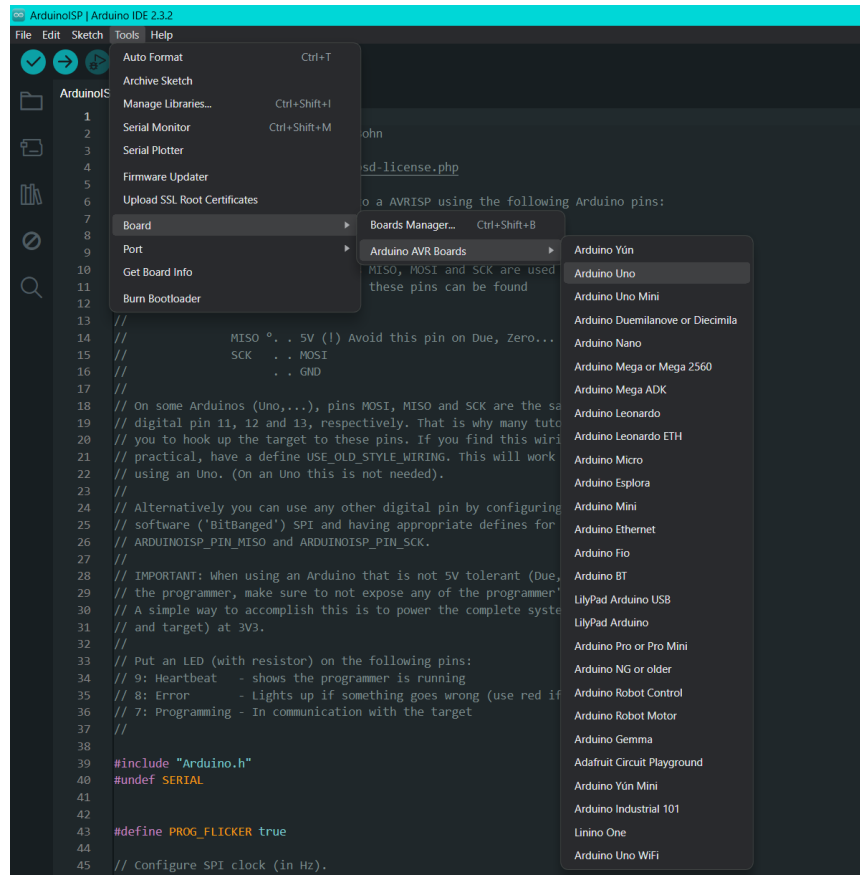


Figura 27 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Seleção do Modelo do Arduino

- ▶ **Selecione a porta onde está inserida o Arduino:**

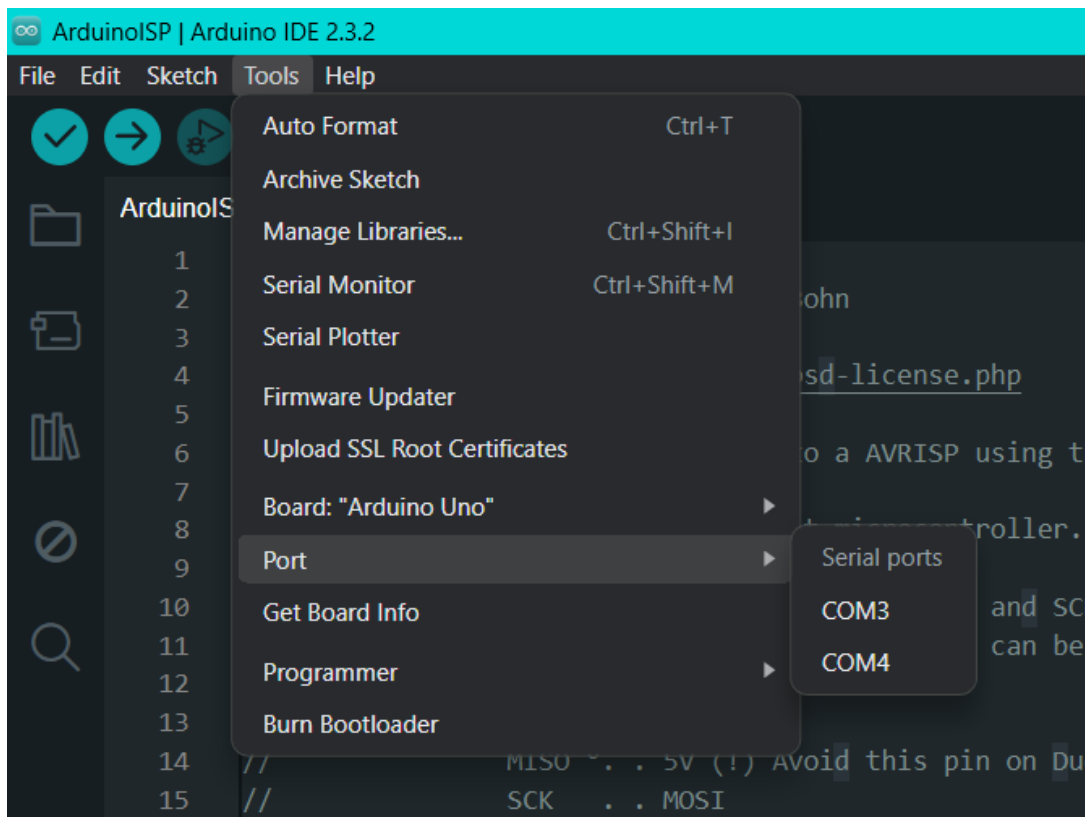


Figura 28 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Seleção de Porta Conectada ao Arduino

- ▶ **Faça o Upload:**

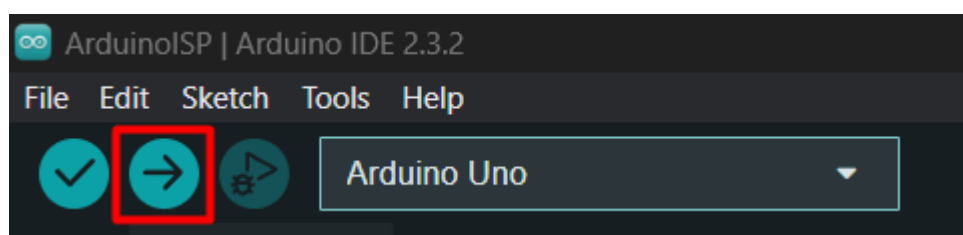


Figura 29 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Upload do Código

- ▶ Após preparar o Arduino para receber programação, pode-se conectá-lo a *mainboard* da impressora.

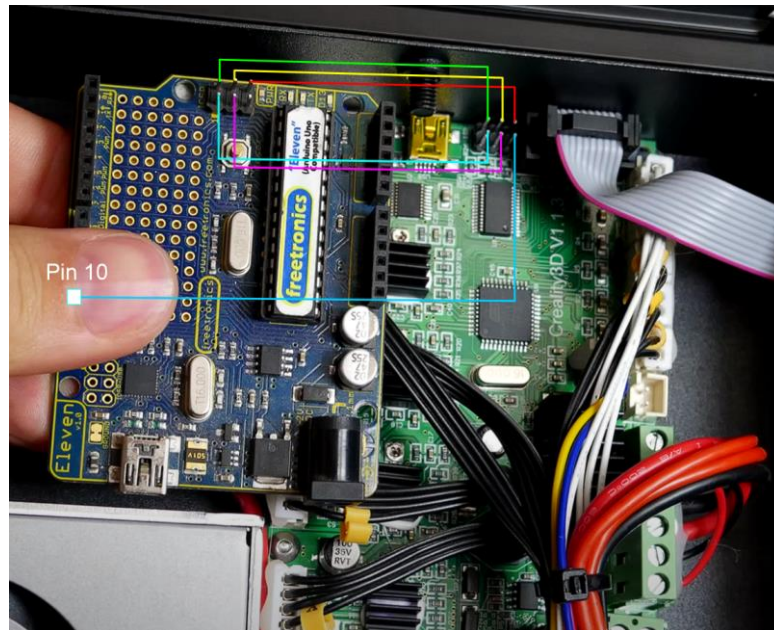


Figura 30 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Conexão Elétrica Do Arduino a Mainboard –
(Print Screen Retirado do Vídeo de Michael Laws [35])

- Depois de fazer a instalação, conecte o cabo USB a impressora, volte ao *software* Arduino e siga os seguintes passos:

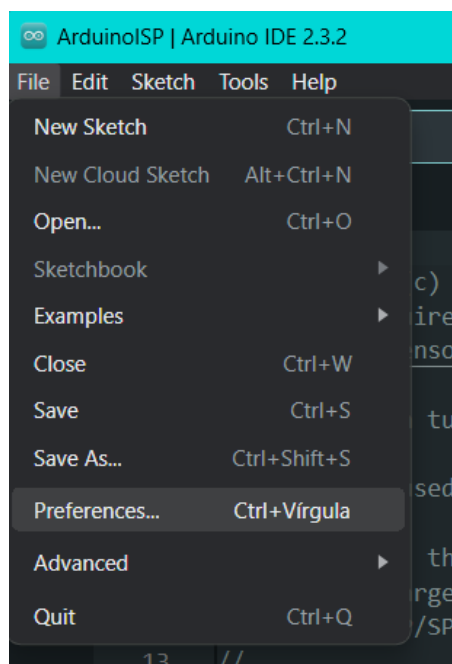


Figura 31 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin - Adicionando o “Sanguino Board” (1)

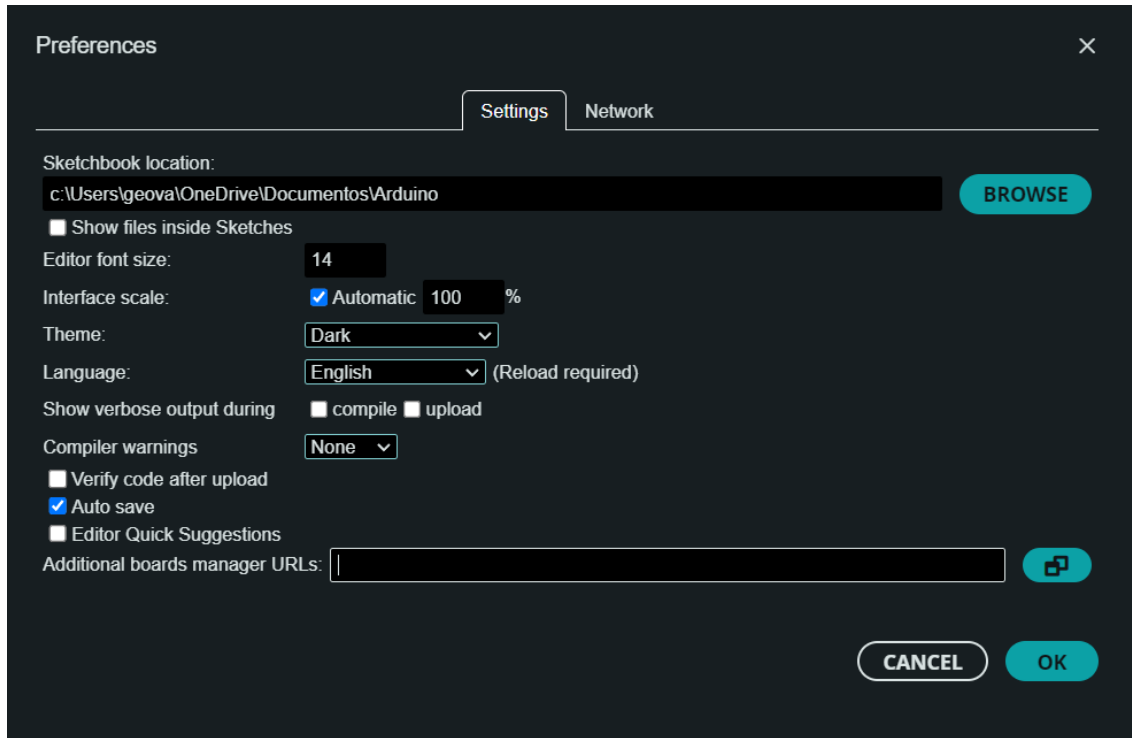


Figura 32 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Adicionando o “Sanguino Board” (2)

- Cole a seguinte URL para conseguir utilizar a “Sanguino Board”:
https://raw.githubusercontent.com/Lauszus/Sanguino/master/package_lauszus_sanguino_index.json

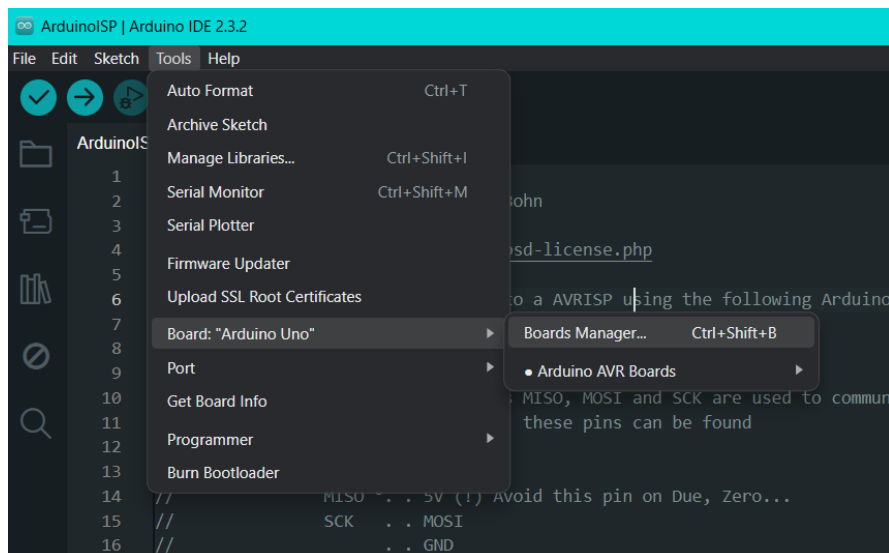


Figura 33 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin - Adicionando o “Sanguino Board” (3)

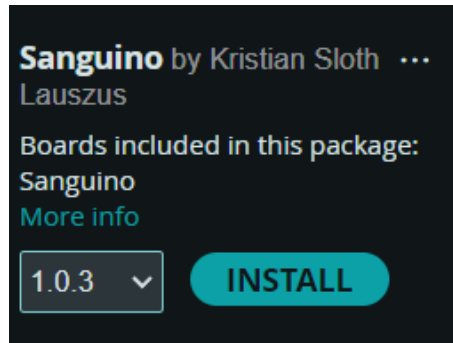


Figura 34 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin - Adicionando o “Sanguino Board” (4)

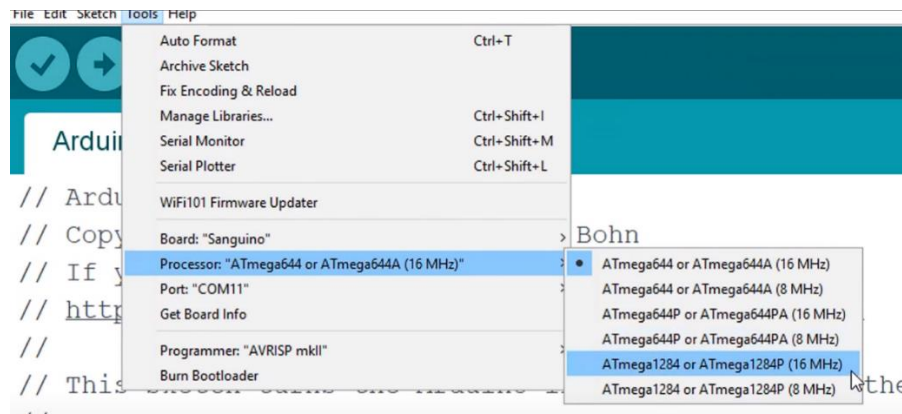


Figura 35 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Selecionando o Modelo do Arduino

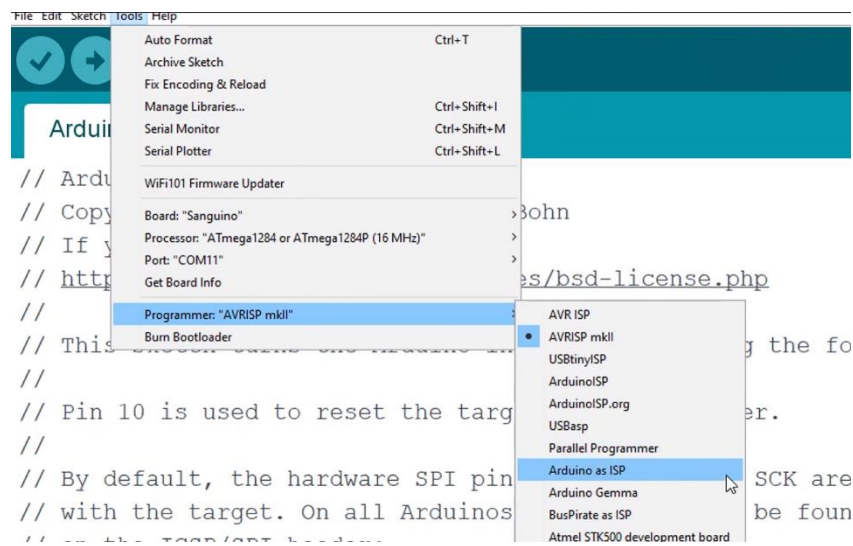


Figura 36 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Tools, Programmer, Arduino as ISP

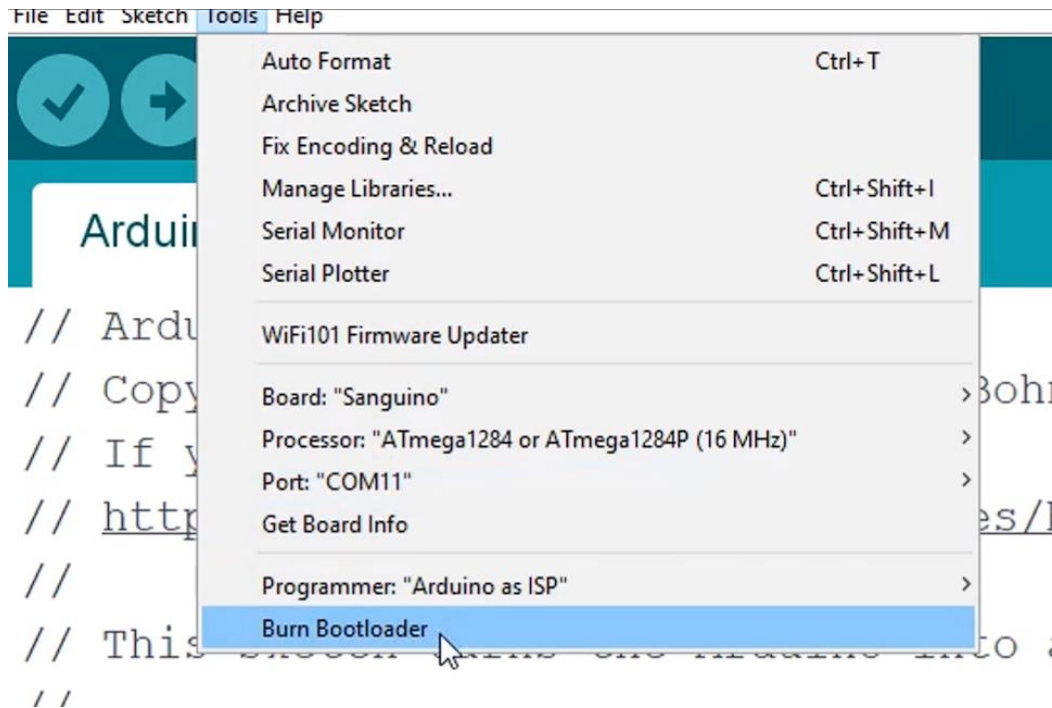


Figura 37 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Tools Burn Bootloader

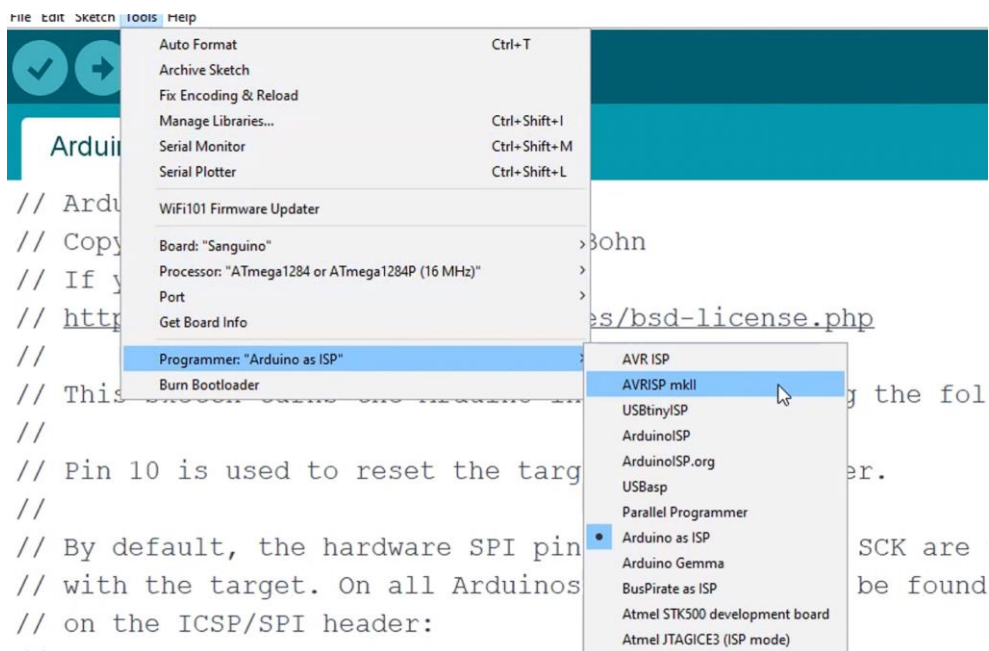


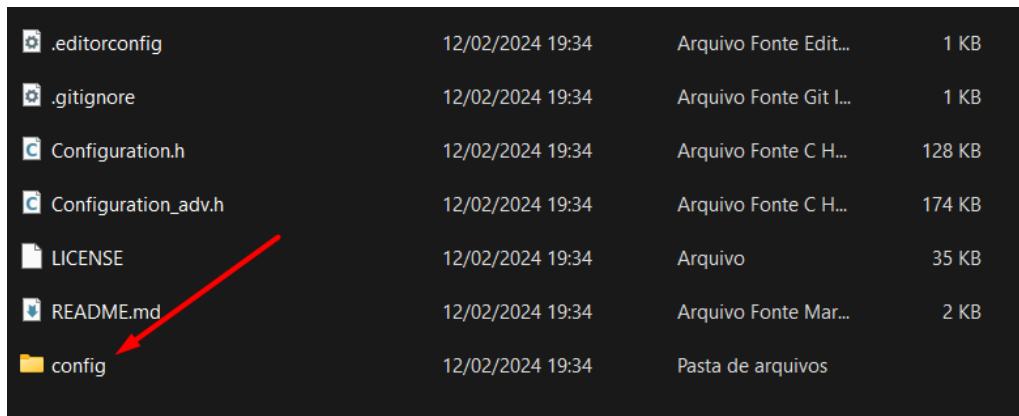
Figura 38 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Tools, Programmer, AVRISP mkII

- ▶ *Download* do Marlin através do *site* oficial: <https://marlinfw.org/meta/download/>

Description	Version	Download	Configurations
Current Marlin Release <small>Supports AVR and ARM Arduino and PlatformIO</small>	2.1.2.2	2.1.2.2.zip	View / Download

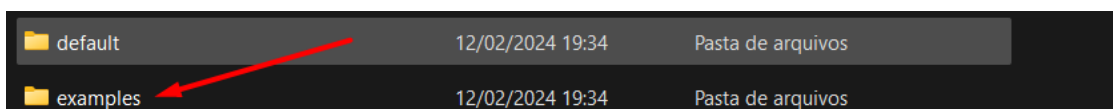
Figura 39 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Download Marlin [36]

- ▶ Faça o *download* do *firmware* e das configurações;
- ▶ Copie as configurações para o modelo da impressora;



.editorconfig	12/02/2024 19:34	Arquivo Fonte Edit...	1 KB
.gitignore	12/02/2024 19:34	Arquivo Fonte Git I...	1 KB
Configuration.h	12/02/2024 19:34	Arquivo Fonte C H...	128 KB
Configuration_adv.h	12/02/2024 19:34	Arquivo Fonte C H...	174 KB
LICENSE	12/02/2024 19:34	Arquivo	35 KB
README.md	12/02/2024 19:34	Arquivo Fonte Mar...	2 KB
config	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos	

Figura 40 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (1)



default	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
examples	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos

Figura 41 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin - Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (2)

3DFabXYZ	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
ADIMLab	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Allawise	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
AlliExpress	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Anet	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
AnimationExample	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
AnyCubic	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
ArmEd	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Artillery	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Azteeg	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
BIBO	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
BIQU	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
BQ	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Cartesio	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Copymaster3D	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Creatality	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CTC	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Dagoma	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Daycom	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
delta	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
EasyThreeD	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Einstart-5	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Elegoo	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Eryone	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
EXP3D	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Felix	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
FlashForge	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos

Figura 42 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin - Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (3)

CR-6 SE	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-8	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-10	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-10 Mini	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-10 S4	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-10 S5	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-10 V2	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-10 V3	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-10S	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-20	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-20 Pro	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
CR-30 PrintMill	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-2	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-2 Pro	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-3	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-3 Max	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-3 Pro	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-3 S1	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-3 V2	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-3 V2 Neo	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-4	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-5	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-5 Plus	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-5 Pro	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos
Ender-6	12/02/2024 19:34	Pasta de arquivos

Figura 43 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin - Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (4)

Configuration.h	12/02/2024 19:34	Arquivo Fonte C H...	128 KB
Configuration_adv.h	12/02/2024 19:34	Arquivo Fonte C H...	174 KB
README.md	12/02/2024 19:34	Arquivo Fonte Mar...	2 KB

Figura 44 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin - Copiando Configurações da Impressora Para o Marlin (5)

- ▶ Copie os arquivos, cole na pasta do *firmware* Marlin e substitua os arquivos do destino;

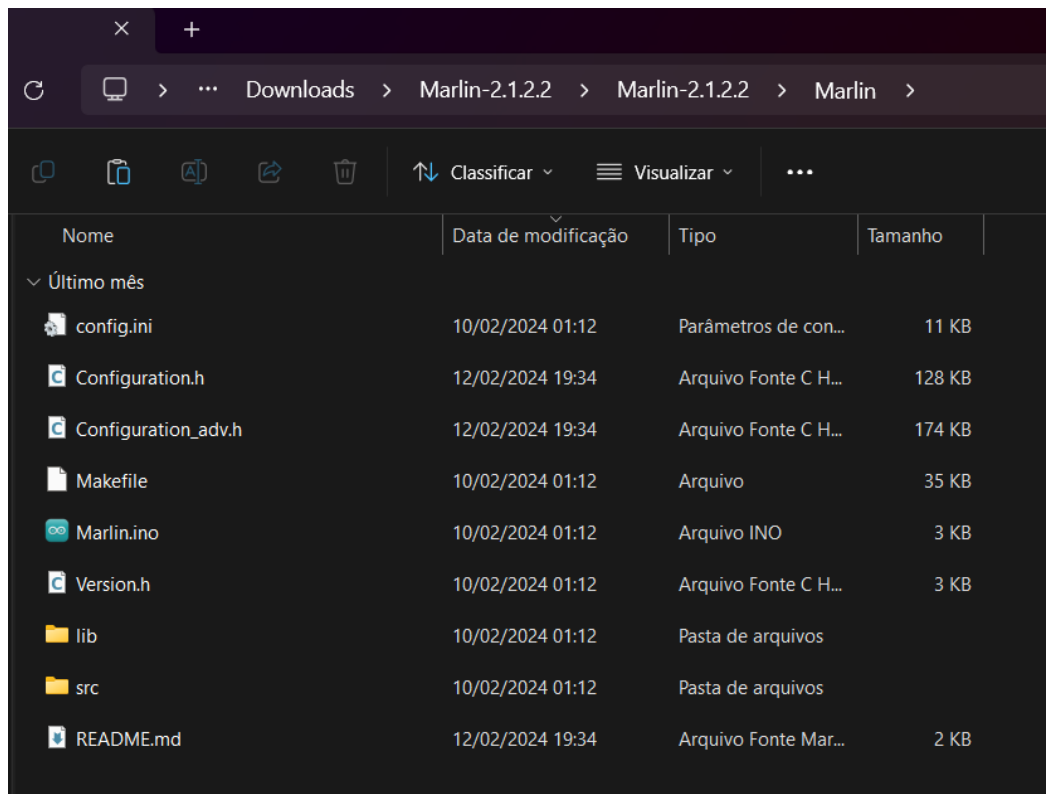


Figura 45 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin - -- Executando Marlin.ino

- ▶ Execute o arquivo executável Marlin.ino;

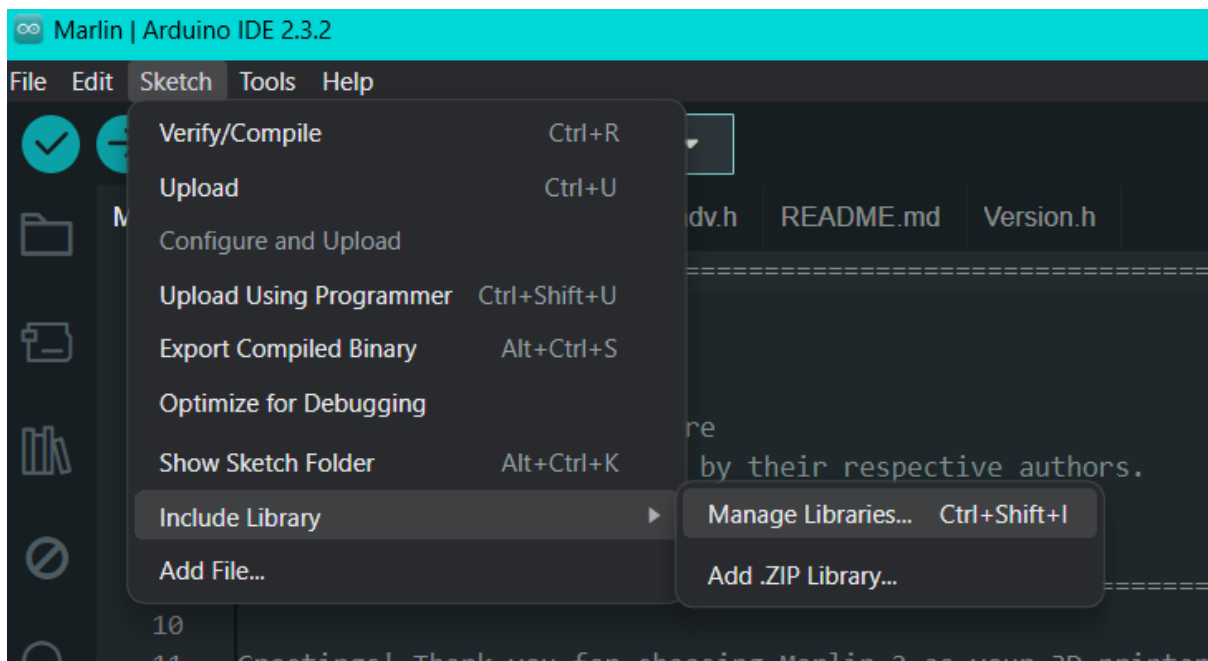


Figura 46 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin – Adicionando a Biblioteca u8glib (1)

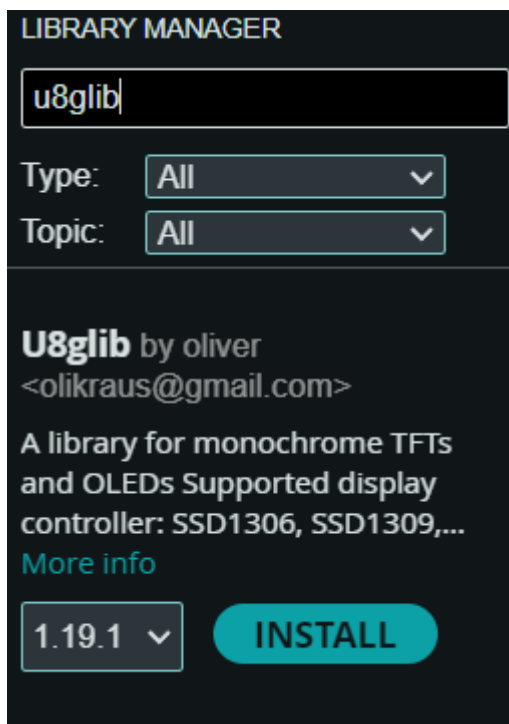


Figura 47 - Procedimento para Instalação do firmware Marlin - Adicionando a Biblioteca u8glib (2)

- ▶ Instale a biblioteca u8glib. Esta é uma biblioteca gráfica que permite rodar telas LCDs;
- ▶ Faça o *upload* do *firmware* para a impressora e após finalizar a impressora irá iniciar com a tela do Marlin.

Após finalização de todos os procedimentos, execute o programa Gcode criado pelo *software* que converte imagem em Gcode, para fazer os testes e modificações dos parâmetros de forma a gerar melhores resoluções da gravação do *LASER*.

3.3. Adaptação mecânica do *LASER* ao manipulador colaborativo industrial

Na figura a seguir, Figura 48, será apresentado o modelo de adaptação mecânica para o manipulador colaborativo industrial com o detalhamento de suas dimensões.

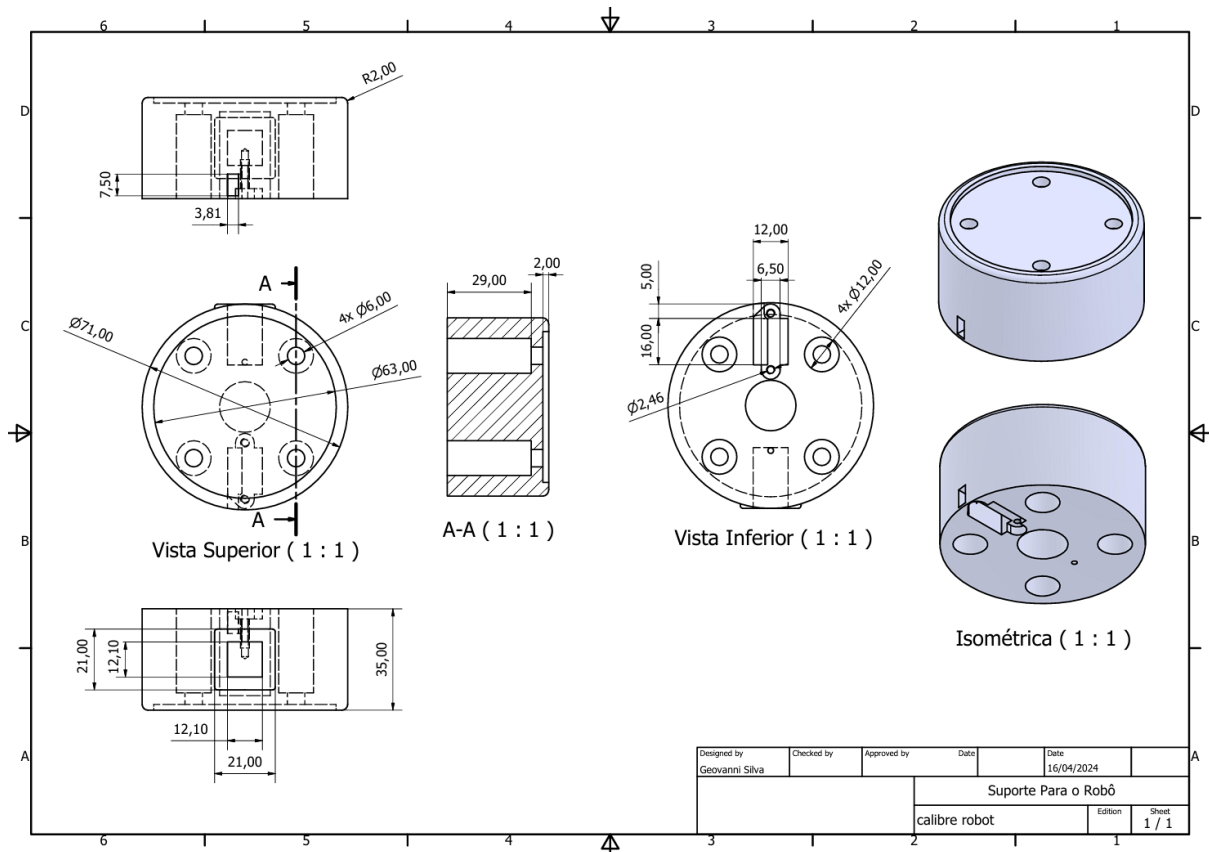


Figura 48 - Adaptador do *LASER* e do sensor de distância para o braço robótico

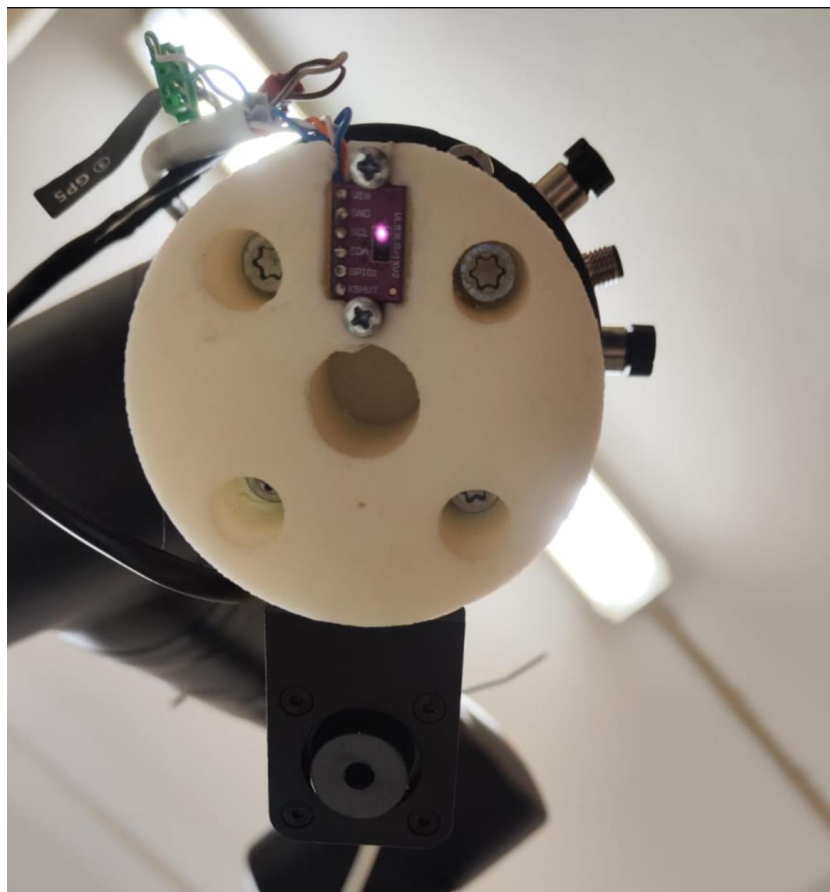


Figura 49 - Adaptar mecânico montado no braço robótico

Após a instalação do suporte e das ligações elétricas do *LASER* e do sensor, foi feita a programação para o braço se aproximar da mesa até o sensor indicar a distância regulada para o mesmo, distância de 110 mm, e a partir daí seguir para a posição de teste.

Para os testes de potência, velocidade e distância do *LASER*, foram feitas adaptações para sua fixação a um braço robótico, juntamente com um sensor de distância para seu ajuste automático conforme a espessura da placa utilizada.

3.4. Comparações entre os custos dos materiais utilizados e o modelo existente no mercado.

A seguir são apresentadas as tabelas com os materiais utilizados no projeto comparativamente ao custo do modelo de potência similar disponível no mercado, assim como os kits para o projeto com LASER de maior potência. Os sites onde foram obtidos os preços de cada item estão listados na Tabela 5 presente nos anexos.

Tabela 1 – Custo dos materiais utilizados no trabalho (modelo 0.5W)

MODELO UTILIZADO NO TRABALHO	
ITEM	CUSTO
Kit <i>LASER</i> com óculos de proteção 0,5W	€ 72,00
Arduino UNO	€ 10,69
Cabos - 40 peças	€ 3,07
Botão <i>Switch</i>	€ 2,09
Conversor 24V para 12V	€ 6,50
Total	€ 94,35
Modelo Creality 1,6W	
	€ 99,00
Diferença entre o modelo caseiro e o modelo da creality	-€ 4,65

Tabela 2 - Custo para modelo de 10W

CUSTO PARA UM MODELO DE 10W	
ITEM	CUSTO
Kit <i>LASER</i> 10W	€ 67,97
Arduino UNO	€ 10,69
Cabos (<i>JUMPER</i>) - 40 peças	€ 3,07
Botão <i>Switch</i>	€ 2,09
Conversor 24V para 12V	€ 6,50
Total	€ 90,32
Modelo Creality 5W	
	€ 139,00
Diferença entre o modelo caseiro e o modelo da creality	-€ 48,68

Tabela 3 - Custo para o modelo de 15W

CUSTO PARA UM MODELO DE 15W	
ITEM	CUSTO
Kit <i>LASER</i> 15W	€ 79,47
Arduino UNO	€ 10,69

Cabos - 40 peças	€ 3,07
Botão <i>Switch</i>	€ 2,09
Conversor 24V para 12V	€ 6,50
Total	€ 101,82
Modelo Creality 10W	€ 252,00
Diferença entre o modelo caseiro e o modelo da creality	-€ 150,18

Tabela 4 - Custo para o modelo de 40W

CUSTO PARA UM MODELO DE 40W	
ITEM	CUSTO
Kit <i>LASER</i> 40W	€ 86,38
Arduino UNO	€ 10,69
Cabos - 40 peças	€ 3,07
Botão <i>Switch</i>	€ 2,09
Conversor 24V para 12V	€ 6,50
Total	€ 108,73

3.5. Resultados obtidos nos testes de potência do *LASER*

Foram obtidos os seguintes resultados de acordo com a variação da potência do *LASER* e altura do mesmo em relação a placa de MDF. Iniciou-se a gravação com 40 mm e foi aumentando em 1mm a cada linha, para cada coluna usou os parâmetros anteriores, porém alterando a potência do *LASER*.

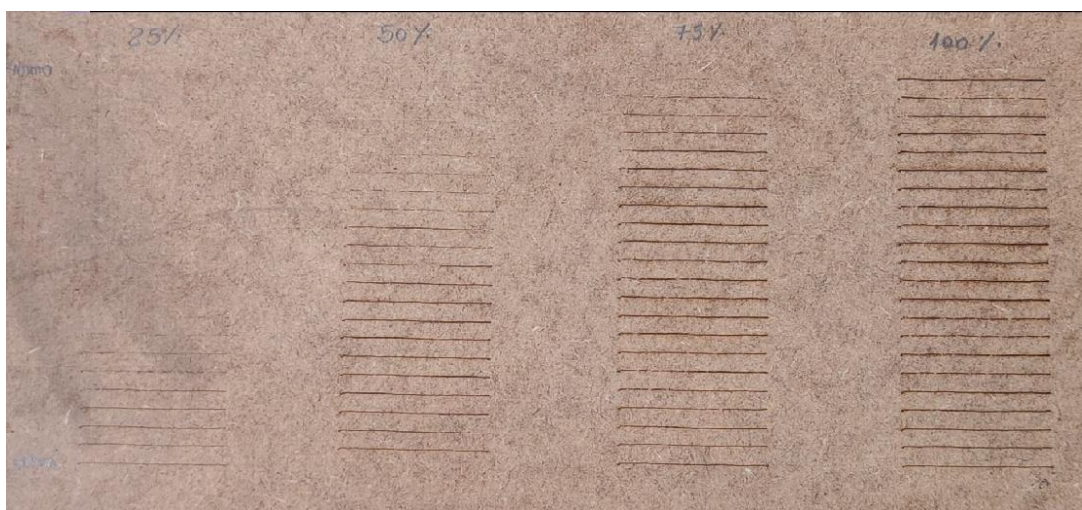


Figura 50 – Placa de Teste MDF do *LASER*

Podemos observar que os melhores resultados ficaram na faixa de 57 e 59 mm de distância, do *LASER* em relação a placa de MDF.



Figura 51 - Melhores parâmetros de altura

Logo após também foi feito testes em relação a velocidade de avanço do *LASER* e foram obtidos os seguintes resultados:



Figura 52 – Parâmetros de velocidade

Podemos observar que com um avanço de 7mm/s obtivemos uma linha mais homogênea e sem falhas em relação as demais, assim como não houve uma grande queima das bordas da linha.

Em relação ao início e fim da gravação, ocorreu uma grande queima destes pontos devido ao tempo do processo de ativação e desligamento do *LASER*, tendo assim que programar para aproximar e recuar o *LASER* nestes respectivos pontos para não danificar a gravação.

Com isto pudemos determinar a altura do *LASER* e a velocidade de avanço durante a gravação e o aumento da mesma durante a transição entre os pontos onde não deverão ser gravados, assim como a intensidade de cor para diversas potências.

A partir dos resultados obtidos, em relação ao custo de produção, caso tenha em mente apenas o uso do modelo de menor potência que apenas grava em materiais como MDF e não possibilita fazer cortes, seria mais viável comprar o modelo do mercado pois já vem pronto para instalação e já com um controlador. Caso tenha em vista um upgrade de potência para o *LASER* de menor para maior potência ou já queira montar modelos com maior versatilidade como, gravação em chapas metálicas e madeiras, corte de alguns materiais como a madeira e acrílico, entre outro. Para estas condições é plausível a montagem como a feita neste trabalho.

É de grande importância o uso de equipamentos de proteção e exaustores pois alguns materiais podem produzir materiais tóxicos e dependendo da potência também é necessário adaptar um sistema de refrigeração para melhores cortes e gravações.

Os valores apresentados nas tabelas anteriores foram obtidos nos sites citados nas mesmas e o link para cada produto está presente nos anexos do presente trabalho, assim como a data de último acesso.

4. Conclusões e proposta de trabalhos futuros

Os objetivos do presente trabalho foram atendidos quanto a adaptação do *LASER* a impressora sem que fosse necessário desmontar toda a extrusora, ou que houvesse a necessidade modificar a parte elétrica da mesma sempre que fosse variar entre a impressão 3D e a gravação a *LASER*, tornando assim mais prático utilizar o equipamento para ambas as finalidades.

A utilização do *software* de modelagem 3d (Autodesk Inventor) contribuiu para a produção dos suportes para fixação do *LASER* tanto na extrusora da impressora 3D, quanto para a adaptação no manipulador industrial.

Pode-se chegar à conclusão de que o projeto é viável e possui grande versatilidade, principalmente quando utilizado *LASER* de maiores potências. O projeto também possibilita o uso de outros modelos de *LASER* tendo em vista suas capacidades e se atentando as suas especificações de alimentação e control. Além disto, a troca de *firmware* feita durante o projeto abre um leque de possibilidades e benefícios para o usuário, e permite a adaptação para suas necessidades e objetivos específicos.

Ao atualizar o *firmware*, os usuários podem experimentar melhorias de desempenho, como velocidades de impressão mais rápidas, maior estabilidade e precisão, além de acessar novas funcionalidades, como suporte a uma variedade de materiais de impressão e opções avançadas de calibração, incluindo velocidade, temperatura, resolução e fluxo de filamento. Isso permite que adaptem a impressora às suas necessidades específicas, garantindo resultados de alta qualidade em suas impressões.

Para usuários avançados, entusiastas e desenvolvedores, a troca de *firmware* abre espaço para experimentação e inovação, permitindo a exploração de novas técnicas de impressão, algoritmos de control e recursos avançados. No entanto, é importante ter em mente que a troca de *firmware* também apresenta riscos, como a possibilidade de danificar a impressora se o processo não for realizado corretamente. Portanto, os usuários devem sempre seguir as instruções dos fabricantes e fazer backup de seus dados antes de realizar qualquer alteração no *firmware* da impressora 3D. É aconselhável sempre a pesquisa das origens do *firmware*, o estudo do mesmo, e levar em consideração as avaliações apresentadas por outros usuários.

É importante salientar também sobre a importância da utilização de EPIs durante utilização de *LASER*, pois durante seu uso é emitido grande quantidade de radiação que são prejudiciais a visão. Também é muito importante a circulação e renovação do ar no ambiente de trabalho para não acarretar problemas respiratórios devido a gases produzidos.

Para o uso de *LASER* de outras potências, será necessário fazer novos testes para determinar a faixa de potência ideal para cada finalidade, seja gravação ou corte, e cada material utilizado. Assim como o teste de variação da intensidade, o sistema de refrigeração e exaustão para *LASER* de maiores potências é crucial para a qualidade do produto final e segurança do operador. Estes temas podem ser abordados futuramente em trabalhos futuros.

Referências

- [1] C. Lonjon, “The History Of 3D Printer: From Rapid Prototyping To Additive Fabrication”, Sculpteo Blog. Acesso em: 13 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>
- [2] I. R. Bagliotti e A. M. S. Gasparotto, “O Processo De Produção De Uma Impressora 3d De Baixo Custo Reprap Com Tecnologia Fused Filament Fabrication”, *Revista Interface Tecnológica*, vol. 14, nº 1, Art. nº 1, jul. 2017.
- [3] W. C. Rodrigues, “Metodologia Científica”. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: https://docente.ifsc.edu.br/mello/livros/como-escrever-textos-tecnicos/metodologia_cientifica.pdf
- [4] FIA Business School, “PDCA: O Que É E Como Funciona A Metodologia Para Melhorar A Gestão?”, FIA. Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/pdca/>
- [5] C. A. Mariani, “Método Pdca E Ferramentas Da Qualidade No Gerenciamento De Processos Industriais: Um Estudo De Caso”, *São Paulo*, vol. 2, nº 2.
- [6] V. F. Campos, *Gerenciamento Da Rotina Do Trabalho Do Dia-A-Dia*, 3. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994.
- [7] W. P. Vareiro, “Projeto De Uma Impressora 3D, Utilizando Código Aberto E Arduíno”, *Artigo apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção de Título de Bacharel em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Grande Dourados.*, Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/4836/1/WillianPiresVareiro.pdf>
- [8] G. G. Celerino e J. F. D. Paixão, “Construção de Uma Impressora 3D de Baixo Custo Utilizando Hardware e Software de Código Aberto”, *Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de tecnólogo em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.*, 2022.
- [9] I. P. Matozinhos, A. A. C. Madureira, G. F. Silva, G. C. de C. Madeira, I. F. A. Oliveira, e C. R. Corrêa, “Impressão 3D: Inovações no Campo da Medicina”, *Revista Interdisciplinar Ciências Médicas*, vol. 1, nº 1, Art. nº 1, fev. 2017.
- [10] N. Volpato, *Manufatura Aditiva: Tecnologias E Aplicações Da Impressão 3D*. Editora Blucher, 2021.

- [11] I. P. y F. Gómez, “Vectores En R3 - [Guía Completa, Con Ejercicios Y Gráficos 3D]”, Álgebra y Geometría Analítica. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://aga.frba.utn.edu.ar/vectores-en-r3/>
- [12] “Modelagem 3D: Softwares 3D Gratuitos e Fáceis em 2024 | All3DP”. Acesso em: 12 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://all3dp.com/pt/1/software-modelagem-3d-iniciantes/>
- [13] S. Portela, “22 Sites Para Baixar Modelos Grátis Para Impressão 3d”, 3D Lab. Acesso em: 12 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://3dlab.com.br/24-sites-para-baixar-modelos/>
- [14] Adobe, “Arquivos STL Explicados | Saiba Mais Sobre O Formato De Arquivo STL | Adobe”. Acesso em: 12 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.adobe.com/br/creativecloud/file-types/image/vector/stl-file.html>
- [15] “Ender-5 Plus 3D Printer”, Creality United Kingdom. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://store.creality.com/uk/products/ender-5-plus-3d-printer>
- [16] “Creality Termistor Sensor Temp Ender-3 S1 Plus”, Loja 3D Print Academy. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.loja3dpa.com.br/produto/creality-termistor-sensor-temp-ender-3-s1-plus>
- [17] “CR Touch Auto Leveling Sensor Kit”, Creality United Kingdom. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://store.creality.com/uk/products/cr-touch-auto-leveling-sensor-kit>
- [18] “Interruptor De Limite De Fim De Curso Creality 3D® Para Peça De Impressora 3D Ender-3 V2 Equipamento De Escritório From Computadores - Online Store”. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: https://justnicevs.best/product_details/52335703.html
- [19] T. Tecnologia, “Módulo Sensor de Umidade HR202”. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.smartkits.com.br/sensor-de-umidade-hr202>
- [20] “ADXL345 - Acelerómetro de Três Eixos - Firmware Klipper Ideal”, I3D Service. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://imprimante-3d-service.com/pt/454-adxl345-acelerometro-de-tres-eixos.html>
- [21] “Impresora 3D Ender 5 Plus Extrusora original (reemplazo)”. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.creality3dofficial.com/products/ender-5-plus-3d-printer-original-extruder-replacement>
- [22] “Micro Swiss Direct Extruder com Hotend para Creality Series CR-10 e Ender 3”, impresoras3d.com. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.impresoras3d.com/pt/producto/extrusora-direta-micro-su%C3%AD%A7a-com-hotend-para-crias-s%C3%A9rie-cr-10-e-ender-3/>
- [23] “3D Printer Nozzle Kit 0.4mm/ 5 PCS”. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: https://store.creality.com/uk/products/3d-printer-nozzle-kit-0-4mm-5-pcs?cfb=f32424b5-e708-41eb-ac46-5482afc6fec6&ifb=f32424b5-e708-41eb-ac46-5482afc6fec6&scm=search.v39.101.102.103.104&score=0.08333333333333333&ssp=&spm=..search.search_1.12
- [24] “Fonte De Alimentação De Criatividade Impresoras3d.Com”, impresoras3d.com. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.impresoras3d.com/pt/producto/fonte-de-alimenta%C3%A7%C3%A3o-de-cria%C3%A7%C3%A3o/>
- [25] “Placa Mae Silenciosa Para Ender-3 S1 Plus - 4002020051 - CREALITY - Placa Mãe - Magazine Luiza”. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/placa-mae-silenciosa-para-ender-3-s1-plus-4002020051-creality/p/ehg8je2dhd/in/pmae/>

- [26] A. R. Freire, G. V. D. Ferreira, G. C. dos Santos, e R. D. P. Tuma, “Kit Hardware E Software Para Corte E Gravação A Laser Automático”, 2022, Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://repositorio.maua.br/handle/MAUA/335>
- [27] T. H. Maiman, “Stimulated Optical Radiation in Ruby”, *Nature*, vol. 187, n° 4736, p. 493–494, ago. 1960, doi: 10.1038/187493a0.
- [28] W. M. Steen e J. Mazumder, “Background to Laser Design and General Applications”, em *Laser Material Processing*, W. M. Steen e J. Mazumder, Orgs., London: Springer, 2010, p. 11–78. doi: 10.1007/978-1-84996-062-5_2.
- [29] J. F. Ready, Org., “Historical Prologue”, em *Industrial Applications of Lasers (Second Edition)*, San Diego: Academic Press, 1997, p. xix–xxi. doi: 10.1016/B978-012583961-7/50002-8.
- [30] W. Zhang, *Intelligent Energy Field Manufacturing: Interdisciplinary Process Innovations*. CRC Press, 2018.
- [31] “How Does A Laser Cutter Work? CO2 & Fiber Explained | HPC Laser”. Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://hpcclaser.co.uk/how-does-a-laser-cutter-work/>
- [32] “Módulo Principal De Gravação A Laser, Comprimento Focal Fixo, Alta Precisão, 450nm, 5.5W, 10W, 20W, 30W, 40W, 80W| - AliExpress”, aliexpress.com. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: https://pt.aliexpress.com/item/1005006230322371.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&aff_trace_key=e7a55af414e3400d89cbf71e3400d673-1715552450804-04233-UnaMJZVf&af=&cv=&cn=&dp=
- [33] “Venda Módulo Conversor Automático Geekcreit® DC-DC Boost Buck Ajustável Passo A Passo XL6009 Adequado Para Painel Solar - Banggood Portugal”. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: https://pt.banggood.com/Geekcreit-DC-DC-Boost-Buck-Adjustable-Step-Up-Step-Down-Automatic-Converter-XL6009-Module-Suitable-For-Solar-Panel-p-1087346.html?akmClientCountry=PT&imageAb=1&p=JV140519177383201802&custlixnkid=216314&cur_warehouse=CN&ID=522225&a=1715552631.6021
- [34] “Pino Spst 3 Posição On-off-on 2 Posição On-off Rocker Boat Switch 6a 220v 10a 125v - Interruptores - AliExpress”, aliexpress.com. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: https://pt.aliexpress.com/item/4000124856030.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&aff_trace_key=edc23153769f4d148e41f136c3560495-1715721366105-05716-UnaMJZVf&af=&cv=&cn=&dp=
- [35] *3d Printer To Laser Engraver For Under \$60*, (4 de abril de 2019). Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online Video]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hEk3aVARSGc>
- [36] MarlinFirmware, “Marlin Firmware Download”, Marlin Firmware. Acesso em: 29 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://marlinfw.org/meta/download/>
- [37] E. Alcaide e F. Wiltgen, “Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro”, *Revista Ciências Exatas*, vol. 24, n° 2, Art. n° 2, dez. 2018.
- [38] L. A. Antonelli, “Impressora 3D de Baixo Custo”, *Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Toledo Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica*, 2019, Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24598/1/imprensa3dbaixocusto.pdf>
- [39] “Getting Started With Arduino | Arduino Documentation”. Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/getting-started-arduino/>
- [40] F. J. Baião, “Funcionalidades e Tecnologias da Impressora 3D”, 2012.

- [41] J. G. Caldas, R. L. Cavalcante, e D. K. D. Costa, “Construção de Impressora a LASER Diodo de Baixo Custo Usando Tecnologia CNC”, em *Open Science Research IX*, 1º ed, Editora Científica Digital, 2022, p. 494–524. doi: 10.37885/221211286.
- [42] M. Deans, “G-Code for CNC Programming | Fusion 360 Blog”, Fusion Blog. Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-programming-fundamentals-g-code/>
- [43] “Visual Studio Code - Code Editing. Redefined”. Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://code.visualstudio.com/>
- [44] L. Santana, “Impressão 3D open source”, SempreUpdate. Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://sempreupdate.com.br/impressao-3d-open-source/>
- [45] M. Deans, “G-Code for CNC Programming | Fusion 360 Blog”, Fusion Blog. Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-programming-fundamentals-g-code/>
- [46] C. M. P. Pinheiro, G. E. Mota, C. Steinhaus, e M. de Souza, “Impressoras 3d: Uma Mudança Na Dinâmica Do Consumo”, *Signos do Consumo*, vol. 10, nº 1, Art. nº 1, jan. 2018, doi: 10.11606/issn.1984-5057.v10i1p15-22.
- [47] L. Queiroz, C. Mauricio, e M. Matrakas, “Construção De Uma Impressora 3D: Projetos Abertos De Baixo Custo E Possibilidades Da Aplicação Na Educação”, *The Academic Society Journal*, p. 113–118, mar. 2019, doi: 10.32640/tasj.2019.1.113.
- [48] “Laser Engraving Machine: Tips for Preparing Your Photo”, Full Spectrum Laser. Acesso em: 8 de maio de 2024. [Online]. Disponível em: <https://fslaser.com/blog/laser-engraving-machine-tips-for-preparing-your-photo/>

Anexos:

Produtos listados nas tabelas e endereço eletrônico para o site acessado

Tabela 5 - Materiais utilizados e seus respectivos endereço eletrônico de onde foram obtidos

ITEM	SITE ACESSADO	ENDEREÇO ELETRONICO	DATA DE ACESSO
Módulo Principal De Gravação A LASER, Comprimento Focal Fixo, Alta Precisão, 450nm, 5.5W, 10W, 20W, 30W, 40W, 80W	AliExpress	https://pt.aliexpress.com/item/1005006230322371.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&aff_trace_key=e7a55af414e3400d89cbf71e3400d673-1715552450804-04233-UnaMJZVf&af=&cv=&cn=&dp=	29/05/2024
Módulo Conversor Automático Geekcreit® DC-DC Boost Buck Ajustável Passo A Passo XL6009 Adequado Para Painel Solar	Banggood	https://pt.banggood.com/Geekcreit-DC-DC-Boost-Buck-Adjustable-Step-Up-Step-Down-Automatic-Converter-XL6009-Module-Suitable-For-Solar-Panel-p-1087346.html?akmClientCountry=PT&imageAb=1&p=JV140519177383201802&custlixnkid=216314&cur_warehouse=CN&ID=522225&a=1715552631.6021	29/05/2024
Botão Switch - Pino Spst 3 Posição On-off-on 2 Posição On-off Rocker Boat Switch 6a 220v 10a 125v - Interruptores	AliExpress	https://pt.aliexpress.com/item/4000124856030.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&aff_trace_key=edc23153769f4d148e41f136c3560495-1715721366105-05716-UnaMJZVf&af=&cv=&cn=&dp=	29/05/2024
Cabeça De Gravação A LASER 12V Azul Violeta Com Placas De Madeira Para Impressora 3D CR-10 CR-10S	Banggood	https://www.banggood.com/pt/12V-Blue-Violet-Laser-Engraving-Head-Set-With-Wood-Plates-For-CR-10-CR-10S-3D-Printer-p-1281920.html	29/05/2024
Arduino - Microcontrolador Arduino UNO REV3	Mauser	https://mauser.pt/catalog/product_info.php?products_id=096-2435	29/05/2024
Cabo Jumper Macho para Macho de 30cm, 40 peças	Banggood	https://pt.banggood.com/40pcs-30cm-Male-To-Male-Jumper-Cable-Dupont-Wire-p-994061.html	29/05/2024
Módulo Conversor Automático Geekcreit® DC-DC Boost Buck Ajustável Passo A Passo XL6009	Banggood	https://www.banggood.com/pt/Geekcreit-DC-DC-Boost-Buck-Adjustable-Step-Up-Step-Down-Automatic-Converter-XL6009-Module-Suitable-For-Solar-Panel-p-1087346.html	29/05/2024

Adequado Para Painel Solar			
Creality Laser Module 10W/5W/1.6W	Creality Store	https://store.creality.com/eu/products/creality-laser-module?spm=..product_0444b729-393e-4f9f-8437-acd406b5697e.product_club_1.1&spm_prev=..search.search_1.1	29/05/2024
Módulo LASER - Foco Ajustável Da Luz Azul 450nm/405nm Ttl Da Cabeça Do Módulo Do Laser De Neje 20W Para O Gravador Do Cortador Do Laser Do Cnc	AliExpress	https://pt.aliexpress.com/item/1005001646214699.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=	29/05/2024