

---

## DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D DO TIPO FFF COM SISTEMA MULTIMATERIAL E MULTIFERRAMENTA

SILVA, Felipe<sup>1</sup>  
MARQUES, Vinicius Abrão da Silva<sup>2</sup>  
SHIMANO, Marcos Massao<sup>3</sup>

---

Recebido em: 2021.12.15

Aprovado em: 2022.03.14

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.3986

---

**RESUMO:** A impressão 3D do tipo FFF é uma das poucas técnicas que oferece a possibilidade de manufatura aditiva com múltiplos materiais, porém, devido a problemas nos processos comerciais atuais, a adesão do grande público a esta tecnologia ainda é baixa. Portanto, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma impressora 3D capaz de imprimir múltiplos materiais em um único processo por meio de um sistema multiferramentas com um baixo custo. Foram desenvolvidos um sistema de posicionamento de diferentes tipos de ferramentas (capazes de imprimir diferentes materiais), ferramentas com acoplamento ao carro de impressão e um sistema para auto nivelamento da mesa com o bico de impressão. Após a construção da impressora, foram realizados testes para calibrar o auto nivelamento do bico de impressão, verificar o alinhamento das ferramentas e qualidade de impressão. Os testes realizados de confiabilidade e alinhamento apresentaram resultados muito bons, proporcionando a impressão de peças com grande qualidade. Além disso, a impressão com dois materiais diferentes foi muito interessante no sentido de possibilitar a retiradas dos suportes sem grandes dificuldades. A impressora construída para este trabalho utilizou apenas duas ferramentas, mas com os resultados obtidos e a metodologia desenvolvida, será possível utilizar até 5 ferramentas diferentes, abrindo a possibilidade de utilizar ferramentas não apenas de impressão 3D, mas de micro usinagem, gravação ou corte a laser e até mesmo de pintura. Portanto, novas possibilidades para auxiliar nos processos de prototipagem rápida foram criadas com o equipamento desenvolvido neste trabalho.

**Palavras-chave:** Manufatura Aditiva. Troca de Ferramentas. FDM<sup>®</sup>.

## DEVELOPMENT OF A FFF TYPE 3D PRINTER WITH MULTI-MATERIAL AND MULTI-TOOL SYSTEM

**SUMMARY:** FFF 3D printing is one of the few techniques that offers the possibility of additive manufacturing with multiple materials, however, due to problems in current commercial processes, the general public's adherence to this technology is still low. Therefore, this work aimed to develop a 3D printer capable of printing multiple materials in a single process through a multi-tool system with a low cost. A system for positioning different types of tools (capable of printing different materials), tools with good coupling to the print carriage and a system for self-levelling the printing table were developed. After the 3D printer's construction, tests were performed to calibrate the self-levelling process, check the alignment of the tools and check printing quality. The reliability and alignment tests carried out showed very good results, providing good quality prints. In addition, printing with two different materials was very interesting in terms of allowing support removal without difficulties. The printer built for this work used only two tools, but with the results obtained and the methodology developed, it is possible to use up to 5 different tools, opening the possibility of using tools not only for 3D printing, but for micro-machining, laser engraving or laser cutting and even painting. Therefore, new possibilities to assist in rapid prototyping processes were created with the equipment developed in this work.

**Keywords:** Additive Manufacturing. Tool Changing. FDM<sup>®</sup>.

---

<sup>1</sup> UFTM - Universidade Federal do Triângulo Mineiro. ICTE - Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas. PMPIT - Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica.

<sup>2</sup> ORCID ID- <https://orcid.org/0000-0002-5499-0404> UFTM - Universidade Federal do Triângulo Mineiro. ICTE - Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas. Dem- Departamento de Engenharia Mecânica. PMPIT - Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica.

<sup>3</sup> ORCID ID- <http://orcid.org/0000-0002-9276-2939> UFTM - Universidade Federal do Triângulo Mineiro. ICTE - Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas. Dem- Departamento de Engenharia Mecânica. PMPIT - Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica.

## 1 INTRODUÇÃO

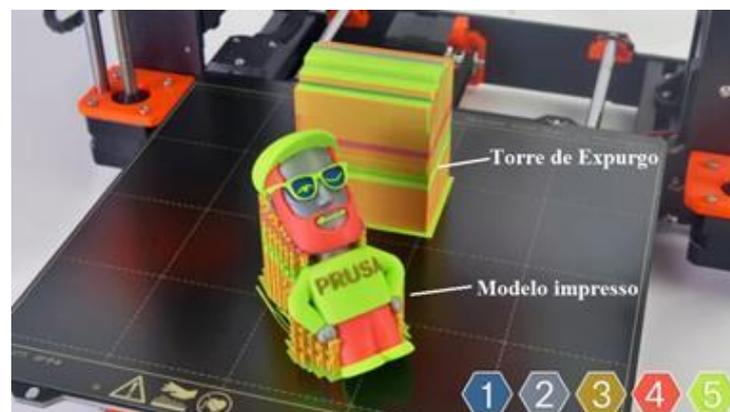
A manufatura aditiva (comumente conhecida por impressão 3D), apesar de ter sido criada na década de 1980, começou a ser amplamente utilizada apenas a partir dos anos 2010, devido à queda das principais patentes do ramo. Existem vários tipos de impressão 3D (fabricação por filamento fundido – FFF; estereolitografia – SLA; sinterização seletiva a laser – SLS; etc.), e a tecnologia mais difundida mundialmente é a FFF, em virtude principalmente do movimento REPRAP, que idealizou um projeto de baixo custo com a utilização de *softwares* livres (MAXIMIANO, 2015).

Fácil acesso a partes mecânicas e eletrônicas, baixo custo de matéria prima, fácil manutenção e maquinário acessível proveniente da manufatura chinesa são as principais características que ajudaram na dispersão das impressoras 3D tipo FFF. Além disso, esta tecnologia é capaz de disponibilizar a impressão 3D multimaterial, onde vários materiais podem ser utilizados na concepção da peça final, agregando características mecânicas em pontos específicos do modelo impresso e ainda utilizando suporte solúvel, técnica que permite o design e prototipagem de estruturas complexas (DURAN, 2015).

Os processos de manufatura aditiva multimaterial mais acessíveis do mercado atual utilizam dois métodos diferentes. Uma das técnicas consiste em um único bico extrusor por onde vários materiais são extrudados, e a outra, o carro da impressora 3D possui vários bicos em que cada um é responsável por seu respectivo material.

No primeiro método, como cada tipo de filamento utilizado possui temperatura de trabalho diferente, as transições frequentes desta temperatura tendem a agregar instabilidade na extrusão de cada material, o que aumenta a tendência de entupimento do bico extrusor, ocasionando falhas de impressão. Além disso, a cada troca de material é necessário expurgar o filamento utilizado anteriormente que se acumulou no bico de impressão, ocasionando perdas significativas de matéria prima no processo com a criação de uma torre de expurgo (Figura 1).

**Figura 1** – Torre de expurgo ao lado de um modelo impresso em 3D.



Fonte: Adaptado de ALL3DP (2021)

No segundo método, o peso excessivo do carro de impressão (devido à utilização de vários bicos de impressão em um só local) causa o aparecimento de características indesejáveis na superfície da peça impressa (Figura 2) provenientes de vibrações do conjunto, sendo necessário utilizar baixas velocidades de impressão para eliminar este problema (LEVINSKAS, 2019). Além disso, o alinhamento entre tais bicos se torna oneroso e dificulta o processo de manufatura aditiva, aumentando a probabilidade de falhas de impressão por colisão entre os bicos não utilizados e a peça impressa.

**Figura 2** – Característica indesejável na superfície da peça impressa em 3D à direita.

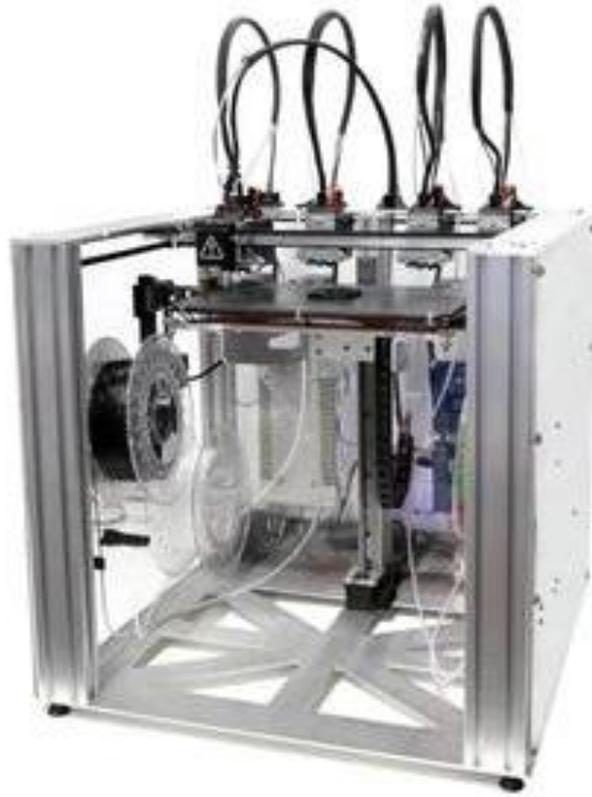


Fonte: LEVINSKAS, 2019

Devido aos problemas que estes métodos de impressão podem apresentar, surgiu uma outra tecnologia, que consiste em utilizar um sistema de troca de ferramentas, onde cada uma possui um material diferente. Segundo Dabic (2019), uma impressora com a habilidade de troca de ferramentas pode disponibilizar a característica de trabalhar com vários materiais e manter baixas taxas de inércia de movimento, uma vez que cada bico extrusor trabalha separadamente de seu adjacente. Desta forma adquire-se maior confiabilidade no processo de impressão 3D, agregando velocidades de impressão mais altas, com custo mais baixo e com melhor acabamento. Atualmente existe uma única máquina comercialmente disponível no mercado mundial com tais características, a Impressora 3D *Tool Changer* da empresa E3D® (Figura 3).

Este tipo de impressora possui um carro de impressão com um sistema de travamento que possibilita utilizar cada ferramenta de impressão separadamente e trabalhar na mesma camada quantas ferramentas forem necessárias.

**Figura 3** – Impressora 3D que utiliza sistema de multimateriais e multiferramentas *Tool Changer* - E3D®.



Fonte: adaptado de E3D (2021)

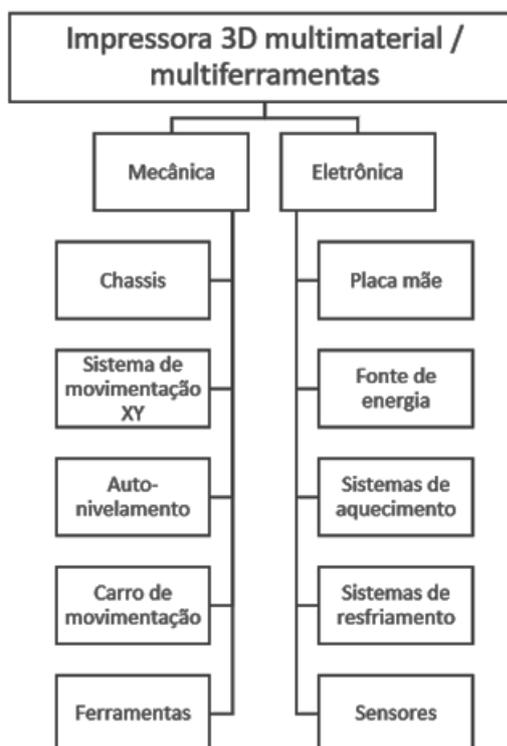
Porém o seu custo ainda é muito elevado, chegando a £5.000,00 (libras), ou aproximadamente R\$30.000,00 com a cotação atual. Portanto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de troca de ferramentas com grande precisão para uma impressora 3D multimaterial do tipo FFF a um baixo custo.

## 2 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro.

O desenvolvimento do projeto foi dividido em duas grandes áreas (Mecânica e eletrônica) e depois dividido em partes por meio da Estrutura Analítica de Projeto - EAP apresentada na Figura 4.

**Figura 4** – Estrutura Analítica de Projeto (EAP) para o desenvolvimento de uma impressora multimaterial/multiferramentas

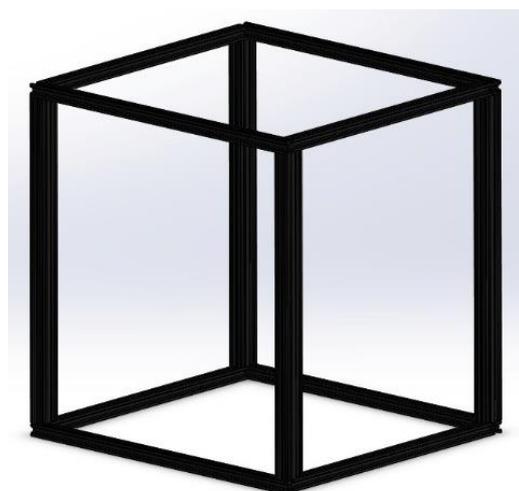


Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

## 2.1 Sistema mecânico

A parte estrutural da impressora (chassis) foi desenvolvida em perfil de alumínio estrutural, numa geometria rígida que possibilitou adaptar todos os sistemas (Figura 5).

**Figura 5** – Estrutura da impressora feita em alumínio estrutural

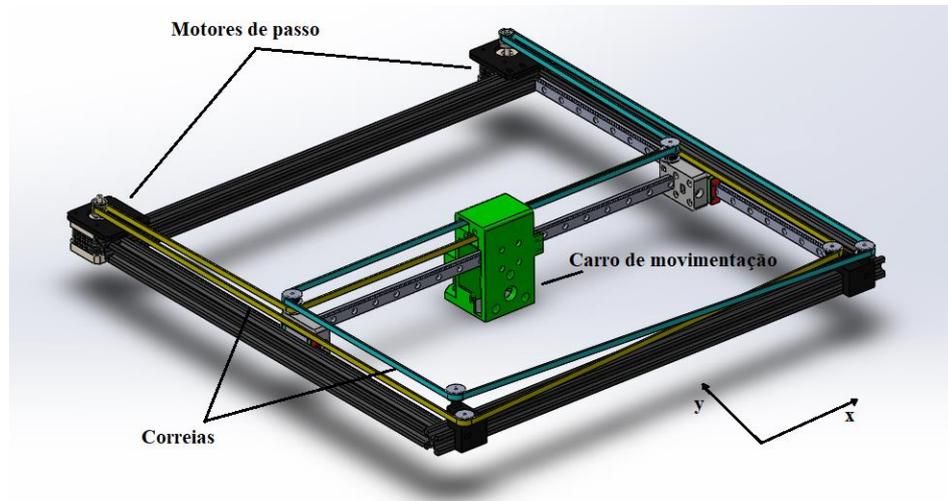


Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Para a movimentação XY (responsável pela largura e comprimento da peça impressa) foi projetado um sistema COREXY como na Figura 6. Devido ao conjunto de polias e correias

utilizado, os esforços de movimentação do sistema se distribuem igualmente nos motores de passo estacionários (DABIC, 2019), possibilitando atingir maiores velocidades de impressão.

**Figura 6** – Sistema de movimentação COREXY projetado para os eixos X e Y da impressora



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

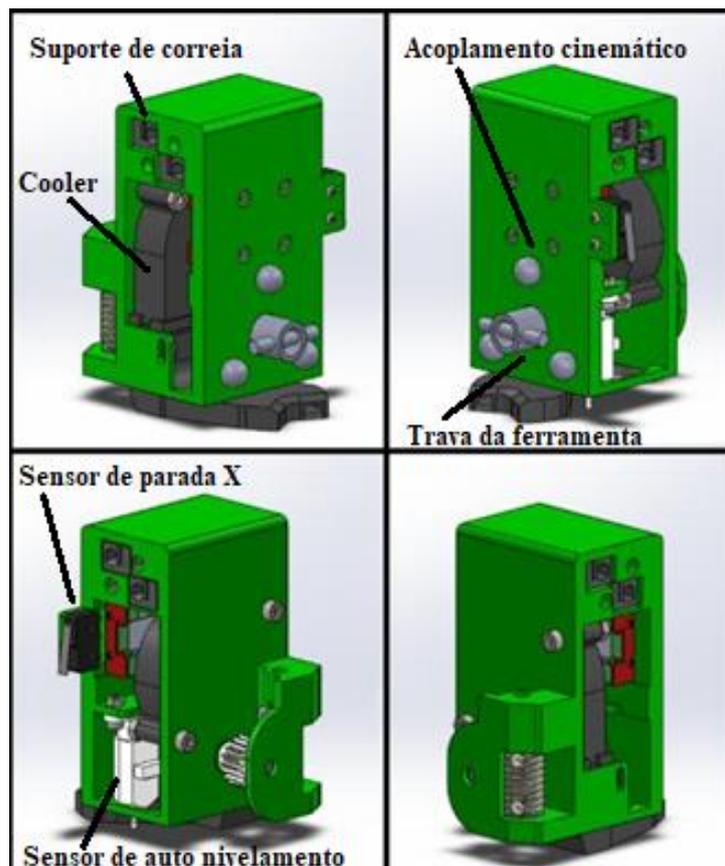
Devido aos esforços impostos durante a movimentação do carro, os suportes de sustentação da guia do eixo X não puderam ser feitos impressos, portanto, foram fabricados em alumínio, garantindo uma montagem mais robusta e precisa do sistema de movimentação XY (Figura 7).

**Figura 7** – Sistema XY montado na impressora.



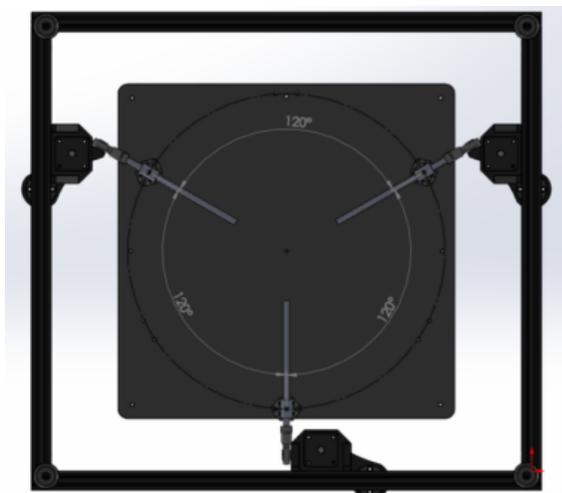
Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

O carro de movimentação XY (Figura 8) é o responsável por suportar vários sistemas e componentes fundamentais de uma impressora, sendo elas: sistema de trava e tensionamento das correias COREXY; trava das ferramentas; sensor de auto nivelamento Z; patins e sensor de parada do eixo X; cooler de impressão; e acoplamento cinemático (sistema fundamental para garantir a repetibilidade de posicionamento entre o carro e as ferramentas de impressão).

**Figura 8** – Projeto do carro de movimentação XY.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Para o eixo Z (responsável pela altura da peça impressa) foi projetado um sistema de movimentação em três eixos distintos e paralelos (Figura 9), que em conjunto com um sensor de auto nivelamento, é capaz de fazer o nivelamento total da mesa de impressão com o sistema COREXY de forma automática, proporcionando a impressão de camadas até 0,05mm de espessura.

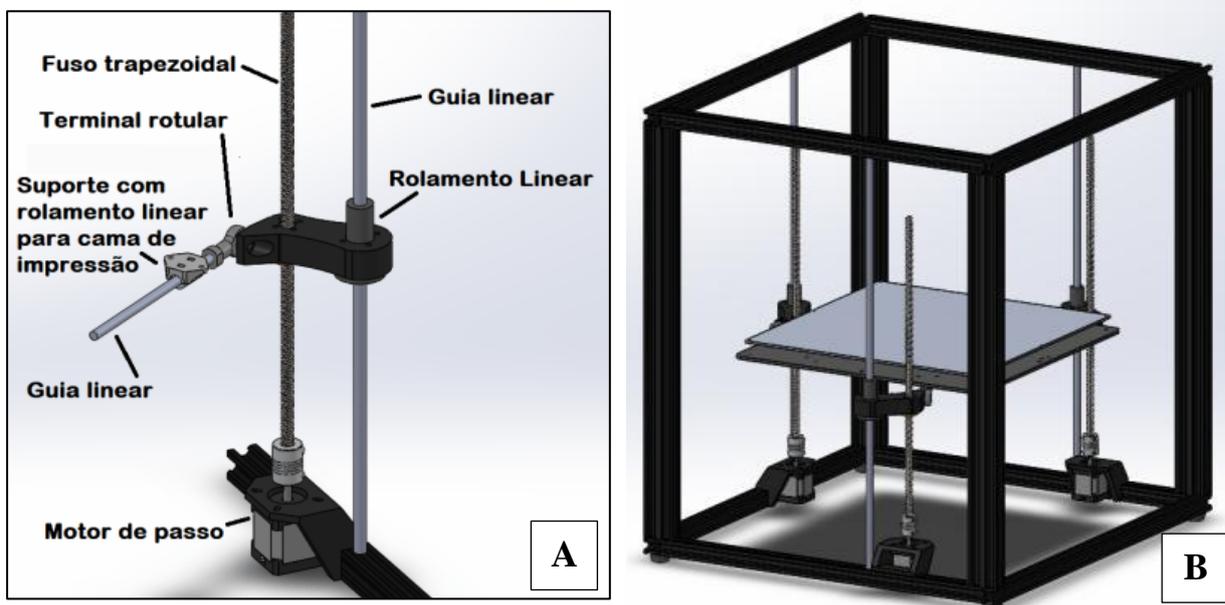
**Figura 9** – Projeto do sistema de movimentação Z utilizando 3 eixos independentes.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Cada eixo de movimentação foi composto por uma guia com rolamento linear e um fuso trapezoidal acionado por um motor de passo (Figura 10A).

Cada conjunto foi interligado a um suporte na cama de impressão com dois graus de liberdade (um de rotação e um de translação) provenientes da utilização de um terminal rotular em conjunto com um par eixo/rolamento linear. Com isso, foi possível uma movimentação em três dimensões para a cama de impressão. Esta movimentação faz com que o sistema de auto nivelamento faça as autocorrecções sem causar esforços torcionais nos outros componentes mecânicos. O projeto final do sistema de movimentação Z pode ser observado na Figura 10B.

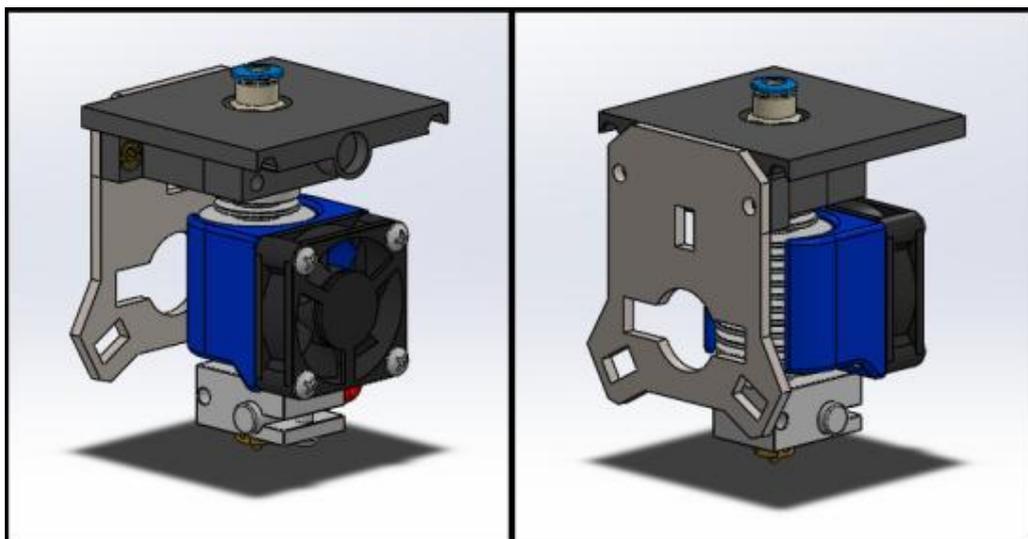
**Figura 10** – Sistema de movimentação no eixo Z. A-Componentes do eixo Z. B-Estrutura do eixo Z na impressora.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

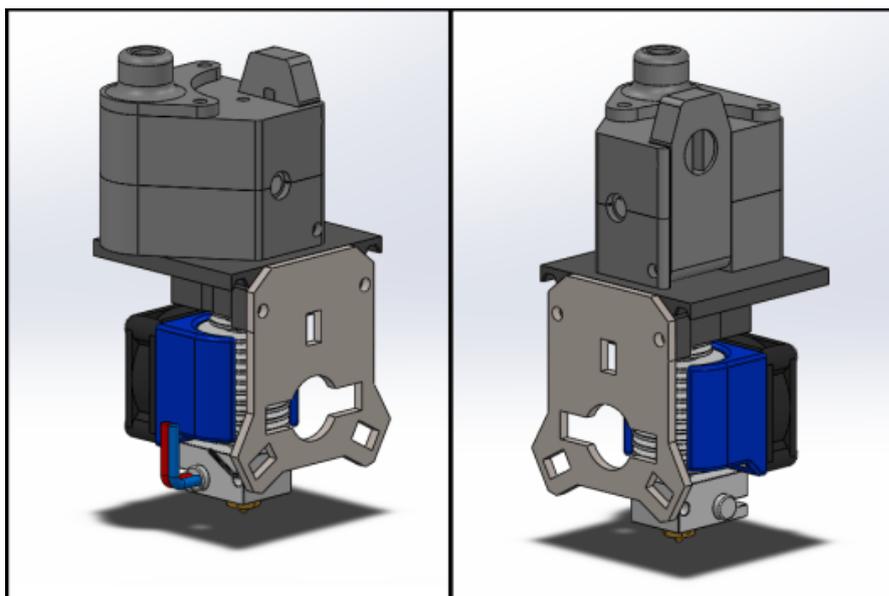
Finalizado o projeto e a construção dos sistemas de movimentação dos eixos XY e do eixo Z da máquina, foi iniciado o projeto das ferramentas de impressão (cabecote). Foram projetados dois tipos de ferramentas uma no estilo *Bowden* (Figura 11) e outra no estilo extrusão direta remota – EDR (Figura 12). Nestes dois tipos de ferramentas o motor da extrusora fica separado, e isso reduz a massa que será movimentada, possibilitando uma maior velocidade de impressão e uma menor influência sobre a impressão dos objetivos.

**Figura 11** – Ferramenta de impressão projetada do tipo Bowden.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

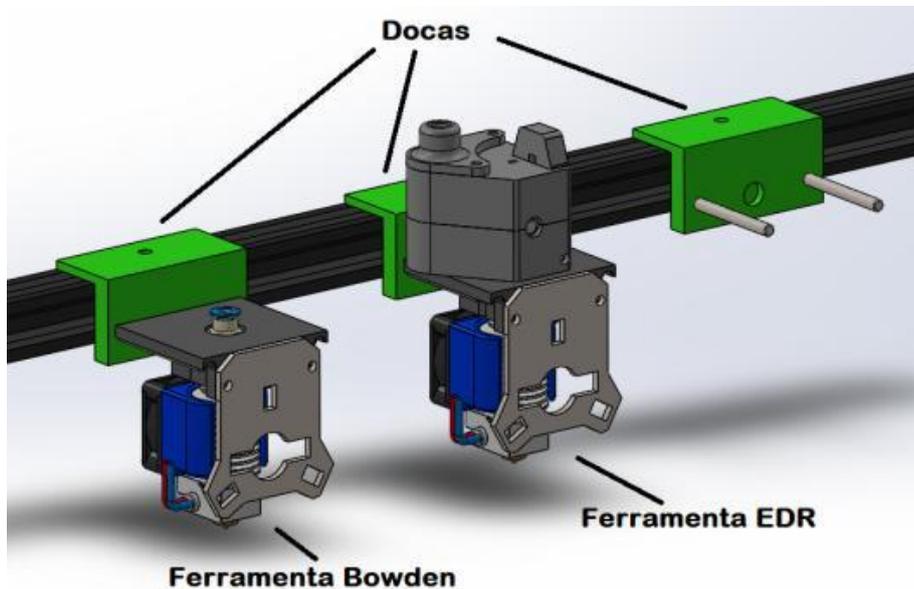
**Figura 12** – Ferramenta de impressão projetada do tipo EDR.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Todas as ferramentas ficam fixas em um sistema de docas (Figura 13), com a placa do sistema de acoplamento posicionada para realizar o travamento no carro de movimentação, quando necessário.

**Figura 13** – Ferramentas posicionadas nas docas.



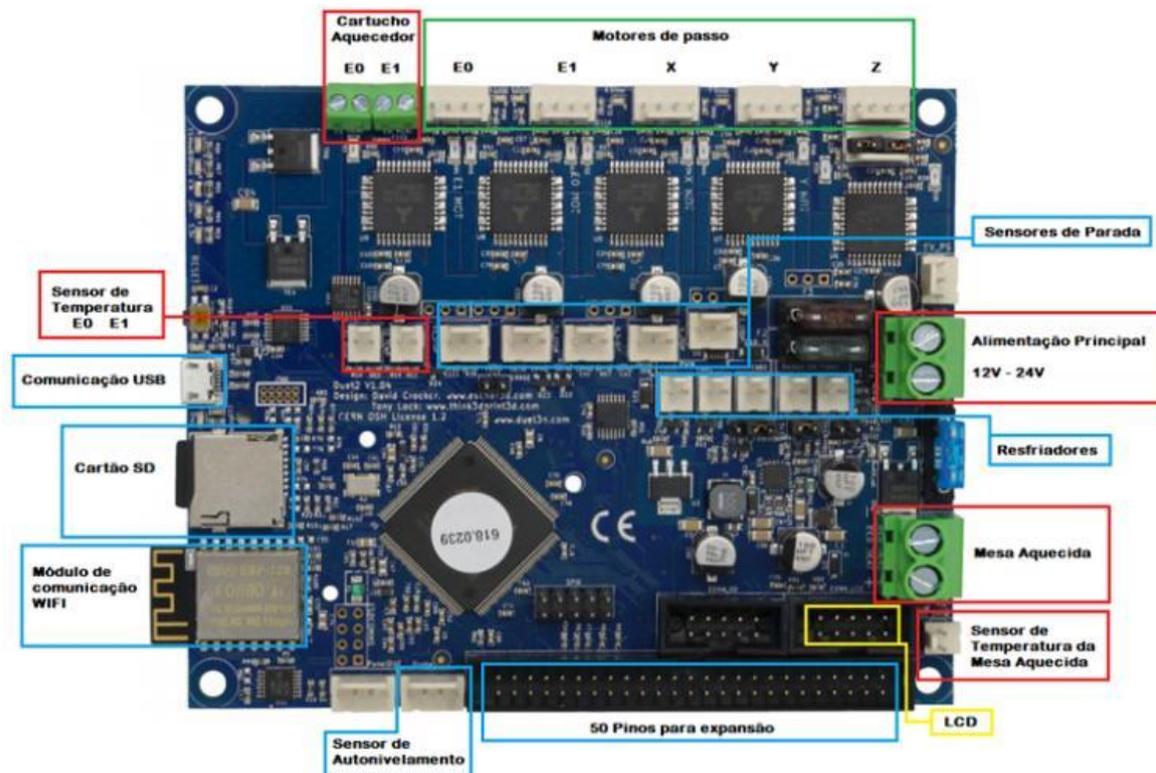
Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

## 2.2 Sistema eletrônico

Devido à complexidade do equipamento, foi necessária a utilização de uma placa controladora capaz de trabalhar com grandes quantidades de informação e que disponibilizasse versatilidade para o usuário. Segundo Boulaala (2020), uma das características decisivas para a escolha de uma placa de controle para impressão 3D é o número de motores que deverão ser controlados. Desta forma, optou-se pela placa Duet 2 Wifi, que possui cinco entradas para motor de passo e disponibiliza uma expansão para controlar outros cinco motores.

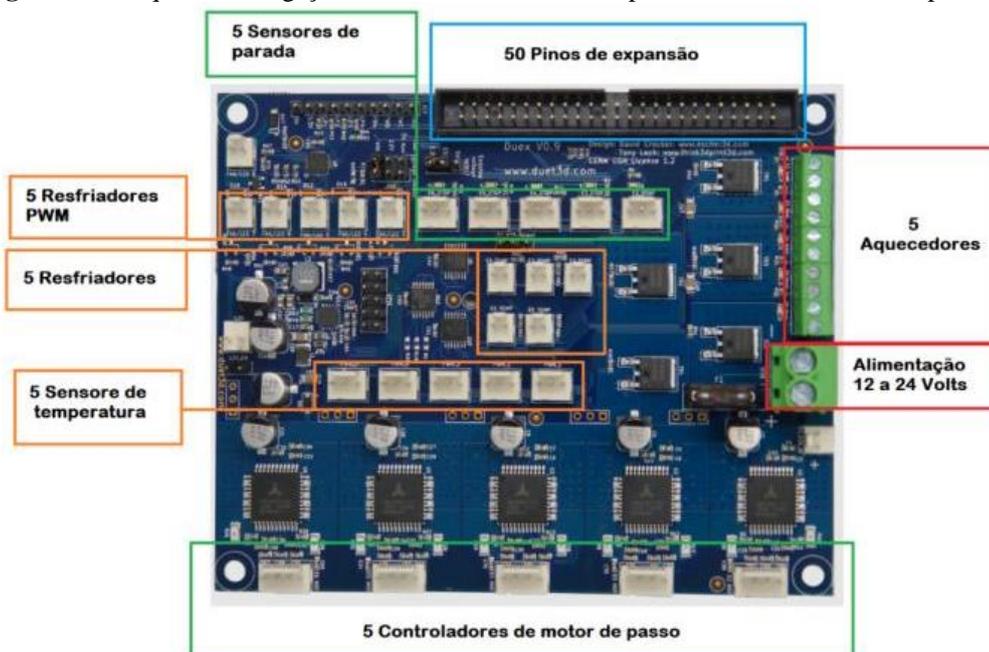
Devido à configuração da impressora, será utilizada uma Placa de expansão DueX5 para controlar uma maior quantidade de motores. As ligações nas placas foram realizadas de acordo com os esquemas apresentados na Figura 14 e na Figura 15.

Figura 14 – Esquema das ligações realizadas na Placa controladora Duet 2 Wifi.



Fonte: adaptado de DUET (2021)

Figura 15 – Esquema das ligações realizadas na Placa de expansão DueX5 conectada à placa controladora.



Fonte: adaptado de DUET (2021)

As outras partes da área de eletrônica foram adquiridas e utilizadas sem nenhuma alteração. A fonte de energia utilizada foi uma fonte chaveada EKS S600 de 12 volts / 50 ampère. Para o sistema de aquecimento foi utilizada uma mesa de impressão da marca Tronxy, e bicos de extrusão

E3D V6 com coolers. Para o sistema de resfriamento da peça impressa foi utilizado um cooler radial tipo 5015 12 volts. Para os sensores de parada XY foram utilizados sensores mecânicos da marca Tronxy e para o sensor de auto nivelamento foi aplicado um sensor eletromecânico tipo BLTouch.

### 2.3 Validação do sistema

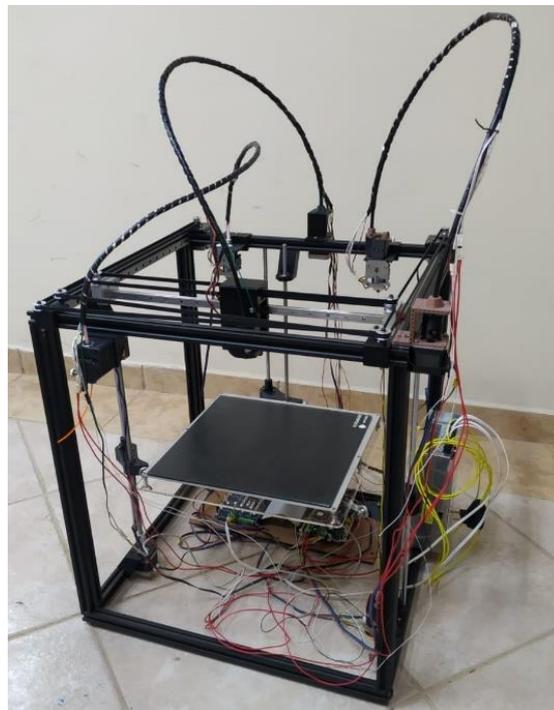
Finalizada a montagem completa da impressora (Figura 16) e após os primeiros testes de funcionamento, foram realizados testes padronizados para validar todos os sistemas criados.

1-Auto nivelamento - Foi avaliada a repetibilidade do sistema por meio de testes assistidos por computador da rotina de calibração criada.

2-Alinhamento das ferramentas - Foi validado por meio de impressão 3D da escala Vernier e de um estudo estatístico para comprovar o correto posicionamento entre as ferramentas e o carro de impressão.

3-Teste de impressão – Foram impressas peças utilizando apenas uma ferramenta de cada vez e depois utilizando trocas de ferramentas em cada camada de impressão.

**Figura 16** – Montagem final da impressora



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Para a montagem final da impressora com apenas duas ferramentas foram utilizados vários componentes comerciais e outros que foram desenvolvidos. A quantidade total e a especificação estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1** – Descrição dos componentes utilizados na construção da impressora 3D multimaterial e multiferramentas

<b>Componente</b>	<b>Especificação</b>	<b>Quantidade</b>
Motor de passo	Nema 17	8
Acoplamento flexível		3
Fuso	TR8 / passo 2mm / 4 entradas	3
Castanha	TR8 / passo 2mm / 4 entradas	3
Rolamento linear	M8	3
Guia Linear	M8	3
Terminal rotular	M6 com furo 10mm	3
Rolamento linear	M6	3
Guia Linear	M6	3
Mesa de Impressão	Tronxy	1
Guia prismática	MGN12H	3
Polia dentada	GT2 20 dentes	6
Polia Lisa		2
Correia	GT2 6mm – 5 metros	1
Polia dentada	GT2 20 dentes para motor de passo	2
Sensor mecânico	Endstop Tronxy	2
Eixo Flexível		2
Tudo teflon	Bowden – 1 metro	1
Bico aquecido	E3D V6 completo	2
Sensor auto nivelamento	BLTouch	1
Cooler	5015 12V	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Após a construção e os primeiros testes de funcionamento, o custo aproximado da impressora foi de R\$8.000,00.

#### 3.1 Auto nivelamento da cama de impressão

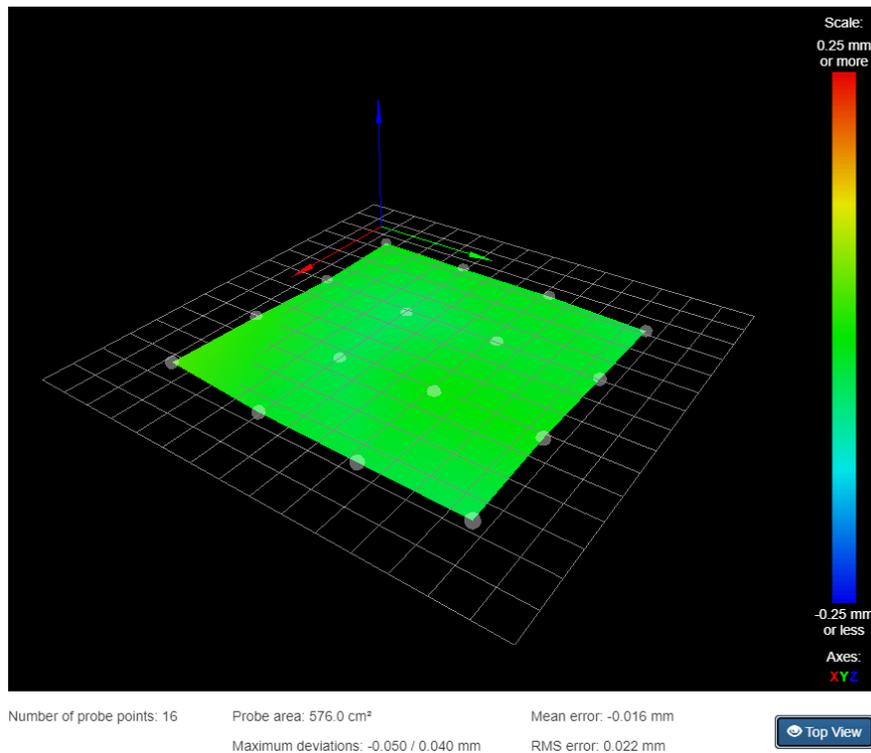
A impressora 3D funcionou através de comando GCODE, uma linguagem de código simplificada criada na década de 1970 para controlar máquinas de forma computacional (LATIF, 2021). Para validar o sistema de auto nivelamento, foram utilizados dois comandos desta linguagem:

**G32 S0** - que mede três pontos diferentes da cama de impressão e retorna o melhor plano possível entre estes pontos, acionando os motores de passo Z e fazendo o nivelamento total do sistema.

**G29** - que mede 16 pontos da cama de impressão e retorna um mapa topográfico.

Após a execução dos dois comandos em sequência, o sensor de auto nivelamento retornou um erro de medida da ordem de 0,022mm e o desvio das medidas para o plano calculado ficou entre  $\pm 0,050$  mm. A Figura 17 demonstra o mapa topográfico da cama de impressão gerado pelo aplicativo de controle da placa eletrônica Duet após o processo de auto nivelamento.

**Figura 17** – Mapa topográfico da cama de impressão.

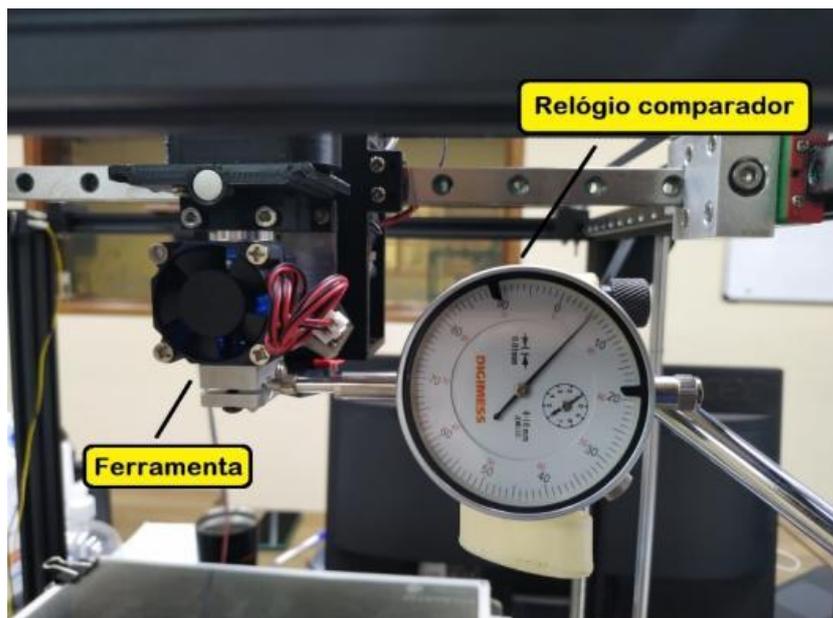


Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

### 3.2 Repetibilidade da troca de ferramentas

Para analisar a repetibilidade do sistema de troca de ferramentas criado (acoplamento cinemático entre carro de movimentação XY e ferramentas) foi posicionado um relógio comparador na lateral da máquina (Figura 18) para que fosse acionado pelo bloco aquecedor da ferramenta a cada troca de ferramenta. Uma rotina em código GCODE foi criada para fazer a impressora simular a troca de ferramenta cinquenta vezes seguidas (Figura 19).

**Figura 18** – Posicionamento do relógio comparador para coleta de dados



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

**Figura 19** - Código GCODE criado para verificar a repetibilidade da troca de ferramentas

```

;HOME
G28 Y0
G28 X0

i=0
Se i<51
.      ;PEGA FERRAMENTA
.      G1 X319.5
.      G1 Y318
.      G1 U90
.      G4 P500
.      G1 Y252
.
.      ;VAI PRO RELOGIO
.      G1 X82.7 F5000
.      G4 P3500
.
.      ;LIBERA FERRAMENTA
.      G1 X319.5
.      G1 Y318
.      G1 U-1
.      G4 P500
.      G1 Y252
.
.      i=i+1
.
Fim do laço

```

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Foram coletadas 50 medidas, e depois o mesmo procedimento foi repetido mais duas vezes, totalizando 150 trocas de ferramentas analisadas.

Os dados coletados no primeiro procedimento reportaram uma diferença média de  $0,653 \pm 0,008$  milímetros no posicionamento do carro após as 50 repetições de troca de ferramenta. No segundo procedimento, o posicionamento médio foi de  $0,683 \pm 0,009$  milímetros, e no terceiro procedimento o posicionamento médio foi de  $0,691 \pm 0,013$  milímetros.

O desvio padrão apresentado em cada procedimento foi muito baixo e não representa problema na impressão 3D do tipo FFF, pois são da mesma ordem que o menor posicionamento possível entregue pelos motores passo utilizados (0,013 mm).

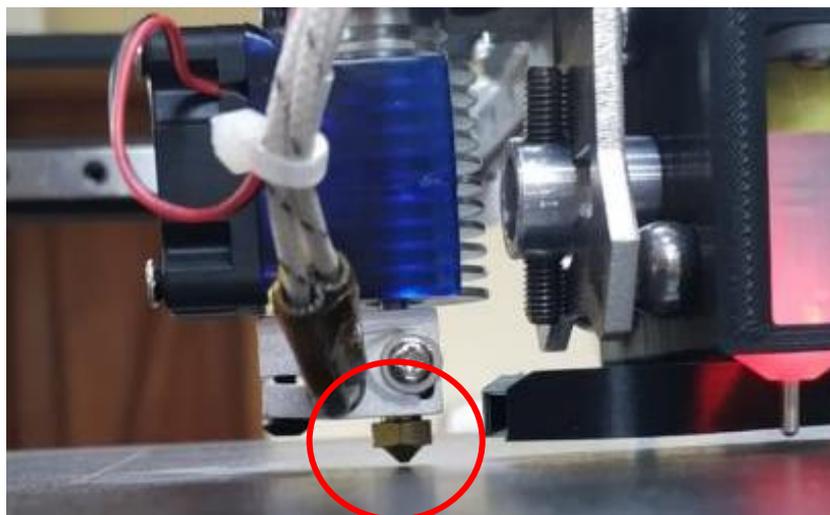
Entre cada procedimentos houve uma pequena diferença porque o tipo de sensor utilizado para referenciar os eixos de movimentação X e Y são mecânicos. Mas isto não resulta em qualquer influência negativa para a manufatura de peças tridimensionais na impressora 3D, pois os eixos são referenciados uma única vez antes do processo de impressão se iniciar, fazendo com que o sistema mantenha a referência durante todo o processo de manufatura.

### **3.3 Alinhamento entre ferramentas**

Independente do processo escolhido para fabricação das ferramentas, sempre haverá uma diferença entre o posicionamento do bico extrusor de cada ferramenta utilizada. No entanto, é possível compensar estas diferenças diretamente pela placa controladora (*firmware*). Para isto foi necessário avaliar o deslocamento X/Y/Z referente a cada ferramenta, e com estes valores, os posicionamentos foram corrigidos digitalmente.

Para coletar os dados de posicionamento Z (referência da distância entre o bico e a mesa de impressão), foi posicionada a primeira ferramenta no centro da mesa de impressão (com bico encostado na mesa) para definir a origem do eixo Z. Depois a segunda ferramenta foi posicionada no mesmo local, e foi observado que o bico não tocou a mesa (Figura 20). Desta forma foi necessário movimentar a mesa até que ela tocasse o bico, resultando num desvio de 0,2 mm. Este valor foi posteriormente inserido nas configurações do firmware para que, quando esta ferramenta estiver em uso, ocorra uma correção de 0,2 mm aplicada à distância entre a ferramenta e a mesa de impressão.

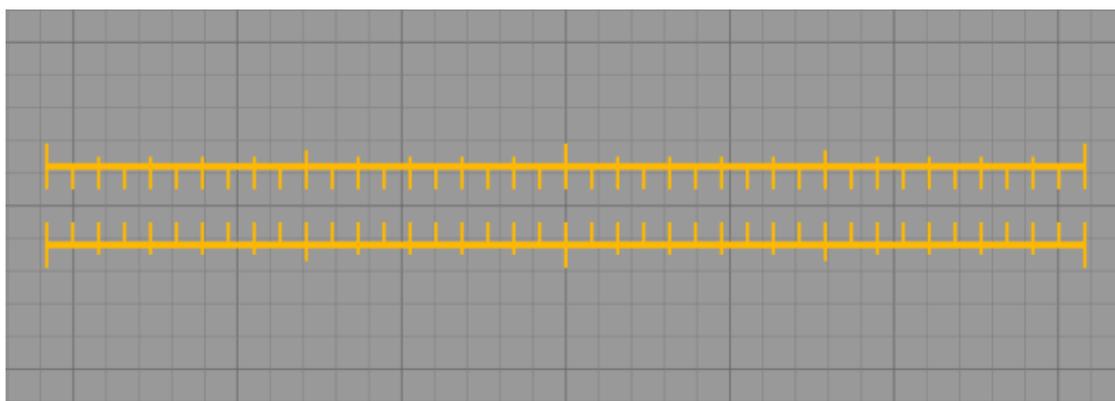
**Figura 20** – Ferramenta com desvio no eixo Z.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

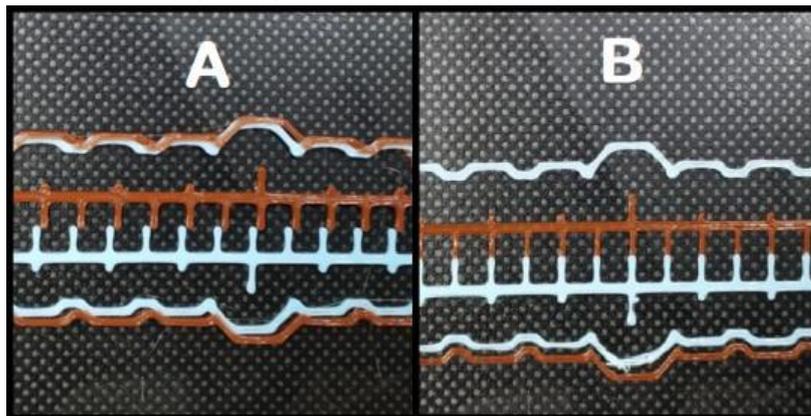
Para a coleta de posicionamento X e Y, foi utilizada a impressão de um modelo 3D digital da escala Vernier (Figura 21). A primeira impressão apresentou um desvio nos eixos X e Y entre os dois bicos como apresentado na Figura 22A. De posse do modelo impresso, as distâncias entre uma escala e outra foram medidas com um paquímetro digital (0,2 mm no eixo X e 0,95 mm no eixo Y) e os valores foram aplicados às configurações do *firmware*. Após a configuração, os eixos ficaram alinhados (Figura 22B).

**Figura 21** – Modelo 3D da escala vernier.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

**Figura 22** – Teste de impressão para alinhamento das ferramentas nos eixos X e Y. A-Ferramentas desalinhadas. B-Ferramentas alinhadas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

### 3.4 Validações de impressão 3D

Com a máquina totalmente calibrada foram realizados os testes de impressão 3D, que consistiu nas seguintes impressões:

- 1- Impressão do mesmo modelo em cada ferramenta com o mesmo material (PLA);
- 2- Impressão de um modelo utilizando as duas ferramentas com o mesmo tipo de material (PLA);
- 3- Impressão de um modelo utilizando as duas ferramentas com materiais diferentes.

#### 3.4.1 Impressão utilizando uma única ferramenta

Esta impressão foi realizada para testar cada ferramenta separadamente. Foi observado que o auto nivelamento estava funcionando corretamente e que os sistemas de extrusão estavam perfeitos (Figura 23).

**Figura 23** – Peças impressas em PLA. Azul-Ferramenta do tipo bowden. Marrom-Ferramenta do tipo EDR.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

### 3.4.2 Impressão utilizando duas ferramentas com o mesmo material

Foi impressa a peça apresentada na Figura 24 utilizando as duas ferramentas em um único processo. Após a impressão, foi verificado que o acoplamento cinemático funcionou muito bem, pois a impressão das duas ferramentas (cores diferentes) ficou com o alinhamento perfeito.

**Figura 24** – Impressão utilizando o mesmo material nas duas ferramentas.

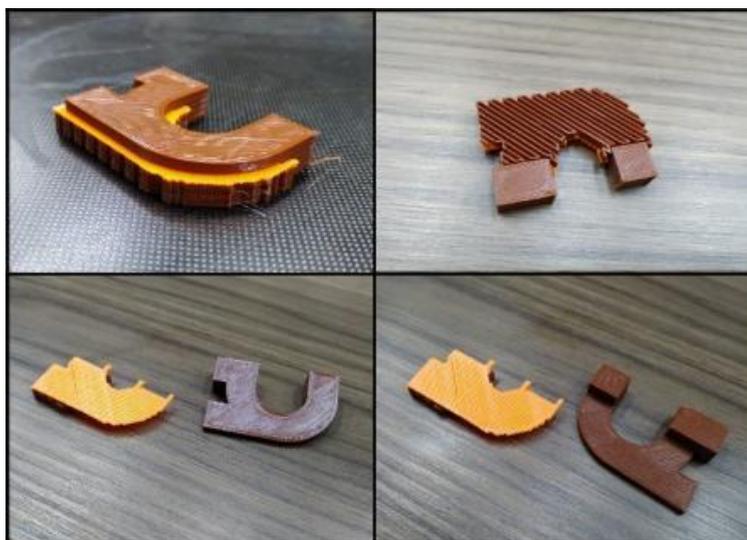


Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

### 3.4.3 Impressão utilizando duas ferramentas com materiais diferentes

Para finalizar o teste de impressão, foram impressas duas peças utilizando as duas ferramentas com materiais diferentes. Foi utilizada uma ferramenta com filamento PLA marrom e outra com filamento ABS laranja. Esta configuração foi aplicada devido às características de ambos os materiais serem incompatíveis, tornando a fusão de um filamento ao outro quase impossível, e isso facilita a separação das peças (Figura 25).

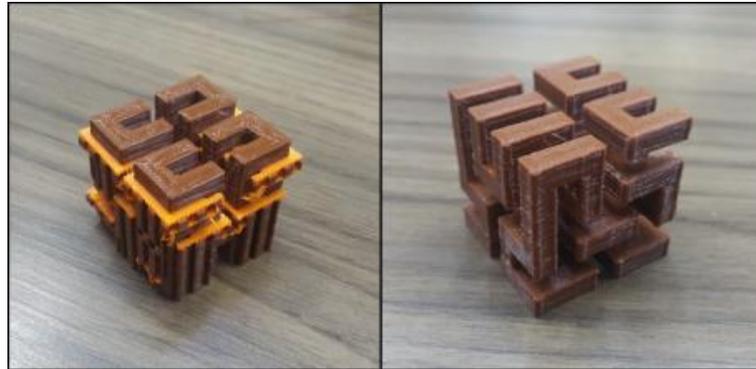
**Figura 25** – Peça impressa utilizando materiais diferentes nas duas ferramentas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Este processo é muito interessante, pois um tipo de material poderá ser utilizado como suporte para o outro, e o acabamento entre eles ser quase perfeito. Para demonstrar isso, foi impressa uma peça mais complexa (cubo de Hilbert) (Figura 26).

**Figura 26** – Cubo de Hilbert impresso utilizando dois materiais diferentes.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

#### 4 CONCLUSÃO

O intuito deste trabalho foi criar uma plataforma de manufatura aditiva capaz de realizar impressão 3D multimaterial sem os problemas apresentados pelos processos multimaterial atuais, e com um custo bem menor do que a impressora multiferramentas atualmente comercializada.

A criação da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) possibilitou a organização e a visualização mais específica de todas as partes do projeto, o que viabilizou o desenvolvimento dos conceitos implementados de forma mais simplificada.

Para o desenvolvimento desta impressora, foram necessários conhecimentos de mecânica (processos de fabricação e metrologia), manufatura aditiva, eletrônica e programação. Portanto, muitos detalhes básicos de construção e desenvolvimento não foram apresentados, tendo o foco maior nos sistemas e dispositivos inovadores.

Os testes realizados de confiabilidade e alinhamento apresentaram resultados muito bons, proporcionando a impressão de peças com grande qualidade. Além disso, a impressão com dois materiais diferentes foi muito interessante no sentido de possibilitar a retiradas dos suportes sem grandes dificuldades.

A impressora construída para este trabalho utilizou apenas duas ferramentas, mas com os resultados obtidos e a metodologia desenvolvida, será possível utilizar até 5 ferramentas diferentes, abrindo a possibilidade de utilizar ferramentas não apenas de impressão 3D, mas de micro usinagem, gravação ou corte a laser e até mesmo de pintura. Portanto, novas possibilidades para auxiliar nos processos de prototipagem rápida foram criadas com o equipamento desenvolvido neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ALL3DP, 2021. Disponível em <all3dp.com>. Acesso em: 09 dez.2021.

BOULAALA, M.; ELMESSAOUDI, D.; BUJ-CORRAL, I.; EL MESBAHI, J.; EZBAKHE, O.; ASTITO, A.; EL MRABET, M.; EL MESBAHI, A. **Towards design of mechanical part and electronic control of multi-material/multicolor fused deposition modeling 3D printing.** Springer Nature, Londres, 2020.

DABIC, D. A.; WHITTER, D.; SMYTH, L. **Design and prototype of a 3D printer.** British Columbia Institute of Technology. Burnaby, British Columbia – Canada, 2019.

DUET, 2021. Disponível em: <duet3d.com>. Acesso em: 05 set. 2021.

DURAN, C.; SUBBIAN, V.; GIOVANETTI, M. T.; SIMKINS, J. R.; BEYETTE, F. R. Jr. **Experimental desktop 3D printing using dual extrusion and water-soluble polyvinyl alcohol.** Departamento de Engenharia Elétrica e Sistemas de Computação, Universidade de Cincinnati – Cincinnati, Estados Unidos da América, 2015.

E3D, 2021. Disponível em: <e3d-online.com>. Acesso em: 05 set. 2021.

HOBBY KING, 2021. Disponível em: <hobbyking.com>. Acesso em: 06 set. 2021.

LATIF, K.; ADAM, A.; YUSOF, Y.; KADIR, A. Z. A. **A review of GCODE, step, step-nc, and open architecture control technologies based embedded CNC systems.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021.

LEVINSKAS, L. **Research of dimensional accuracy and surface quality dependency on printing speed of FDM 3D printed parts.** Faculdade de Engenharia Mecânica e Design, Universidade Tecnológica de Kaunas – Kaunas, Lituânia, 2019.

MAXIMIANO, G. **Desenvolvimento de um sistema de movimentação COREXY para impressora 3D.** Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba - Brasil, 2015.