



**TAMARA CRISTINA BRAGA DE SOUZA**

**ATUALIZAÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D PARA  
INTEGRAÇÃO À INDÚSTRIA 4.0**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**TAMARA CRISTINA BRAGA DE SOUZA**

**ATUALIZAÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D PARA INTEGRAÇÃO À INDÚSTRIA**

**4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Automática da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharela.

Prof. Dr. Ricardo Rodrigues Magalhães  
Orientador

Dr. Leomar Santos Marques - CEIFA  
Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2023**

**TAMARA CRISTINA BRAGA DE SOUZA**

**ATUALIZAÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D PARA INTEGRAÇÃO À INDÚSTRIA  
4.0**

**UPGRADING A 3D PRINTER FOR INTEGRATION WITH INDUSTRY 4.0.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Automática da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 15 de Dezembro de 2023

Dr. Ricardo Rodrigues Magalhães - UFLA

Dr. Leomar Santos Marques - CEIFA

Dr. Vinícius Miranda Pacheco - UFLA

Prof. Dr. Ricardo Rodrigues Magalhães  
Orientador

Dr. Leomar Santos Marques - CEIFA  
Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2023**

*Dedico a todas as pessoas que mesmo sem  
acesso à educação custearam a minha  
formação em uma faculdade pública.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço de coração a todos que tornaram esta jornada possível:

Primeiramente, aos meus pais, Fernando e Alessandra, que foram minha base durante todo esse percurso. Suas palavras de encorajamento, confiança e o apoio inabalável fizeram toda a diferença. E ao meu querido irmão, Fernando, que não apenas foi meu confidente, mas também meu guia, mostrando sempre o lado positivo das coisas. Aos meus sobrinhos Gabriel e Maria Luiza, quero que saibam que todos os sonhos são possíveis.

Aos amigos que conheci em Lavras, em especial, meus companheiros de república, vocês foram meu suporte nos momentos mais difíceis, me ajudando a não desistir. Agradeço à Maíra e seus pais, Paulo e Jaqueline, por me acolherem como parte da família. À Deborah, por sua amizade constante e por tornar nossas aventuras em Lavras inesquecíveis. Um agradecimento especial ao Zequinha, que me aproximou de duas pessoas incríveis, Mariana e Pedro. Ao meu grupo, Grazy, Bia, Nayani e Sarah, a automação é muito mais leve com vocês.

Levarei cada um de vocês comigo para onde quer que eu vá.

Agradeço ao Ricardo e ao Leomar pelo suporte prestado durante o desenvolvimento deste trabalho. Expresso também meus agradecimentos aos técnicos Bruno, Fabiano e Olavo.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meu mais sincero agradecimentos.

Obrigada a todos!

## RESUMO

Neste trabalho, foi abordada a integração da Indústria 4.0 com as tecnologias de impressão 3D, tendo como foco a atualização de uma impressora antiga que não estava mais em funcionamento. A Indústria 4.0 entrelaçou-se com tecnologias digitais virtuais, processos cibernéticos e Internet das Coisas, enquanto a impressão 3D foi considerada uma tecnologia avançada de fabricação. Este estudo concentrou-se na análise dos benefícios resultantes da implementação de monitoramento durante o processo de renovação do sistema embarcado da impressora. A ênfase esteve na atualização da placa da impressora para integrar funcionalidades conectadas à internet, visando não apenas compreender os impactos específicos dessa atualização na eficiência e qualidade, mas também contribuir para uma adoção eficaz dessas inovações na indústria contemporânea. O estudo buscou impulsionar não apenas a transformação digital, mas também a automação nos processos de fabricação associados ao equipamento em questão, promovendo uma integração sinérgica com os princípios da Indústria 4.0. Como resultado bem-sucedido dessa atualização, foi possível realizar o controle remoto da impressora.

**Palavras-chave:** Impressão 3D. Indústria 4.0. Atualização. Integração. Placa da Impressora.

## **ABSTRACT**

In this study, the integration of Industry 4.0 with 3D printing technologies was addressed, focusing on the upgrade of an old printer that was no longer operational. Industry 4.0 intertwined with virtual digital technologies, cybernetic processes, and the Internet of Things, while 3D printing was considered an advanced manufacturing technology. This research focused on analyzing the benefits resulting from the implementation of monitoring during the printer's embedded system renewal process. The emphasis was on updating the printer's board to integrate internet-connected functionalities, aiming not only to comprehend the specific impacts of this upgrade on efficiency and quality but also to contribute to an effective adoption of these innovations in contemporary industry. The study sought to drive not only digital transformation but also automation in the manufacturing processes associated with the equipment in question, promoting a synergistic integration with Industry 4.0 principles. As a successful outcome of this upgrade, remote control of the printer became feasible.

**Keywords:** 3D Printing. Industry 4.0. Upgrade. Integration. Printer Board.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Manufatura Tradicional x Manufatura Aditiva.....	15
Figura 2 - Evolução da Indústria .....	17
Figura 3 - BFB RapMan .....	18
Figura 4 - Placa MKS TinyBee V1.0 .....	19
Figura 5 - Motor de Passo .....	20
Figura 6 - <i>Hotend</i> .....	21
Figura 7 - Fim de Curso.....	22
Figura 8 - Mesa de impressão.....	23
Figura 9 - Correia dentada .....	24
Figura 10 - Bico extrusor.....	25
Figura 11 - Filamento .....	26
Figura 12 - Placa antiga .....	27
Figura 13 - Esquemático - MKS Tinybee.....	28
Figura 14 - Instalação do LCD e da fonte de alimentação .....	29
Figura 15 - Motor M575TH 51-3008DCP .....	30
Figura 16 - Identificação das Bobinas .....	31
Figura 17 - Configuração dos Drivers .....	32
Figura 18 - Localização dos pinos dos Sensores fim de curso .....	33
Figura 19 - Sistema de aquecimento e termistor .....	34
Figura 20 - Temperatura ambiente .....	34
Figura 21 - Ventoinha.....	35
Figura 22 - Código LCD.....	36
Figura 23 - Código LCD MKS MINI.....	37
Figura 24 - Configuração do controle Remoto.....	37
Figura 25 - Rede Wi-Fi.....	38
Figura 26 - Controle Remoto.....	39
Figura 27 - Código de definição do tamanho da mesa .....	44
Figura 28 - Código de definição da temperatura da mesa .....	45

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Comparativo dos tipos de Tecnologia de Impressão 3D.....	16
---	----

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	História da Impressão 3D.....	14
2.2	Tecnologias de Impressão 3D.....	15
2.3	Indústria 4.0.....	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
3.1	Materiais .....	18
3.1.1	Impressora BFB RapMan .....	18
3.1.2	Placa de Controle .....	19
3.1.1.2	Motores .....	20
3.1.1.3	<i>Hotend</i> .....	20
3.1.1.4	Fim de Curso .....	21
3.1.1.5	Mesa .....	22
3.1.1.6	Correias.....	23
3.1.1.7	Bico Extrusor.....	24
3.1.1.8	Filamento .....	25
3.2	Métodos .....	26
3.2.1	Análise do Funcionamento da Impressora 3D .....	26
3.2.2	Identificação dos componentes da placa MKS TinyBee V1.0.....	27
3.2.3	Configuração do Display LCD e Instalação da Fonte de Alimentação.....	29
3.2.4	Conexão dos Motores.....	30
3.2.5	Ligação dos Sensores de Fim de Curso .....	32
3.2.6	Instalação do <i>Hotend</i> e da Ventoinha.....	33
3.2.7	Integração .....	36
4	RESULTADOS .....	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	40
5.1	Conclusão.....	40
5.2	Recomendações para Trabalhos Futuros .....	40
	REFERÊNCIAS .....	42
	ANEXO A – CÓDIGO DE DEFINIÇÃO DO TAMANHO DA MESA .....	44
	ANEXO B – CÓDIGO DE DEFINIÇÃO DA TEMPERATURA DA MESA..	45

## 1 INTRODUÇÃO

A junção entre a Indústria 4.0 e a impressão 3D abre novos horizontes na evolução da manufatura e facilita mudanças significativas nos processos industriais. A Quarta Revolução Industrial, caracterizada por avanços como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial (IA) e a automação, está convergindo com o poder transformador da impressão 3D, que remonta à década de 1980.

O advento da estereolitografia (SLA), inventada por Charles Hull, marcou o início da impressão 3D, transformando a produção industrial e ampliando o escopo da prototipagem para diversas indústrias. À medida que a tecnologia avança, ela se tornará uma ferramenta importante para produção sob demanda, personalização em massa e redução significativa de resíduos.

Neste contexto, a Indústria 4.0, introduzida em 2011, redefiniu o paradigma ao incorporar IoT, IA e automação para otimizar processos industriais. A convergência da Indústria 4.0 e da impressão 3D é notável, abrindo caminho para monitoramento remoto, coleta de dados em tempo real e ajustes dinâmicos durante os processos de fabricação.

Esta fusão inovadora não só transformará a produção industrial, mas permitirá uma personalização sem precedentes, tempos de desenvolvimento de produtos significativamente reduzidos e um fabrico mais eficiente de componentes complexos em todas as indústrias.

Por exemplo, a empresa Ford está usando a impressão 3D para produzir peças personalizadas para seus veículos. Isso permite que a empresa ofereça opções de personalização mais amplas para seus clientes, ao mesmo tempo que reduz os custos de produção.

A empresa GE está usando a impressão 3D para fabricar componentes complexos para suas turbinas a gás. Isso permite que a empresa aumente a eficiência e a confiabilidade de suas turbinas, ao mesmo tempo que reduz o peso e o custo.

No entanto, ainda existem alguns desafios que precisam ser superados para que a convergência entre as duas tecnologias seja totalmente realizada. Por exemplo, a precisão e a velocidade da impressão 3D ainda precisam ser melhoradas, e o custo da tecnologia ainda é relativamente alto.

Destaca-se a importância do *retrofit* ou atualização de impressoras antigas, como um meio de revitalizar equipamentos parados. Essa prática não apenas resgata e evita o descarte de dispositivos inativos, mas também representa uma abordagem sustentável para integrar tecnologias mais recentes, alinhando-se aos benefícios transformadores da Indústria 4.0 e impressão 3D. O objetivo primordial deste trabalho é recuperar uma impressora antiga por meio dessa atualização, possibilitando não apenas seu retorno à operação, mas também a capacidade de controle remoto via rede *Wi-Fi*, destacando-se como um exemplo concreto da aplicação

prática dessa convergência tecnológica.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo, será abordado o Referencial Teórico, que se fundamenta em teses e conceitos provenientes de teses e artigos para a compreensão dos temas a serem explorados, tais como a Impressão 3D e a Indústria 4.0, entre outros.

### **2.1 História da Impressão 3D**

A manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia que surgiu na década de 1980 e revolucionou a forma de fabricar e produzir objetos na indústria. Com o passar do tempo, a impressão 3D evoluiu de maneira revolucionária, permitindo a criação de modelos e protótipos de alta precisão utilizados em diversas áreas, que vão desde a engenharia até a medicina (BASTOS, M. R.,2021).

O método pioneiro de impressão 3D é a estereolitografia, também conhecida pela sigla SLA, desenvolvida por Charles Hull. Este processo inovador de prototipagem utiliza resina líquida que se solidifica quando exposta à luz ultravioleta, permitindo a criação dos primeiros objetos tridimensionais produzidos por impressão.

Nos próximos anos, após o desenvolvimento da técnica de SLA, foram desenvolvidas outras metodologias de prototipagem, incluindo a deposição de material fundido (FDM) e a sinterização seletiva a laser (SLS). A FDM, desenvolvida por Scott Crump, se tornou amplamente popular devido à sua acessibilidade e versatilidade. Essas tecnologias eram inicialmente usadas para prototipagem rápida em indústrias como a aeroespacial e a automotiva (PALMA, F. C.; KAPPLER, A. F. 2015).

Ao longo das décadas, a tecnologia de impressão 3D ganhou significativa popularidade não apenas na indústria, mas também entre o público em geral. O advento das impressoras 3D de mesa, conhecidas por sua acessibilidade e desempenho satisfatório a um custo acessível, atraiu um grande número de entusiastas.

À medida que a impressão 3D prosseguia em sua trajetória de desenvolvimento, suas aplicações se diversificaram em uma ampla variedade de setores, abrangendo desde a área da medicina até a indústria da construção civil. Em meio à era da Revolução Industrial 4.0, a manufatura aditiva assume um papel de destaque ao viabilizar a produção sob demanda, a personalização em massa e a significativa redução de resíduos. Empresas têm empregado a tecnologia de impressão 3D para fabricar componentes mais leves para aeronaves, criar próteses médicas sob medida e, surpreendentemente, até mesmo para a construção de moradias (SOLECTRO,2023).

A manufatura subtrativa e a manufatura aditiva representam duas das principais

abordagens na produção de componentes. Enquanto a manufatura subtrativa envolve a remoção de material de um bloco sólido para criar a forma desejada, a manufatura aditiva constrói a peça adicionando material camada por camada (GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B.,2014).

A Figura 1 ilustra vividamente a disparidade em termos de geração de resíduos entre essas tecnologias. A manufatura subtrativa resulta em um volume significativo de resíduos, enquanto a manufatura aditiva, em contrapartida, produz quantidades mínimas ou até mesmo nenhum resíduo (FIT ENGINEERING SYSTEM, 2021).

A distinção entre essas duas abordagens é clara, e essa discrepância carrega implicações substanciais para a sustentabilidade. A manufatura aditiva surge como uma alternativa mais ecológica, pois contribui para a redução do desperdício de material, promovendo assim práticas de produção mais sustentáveis e amigáveis ao meio ambiente (GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B, 2014).

Figura 1 - Manufatura Tradicional x Manufatura Aditiva



Fonte: Fit-Tecnologia (2021).

## 2.2 Tecnologias de Impressão 3D

A impressão 3D é um processo de manufatura aditiva que cria objetos físicos a partir de um modelo digital. O processo funciona depositando material camada por camada, de acordo com as instruções do modelo digital (TAKAGAKI, L. K, 2012).

Existem vários tipos diferentes de tecnologias de impressão 3D, cada uma com suas próprias vantagens e desvantagens (GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B, 2014). Os tipos mais comuns de tecnologias de impressão 3D incluem:

- Fused Deposition Modeling (FDM): Esta tecnologia é a mais comum e usa um filamento

de material termoplástico que é derretido e depositado camada por camada.

- Selective Laser Sintering (SLS): Esta tecnologia usa um laser para sinterizar (solidificar sem fundir) um pó de material.
- Stereolithography (SLA): Esta tecnologia usa uma luz ultravioleta para curar um fotopolímero líquido.

O Quadro 1 apresenta uma comparação das principais características das diferentes tecnologias de impressão 3D. Essa comparação pode ser usada para avaliar as vantagens e desvantagens de cada tecnologia, bem como para escolher a tecnologia mais adequada para uma determinada aplicação (GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B, 2014).

Quadro 1 - Comparativo dos tipos de Tecnologia de Impressão 3D

	<b>FDM</b>	<b>SLS</b>	<b>SLA</b>
Material	ABS, PLA, Nylon	Poliâmidas, poliéster, poliuretano, termoplástico	Resinas fotossensíveis
Qualidade	Médio	Alto	Alto
Acabamento	Áspero	Suavemente áspero	Suave
Características Mecânicas	Determinada pelo material	Forte e flexível	Forte e frágil
Custo	Impressora e material de baixo custo	Impressora com custo elevado, material de baixo custo	Impressora e material de custo elevado

Fonte: Do autor (2023).

### 2.3 Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 foi citado pela primeira vez em 2011, durante uma exposição na Alemanha, marcando o início de uma nova era na evolução das técnicas e tecnologias empregadas na indústria e na vida cotidiana (SCHWAB, K.,2016). Também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, a Indústria 4.0 incorpora avanços notáveis, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), o Big Data e a automação, com o propósito fundamental de aprimorar a eficiência e otimização de processos (BURTET, L, 2023).

A Quarta Revolução Industrial e a Impressão 3D são duas inovações tecnológicas que se entrelaçam de maneira bastante significativa, e estão moldando o futuro da manufatura mundial (SANTOS, B. et al,2018).

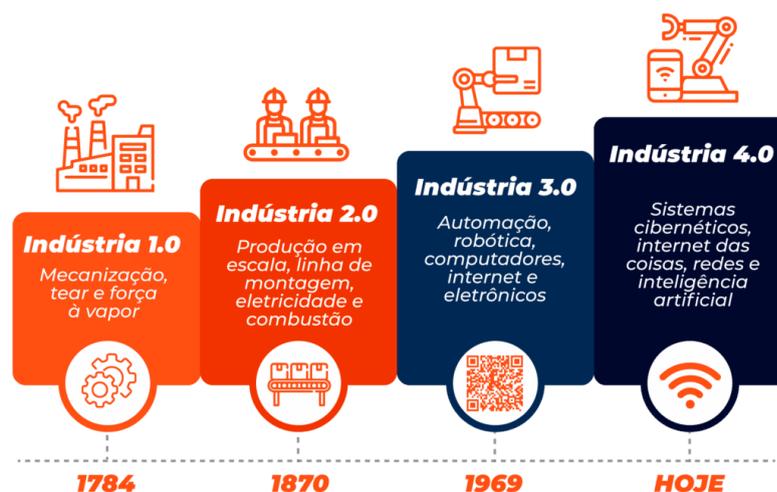
Hiperconectividade é uma palavra que resume bem a Indústria 4.0, e se encaixa

perfeitamente com a impressão 3D. Utilizando IoT integrada em impressoras 3D, se torna possível o monitoramento remoto do status da máquina, a coleta de dados sobre o processo e até mesmo fazer ajustes em tempo real. O que melhora a eficiência da impressão e também permite a manutenção preventiva, evitando falhas inesperadas (SANTOS, B. et al,2018).

A fusão entre a Indústria 4.0 e a impressão 3D está efetivamente transformando a manufatura. Isso permite que empresas produzam peças altamente personalizadas sob demanda, diminuam significativamente o tempo de desenvolvimento de produtos e reduzam consideravelmente o desperdício de materiais. Além disso, a manufatura aditiva está encontrando aplicações em uma ampla gama de setores, que vão desde aeroespacial e medicina até a indústria automotiva, onde é utilizada para criar componentes complexos de maneira extremamente eficaz (SANTOS, B. et al,2018).

O desenvolvimento industrial, desde a revolução industrial até a atual Indústria 4.0 (Figura 2), é representado por diferentes paradigmas tecnológicos. Inicialmente, houve uma mudança dos métodos manuais para a mecanização, seguida pelo advento da produção em massa. A automação industrial, marcada pela utilização de máquinas e robôs, caracteriza a terceira fase. Finalmente, na Indústria 4.0, assistimos à fusão entre os mundos físico e digital. Esta evolução reflete não apenas avanços em máquinas, mas também mudanças na concepção e implementação de processos industriais (SANTANDER,2023).

Figura 2 - Evolução da Indústria



Fonte: 49 EDUCAÇÃO (2022).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

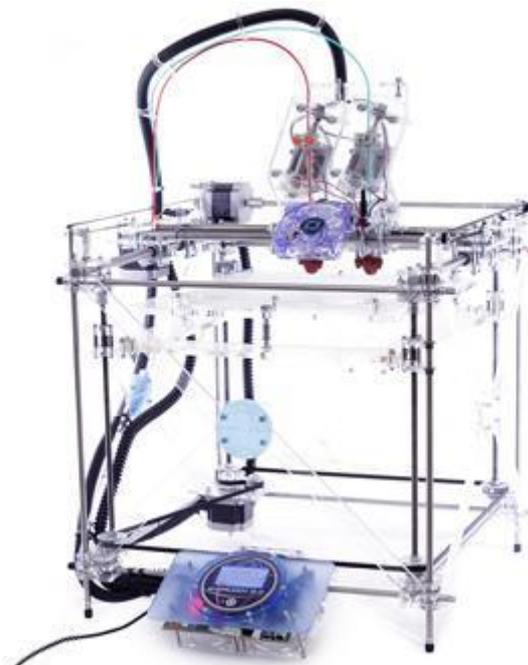
#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 Impressora BFB RapMan

Para compreender integralmente o funcionamento de uma impressora 3D, é essencial ter conhecimento dos elementos que a constituem. Cada peça desempenha um papel fundamental no processo de fabricação, desde a alimentação do material até a precisão da impressão. Portanto, explorar os principais componentes é fundamental para uma compreensão abrangente de como essas máquinas transformam designs digitais em objetos físicos complexos.

Neste trabalho, trabalhou-se com a impressora BFB RapMan (Figura 3), uma impressora 3D de baixo custo ideal para fins educacionais. RapMan é uma impressora FDM, o que significa que usa filamento plástico para criar peças impressas. O RapMan possui uma área de impressão de 270 x 205 x 210 mm, o que é suficiente para a maioria dos projetos. A impressora também está equipada com um bico extrusor de 0,4 mm, adequada para muitos tipos de materiais. Os outros componentes serão detalhados nos subitens a seguir.

Figura 3 - BFB RapMan



Fonte: Bites From Bytes (2011).

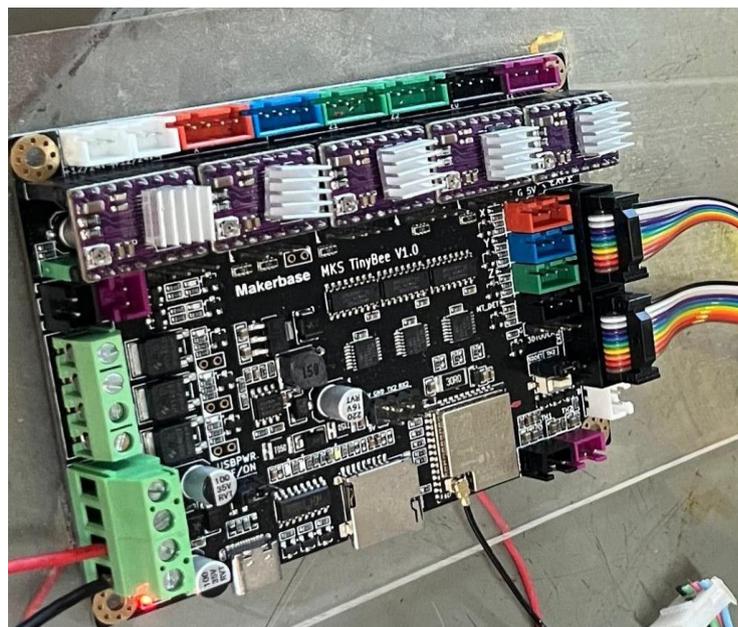
### 3.1.2 Placa de Controle

A placa de controle de uma impressora 3D é um dos componentes mais importantes, e desempenha um papel fundamental que dificilmente poderá ser substituído. A placa é responsável por coordenar e gerenciar os movimentos dos motores, o aquecimento dos filamentos, a extrusão do material e todos os outros processos que envolvem a impressão 3D.

Além dos componentes citados na Seção 3.1.1, a placa também é responsável pela conectividade da impressora com outros equipamentos, pode incluir portas USB, cartões SD ou outros meios de conectividade para carregar modelos 3D e iniciar a impressão. É importante salientar que existem diversos modelos de placas e a escolha de qual modelo utilizar deve ser feita pensando no tipo de impressora e quais condições necessárias para a operação.

Neste trabalho, foi utilizada a placa de controle MKS TinyBee Motherboard ESP32 (Figura 4), que oferece recursos avançados para impressoras 3D, com a possibilidade de atualização de firmware por meio de conexão USB e controle remoto via Wi-Fi, a placa oferece um conjunto de recursos inovadores. Equipada com o potente módulo ESP32-WROOM-32U, contendo um MCU dual-core de 32 bits com clock de até 240MHz, a placa é compatível com o firmware Marlin 2.0 e suporta uma variedade de telas, desde LCD2004 até LCD 12864 convencional e MKS MINI 12864 V3.

Figura 4 - Placa MKS TinyBee V1.0



Fonte: Do autor (2023).

### 3.1.1.2 Motores

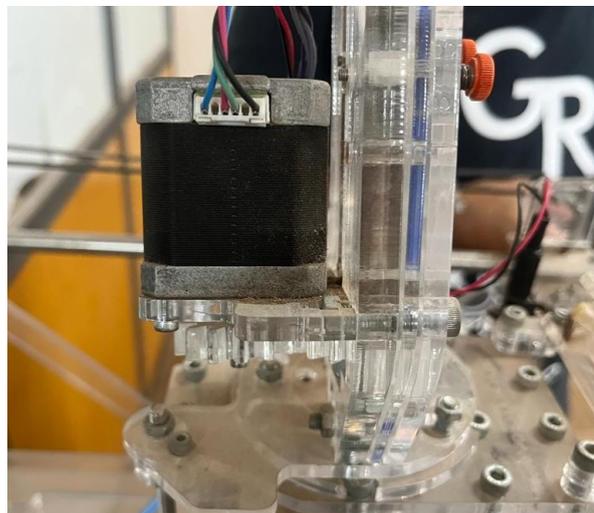
Os motores de um impressora 3D são responsáveis pelo movimento dos eixos que compõem a estrutura. Na aplicação de impressão 3D são utilizados motores de passos devido à sua capacidade de girar em incrementos discretos, chamados de passos, proporcionando controle preciso sobre a posição do eixo. Os motores podem ser divididos em 3 categorias.

**Motor de passo para o Eixo X e Y:** Esses motores são responsáveis pelo movimento horizontal da impressora. O motor de passo para o eixo X movimenta a cabeça de impressão da esquerda para a direita (ou vice-versa), enquanto o motor de passo para o eixo Y movimenta a plataforma de impressão para frente e para trás.

**Motor de passo Eixo Z:** Este motor é responsável pelos movimentos verticais, elevando ou abaixando a plataforma de impressão. Isso controla a altura da camada da impressão, neste trabalho foi utilizado o Motor M575TH 51-3008DCP(Figura5).

**Motor de Passo Eixo E:** O motor de passo associado ao extrusor controla a alimentação do filamento para a cabeça de impressão. Esse motor regula a quantidade precisa de filamento extrudido durante o processo de impressão, conforme Figura 5.

Figura 5 - Motor de Passo



Fonte: Do autor (2023).

### 3.1.1.3 Hotend

*Hotend* MK8 é um importante componente responsável por derreter e depositar filamentos plásticos para criar camadas consecutivas e formar o objeto desejado. Composto por um conjunto de componentes, o *Hotend* está localizado na extremidade do cabeçote de impressão da impressora.

Os principais componentes do *Hotend* incluem bicos, blocos de aquecimento, termistores, tubos de PTFE e, em algumas configurações, dissipadores de calor e ventiladores. O processo começa aquecendo o bico e o bloco de aquecimento com um elemento de aquecimento. Este aquecimento é necessário para amolecer e derreter o filamento plástico, à medida que é alimentado na extrusora. O Termistor é um sensor de temperatura que monitora continuamente a temperatura do *Hotend*, garantindo um controle preciso durante todo o processo de impressão. A tubulação é usada para guiar o filamento da extrusora até o bico, garantindo uma alimentação suave e controlada.

Figura 6 - *Hotend*



Fonte: Tecnocubo Soluções 3D (2021).

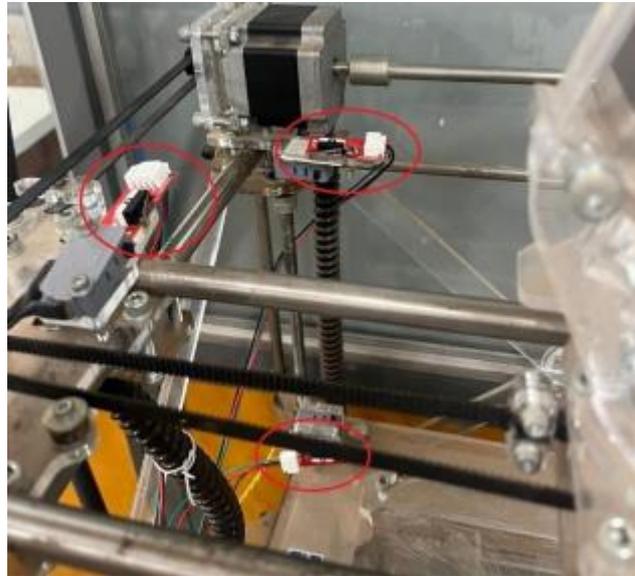
#### **3.1.1.4 Fim de Curso**

O fim de curso de uma impressora 3D é um componente essencial projetado para detectar e indicar a posição exata dos vários eixos da impressora durante o processo de fabricação (Figura 7). Também conhecidos como chaves fim de curso ou sensores limite, esses dispositivos estão estrategicamente localizados ao longo dos eixos X, Y e Z, bem como, em alguns casos, na extrusora.

Cada chave fim de curso é composta por uma chave mecânica ou um sensor óptico, neste projeto utilizou-se chaves mecânicas. Um interruptor mecânico é ativado quando uma peça física, como uma alavanca ou barra, é tocada durante o movimento do eixo, sinalizando que a impressora atingiu um determinado ponto em seu percurso.

A principal função do fim de curso é evitar colisões e garantir que a impressora 3D permaneça sempre dentro dos limites físicos e geométricos pré-determinados. Quando ativado, o interruptor de limite interrompe o movimento, evitando danos à máquina e garantindo consistência e precisão de impressão.

Figura 7 - Fim de Curso



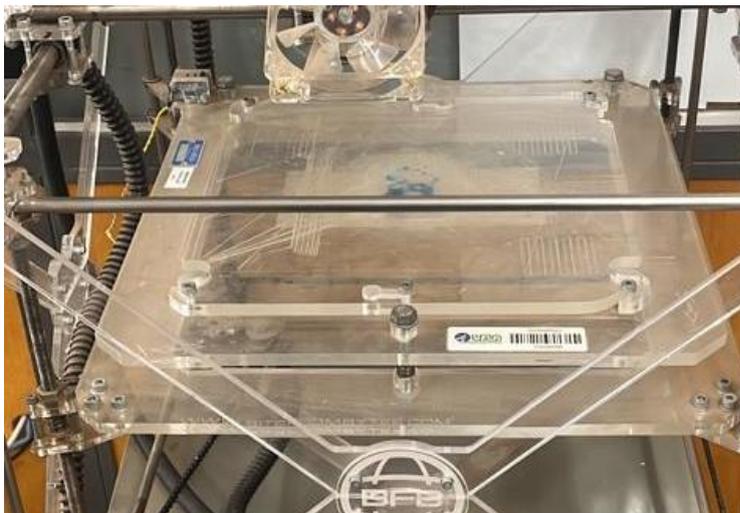
Fonte: Do autor (2023).

### 3.1.1.5 Mesa

A mesa de uma impressora 3D, também conhecida como cama de impressão ou área de impressão fica localizada na base da impressora, a mesa serve como superfície sobre a qual o objeto 3D é criado (Figura 8), camada por camada, a partir de filamento plástico fundido.

Os materiais e acabamentos das mesas podem variar, sendo o vidro, plástico e alumínio com revestimentos antiderrapantes (como vidro temperado). O principal objetivo da mesa é fornecer uma superfície plana e plana para impressão. Além disso, em alguns casos, a mesa pode ser aquecida, o que contribui para a aderência do material de impressão e evita problemas como deformação do filamento. O alinhamento adequado do tampo da mesa é essencial para garantir uma distribuição uniforme da primeira camada do objeto, o que afeta diretamente a qualidade da impressão final. A base geralmente é ajustável em vários pontos para compensar quaisquer irregularidades e garantir uma plataforma plana e estável para impressão.

Figura 8 - Mesa de impressão



Fonte: Do autor (2023).

### 3.1.1.6 Correias

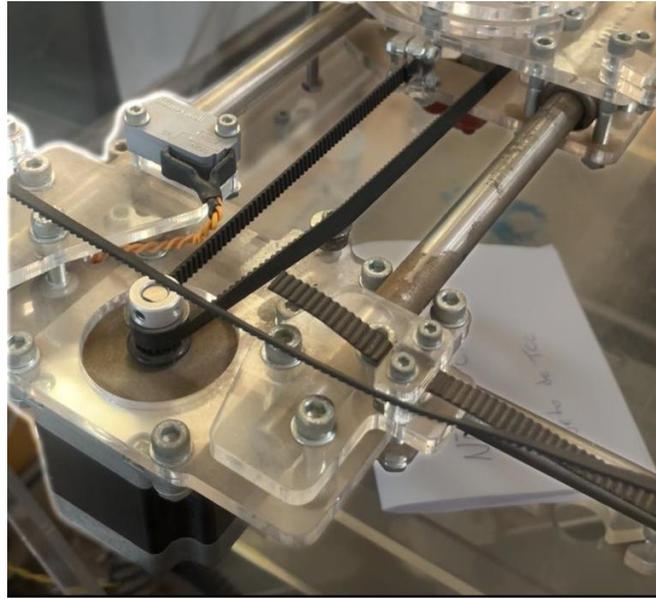
A correia de uma impressora 3D é uma peça mecânica essencial responsável pelo movimento preciso dos eixos, garantindo a devida sincronização e coordenação durante o processo de impressão. Frequentemente chamados de correias dentadas, esses itens são feitos de materiais duráveis, como borracha reforçada com fibra de vidro.

A correia dentada é instalada nos eixos X e Y da impressora 3D, conectando o motor de passo à parte móvel correspondente, como a cabeça de impressão ou a base de impressão. A superfície do dente da correia engrena com as polias dentadas do motor de passo para formar um sistema de acionamento por engrenagem.

Basicamente, a correia desempenha um papel importante na conversão do movimento rotacional do motor em movimento linear nos eixos da impressora. Isso resulta em deslocamentos precisos e controlados da cabeça de impressão ou da plataforma de impressão, possibilitando a construção camada a camada do objeto 3D.

A tensão adequada das correias é essencial para evitar folgas ou excesso de rigidez, otimizando assim a eficiência do movimento. O correto tensionamento das correias contribui diretamente para a precisão, qualidade e detalhes finais da impressão.

Figura 9 - Correia dentada



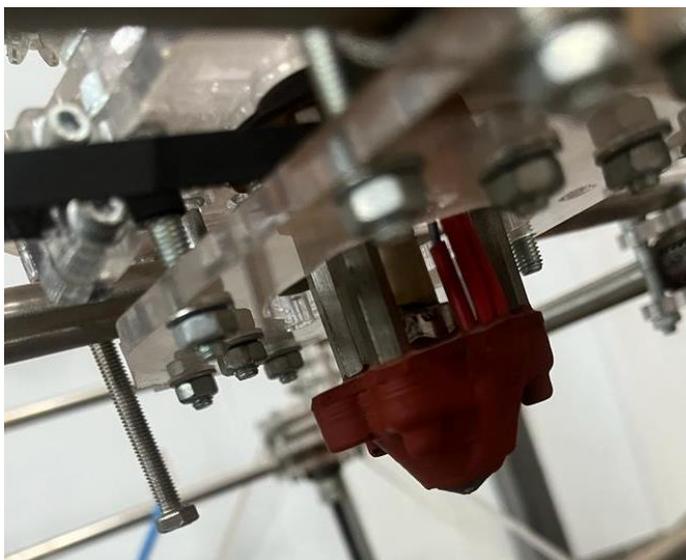
Fonte: Do autor (2023).

### 3.1.1.7 Bico Extrusor

O bico de uma impressora 3D é o componente básico de um *hotend*, esses bicos, também chamados de *nozzles*, desempenham um papel importante no processo de impressão 3D e são responsáveis por extrusar o filamento fundido e depositar com precisão as camadas que compõem o objeto tridimensional.

O bocal é uma peça cilíndrica, geralmente feita de metal de alta temperatura, localizada na extremidade do *hotend*. Há um orifício muito pequeno na extremidade através do qual o fio de plástico é empurrado durante a impressão. O diâmetro deste furo determina a largura da trilha de filamento depositada em cada camada, o que afeta diretamente a resolução e qualidade da impressão. Escolher o bico certo é a chave para uma impressão 3D bem sucedida. A utilização de bicos de diferentes diâmetros permite ajustar a espessura da camada e, portanto, a qualidade do produto final. Além disso, bicos com materiais específicos podem ser selecionados para processar diferentes filamentos.

Figura 10 - Bico extrusor



Fonte: Do autor (2023).

### 3.1.1.8 Filamento

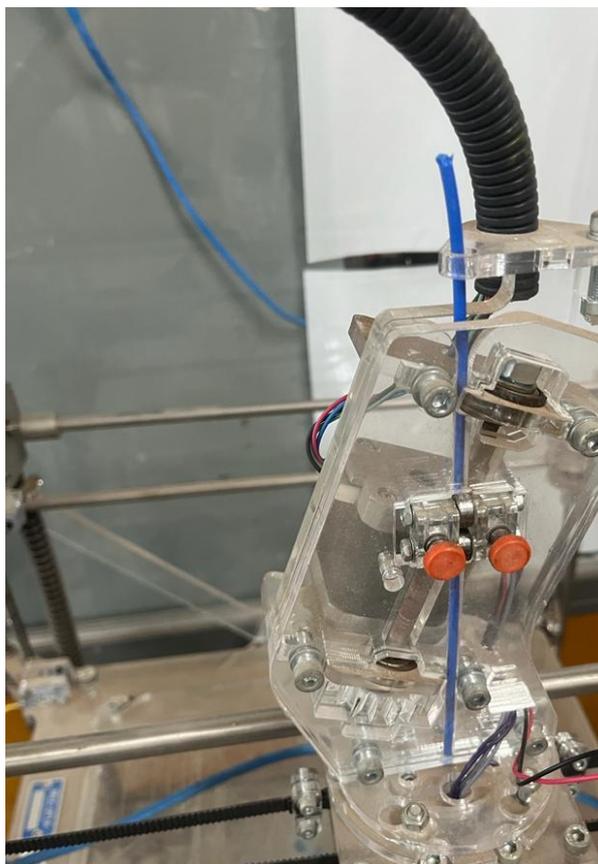
O filamento da impressora é um material usado para criar objetos tridimensionais. Esses filamentos são normalmente feitos de termoplásticos como PLA (ácido polilático), ABS (acrilonitrila butadieno estireno) e PETG (politereftalato de etileno glicol) e variam em cor e propriedades físicas.

O processo de impressão 3D envolve uma extrusão controlada e precisa do filamento através de um bico aquecido em uma impressora 3D. Os filamentos são dispostos em camadas sucessivas e solidificam rapidamente para formar a estrutura desejada.

Cada tipo de filamento possui propriedades únicas que o tornam adequado para diferentes aplicações. Por exemplo, o PLA é popular entre os iniciantes porque é biodegradável e fácil de imprimir. O ABS é conhecido por sua resistência mecânica e resistência a altas temperaturas. PETG combina força e transparência. Além dos termoplásticos tradicionais, também existem filamentos especiais como: B. Filamentos que oferecem propriedades únicas para aplicações específicas, como filamentos condutores, flexíveis, de madeira ou metálicos.

A seleção do filamento é crítica para as propriedades físicas e estéticas do objeto final. Fatores como temperatura de impressão, adesão à mesa, durabilidade, flexibilidade e acabamento superficial são influenciados pelo tipo de filamento selecionado.

Figura 11 - Filamento



Fonte: Do autor (2023).

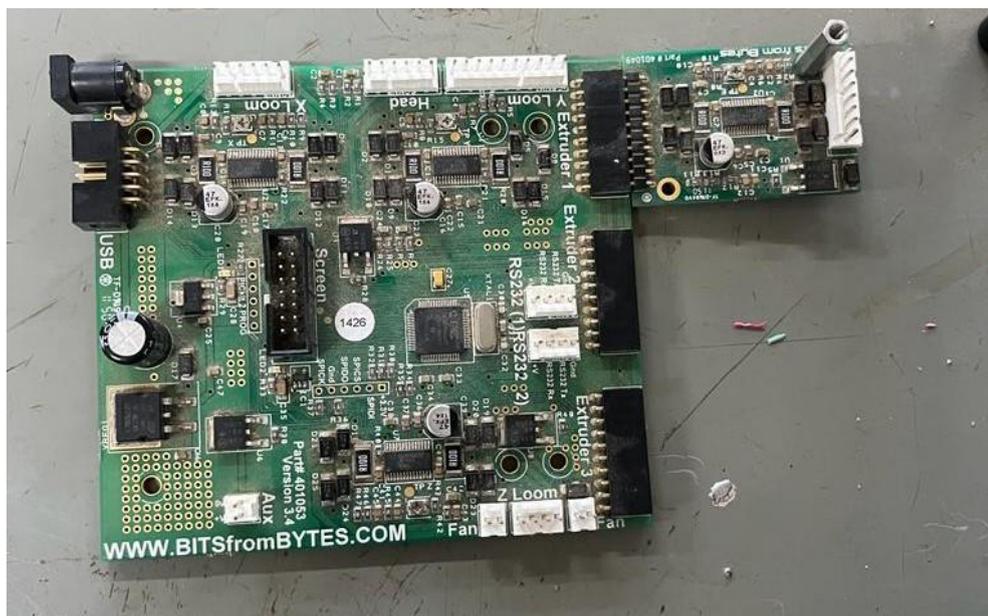
## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Análise do Funcionamento da Impressora 3D

Inicialmente foi realizada uma análise abrangente do funcionamento da impressora 3D, com foco na unidade disponível no DAT (Departamento de Automática). Um problema identificado na placa de controle inutilizou o dispositivo por algum tempo. Como o objetivo principal deste trabalho é conectar a impressora à Internet para possibilitar o controle remoto, foi imprescindível a aquisição de uma nova placa de controle para possibilitar essa integração, a escolhida foi a MKS TinyBee V1.0, isso ocorre porque as placas anteriores não incluíam este módulo obrigatório.

Para alcançar esta melhoria, todas as conexões existentes foram cuidadosamente removidas para que pudessem ser conectadas posteriormente à nova placa. Os detalhes específicos dessas conexões são detalhados e documentados neste trabalho, detalhando as alterações feitas para permitir a conectividade remota de impressoras 3D.

Figura 12 - Placa antiga



Fonte: Do autor (2023).

### 3.2.2 Identificação dos componentes da placa MKS TinyBee V1.0

A placa MKS TinyBee V1.0 é uma placa-mãe de impressora 3D baseada no chip ESP32. No contexto da análise da placa MKS TinyBee V1.0, é essencial realizar uma identificação abrangente dos seus componentes. Este processo envolve a minuciosa inspeção e reconhecimento de cada elemento presente na placa, tais como microcontroladores, resistores, capacitores, conectores e demais dispositivos integrados.

A identificação destes componentes é fundamental para compreender a funcionalidade e o funcionamento da placa, possibilitando um diagnóstico preciso, manutenção adequada ou, se necessário, substituição.

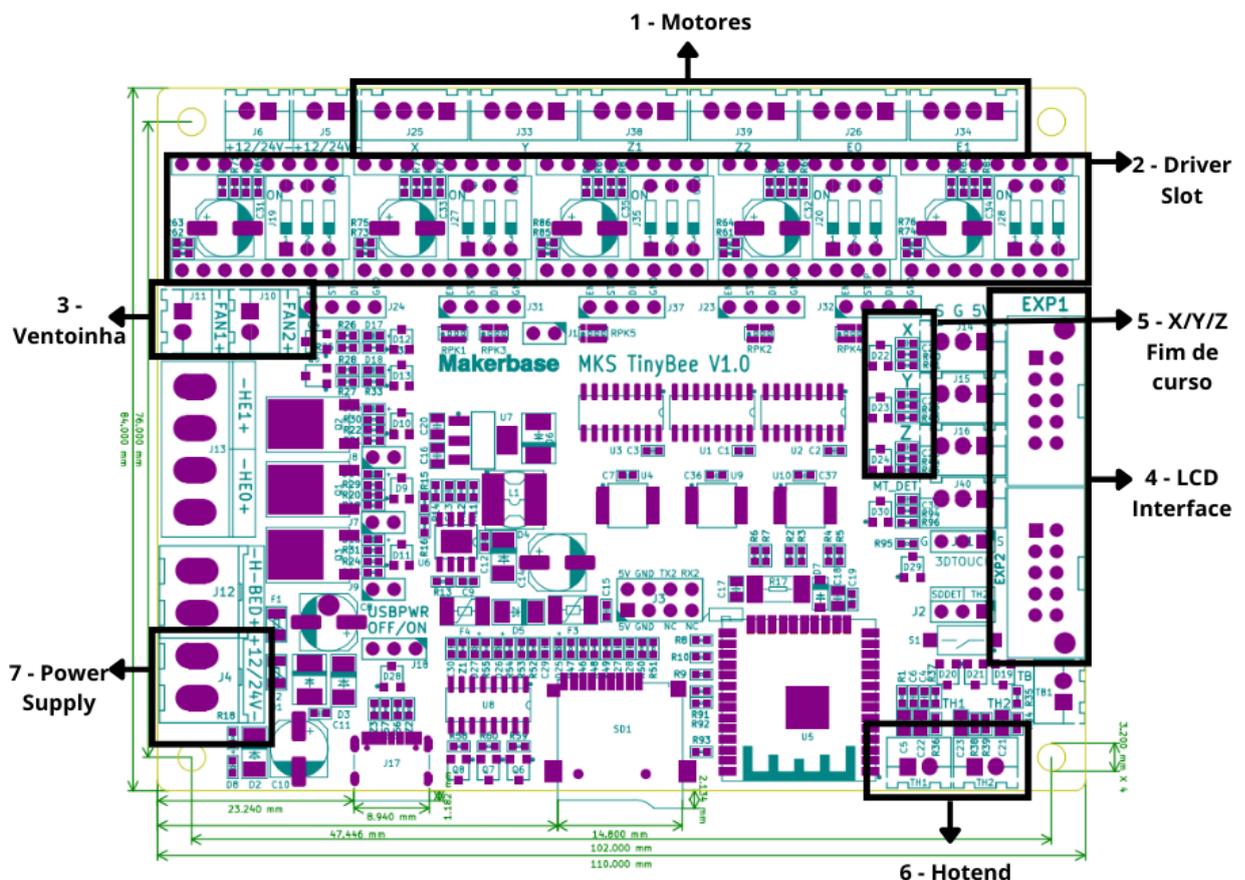
A seguir, são apresentados os componentes marcados de 1 a 7 na Figura 13, com uma breve descrição de suas funções:

- Componente 1 (Motores X, Y, Z, Z1, E1, E2): São os motores passo a passo responsáveis pelo movimento dos eixos na impressora 3D. O motor X movimenta o cabeçote para frente e para trás, o motor Y move o cabeçote para a esquerda e para a direita, o motor Z movimenta o cabeçote para cima e para baixo, enquanto os motores E1 e E2 controlam o avanço e retração do filamento na hotend.
- Componente 2 (Motor Drive Slot): Representa o encaixe onde os motores são conectados à placa, fornecendo energia e controle para esses componentes essenciais.
- Componente 3 (Fan1 e Fan2): São os ventiladores da impressora 3D, sendo o Fan 1

responsável pelo resfriamento da *hotend* e o Fan 2 pelo resfriamento da cama aquecida.

- Componente 4 (Exp1 e Exp2): São os conectores de expansão, com Exp1 destinado à conexão de um display LCD ou dispositivos similares, e Exp2 utilizado para conectar módulos de expansão, como controle de temperatura ou movimentação.
- Componente 5 (Fim de Curso X, Y, Z): Refere-se aos sensores que detectam os limites dos eixos X, Y e Z, prevenindo colisões do cabeçote com os limites físicos da impressora.
- Componente 6 (*Hotend*): São os conectores para os sensores de temperatura. O Th1 é o conector para o sensor de temperatura do *hotend*. O Th2 é o conector para o sistema de aquecimento.
- Componente 7 (*Power Supply*): É a fonte de energia da placa. A alimentação fornece energia para todos os componentes da placa.

Figura 13 - Esquemático - MKS Tinybee



Fonte: MKS GitHub (2022).

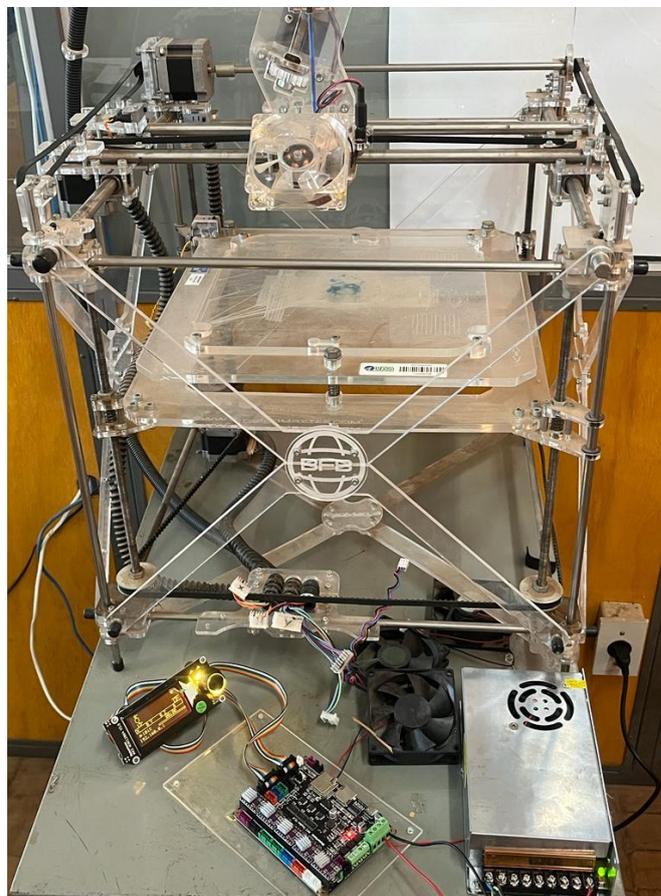
### 3.2.3 Configuração do Display LCD e Instalação da Fonte de Alimentação

O visor LCD desempenha uma função crucial na impressora 3D, proporcionando uma interface para a interação do usuário com o dispositivo. Simultaneamente, a fonte de alimentação assume a responsabilidade de fornecer energia a todos os componentes da impressora. O processo inicial envolveu a localização do conector da fonte de alimentação na placa, a conexão do cabo da fonte de alimentação ao respectivo conector na placa, e a fixação segura do cabo com um parafuso. Para essa configuração, utilizou-se a fonte de alimentação Durawell de 12 V e 30 A.

Para realizar a configuração do display LCD na placa MKS TinyBee V1.0, é necessário efetuar a conexão do display nos pinos EXP1 e EXP2, que são responsáveis pela interface LCD. O pino EXP1 corresponde ao pino de dados, enquanto o pino EXP2 é designado como o pino de alimentação.

Posteriormente, após a configuração da fonte de alimentação e do LCD, foi possível inicializar a impressora, resultando na exibição dos dados conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Instalação do LCD e da fonte de alimentação



Fonte: Do autor (2023).

### 3.2.4 Conexão dos Motores

Inicialmente, todos os cabos da impressora estavam separados e identificados com conectores diferentes. Os fios foram agrupados por motores, referentes aos eixos X, Y, Z e E, além da parte responsável pelo *hotend*. Primeiramente, separaram-se os cabos dos motores responsáveis pelos movimentos, ou seja, os motores X, Y, Z e E, sendo o E referente ao motor da extrusora. O motor utilizado foi o motor de passo bipolar M575TH 51-3008DCP, especificado na Figura 15. Trata-se de um motor de passo de alto torque, o que significa que ele pode gerar uma força significativa. Esse atributo é de importância crucial para impressoras 3D, pois permite que elas realizem impressões com materiais de alta densidade, como ABS e PLA.

Figura 15 - Motor M575TH 51-3008DCP



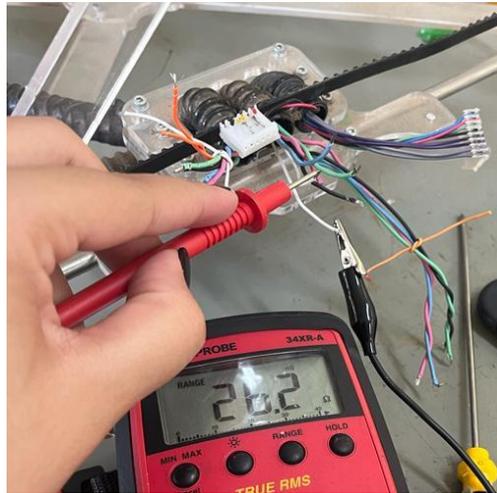
Fonte: Do autor (2023).

A identificação das bobinas de motores de passo é um passo essencial durante o processo de montagem e manutenção desses dispositivos. Para realizar essa tarefa, é necessário um multímetro ajustado para a escala de resistência. As pontas de prova do multímetro são cuidadosamente conectadas aos terminais do motor, e a variação nas leituras de resistência é observada à medida que as bobinas são identificadas.

Geralmente, os motores de passo possuem duas bobinas. A bobina A é identificada pela leitura de resistência mais baixa, enquanto a bobina B é identificada pela leitura de resistência mais alta. A correta identificação das bobinas é crucial para a subsequente conexão aos

controladores.

Figura 16 - Identificação das Bobinas

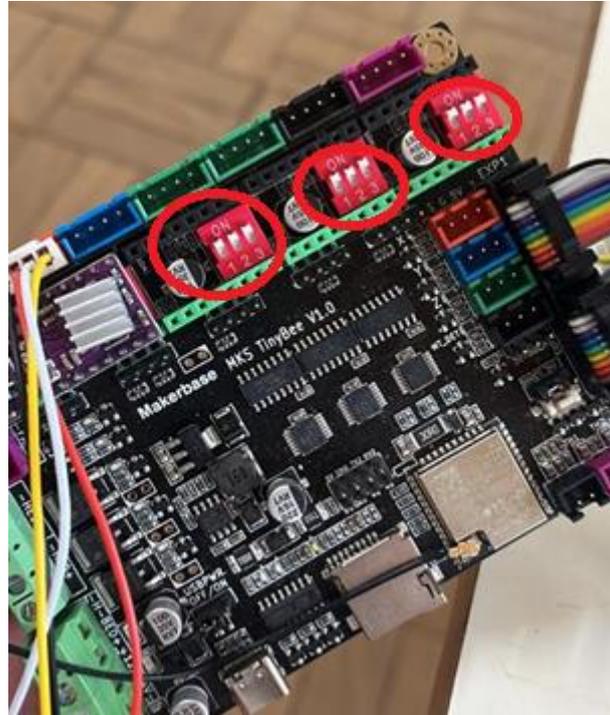


Fonte: Do autor (2023).

Após a identificação das bobinas, como mostrado na Figura 16, foi necessário soldar os fios dos motores à placa MKS, utilizando conectores JST com 4 pinos. Este procedimento foi realizado para todos os 4 motores. No entanto, antes de ligar a impressora, é necessário verificar e configurar todos os drivers, componentes fundamentais já conectados na placa de controle. Todos os drivers precisam estar em posição ON para assegurar o correto funcionamento da impressora, como mostrado na Figura 17. Isso se deve ao fato de que os drivers são responsáveis por fornecer energia aos motores de passo, e caso um driver esteja desligado, o motor correspondente não operará. Posteriormente, para ajustar a corrente de operação dos drivers, foi necessário efetuar as modificações no firmware da impressora.

O processo envolve abrir o firmware da impressora 3D, localizar as configurações dos drivers de motor, ajustar o valor da corrente de operação de cada driver, salvar as configurações do firmware e, por fim, garantir que a corrente de operação esteja ajustada de maneira adequada para evitar problemas como falta de torque ou superaquecimento dos motores. Essa etapa é crucial para assegurar um desempenho eficiente e seguro da impressora durante os processos de impressão 3D.

Figura 17 - Configuração dos Drivers



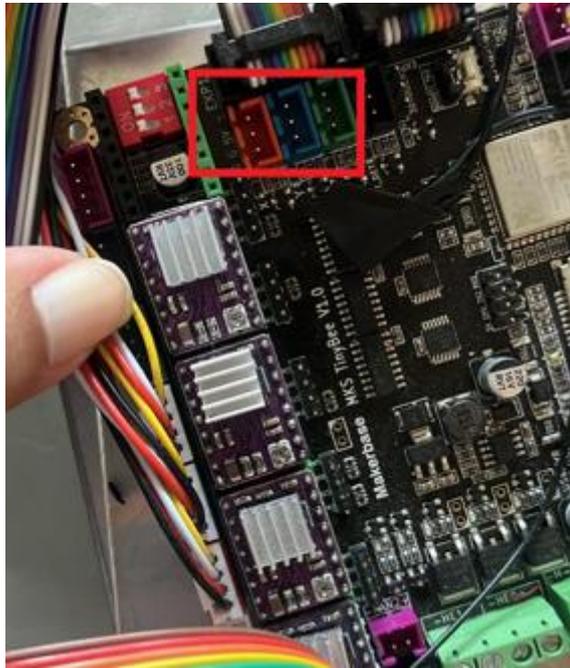
Fonte: Do autor (2023).

### 3.2.5 Ligação dos Sensores de Fim de Curso

Para conectar os sensores de fim de curso à placa MKS TinyBee V1.0, é essencial identificar os fios utilizando um multímetro. Nesse processo, configura-se o multímetro na escala de resistência e utiliza-se as pontas de prova nos fios de um mesmo sensor, quando um circuito elétrico está fechado, o multímetro indicará uma leitura de zero ohms e, se o aparelho possuir a função de beep, será emitido um sinal sonoro.

Na impressora 3D utilizada neste trabalho, todos os sensores de fim de curso são normalmente fechados. Após a identificação, os fios foram soldados e conectados à placa, em seus respectivos terminais que são indicados na Figura 18 a seguir. Para testar a funcionalidade dos sensores, bastava pressionar o botão correspondente a cada fim de curso, visto que os sensores utilizados na impressora BFB RapMan são de natureza mecânica.

Figura 18 - Localização dos pinos dos Sensores fim de curso

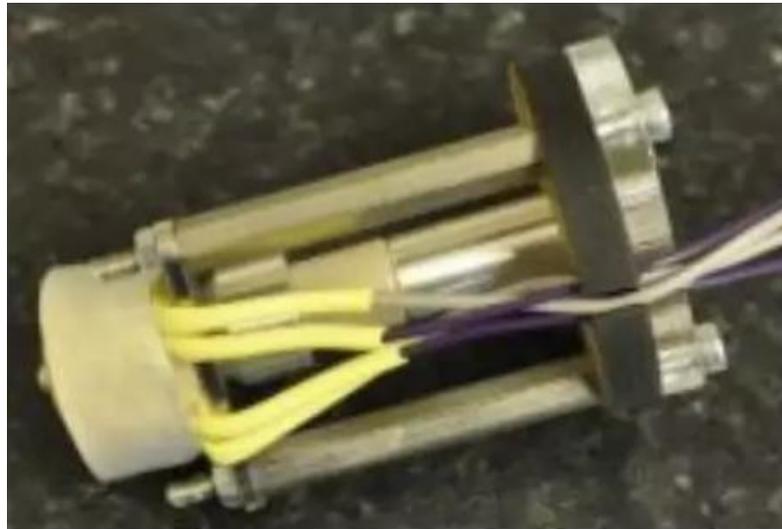


Fonte: Do autor (2023).

### 3.2.6 Instalação do *Hotend* e da *Ventoinha*

O *hotend* é uma parte essencial de qualquer impressora 3D, sendo responsável por aquecer o filamento até a temperatura necessária para sua extrusão e deposição na mesa de impressão. Pode ser dividido em duas partes distintas: o sistema de aquecimento, que tem a função de elevar o filamento à temperatura adequada para extrusão, e o termistor, um sensor encarregado de medir a temperatura do filamento, que podem ser observados na Figura 19. Este último emite um sinal elétrico para a placa-mãe da impressora, a qual utiliza esse sinal para controlar a temperatura do *hotend* durante o processo de impressão.

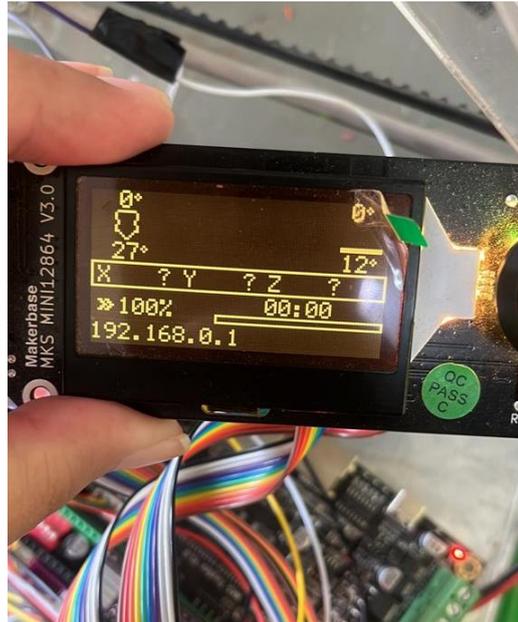
Figura 19 - Sistema de aquecimento e termistor



Fonte: BFB RapMan 3.2 manual (2011).

Diante da falta de informações sobre as conexões da antiga placa, recorreu-se ao multímetro para identificar e separar os fios do sistema de aquecimento e do termistor. O procedimento envolveu a utilização da corrente elétrica para a correta identificação do termistor, o qual deveria apresentar uma resistência na faixa de  $200k \Omega$  a  $300k \Omega$ , conforme especificado no manual do fabricante. Após a conexão dos fios em seus respectivos terminais a tela LCD apresentou a temperatura ambiente correta, como mostrado na Figura 20.

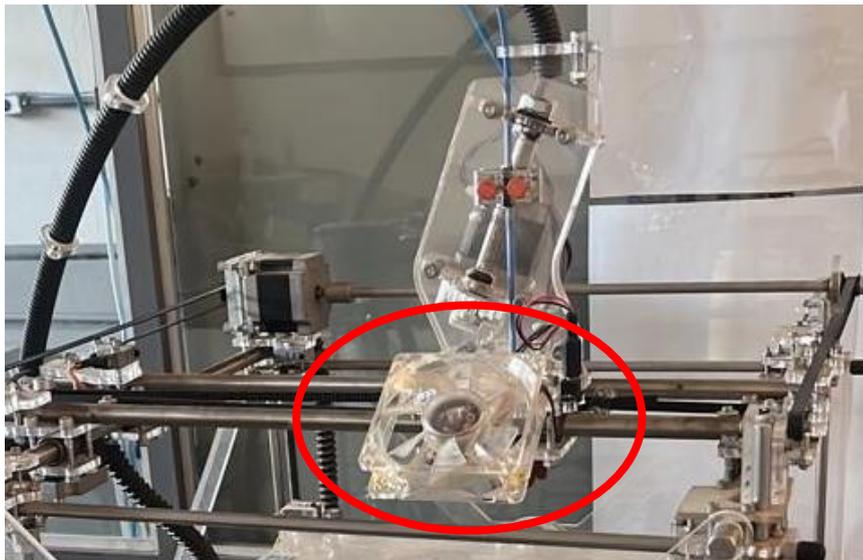
Figura 20 - Temperatura ambiente



Fonte: Do autor (2023).

Finalmente, o último componente a ser conectado foi a ventoinha. Por possuir somente dois terminais, sendo um positivo e um terra, foi de fácil implementação. Bastou soldar os fios e realizar a conexão no pino correspondente na placa. É importante destacar que a placa atual permite a conexão de até duas ventoinhas, que poderiam ser utilizadas no *hotend* e na mesa de impressão. No entanto, no escopo deste estudo, optou-se por trabalhar apenas com a ventoinha no *hotend*, (Figura 21).

Figura 21 - Ventoinha



Fonte: Do autor (2023).

### 3.2.7 Integração

A fase inicial do processo de integração da impressora envolve a configuração do firmware. Nesse contexto, foi essencial configurar o ESP32, que serve como o controlador central na placa MKS Tinybee. Os arquivos do firmware encontram-se disponíveis no repositório oficial da própria fabricante da placa. Além disso, foi necessário baixar os arquivos do Marlin, um firmware de código aberto projetado especificamente para impressoras 3D, e realizar adaptações no código para contemplar os componentes presentes na impressora BFB Rapman.

O primeiro passo consistiu na modificação do idioma exibido no LCD. No código-fonte, há opções pré-definidas para vários idiomas, e basta incluir a opção de português, utilizando "pt\_br", como ilustrado na Figura 22 a seguir.

Figura 22 - Código LCD

```

2047 // @section lcd
2048
2049 /**
2050  * LCD LANGUAGE
2051  *
2052  * Select the language to display on the LCD. These languages are available:
2053  *
2054  *   en, an, bg, ca, cz, da, de, el, el_CY, es, eu, fi, fr, gl, hr, hu, it,
2055  *   jp_kana, ko_KR, nl, pl, pt, pt_br, ro, ru, sk, sv, tr, uk, vi, zh_CN, zh_TW
2056  *
2057  * :{ 'en':'English', 'an':'Aragonese', 'bg':'Bulgarian', 'ca':'Catalan', 'cz':'Czech', 'da':'Danish',
2058  */
2059 #define LCD_LANGUAGE pt_br
2060
2061 /**

```

Fonte: Do autor (2023).

Após isso, é necessário definir o tipo de LCD que será utilizado (Figura 23), para o correto funcionamento. Nesse trabalho, utilizou-se o LCD MKS Mini 12864 V3. Como existem diversas opções de LCD no firmware, deve-se deixar somente a opção correspondente ativa, para que não haja conflito.

Figura 23 - Código LCD MKS MINI

```

2427 // MKS MINI12864 V3 is an alias for FYS|ETC_MINI_12864_2_1. Type A/B. NeoPixel RGB Backlight.
2428 //
2429 #define MKS_MINI_12864_V3
2430
2431 //
2432 // MKS LCD12864A/B with graphic controller and SD support. Follows MKS_MINI_12864 pinout.
2433 // https://www.aliexpress.com/item/33018110072.html
2434 //
2435 //#define MKS_LCD12864A
2436 //#define MKS_LCD12864B
2437
2438 //

```

Fonte: Do autor (2023).

A implementação do controle remoto foi iniciada após a conexão de todos os componentes, destacando a utilização da placa MKS Tinybee como um elemento-chave nesse processo. Esta placa proporciona a capacidade de controle remoto da impressora através do Wi-Fi disponibilizado. O primeiro passo envolveu o download de todos os arquivos relacionados ao ESP32, sendo crucial o uso do arquivo HTML para configurar a conexão Wi-Fi (Figura 24).

Vale ressaltar que, durante esse procedimento, o computador deve estar desconectado da rede Wi-Fi e conectado apenas à rede da placa "Marlin\_ESP", que possui como senha padrão "12345678". Ao ligar a impressora, torna-se possível acessar o endereço IP correspondente. No caso, o IP atribuído à impressora é 192.168.0.1. Posteriormente, procedeu-se com o upload do arquivo HTML disponibilizado no repositório oficial da MKS. Após essa etapa, a impressora está pronta para ser controlada remotamente.

Figura 24 - Configuração do controle Remoto

ESP3D Settings

Label	Value
Hostname	marin esp
HTTP protocol	Enabled
HTTP Port	80
Wi-Fi mode	Access Point
Station SSID	MARLIN_ESP
Station Password	*****
Station IP Mode	DHCP
Station Static IP	0.0.0.0
Station Static Gateway	0.0.0.0
Station IP Mode	DHCP
Station Static IP	0.0.0.0
Station Static Gateway	0.0.0.0
Station Static Mask	0.0.0.0
AP SSID	MARLIN_ESP
AP Password	*****
AP Static IP	192.168.0.1
AP Channel	1

Fonte: Do autor (2023).

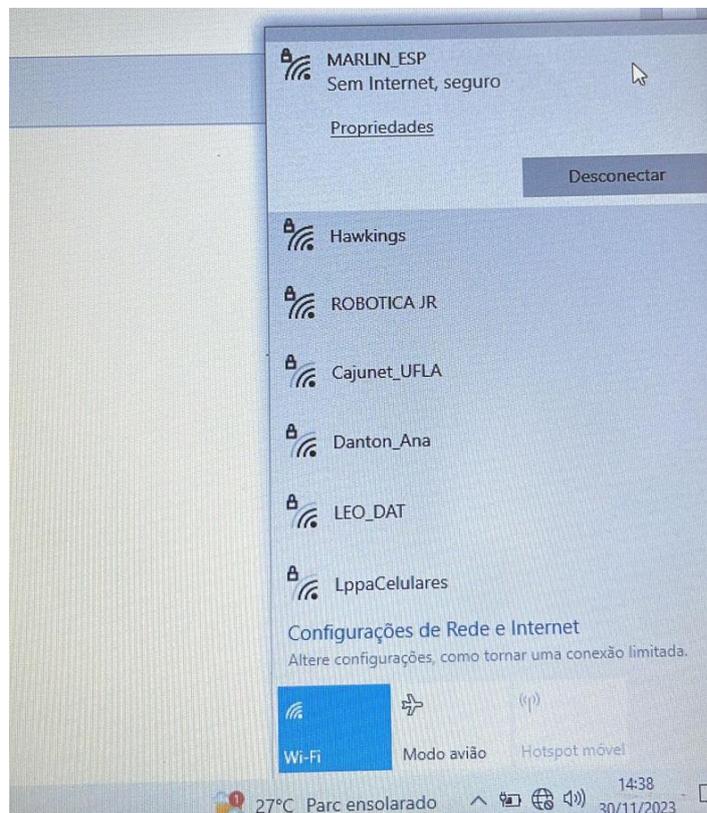
## 4 RESULTADOS

O processo de *retrofit* da impressora 3D BFB Rapman, com destaque para a implementação do controle remoto por meio da placa MKS TinyBee, resultou em avanços significativos e resultados positivos. Cada etapa foi planejada e executada com rigor, sendo submetida a testes para garantir o funcionamento correto.

Os sensores de fim de curso funcionaram perfeitamente, garantindo que os motores reconhecessem seus limites com eficiência. Ao mover os eixos X, Y, Z e E por meio do controle remoto ou local, observou-se um desempenho consistente e confiável.

A integração do Wi-Fi representou um avanço significativo, simplificando o processo de acesso e controle remoto da impressora. Após a configuração adequada do arquivo HTML, agora, sempre que a impressora é ligada, a rede "marlin\_esp" é automaticamente gerada (Figura 25). Essa rede possibilita a conexão direta com a impressora, sem a necessidade de se conectar a uma rede Wi-Fi externa. Essa conquista destaca não apenas a eficácia da implementação, mas também a facilidade de interação com a impressora, proporcionando uma experiência mais intuitiva e acessível.

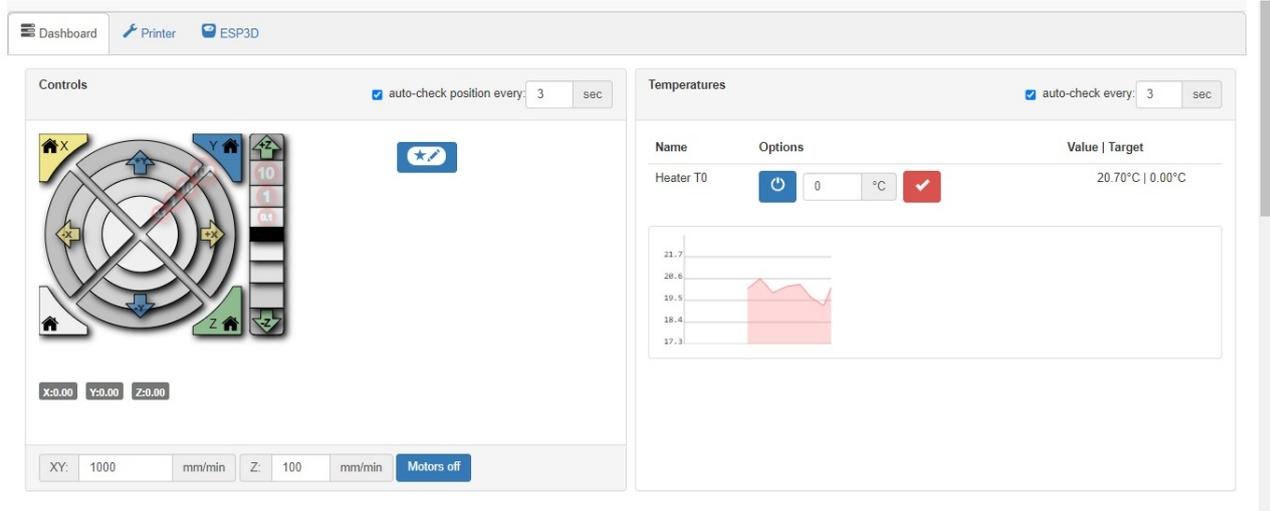
Figura 25 - Rede Wi-Fi



Fonte: Do autor (2023).

A integração do controle remoto representou um avanço positivo, permitindo o movimento dos eixos de forma precisa e confiável, além de proporcionar a flexibilidade de ajustar a velocidade (Figura 26). Além disso, a capacidade de monitorar a temperatura por meio de uma interface dedicada forneceu informações cruciais durante o processo de impressão.

Figura 26 - Controle Remoto



Fonte: Do autor (2023).

Esses resultados confirmam o sucesso do retrofit e abrem possibilidades para otimizações e expansões futuras.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 Conclusão**

Após a conclusão da integração e implementação das alterações na impressora, é evidente que os objetivos estabelecidos para este trabalho foram alcançados de maneira satisfatória. A introdução de uma nova placa, com recursos aprimorados, abriu portas para inúmeras modificações e melhorias na funcionalidade da impressora.

A inclusão do módulo Wi-Fi na placa representou um passo significativo, possibilitando a implementação do controle remoto, uma característica amplamente utilizada na indústria 4.0. Essa adição não apenas modernizou a impressora, mas também a posicionou de forma mais atualizada no contexto tecnológico.

Dessa forma, as modificações realizadas não apenas atenderam às expectativas, mas também proporcionaram uma atualização substancial à impressora, agregando mais versatilidade e conectividade.

### **5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros**

Durante a realização deste estudo, foram identificadas áreas que apresentam potencial para melhorias significativas na impressora 3D utilizada. Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se uma abordagem abrangente para aprimorar tanto a eficiência quanto a capacidade da impressora.

A mesa de impressão assume uma função essencial na preservação da qualidade das peças produzidas. Nesse contexto, a atualização para uma mesa de impressão aquecida apresenta-se como uma vantajosa melhoria para a impressora. Essa transição visa não apenas aprimorar a aderência do material durante o processo de impressão, mas também contribuir significativamente para a redução do warping, fenômeno que resulta na deformação da peça devido a variações de temperatura. O aquecimento controlado da mesa de impressão desempenha um papel fundamental na manutenção de uma temperatura constante, mitigando o efeito do warping e elevando a qualidade geral das impressões.

Sugere-se ainda considerar a adição de uma ventoinha na mesa de impressão como uma medida complementar. Essa ventoinha extra pode contribuir para reduzir ainda mais o warping, proporcionando um ambiente térmico mais uniforme. Essa melhoria na configuração, aliada à atualização da extrusora, não apenas aprimorará a qualidade das impressões, mas também prolongará a vida útil da impressora ao minimizar o desgaste ao longo do tempo.

Além disso, sugere-se explorar a integração de um sistema de controle remoto, como exemplo o OctoPrint, para oferecer maior flexibilidade e conveniência na gestão e

monitoramento remoto das impressões. Essa adição pode não apenas facilitar o acompanhamento do processo de impressão, mas também proporcionar funcionalidades avançadas de gerenciamento.

Essas recomendações visam não apenas otimizar aspectos específicos da impressora 3D, mas também contribuir para uma experiência de impressão mais eficiente e adaptável. A implementação dessas melhorias pode representar uma evolução significativa no contexto de futuros trabalhos e pesquisas relacionadas à impressão 3D.

## REFERÊNCIAS

- BASTOS, M. R. **O uso de impressão 3D para prototipagem na indústria automobilística.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 30 p, 2021.
- BITS FROM BYTES. **RAPMAN 3.2 3D PRINTER KIT ULTIMATE (DH-NS).** [S. l.], 21 nov. 2023. Disponível em: <https://elco.crsndoo.com/bfb/www.bitsfrombytes.com:8080/eur/store/rapman-32-3d-printer-kit-ultimate-dh-ns>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- BURTET, L. **O que é a Indústria 4.0.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://49educacao.com.br/inovacao/industria-4-0/>. Acesso em: 4 dez. 2023.
- PALMA, F. C.; KAPPLER, A. F. (2015) **O que é e como funciona uma impressora 3D.** Disponível em: . Acesso em: 04 Dez. 2023.
- EV DESIGN & MANUFACTURING. **Ford recycling HP 3D printer powder waste into auto parts.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.evdesignandmanufacturing.com/article/ford-recycling-hp-3d-printer-powder-waste-auto-parts/#:~:text=Ford%20is%20teaming%20up%20with,unlikely%2C%20Earth%2Dfriendly%20solution>. Acesso em: 4 dez. 2023.
- FIT ENGINEERING SYSTEM. **Manufatura Aditiva e Subtrativa, quais as diferenças e quando usar.** Sorocaba, SP, 2021. Disponível em: <https://fit-tecnologia.com.br/manufatura-aditiva-e-subtrativa/>. Acesso em: 4 dez. 2023.
- GE. **GE Aviation using additive manufacturing to improve jet engine performance.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/industries/aviation-aerospace>. Acesso em: 4 dez. 2023.
- GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing.** New York: Springer, 2014. 512 p.
- TAKAGAKI, L. K. **Tecnologia de impressão 3D.** *Revista Inovação Tecnológica*. v. 2, n. 2, p. 28-40, Jul./Dez. 2012.
- MARKERBASE. **MKS-TinyBee.** A mainboard for 3d printing, based on ESP32 module. Disponível em: <https://github.com/makerbase-mks/MKS-TinyBee> Acesso em: 21 nov. 2023.
- PEREIRA, M. V. *et al.* (2023). Guia detalhado para montagem própria de impressoras 3D. *Química Nova*, v. 46, n. 8, p. 822–827, 2023.
- SACOMANO, L. R. *et al.* **Indústria 4.0.** São Paulo: Blucher, 2018. 182 p.
- SANTANDER. **Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial: entenda o que é e os principais conceitos.** [S. l.], [S. d.]. Disponível em: <https://santandernegociosempresas.com.br/conhecimento/inovacao-tecnologia/industria-4-0/>.

Acesso em: 4 dez. 2023.

SANTOS, B. *et al.* Industry 4.0: challenges and opportunities. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: Edipro, 2016. 160 p.

SOLECTRO. **Componentes de impressoras 3D - como funcionam as impressoras 3D**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://solectroshop.com/pt/blog/componentes-da-impressora-3d-a-medida-que-as-impressoras-3d-funcionam-n40>. Acesso em: 4 dez. 2023.

## ANEXO A – CÓDIGO DE DEFINIÇÃO DO TAMANHO DA MESA

Figura 27 - Código de definição do tamanho da mesa

```
1368
1369 // @section machine
1370
1371 // The size of the printable area
1372 #define X_BED_SIZE 200
1373 #define Y_BED_SIZE 200
1374
1375 // Travel limits (mm) after homing, corresponding to endstop positions.
1376 #define X_MIN_POS 0
1377 #define Y_MIN_POS 0
1378 #define Z_MIN_POS 0
1379 #define X_MAX_POS X_BED_SIZE
1380 #define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
1381 #define Z_MAX_POS 100
1382 // #define I_MIN_POS 0
1383 // #define I_MAX_POS 50
1384 // #define J_MIN_POS 0
1385 // #define J_MAX_POS 50
1386 // #define K_MIN_POS 0
1387 // #define K_MAX_POS 50
1388
1389 /**
1390  * Software Endstops
1391  *
1392  * - Prevent moves outside the set machine bounds.
1393  * - Individual axes can be disabled, if desired.
1394  * - X and Y only apply to Cartesian robots.
```

Fonte: Do autor (2023).

## ANEXO B – CÓDIGO DE DEFINIÇÃO DA TEMPERATURA DA MESA

Figura 28 - Código de definição da temperatura da mesa

```
1551 /**
1552  * Auto-leveling needs preheating
1553  */
1554 //#define PREHEAT_BEFORE_LEVELING
1555 #if ENABLED(PREHEAT_BEFORE_LEVELING)
1556   #define LEVELING_NOZZLE_TEMP 120 // (°C) Only applies to E0 at this time
1557   #define LEVELING_BED_TEMP    50
1558 #endif
1559
1560 /**
1561  * Enable detailed logging of G28, G29, M48, etc.
1562  * Turn on with the command 'M111 S32'.
1563  * NOTE: Requires a lot of PROGMEM!
1564  */
1565 //#define DEBUG_LEVELING_FEATURE
```

Fonte: Do autor (2023).