

# Implementação e avaliação de melhorias em impressora 3D com cinemática delta invertida

Vinicius Camilo da Rocha <sup>1</sup>, Luiz Fernando Segalin de Andrade <sup>2</sup>, Aurélio da Costa Sabino Netto <sup>3</sup>

<sup>1</sup>PFBMAT, DAMM, Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil, [viniciuscamilodarocha@gmail.com](mailto:viniciuscamilodarocha@gmail.com)

<sup>2</sup>PFBMAT, DAMM, Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil, [luizsegalin@ifsc.edu.br](mailto:luizsegalin@ifsc.edu.br)

<sup>3</sup>PFBMAT, DAMM, Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil, [asabino@ifsc.edu.br](mailto:asabino@ifsc.edu.br)

## Resumo

A manufatura aditiva está em evolução, sendo a Fabricação por Filamento Fundido uma das tecnologias mais populares. A oferta de filamentos de novos materiais poliméricos tem crescido, inclusive de polímeros de alto desempenho. Existe uma ampla gama de aplicações destes materiais, porém são difíceis de processar em impressoras 3D comuns. Para viabilizar pesquisas com estes materiais, foi desenvolvido um protótipo de impressora com cinemática delta invertida. Na validação do equipamento, foram identificadas ondulações e variações dimensionais excessivas nas peças impressas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma nova plataforma de construção e aperfeiçoar os módulos de movimentação lineares. Após as melhorias realizadas a plataforma conseguiu atingir temperaturas adequadas e usando filamento de ABS, a repetitividade nas peças impressas foi aprimorada de  $\pm 0,27$  mm para  $\pm 0,09$  mm. Esses avanços são importantes para continuar o desenvolvimento da máquina e possibilitar novos estudos com polímeros de alto desempenho.

**Palavras-chave:** Manufatura Aditiva. Impressora 3D Delta Invertida. ABS.

## Abstract

Additive manufacturing is evolving, with Fused Filament Fabrication being one of the most popular technologies. The supply of filaments made from new polymeric materials has been growing, including high-performance polymers. There is a wide range of applications for these materials; however, they are difficult to process with common 3D printers. To enable research with these materials, a prototype printer with inverted delta kinematics was developed. During the validation of the equipment, excessive ripples and dimensional variations were identified in the printed parts. The objective of this work was to develop a new build platform and improve the linear motion modules. After the improvements were made, the platform managed to reach adequate temperatures, and using ABS filament, the repeatability of the printed parts was enhanced from  $\pm 0.27$  mm to  $\pm 0.09$  mm. These advancements are important for continuing the development of the machine and enabling new studies with high-performance polymers.

**Keywords:** Additive Manufacturing. Inverted Delta 3D Printer. ABS.

## 1. Introdução

A Manufatura Aditiva (MA) tem cada vez mais ocupado uma posição de destaque como um processo de fabricação. Dentre os processos de MA, a Fabricação por Filamento Fundido (FFF) segue como o processo mais difundido mundialmente [1].

Nos últimos anos, observa-se um grande crescimento da oferta de diferentes materiais poliméricos para FFF, inclusive de polímeros de alto desempenho, como os das famílias das polissulfonas (PSU), poliimidas (PI) e polieterecetonas (PEEK). Em geral, estes materiais

apresentam altas temperaturas de decomposição térmica, durabilidade a longo prazo e altas temperaturas de transição vítrea, características relevantes para aplicações nos setores de saúde, automotivo e aeroespacial [2-3].

A utilização destes materiais demanda maiores temperaturas de extrusão, maiores temperatura da plataforma de extrusão e controle de temperatura da câmara de impressão o que dificulta o uso em impressoras 3D de baixo custo.

Vislumbrando realizar pesquisas com polímeros de alto desempenho foi desenvolvida uma impressora 3D

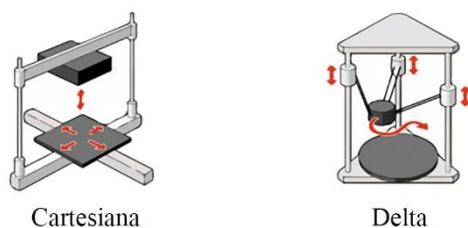
com cinemática delta invertida. Thomazetti [4] realizou a integração eletroeletrônica e fez os testes para validação do protótipo. Em linhas gerais, obteve-se sucesso na impressão de peças, porém identificou-se a ocorrência de padrões ondulatórios na superfície e limitações para aquecimento da plataforma de construção. A partir dos testes iniciais, Feistauer [5], realizou um estudo no qual sugeriu uma série de ajustes a serem realizados para diminuir os problemas de qualidade das peças impressas.

Este trabalho trata especificamente das melhorias realizadas na plataforma de construção e no módulo de movimentação linear, com objetivo de dar continuidade ao desenvolvimento da impressora delta invertida, de forma a viabilizar a utilização de polímeros de alto desempenho no futuro.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1. Cinemática delta para impressoras 3D

Existem diversas opções de configurações cinemáticas para impressoras 3D, sendo a cartesiana e a delta as mais utilizadas para FFF (Figura 1).



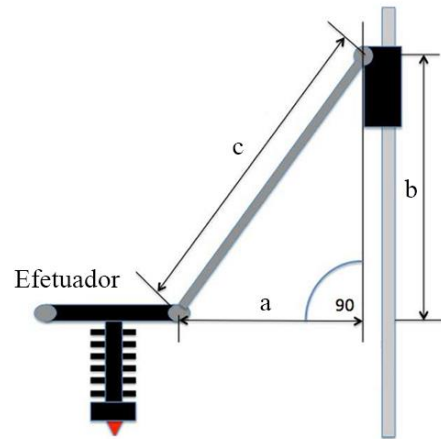
**Figura 1.** Cinemáticas cartesiana e delta.  
Fonte: adap. [6].

O robô de configuração delta foi desenvolvido por Raymond Clavel na década de 1980 na Escola Politécnica Federal de Lausanne (EPFL) [7]. A ideia foi utilizar paralelogramos para construir um robô paralelo com quatro graus de liberdade, três translacionais e um rotacional, o qual foi denominado de Delta [8].

A arquitetura de um robô é definida pela forma como se movem suas estruturas cinemáticas e seus respectivos atuadores. Robôs delta possuem cadeia cinemática paralela na qual os atuadores precisam trabalhar em conjunto para atingir a movimentação esperada, pois um atuador influencia no outro [9].

As impressoras delta têm três atuadores posicionados verticalmente e equidistantes em torno de um círculo, ao contrário das impressoras cartesianas, em que os atuadores estão paralelos a cada um dos três planos ortogonais. Através do controle dos atuadores, é possível enviar o bico extrusor para qualquer ponto do volume de impressão que é cilíndrico. A movimentação, ilustrada na figura 2, é composta pelo posicionamento de cada eixo, formando um triângulo retângulo entre a haste de fixação (c) e as linhas

imaginárias verticais e horizontais como catetos, as linhas horizontais (b) dos três triângulos movimentam-se em conjunto ligados ao efetuator (1), sendo que, somente os tamanhos verticais (a) são variáveis, garantindo três graus de liberdade à máquina [9].



**Figura 2.** Movimentação de uma máquina delta.  
Fonte: Adap. [10].

O protótipo desenvolvido para impressão 3D de polímeros de alto desempenho foi inspirado em um projeto de código aberto do grupo Dyouware denominado *Twin Teeth PCB Mini-Factory* [11]. O projeto consiste em uma máquina com configuração delta invertida capaz de realizar vários processos, tais como, usinagem, impressão 3D, deposição de material pastoso, entre outros (Figura 3). A configuração invertida faz com que a mesa se mova enquanto a ferramenta permanece imóvel. Esta solução se mostrou interessante para a aplicação com polímeros de alto desempenho, pois permite o isolamento dos motores e do módulo de extrusão, evitando o aquecimento dos motores e o efeito de flambagem do filamento.

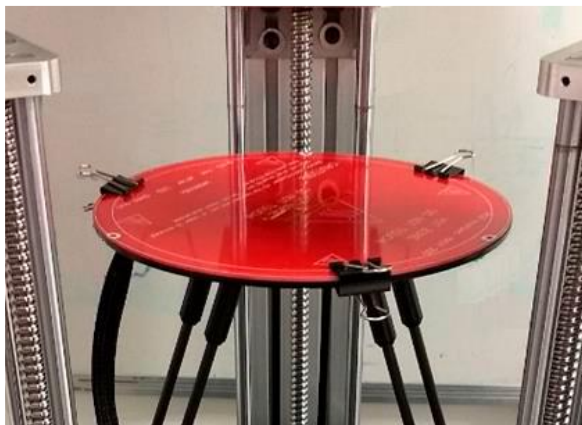


**Figura 3.** TwinTeeth PCB Mini-Factory. Fonte: [11]

### 3. Readequação da impressora delta invertida

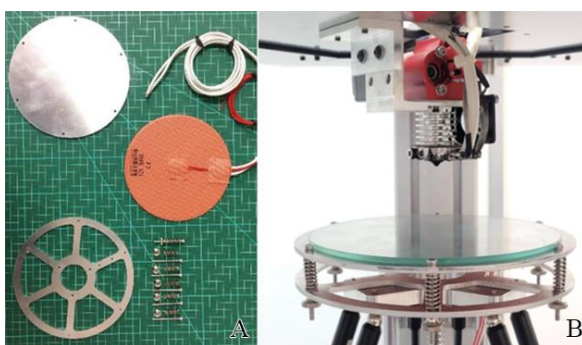
#### 3.1. Plataforma de construção

Realizou-se a substituição da plataforma de construção contendo mesa aquecida modelo MK2Y de 12V/90W que era montada diretamente sobre o efetuator (Figura 4).



**Figura 4.** Plataforma de construção original.  
Fonte: [4].

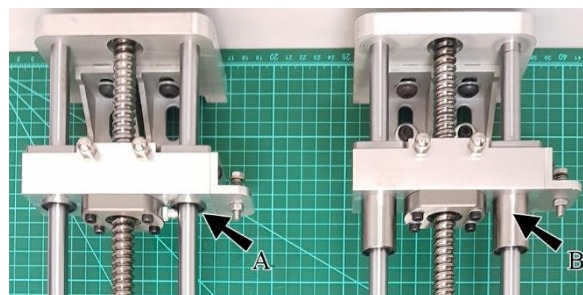
No novo conceito de plataforma, utilizou-se uma resistência circular de silicone autocolante Keenovo de 150 mm de diâmetro operando em 12V/300W. A resistência foi fixada em uma chapa de alumínio afastada do efetuator, tendo um conjunto de parafusos, molas e porcas de ajuste para nivelamento da superfície de construção. Os componentes principais e o conjunto instalado são apresentados na figura 5.



**Figura 5.** Nova plataforma de construção (A) componentes e (B) conjunto instalado. Fonte: elaboração própria.

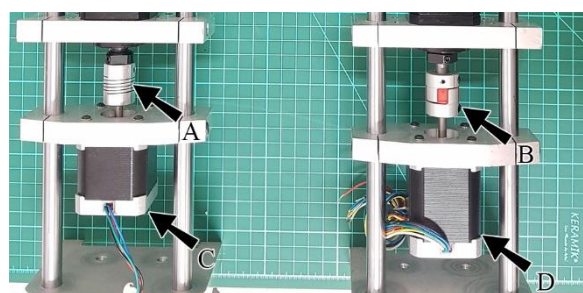
#### 3.2. Módulos de movimentação linear

Durante os estudos de impressão, Thomazetti verificou que as ondulações nas peças eram produzidas possivelmente por conta das folgas no guiamento dos carros. Para melhorar este aspecto, foi realizada a troca dos rolamentos lineares modelo LME12UU com 22 mm (Figura 6A), pelo modelo longo LMEK12LUU com 57 mm de comprimento (Figura 6B).



**Figura 6.** Substituição do rolamento linear LME12UU (A) pelo LMEK12LUU (B). Fonte: elaboração própria.

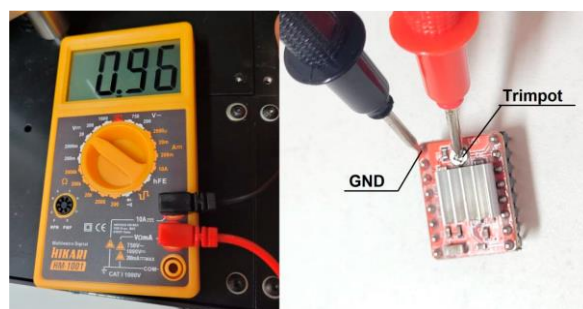
Os acoplamentos flexíveis utilizados anteriormente eram do modelo multi-beam em alumínio (Figura 7A) que apresentou respostas limitadas às frequentes inversões de direção durante as trajetórias de impressão. Os acoplamentos foram substituídos pelo modelo JAW, composto por duas peças em alumínio e um elemento de transmissão em elastômero vermelho que permite possui resposta rápida e menor deformação nas inversões de movimento (Figura 7B).



**Figura 7.** Substituição dos acoplamentos flexíveis (A e B) e motores (C e D). Fonte: elaboração própria.

Nos testes de movimentação foram identificadas perdas de passo para velocidades acima de 50 mm/s por conta de torque insuficiente dos motores de passo empregados (Figura 7C). Assim, foram instalados motores de passo com 6,5 kgf.cm de torque da marca Vurtz Motors modelo VZS1760-065-1206 conforme apresentado na figura 7D.

Como foram mantidos os mesmos drivers de motor de passo A4988 da marca Pololu, para a utilização dos novos motores houve a necessidade de ajuste na tensão de referência ( $V_{ref}$ ) do driver (Fig. 8).



**Figura 8.** Ajuste da tensão de referência do driver A4988.  
Fonte: elaboração própria.



## 4. Materiais e métodos

### 4.1. Materiais

Para a realização das impressões dos corpos de prova foram utilizados filamentos de ABS com 1,75 mm de diâmetro nas cores azul e amarelo, ambos do fabricante 3D Fila.

### 4.2. Parâmetros de impressão

Na impressão das peças, foram utilizados os seguintes parâmetros dispostos na tabela 1:

**Tabela 1.** Parâmetros de impressão utilizados nas impressões das peças.

Parâmetro de impressão	Valor
Velocidade de impressão perímetro	30mm/s
Velocidade de impressão preenchimento	50mm/s
Altura de camada	0,20mm
Altura da primeira camada	0,35mm
Largura da camada	100%
Camadas de base/topo	2
Número de perímetros	2
Densidade de preenchimento	10%
Temperatura de impressão	230°C
Temperatura da mesa	100°C
Fluxo de impressão	100%

Fonte: elaboração própria.

Antes de iniciar a impressão, a plataforma de construção foi preparada com adesivo líquido do fabricante SLIM 3D, composta por polímero não iônico e álcool etílico, próprio para auxiliar a adesão com filamentos de ABS em bases de vidro.

### 4.3. Avaliação das melhorias na impressora

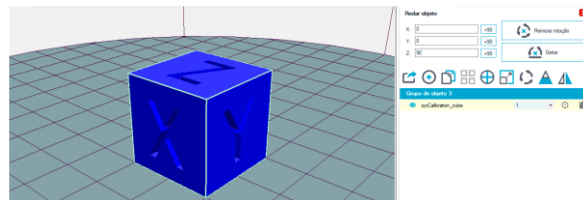
#### 4.3.1. Desempenho da plataforma de construção

Para avaliar o comportamento de aquecimento da plataforma de construção, foi fixado sobre a placa de vidro um termopar do tipo K na região central. Através da interface de controle manual no Repetier-Host foi conduzido um estudo com seis *setpoints* e tendo incrementos de 20°C entre eles. A curva de aquecimento foi monitorada utilizando um *datalogger* marca Picolog modelo TC-08. Durante o estudo foram registradas imagens da plataforma utilizando uma termovisor FLUKE modelo VT04A.

#### 4.3.2. Qualidade de impressão

Para avaliar a qualidade de impressão utilizou-se o modelo xyzCalibration\_cube, disponível no sítio thingiverse.com (Figura 9). Trata-se de um modelo de um cubo com 20 mm de lado, sendo bastante difundido para estudos dimensionais para impressão 3D. O

modelo também apresenta nas faces a representação dos eixos através das letras X, Y e Z que facilita identificar o eixo e possíveis erros de medidas relacionados.



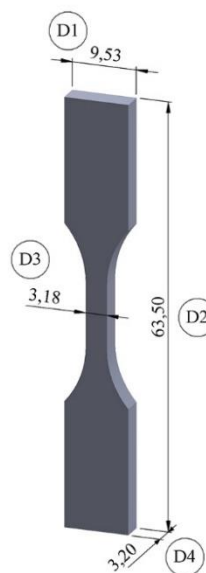
**Figura 9.** Modelo STL “xyzCalibration\_cube”. Fonte: elaboração própria.

#### 4.3.3. Escala de impressão

Para possibilitar uma análise mais abrangente e o comportamento dos erros de cada eixo, foram realizadas impressões de cubos, com incremento de 5 mm. Assim, foram impressas 10 cubos, iniciando com 5 mm e finalizando com 50 mm de lado.

#### 4.3.4. Impressão de múltiplas peças na plataforma

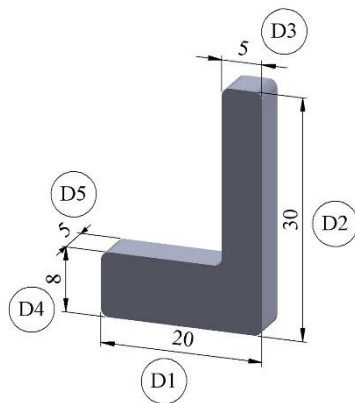
Para avaliar a impressão de peças mais esguias na plataforma de construção realizou-se a impressão de um conjunto de 6 corpos de prova conforme a norma ASTM D638 tipo V, sendo escolhidas 4 dimensões para avaliar (Figura 10).



**Figura 10.** Dimensões avaliadas no corpo de prova ASTM D638 tipo V. Fonte: adap. [4].

#### 4.3.5. Estudo de repetitividade

Para avaliar se as alterações realizadas melhoraram a repetitividade do equipamento, utilizou-se o mesmo modelo L empregado por Thomazetti [4] que apresenta cinco dimensões com medidas definidas, como mostra a figura 11.



**Figura 11.** Geometria utilizada para avaliação da repetitividade. Fonte: adap. [4].

Os modelos foram posicionados conforme as direções de impressão X+, X-, Y+ e Y-, sendo que para cada direção foram impressas 3 peças.

Para avaliar o erro sistemático, ou tendência ( $Td$ ), primeiramente calculou-se a média aritmética ( $\bar{x}$ ) das amostras de cada dimensão e logo após subtraiu-se o resultado do valor nominal ( $Vn$ ), como mostrado na Equação 1.

$$Td = \bar{x} - Vn \quad (1)$$

Para o cálculo da repetitividade, utilizou-se uma distribuição t de Student, considerando um intervalo de confiança de 95% e o número de graus de liberdade ( $gl$ ) segundo a Equação 3:

$$gl = n - 1 \quad (2)$$

Sendo assim, a repetitividade ( $Re$ ) dada pela Equação 3 é o valor simétrico de t multiplicado pelo desvio padrão ( $\sigma$ ):

$$Re = t \cdot \sigma \quad (3)$$

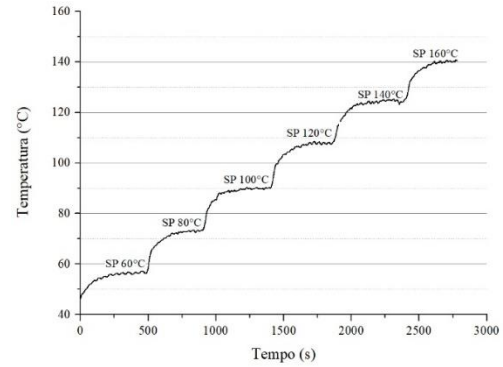
#### 4.4. Medições das peças impressas

Em todas as avaliações foram realizadas medições nos corpos de prova utilizando um paquímetro da marca Digimess com 0,02 mm de resolução.

### 5. Resultados e discussões

#### 5.1. Avaliação da plataforma de construção

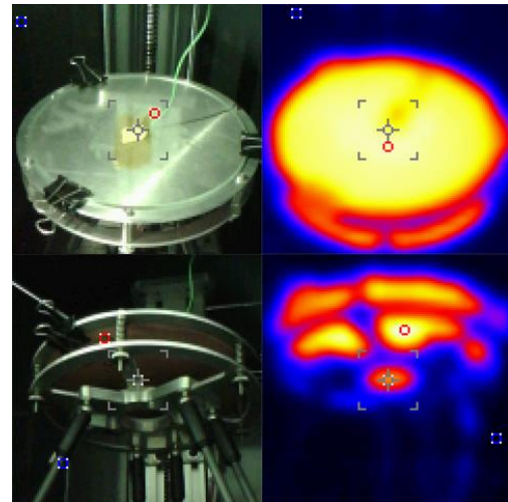
A figura 12 apresenta a curva de aquecimento em relação aos *setpoints* avaliados. A plataforma de construção anterior não atingia temperaturas acima de 100°C que dificultou os testes de impressão utilizando ABS. A nova concepção permitiu alcançar temperaturas de base até 140°C com tempo de aquecimento de cerca de 5 min para estabilização.



**Figura 12.** Curvas de aquecimento para os diferentes *setpoints*. Fonte: Elaboração própria.

As medições realizadas no centro da plataforma alcançaram em média 90% dos valores dos *setpoints* programados. Isto se deve ao posicionamento do termistor da resistência em relação ao termopar na superfície do vidro. Pretende-se realizar novos ensaios com termopares mais precisos e um posterior ajuste no firmware do controlador para que a temperatura a ser exibida seja correspondente à superfície do vidro.

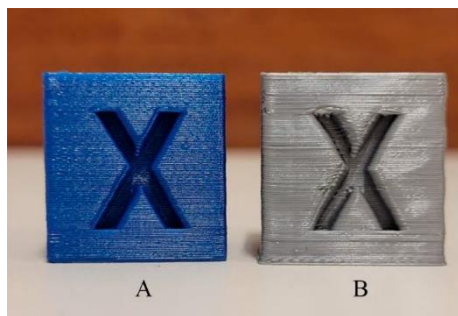
Na figura 13 é apresentada uma imagem térmica da plataforma quando aquecida. É possível observar qualitativamente na imagem que o afastamento evita que a região do efetuator e a hastes de fixação sofram um aquecimento excessivo, fato que ocorria na versão anterior da plataforma e que ocasionou a falha de uma das hastes.



**Figura 13.** Distribuição de calor na plataforma de construção. Fonte: Elaboração própria.

#### 5.2. Avaliação da qualidade de impressão

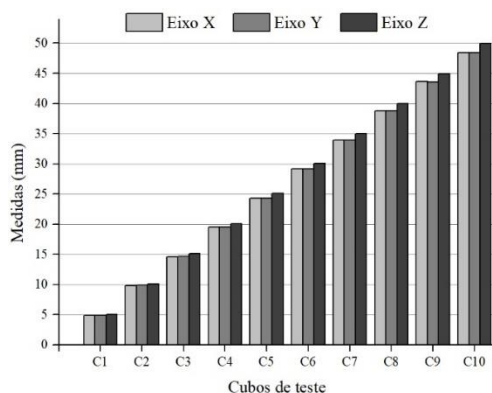
O resultado da impressão do modelo de cubo de calibração é apresentado na figura 14. O modelo A representa a peça fabricada após a implementação das melhorias e o modelo B obtido na configuração anterior. É possível observar que as ondulações praticamente sumiram na superfície vertical do lado X que demonstram êxito nas mudanças realizadas.



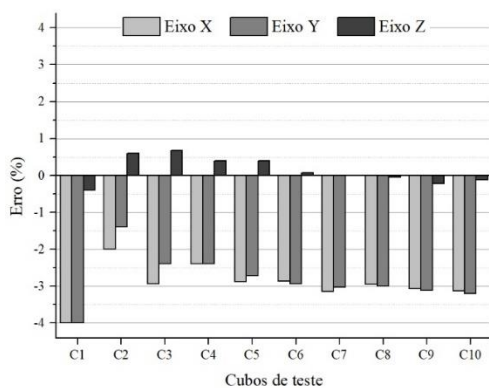
**Figura 14.** Cubos impressos: (A) após as melhorias e (B) antes das melhorias. Fonte: Elaboração própria.

### 5.3. Avaliação dimensional

A figura 15 apresenta os resultados das medidas nos eixos X, Y e Z dos cubos impressos em função do aumento da escala. Enquanto os valores do eixo Z mostram uma boa concordância com os valores nominais, os valores referentes aos eixos X e Y demonstram um afastamento proporcional das medidas nominais o que representa um possível erro sistemático. A figura 16 apresenta um gráfico com o erro calculado em relação a medida nominal para cada um dos cubos impressos. A partir do gráfico é possível verificar que os erros são mais concentrados nos eixos X e Y, e que o valor médio para os eixos é de cerca de -3%.

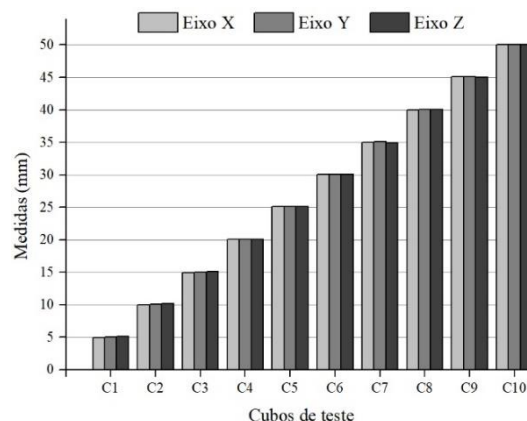


**Figura 15.** Medidas dos cubos impressos para os três eixos. Fonte: Elaboração própria.



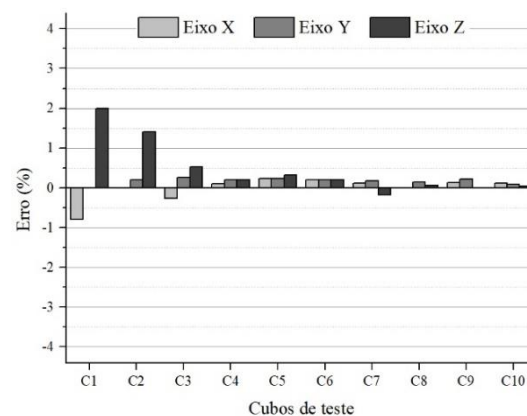
**Figura 16.** Cálculo do erro dos cubos impressos para os três eixos. Fonte: Elaboração própria.

Com base no valor médio calculado, foram realizados ajustes nas configurações do *firmware*, sendo realizadas novamente as impressões de cubos de C1 até C10 para avaliação. A figura 17 apresenta os resultados das medidas nos eixos X, Y e Z dos novos cubos impressos.



**Figura 17.** Medidas dos novos cubos impressos para os três eixos. Fonte: Elaboração própria.

A figura 18 mostra o cálculo dos erros para os novos cubos impressos. O erro dos eixos X e Y a partir de 15 mm ficaram abaixo de 0,5% que é um valor aceitável para o equipamento.



**Figura 18.** Cálculo do erro dos novos cubos impressos para os três eixos. Fonte: Elaboração própria.

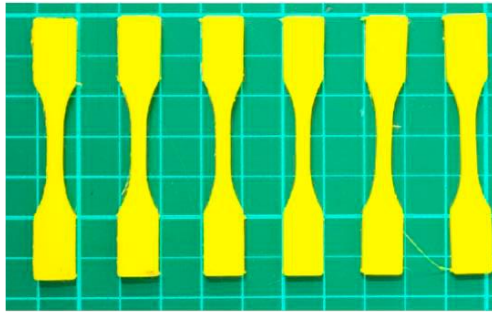
### 5.4. Avaliação da impressão de múltiplas peças

Constatou-se que ocorreu boa adesão utilizando uma maior área da superfície da mesa, após finalizada a impressão aplicou-se tração manualmente nas peças para retirar do vidro, porém as peças descolaram da mesa apenas após o resfriamento. Os erros percentuais foram calculados em relação à dimensão nominal. Analisando os dados da tabela 6 percebe-se que as dimensões das peças apresentaram pouca diferença uma das outras e bem próximas das medidas nominais, corroborando com os resultados do estudo anterior.

**Tabela 2.** Resultado das medidas dos corpos de prova.

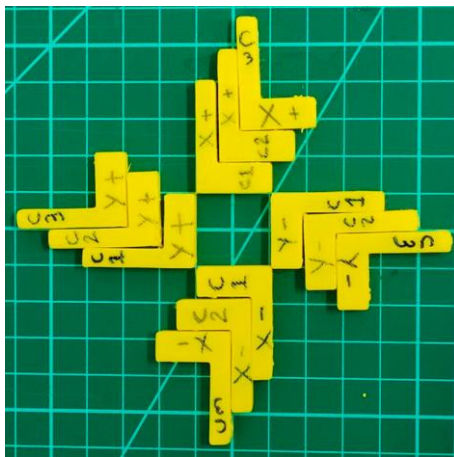
Medidas	Nominal (mm)	Média (mm)	Erro (%)
D1	9,53	9,53	0,00
D2	63,5	63,51	0,01
D3	3,18	3,23	1,57
D4	3,2	3,21	0,42

Fonte: elaboração própria.

**Figura 19.** Corpo de prova ASTM D638 tipo V. Fonte: elaboração própria.

### 5.5. Avaliação da repetitividade

Um dos conjuntos de peças L produzidas para avaliação da repetitividade são apresentadas na figura 20. Os cálculos de repetitividade para cada uma das direções X+, X-, Y+ e Y- são apresentados respectivamente nas tabelas 3 a 6.

**Figura 20.** Conjunto de peças L impressas para avaliação da repetitividade. Fonte: elaboração própria.**Tabela 3.** Resultados das medições para a direção X+.

X+	Vn (mm)	Td (mm)	$\sigma$ (mm)	Re (mm)
D1	20	0,05	0,01	$\pm 0,05$
D2	30	0,02	0,02	$\pm 0,09$
D3	5	0,07	0,03	$\pm 0,13$
D4	8	0,01	0,01	$\pm 0,05$
D5	5	0,03	0,01	$\pm 0,05$

Fonte: elaboração própria.

**Tabela 4.** Resultados das medições para a direção X-.

X-	Vn (mm)	Td (mm)	$\sigma$ (mm)	Re (mm)
D1	20	0,07	0,01	$\pm 0,05$
D2	30	0,07	0,03	$\pm 0,13$
D3	5	0,06	0,02	$\pm 0,09$
D4	8	0,02	0,02	$\pm 0,09$
D5	5	0,08	0,02	$\pm 0,09$

Fonte: elaboração própria.

**Tabela 5.** Resultados das medições para a direção Y+.

Y+	Vn (mm)	Td (mm)	$\sigma$ (mm)	Re (mm)
D1	20	0,00	0,02	$\pm 0,09$
D2	30	0,03	0,01	$\pm 0,05$
D3	5	-0,01	0,03	$\pm 0,13$
D4	8	0,04	0,02	$\pm 0,09$
D5	5	0,07	0,04	$\pm 0,18$

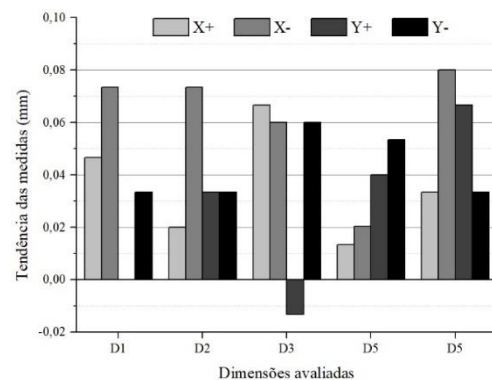
Fonte: elaboração própria.

**Tabela 6.** Resultados das medições para a direção Y-.

Y-	Vn (mm)	Td (mm)	$\sigma$ (mm)	Re (mm)
D1	20	0,03	0,03	$\pm 0,13$
D2	30	0,03	0,04	$\pm 0,18$
D3	5	0,06	0,00	$\pm 0,00$
D4	8	0,05	0,05	$\pm 0,22$
D5	5	0,03	0,01	$\pm 0,05$

Fonte: elaboração própria.

Os resultados das medições mostram que após os ajustes no firmware, o equipamento mantém uma tendência a produzir peças com medidas em torno de 0,05 mm acima da medida nominal (Figura 21). Ao se analisar as direções de construção, os resultados se mostram bastante aleatórios, não mostrando que exista algum problema de alinhamento que comprometa o funcionamento do equipamento.

**Figura 21.** Tendência das medidas para as direções avaliadas. Fonte: elaboração própria.

Para obter se uma avaliação completa da repetitividade da máquina realizaram se os cálculos considerando



todas as medidas realizadas por seção, no caso sendo o número de amostra  $n=12$ , logo com o grau de liberdade igual a 11, o valor de  $t$  foi de 2,201. Os valores obtidos são apresentados na tabela 7. A partir dos resultados obtidos chegou-se a um valor máximo de repetitividade de  $\pm 0,09$  mm é um valor três vezes menor que o alcançado nos testes iniciais realizados por Thomazetti que foi de  $\pm 0,27$  mm.

**Tabela 7.** Valores de repetitividade considerando o conjunto global de peças.

Geral	Vn (mm)	Td (mm)	$\sigma$ (mm)	Re (mm)
D1	20	0,04	0,03	$\pm 0,07$
D2	30	0,04	0,03	$\pm 0,07$
D3	5	0,04	0,04	$\pm 0,09$
D4	8	0,03	0,03	$\pm 0,07$
D5	5	0,05	0,03	$\pm 0,07$

Fonte: elaboração própria.

## 6. Conclusões

Este trabalho se propôs a melhorias na plataforma de construção e nos módulos de movimentação linear da impressora delta.

Com base nos testes de aquecimento, foi possível verificar que o novo projeto da mesa alcançou a temperatura de  $140^{\circ}\text{C}$ , sendo adequado para impressão de polímeros de alto desempenho. Além disso, o tempo necessário para alcançar a temperatura foi de cerca de 5 minutos que é um tempo bastante razoável para impressoras 3D. O novo projeto de mesa, não promoveu a transferência de calor para o efetuator e hastes de movimentação que foi um dos problemas apresentados nos testes iniciais com o protótipo.

As substituições de componentes nos módulos lineares resultaram na melhoria da qualidade superficial das peças produzidas, praticamente eliminando o efeito de ondulação que foi identificado anteriormente. A partir dos dados obtidos através das medições realizadas, seguindo os cálculos e comparado com os resultados alcançados por Thomazetti, constatou-se que em 95% dos casos, o erro aleatório que havia anteriormente, foi melhorado de  $\pm 0,27$  mm para  $\pm 0,09$  mm. Houve uma melhora na repetitividade de cerca de três vezes que demonstra mostra uma evolução do equipamento que se mostra mais adequado para realização de pesquisas com polímeros de alto desempenho.

## 7. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio concedido para a realização desta pesquisa através dos editais de fomento do IFSC, CNPq e FAPESC.

## 8. Referências

- [1] I. Gibson, D. W. Rosen, B. Stucker. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. 2015. 2ª ed., Springer.
- [2] C. W. Weyhrich, E. T. Long. “Additive manufacturing of high-performance engineering polymers: present and future”. Polymer International, v. 71, n. 5, p. 532-536, 2022.
- [3] A. Haleem, M. Javaid. “Polyether ether ketone (PEEK) and its manufacturing of customised 3D printed dentistry parts using additive manufacturing”. Clinical Epidemiology and Global Health, v. 7, n. 4, p. 654-660, 2019.
- [4] J. L. S. Thomazetti. Integração eletroeletrônica em impressora 3D com cinemática delta invertida (2019). TCC Eng. Mecatrônica. IFSC, Florianópolis. 74 p.
- [5] G. B. Feistauer. Aprimoramento de impressora 3D com cinemática delta invertida (2020). TCC Eng. Mecatrônica. IFSC, Florianópolis. 81p.
- [6] Types of 3D Printers, the definitive guide 2020. 2020. Disponível em: <https://bitfab.io/blog/types-of-3d-printers/>
- [7] I. Bonev. Delta Parallel Robot - The Story of Success. 2001. Disponível em: [parallelmic.org](http://parallelmic.org)
- [8] L. Pessina. Reymond Clavel, creator of the Delta Robot reflects on his career (2013). Disponível em <https://sti.epfl.ch/reymond-clavel-creator-of-the-delta-robot-reflects-on-his-career/>
- [9] G. P. S. Tomei. Desenvolvimento de um protótipo de um robô de cinemática paralela do tipo delta para impressão tridimensional de peças (2015). TCC Eng. de Automação e Controle. UNIVATES, Lajeado. 88p.
- [10] Charles Bell. 3D Printing with Delta Printers. 2015. Apress Berkeley.
- [11] DIYOUWARE. Diyouware TwinTeeth: The PCB mini-factory. 2019. Disponível em: [diyouware.com/](http://diyouware.com/)