

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
ESCOLA PAULISTA DE MEDICINA
CURSO DE TECNOLOGIA OFTÁLMICA
SETOR DE INOVAÇÃO DE TECNOLOGIA EM SAÚDE & CIÊNCIAS VISUAIS
APLICADAS**

LEONARDO HIDEKI NOMACHI NAITO

PROTÓTIPO DE CUBA DE IMERSÃO CONFECCIONADA EM MANUFATURA ADITIVA

Trabalho de Produção Intelectual apresentado à
Universidade Federal de São Paulo – Escola
Paulista de Medicina, como requisito parcial para
obtenção do título de Tecnólogo Oftálmico

São Paulo

2022

LEONARDO HIDEKI NOMACHI NAITO

PROTÓTIPO DE CUBA DE IMERSÃO CONFECCIONADA EM MANUFATURA ADITIVA

Trabalho de Produção Intelectual apresentado à
Universidade Federal de São Paulo – Escola
Paulista de Medicina, como requisito parcial para
obtenção do Título de Tecnólogo Oftálmico

Orientador:

Prof. Dr. Vagner Rogério dos Santos

Supervisor:

Me. Stefano Neto Jai Hyun Choi

São Paulo

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Naito, Leonardo Hideki Nomachi

Protótipo de Cuba de Imersão Confeccionada em Manufatura Aditiva /
Leonardo Hideki Nomachi Naito. - São Paulo, 2022.
xi, 33f

Trabalho de conclusão de curso (graduação em Tecnologia Oftálmica) -
Universidade Federal de São Paulo, Escola Paulista de Medicina, 2022.

Título em inglês: Prototype of Immersion Shell made in Additive Manufacturing

1.Impressão em 3D. 2.Desenho Assistido por Computador. 3. Inovação. 4. Cuba
de Imersão. 5. Tecnologia Oftálmica. 6. Biometria Ocular

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
ESCOLA PAULISTA DE MEDICINA
CURSO DE TECNOLOGIA OFTÁLMICA
SETOR DE INOVAÇÃO DE TECNOLOGIA EM SAÚDE & CIÊNCIAS VISUAIS
APLICADAS**

Leonardo Hideki Nomachi Naito

Monografia apresentada em: 14/02/2022

Orientador: Prof. Dr. Vagner Rogério dos Santos

1ª Examinador (a) Profª. Drª. Nívea Nunes Ferraz

2ª Examinador (a) Profª. Drª. Paula Yuri Sacai

3ª Examinador (a) Prof. Dr. Ivan Maynart Tavares

Coordenador (a) Profª. Drª. Norma Alleman

DEDICATÓRIA

Aos meus tios que me criaram e fizeram de mim a pessoa que sou e a quem devo minha vida. Com todo o amor e carinho que me deram, tive a oportunidade de estar onde estou.

A vocês, eterno amor.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de São Paulo, seu corpo docente, direção e administração, os quais viabilizaram a realização desse curso, primando sempre pela excelência de ensino e pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vagner Rogério dos Santos, por acreditar em mim, pelo apoio e confiança inestimáveis, e pelas sábias orientações sobre a vida que levarei para sempre;

Profª Drª Norma Alleman pelo apoio e estímulo ao desenvolvimento de tecnologia nacional e inovação voltadas à atenção da saúde ocular.

Ao Me. Stefano Neto Jai Hyun Choi, por aceitar ser meu supervisor e me apoiar durante esta importante etapa da minha vida;

Ao Grupo PET Tecnologias por me acolher e mostrar uma visão além do acadêmico e principalmente à Profª Drª Raquel Santos Marques de Carvalho, minha “segunda mãe” que a UNIFESP me presenteou e que sempre me incentivou como aluno e pessoa;

À Gracianna do Carmo Ferreira, por todo seu apoio e por ser a razão da minha existência;

Ao Setor de Inovação de Tecnologia em Saúde & Ciências Visuais Aplicadas, por ser minha segunda casa e local de grande aprendizado;

Ao curso de Tecnologia Oftálmica e toda a Universidade Federal de São Paulo que me proporcionou viver experiências, enésimos aprendizados e amizades que levarei sempre no coração;

E, finalmente, a todas as pessoas que direta ou indiretamente, me ajudaram e apoiaram durante a graduação.

SUMÁRIO

Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
SUMÁRIO	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
Lista de figuras	x
Lista de abreviaturas	xi
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Impressão 3D – Definição	12
1.2 Tipos de manufatura aditiva	13
1.2.1 Sinterização seletiva a laser (SLS)	13
1.2.2 Deposição de material fundido (FDM)	13
1.2.3 Estereolitografia (SLA)	14
1.3 Tipos de materiais de impressão 3D	15
1.3.1 Ácido polilático (PLA)	15
1.3.2 Resina	15
1.4 Exame de biometria ultrassônica por imersão	15
2. OBJETIVO	16
3. METODOLOGIA	17
3.1. Modelo do protótipo	17
3.2. Desenho	17
3.3 Impressão 3D	17
3.4 Parâmetros de impressão 3D	18
3.5 Confecção do protótipo	18
3.6 Material de impressão	19
4. RESULTADOS	20
4.1. Desenho 2D do protótipo da Cuba de Imersão	20
4.2. Modelo 3D do protótipo da Cuba de Imersão	21
4.3. Parâmetros do protótipo da Cuba de Imersão	21
4.3.1. Posicionamento do modelo 3D do protótipo da Cuba de Imersão	21

4.3.2. Programação de impressão	22
4.4. Fotos do protótipo da Cuba de Imersão impressos	24
4.5. Fotos do protótipo da Cuba de Imersão	26
4.6. Filme do processo de impressão do protótipo da Cuba de Imersão	26
5. DISCUSSÃO	27
6. CONCLUSÃO	29
7. REFERÊNCIAS	30
ANEXOS	31
ANEXO 1. Data sheet PLA	31
ANEXO 2. Declaração de Responsabilidade	32

RESUMO

Objetivo: O presente trabalho possui como objetivo, confeccionar protótipos de Cuba de Imersão utilizada no Exame de biometria ultrassônica por imersão, pelo método de manufatura aditiva (Impressão 3D) para testes de avaliação dimensional básica. **Métodos:** Realizado desenho 2D do protótipo em *software* CAD *open-source*, baseado em Cuba de imersão utilizada do Departamento de Oftalmologia e Ciências Visuais da Escola Paulista de Medicina - Unifesp; Após o desenho 2D ser definido, este foi renderizado em um objeto 3D utilizando o mesmo *software*; O protótipo foi produzido por manufatura aditiva em impressora 3D com tecnologia FDM em material termoplástico PLA; No *software* de fatiamento, foram alterados os parâmetros de impressão necessários para confeccionar protótipos. **Resultados:** A realização do desenho 2D baseado em Cuba existente possibilitou a produção do objeto 3D. A impressão do protótipo utilizando PLA em impressora 3D foi realizada e foram definidos os parâmetros necessários para produção. **Conclusão:** Foi possível verificar a aplicabilidade da manufatura aditiva na confecção de protótipos de Cubas para o exame de biometria por imersão utilizando PLA. Estudos futuros pretendem produzir as Cubas em resina fotossensível e elaborar protocolo de avaliação da tecnologia da impressão 3D para fabricação de Cubas de imersão.

Palavras-chave: Impressão em 3D; Desenho Assistido por Computador; Inovação; Cuba de Imersão; Tecnologia Oftálmica; Biometria Ocular

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this work was to develop prototypes of Immersion Shell used in the immersion biometry, by the additive manufacturing method (3D printing) to be tested considering its basic dimension. **Methods:** A 2D drawing of the prototype was produced in open-source CAD software, based on an Immersion Shell in use at the Department of Ophthalmology and Visual Sciences, Escola Paulista de Medicina – UNIFESP; After drawing definition, it was rendered into a 3D object using the same software; The prototype was produced by additive manufacturing in a 3D printer with FDM technology in PLA thermoplastic material; Printing parameters were set in a slicing software. **Results:** Drawing the existing model of immersion shell made it possible the 3D object by printing. The prototype was printed using PLA in a 3D printer and the necessary parameters for production were defined. **Conclusion:** It was possible to understand the applicability of additive manufacturing for immersion shell used in biometry, printed in PLA. Future studies are necessary to produce the Immersion Shell in photosensitive resin and to develop a protocol for evaluation of the 3D printing technology for the manufacture of Immersion Shell.

Keywords: Printing, Three-Dimensional; Computer-Aided Design; Invention; Immersion Shell; Ophthalmic Technology; Ocular Biometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da impressão 3D.....	13
Figura 2 – Exemplificação do funcionamento da tecnologia SLS.....	15
Figura 3 – Exemplificação do funcionamento da tecnologia FDM.....	15
Figura 4 – Representação do funcionamento da tecnologia SLA.....	15
Figura 5 – Exame de biometria por imersão.....	15
Figura 6 – Perspectiva de dimensões da Cuba.....	16
Figura 7 – <i>Print Screen</i> tela inicial do Repetier Host®.....	16
Figura 8 – Impressora Hadron Max® v1.....	17
Figura 9 – Rolo de filamento PLA transparente.....	17
Figura 10 – Desenho 2D do protótipo da Cuba de Imersão.....	18
Figura 11 – Modelo 3D do protótipo da Cuba de Imersão.....	19
Figura 12 – Colocação de objeto no Repetier Host®.....	20
Figura 13 – Pré-visualização de impressão no Repetier Host®.....	20
Figura 14 – Parâmetros do filamento PLA utilizado.....	21
Figura 15 – Parâmetros de velocidade e qualidade de impressão.....	22
Figura 16 – Parâmetros de estruturas de impressão no Repetier Host®.....	23
Figura 17 – Parâmetros de extrusão de impressão no Repetier Host®.....	23
Figura 18 – Protótipos de Cubas impressos.....	24
Figura 19 – Protótipo impresso em PLA verde.....	24
Figura 20 – Protótipo impresso em PLA transparente.....	25
Figura 21 – Protótipo impresso em PLA branco.....	25
Figura 22 – Protótipo da Cuba de Imersão.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS

MA – manufatura aditiva

CAD – computer aid design (design assistido por computador)

STL – stereolithography (estereolitografia)

SLS – selective laser sintering (sinterização seletiva a laser)

FDM – fused deposition modeling (deposição de material fundido)

SLA – estereolitografia

DLP/LCD – digital light processing/liquid crystal display (processamento de luz digital/display de cristal líquido)

PLA – ácido polilático

AL – axial length (comprimento axial)

RAM – random access memory (memória de acesso aleatório)

GB – gigabytes

VRAM – video random access memory (memória de acesso aleatório de vídeo)

GHz – giga-hertz

mm – milímetros

mm/s – milímetros por segundo

INTRODUÇÃO

1.1. Impressão 3D – Definição

A Impressão 3D constrói objetos por meio da adição de material para a criação de peças tridimensionais. Essa técnica de adicionar camada a camada é chamada de Manufatura Aditiva (MA). Os objetos tridimensionais são desenvolvidos em um programa de design assistido por computador, chamado de “Computer-Aided Design” (CAD), e posteriormente são utilizados na impressão 3D (figura 01) para a criação da peça.¹

A técnica de produção de peças pela MA utiliza diferentes tipos de matérias-primas para a criação de objetos e de tecnologias que se beneficiam com características de cada tipo de material.¹

Em impressão 3D, o modelo 3D é armazenado digitalmente como um arquivo chamado “STereoLithography” (STL), também referido como “Standard Triangle Language” ou “Standard Tessellation Language”. Este tipo de arquivo utiliza uma série de triângulos vinculados para recriar a geometria de superfície de um modelo sólido. Com o arquivo criado, temos a possibilidade de utilizá-lo em uma das tecnologias em impressão 3D, sendo a sinterização seletiva a laser, modelagem por deposição de material fundido e a estereolitografia, principais tecnologias adotadas na impressão 3D.²

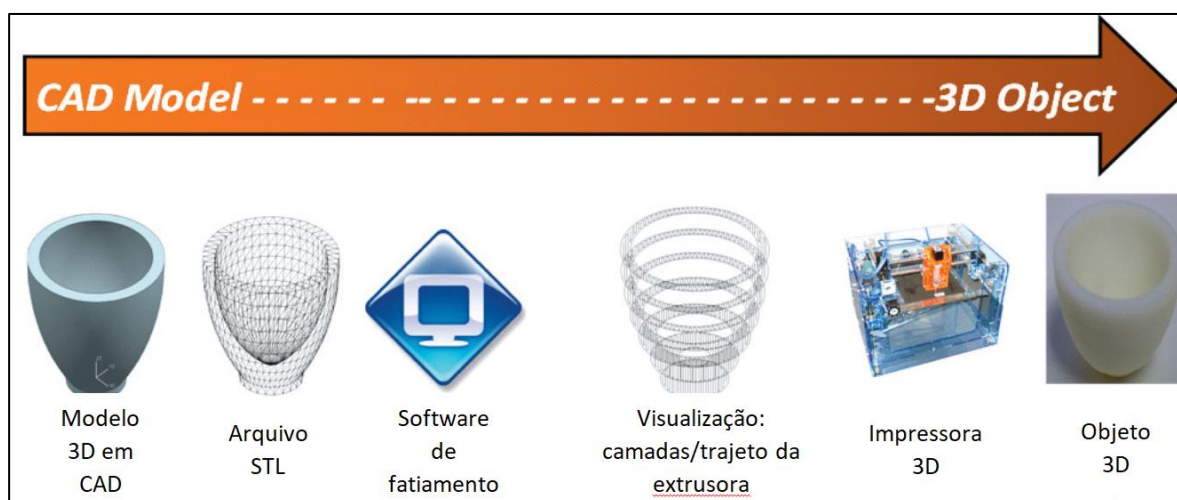


Figura 1: etapas da impressão 3D
(Fonte: CAMPBELL, Thomas et al. 2011)

1.2. Tipos de manufatura aditiva

Entre as várias tecnologias podemos mencionar:

1.2.1 A sinterização seletiva a laser (SLS)

A sinterização seletiva a laser (SLS - Selective Laser Sintering) é uma técnica, patenteada em 1989, que utiliza um raio laser para fundir, de forma seletiva materiais pulverulentos, tais como náilon, elastômeros e metais, em um objeto sólido. As peças são construídas sobre uma plataforma que está imediatamente abaixo da superfície de um recipiente preenchido com o pó fusível por calor.²

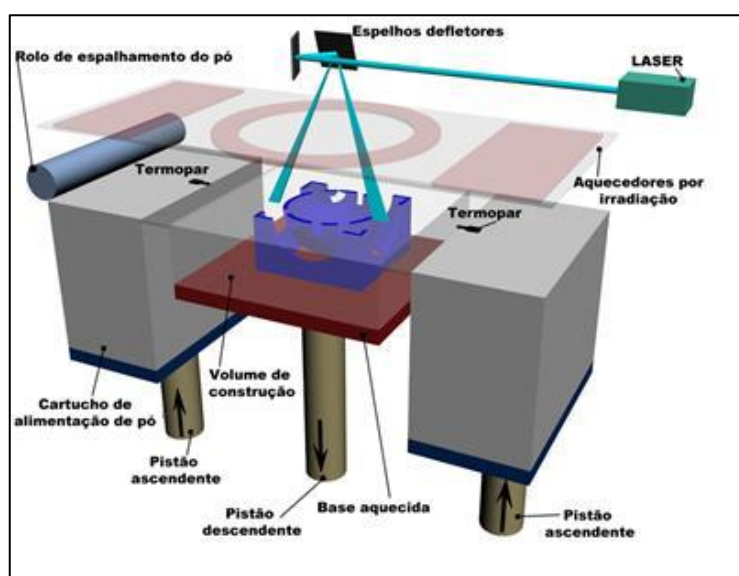


Figura 2: exemplificação do funcionamento da tecnologia SLS
(Fonte: Diniz, Jonathan de Oliveira. 2019)

1.2.2 Deposição de material fundido (FDM)

Na modelagem por deposição de material fundido (FDM - *Fused Deposition Modeling*), o filamento termoplástico é aquecido e extrusado, por meio de um “bico de extrusão”, sendo depositado camada por camada em uma superfície com parâmetros cartesianos de x, y e z, formando o objeto final.²

A tecnologia FDM foi criada por Scott Crump em 1989. Na FDM, o termoplástico é tracionado e aquecido ao ponto de fusão, passando de um estado cristalino para um estado de transição vítrea, amolecendo-o, e reduzindo sua viscosidade do termoplástico possibilitando ser extrusado para formação do objeto. Na (figura 3) é apresentado uma ilustração do processo de extrusão.³

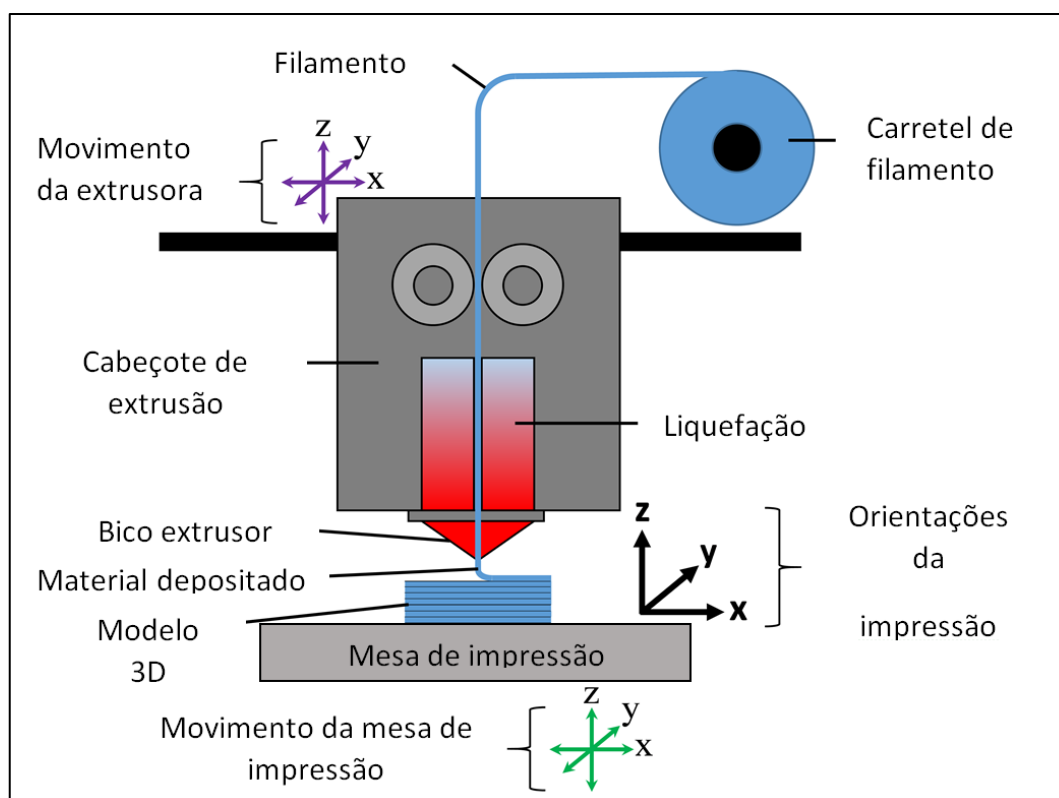


Figura 3: exemplificação do funcionamento da tecnologia FDM (esquema do bico de extrusão)
(Fonte: Gordelier T.J. et al, 2019.)

1.2.3 Estereolitografia (SLA)

A estereolitografia, que utiliza como meio de produção o *Stereolithography Apparatus* (SLA), foi um processo pioneiro patenteado por Chuck Hull em 1984. Essa técnica constrói objetos tridimensionais a partir de polímeros líquidos sensíveis à luz que solidificam quando expostos à radiação ultravioleta. Caso seja utilizado laser para solidificação da resina, temos a tecnologia SLA, porém, caso seja utilizado um processamento de luz digital, temos o DLP/LCD, que utiliza uma tela de projeção luminosa para tratamento da resina.²

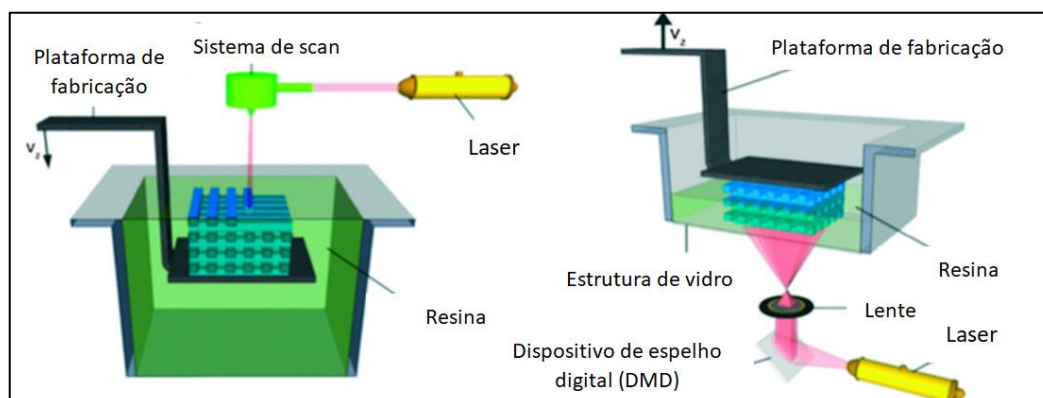


Figura 4: representação do funcionamento da tecnologia SLA
(Fonte: Dong-Hyeon Ko, Dongpyo Kim, 2016)

1.3. Tipos de materiais de impressão 3D

Existem diversos tipos de materiais para impressão 3D, como termoplásticos, resinas e materiais metálicos pulverulentos.¹

1.3.1. Ácido polilático (PLA)

O termoplástico mais utilizado na tecnologia FDM, ácido polilático (PLA), possui resistência à tração, rigidez, boa aderência entre as camadas além de uma grande variedade de cores.^{1, 5}

1.3.2. Resina

A resina é um material fotossensível, que permite a impressão de peças com acabamento superior as a e características biomédica. Dependendo da tecnologia utilizada pela impressora, o tipo de resina pode variar. Como principal fator, o tempo de cura que dita o tipo de material a ser utilizado. O comprimento de onda é inversamente proporcional à potência necessária para o tratamento do material, ou seja, em impressoras SLA, são utilizadas resinas com comprimento de onda baixo, já em impressoras DLP/LCD, utiliza-se resinas com comprimento de onda alto.^{1,4}

1.4. Exame de biometria ultrassônica por imersão

O exame de biometria é responsável por adquirir medidas do comprimento axial do olho (AL). Existem dois métodos de exame, a biometria óptica e a ultrassônica. A Cuba de imersão é essencial para realização de biometria ultrassônica por imersão, exame fundamental para aquisição de medidas do comprimento axial de um olho que será submetido a cirurgias que necessitarão do implante da lente intraocular e seu cálculo.⁶

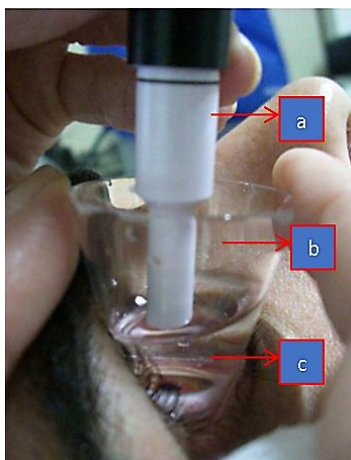


Figura 5: exame de biometria por imersão.
Nota: a- transdutor; b- cuba; c- fluido.
(Fonte: Oliveira, Filipe de, 2010)

2. OBJETIVO

Confeccionar protótipos de Cuba de Imersão utilizada no exame de biometria ultrassônica por imersão, pelo método de manufatura aditiva (Impressão 3D) para testes de avaliação dimensional básica.

3. METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido no Setor de Inovação de Tecnologia em Saúde e Ciências Visuais Aplicadas do Departamento de Oftalmologia e Ciências Visuais da Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo, de outubro de 2021 a fevereiro de 2022. Foi registrado no Comitê de Ética em Pesquisa da UNIFESP para estudos sem seres humanos registrado com termo de responsabilidade (Anexo 2).

3.1. Modelo do Protótipo

O modelo representado na figura 6 foi utilizado como parâmetro base para confecção do protótipo.

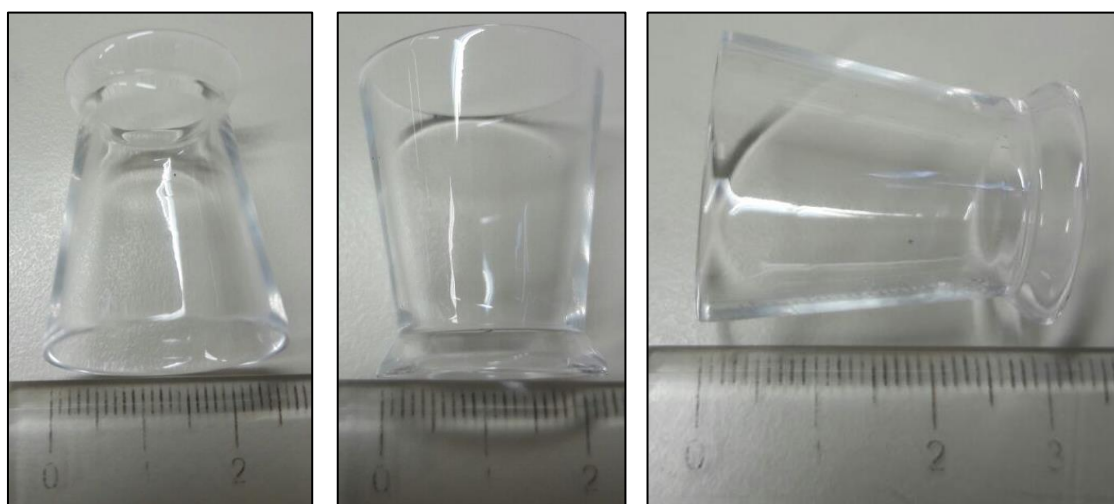


Figura 6: perspectiva de dimensões da Cuba
(Fonte: próprio autor)

3.2. Desenho

O desenho 2D foi desenvolvido no *software open-source* de CAD, FreeCAD® versão 0.19, utilizando como modelo a cuba de imersão do Departamento de Oftalmologia e Ciências Visuais da Escola Paulista de Medicina Universidade Federal de São Paulo, estabelecendo-se como parâmetros customizáveis de geometria o diâmetro, altura e espessura da peça.

3.3. Impressão 3D

Após o desenvolvimento do desenho em CAD, o arquivo produzido foi convertido em um arquivo de extensão .STL e exportado para o software Repetier Host® versão 2.2.2 em computador com memória RAM de 8,00 GB (VRAM de 4,00 GB compartilhados),

sistema operacional Windows 11 Home Single Language e GPU 11th Gen Intel® Core™ i5-1135G7 @ 2.40GHz 2.42 GHz com gráficos Intel® Iris® Xe.

3.4. Parâmetros de impressão 3D

Para o material utilizado foram utilizadas configurações padrões de temperatura de impressão em 195°C, temperatura da mesa em 60°C e diâmetro do filamento de 1.75mm. Os parâmetros de impressão variáveis são a velocidade da impressão (mm/s), qualidade de impressão (mm), preenchimento da peça (mm), extrusão (mm) e densidade do enchimento (%).

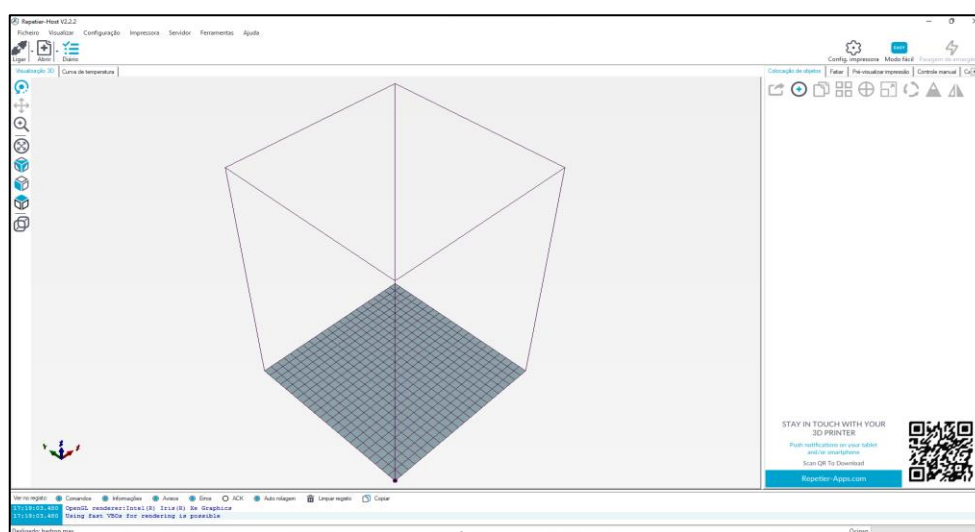


Figura 7: Print Screen tela inicial do Repetier Host®
(Fonte: próprio autor)

3.5. Confeção do Protótipo

Para impressão 3D foi utilizada a impressora 3D Hadron Max v1® (figura 8)



Figura 8: Impressora Hadron Max v1
(Fonte: Wentex, 2022)

3.6. Material de Impressão

Foi utilizado o filamento de PLA 1.75mm da empresa 3D GTMax ® (figura 9).



Figura 9: Rolo de filamento PLA transparente
(Fonte: GTMax, 2022)



O material selecionado não tem estudos de aplicação em bioengenharia, e não foram realizados testes de biocompatibilidade.



Todo estudo que envolva desenvolvimento de “Materiais de uso em Saúde” deve seguir a resolução RDC nº 185/2001 (ANVISA). E a Resolução Nº 466 de 12 de Dezembro de 2012 (CONEP)

4. RESULTADOS

4.1. Desenho 2D do protótipo da Cuba de Imersão

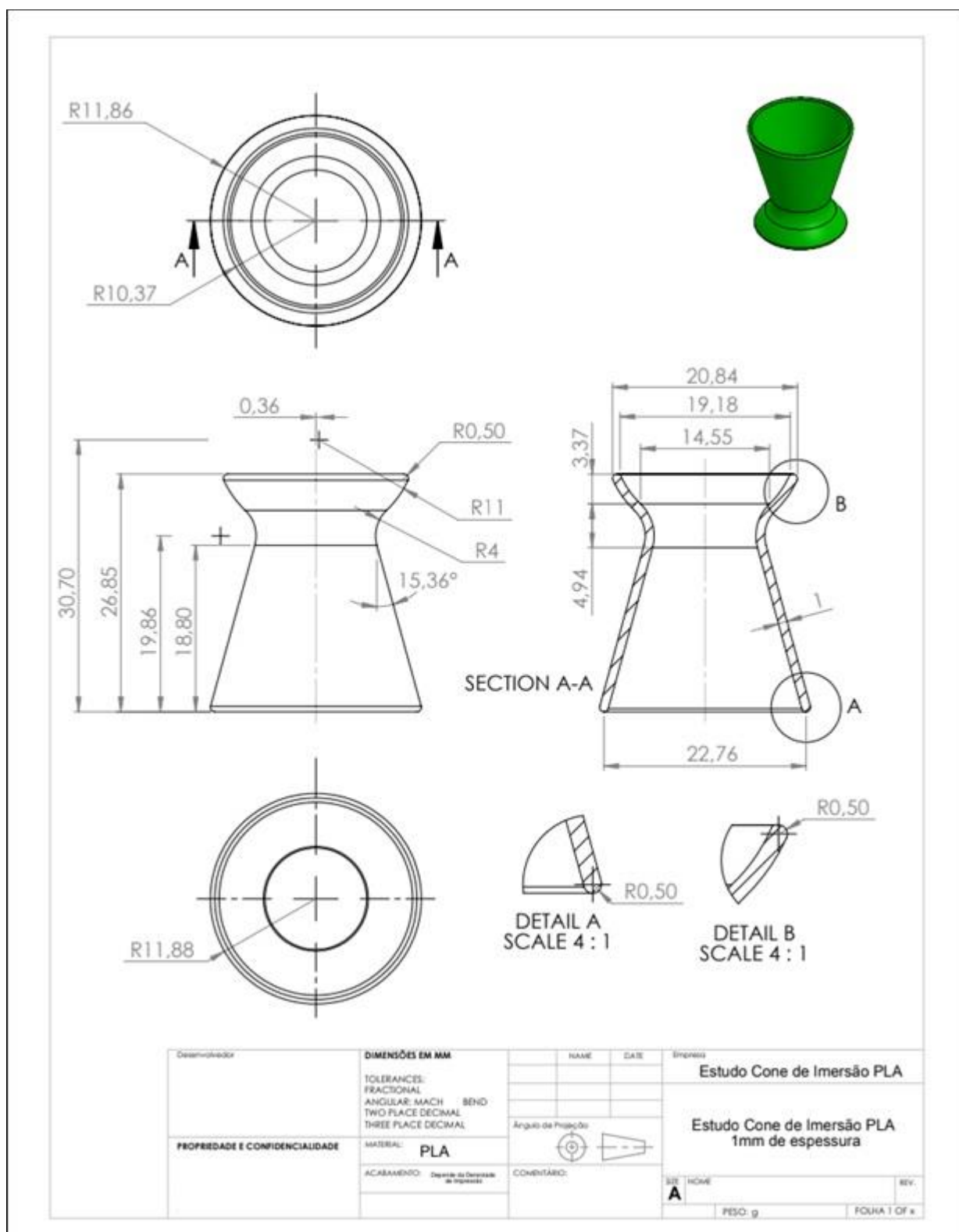


Figura 10: desenho 2D do protótipo da Cuba de Imersão
(Fonte: próprio autor)

4.2. Modelo 3D do protótipo da Cuba de Imersão

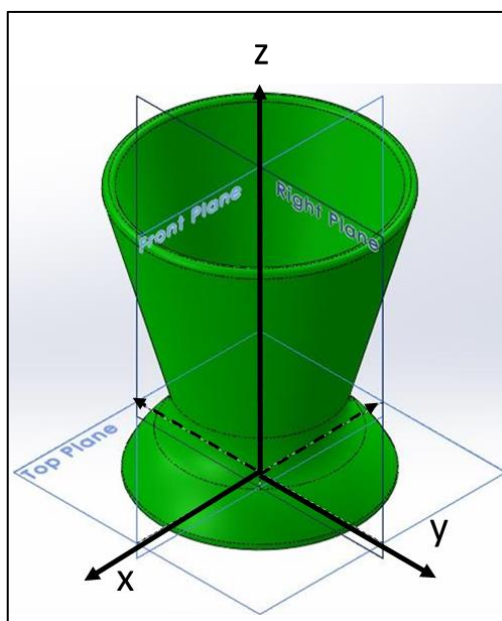


Figura 11: modelo 3D do protótipo da Cuba de Imersão
(Fonte: próprio autor)

4.3. Parâmetros do protótipo da Cuba de Imersão

Durante a realização da impressão 3D os parâmetros mais importantes são o posicionamento do modelo 3D e a programação de impressão

4.3.1. Posicionamento do modelo 3D do protótipo da Cuba de Imersão)

O modelo 3D da Cuba (Figura 11) foi posicionado no ambiente virtual de programação (figura 12) nos planos “x”, “y” e o bico extrusor no plano “z” plano no qual, o material é extrusado após ser derretido para confeccionar a peça.

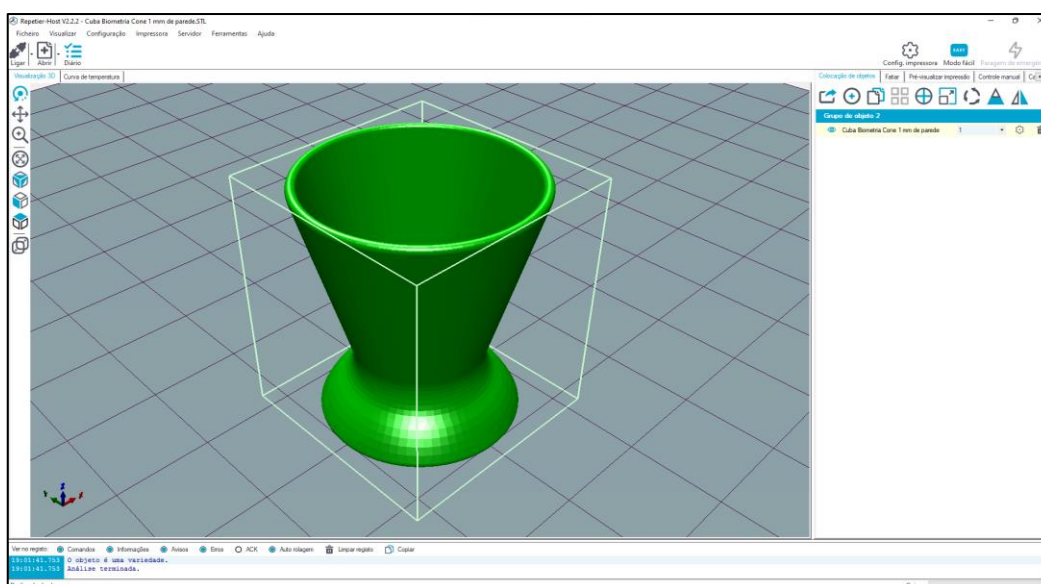


Figura 12: colocação de objeto no Repetier Host®
(Fonte: próprio autor)

Após o fatiamento do desenho, o *software* fornece uma visualização da peça representada camada por camada (figura 13).

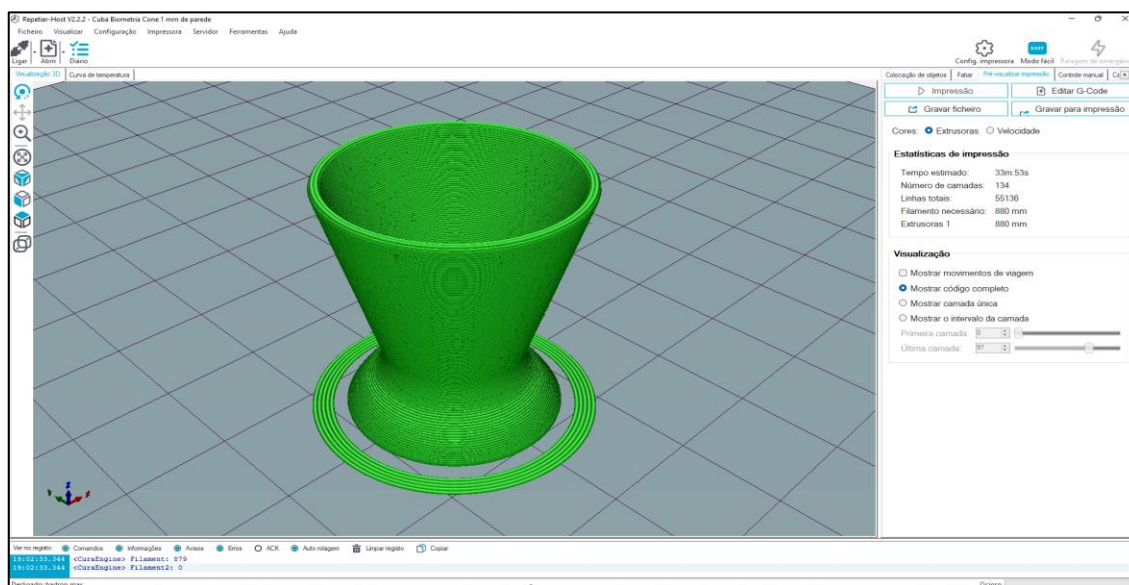


Figura 13: pré-visualização de impressão no Repetier Host®
(Fonte: próprio autor)

4.3.2. Programação de impressão

Para cada material de impressão 3D existem parâmetros específicos de velocidade de impressão, temperatura de extrusão e temperatura da cama de impressão.

A (figura 14, item a) apresenta os campos de programação no Repetier Host® onde são programados o diâmetro do filamento de PLA, fluxo do termoplástico tracionado e as temperaturas de Impressão e da cama de impressão.

Figura 14: parâmetros do Filamento de PLA utilizado
(Fonte: próprio autor)

A (figura 15, item a e b) apresentam os campos de programação no Repetier Host® onde são programadas a velocidade de impressão e a espessura das camadas que irão compor a peça.

Opções do CuraEngine

Impressão | Filamento

Cuba

Velocidade e Qualidade | Estruturas | Extrusão | G-Codes | Avançado

Velocidade

	Lento	Rápido	
Imprimir:	10	60	[mm/s]
Viagem:	20	140	[mm/s]
Primeira camada:	10	40	[mm/s]
Perímetro Exterior:	20	60	[mm/s]
Perímetro Interno:	20	60	[mm/s]
Preenchimento:	20	80	[mm/s]
Preenchimento da pele:	20	80	[mm/s]

Qualidade

Qualidade padrão: Cuba

0.04 mm
0.3 mm
0.2 mm
0.15 mm
0.1 mm
Cuba

Definição de qualidade selecionada

Nome: Cuba

Altura da camada: 0.2 [mm]

Altura da primeira camada: 0.2 [mm]

Largura da primeira camada: 100 [%]

Arrows 'a' and 'b' point to the 'Velocidade' and 'Qualidade' sections respectively.

Figura 15: parâmetros de velocidade e qualidade de impressão
(Fonte: próprio autor)

A figura (16, item a) apresenta campos específicos relacionados à programação que devem ser respeitados, porém não fazem parte deste trabalho explica-los.

Opções do CuraEngine

Impressão | Filamento

Cuba

Velocidade e Qualidade | **Estruturas** | Extrusão | G-Codes | Avançado

Preenchimento

Espessura exterior: 0.8 [mm]

Espessura Superior/Inferior: 0.9 [mm]

Sobrepôr enchimento: 30 [%]

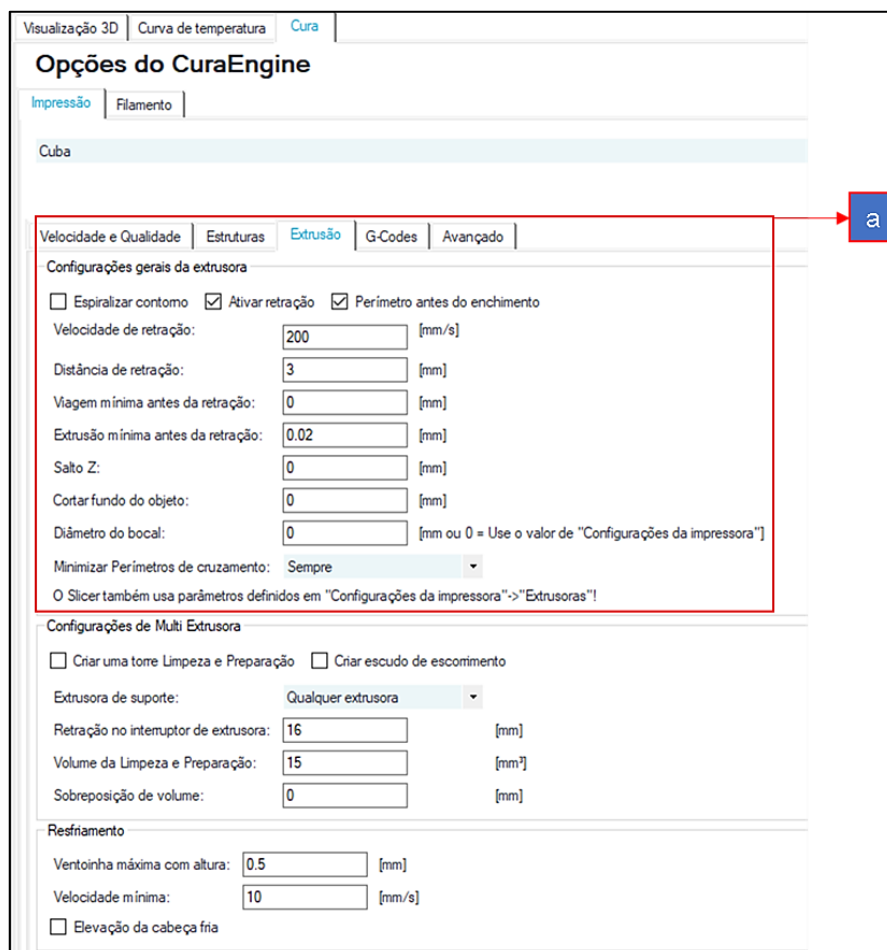
Padrão de enchimento: Automático

☒ Enchimento superior sólido ☒ Enchimento inferior sólido

Arrow 'a' points to the 'Estruturas' tab.

Figura 16: parâmetros de estruturas de impressão no Repetier Host®
(Fonte: próprio autor)

A figura (17, item a) apresentam os campos de programação do “bico de extrusão” para impressão do “Modelo 3D do protótipo da Cuba de Imersão” relacionados a programação que devem ser respeitados, porém não fazem parte deste trabalho explicá-los.



Visualização 3D | Curva de temperatura | Cura

Opções do CuraEngine

Impressão | Filamento

Cuba

Velocidade e Qualidade | Estruturas | **Extrusão** | G-Codes | Avançado

Configurações gerais da extrusora

☐ Espiralizar contorno ☒ Ativar retração ☒ Perímetro antes do enchimento

Velocidade de retração: [mm/s]

Distância de retração: [mm]

Viagem mínima antes da retração: [mm]

Extrusão mínima antes da retração: [mm]

Salto Z: [mm]

Cortar fundo do objeto: [mm]

Diâmetro do bocal: [mm ou 0 = Use o valor de "Configurações da impressora"]

Minimizar Perímetros de cruzamento: Sempre

O Slicer também usa parâmetros definidos em "Configurações da impressora" -> "Extrusoras"!

Configurações de Multi Extrusora

☐ Criar uma torre Limpeza e Preparação ☐ Criar escudo de escoamento

Extrusora de suporte: Qualquer extrusora

Retração no interruptor de extrusora: [mm]

Volume da Limpeza e Preparação: [mm³]

Sobreposição de volume: [mm]

Resfriamento

Ventoinha máxima com altura: [mm]

Velocidade mínima: [mm/s]

☐ Elevação da cabeça fria

Figura 17: parâmetros de extrusão de impressão Repetier
(Fonte: próprio autor)

4.4. Fotos do protótipo da Cuba de Imersão impressos

Foram impressos 10 protótipos com características distintas (figura 18).



Figura 18: Protótipos de Cuba impressos

Nota: Materiais utilizados: 1: PLA verde; 2 a 7: PLA transparente; 8 a 10: PLA branco.
(Fonte: próprio autor)

As figuras 19a e 19b resultados das impressões com PLA verde, as figuras 20a e 20b impressos com PLA transparente, 21a e 21b protótipos impressos em PLA branco.

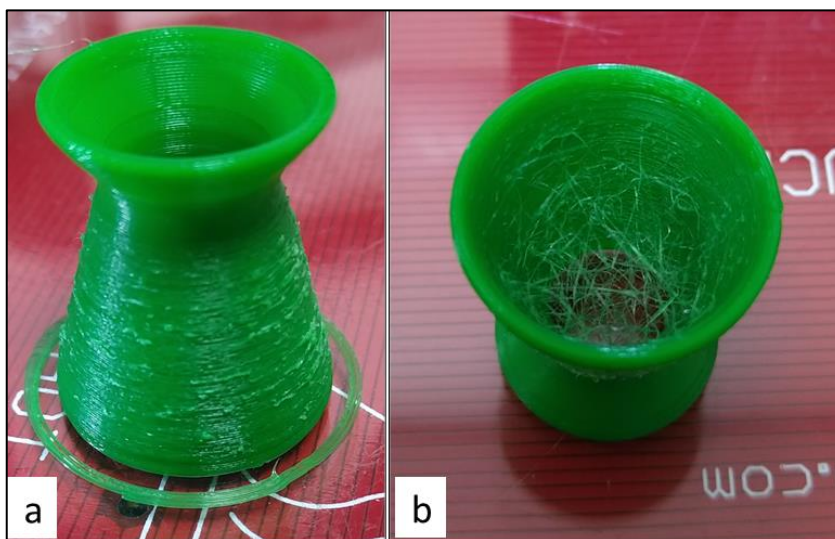


Figura 19a e 19b protótipos impressos em PLA verde
(Fonte: próprio autor)

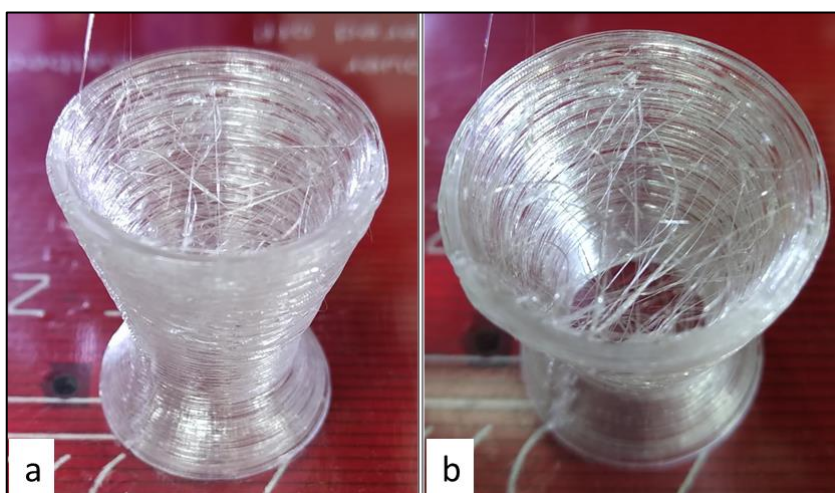


Figura 20a e 20b protótipos impressos em PLA transparente
(Fonte: próprio autor)

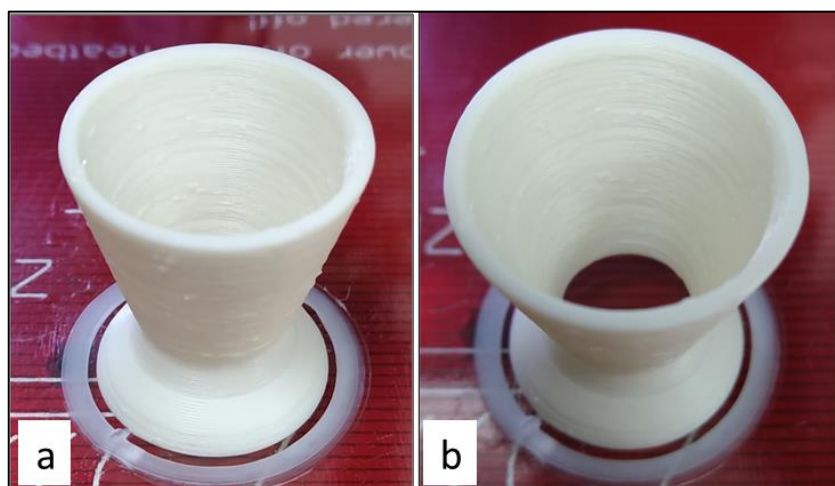


Figura 21a e 21b protótipos impressos em PLA branco
(Fonte: próprio autor)

4.5 Fotos do protótipo da Cuba de Imersão

A figura 22 apresenta o resultado comparativo das dimensões do Protótipo da Cuba de Imersão.

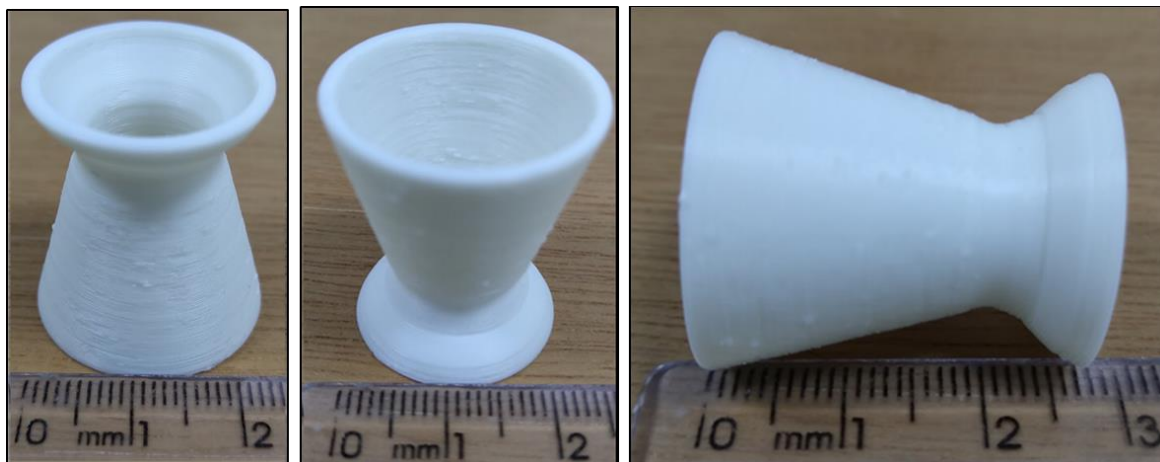
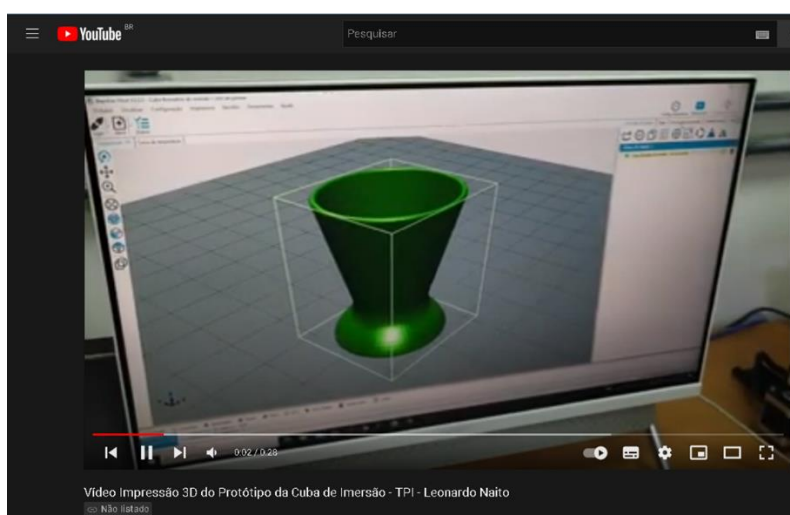


Figura 22: Protótipo da Cuba de Imersão
(Fonte: próprio autor)

4.6 Filme do processo de impressão do Protótipo da Cuba de Imersão

Vídeo Impressão 3D do Protótipo da Cuba de Imersão - TPI - Leonardo Naito

Tempo: 0,28 minutos



<https://www.youtube.com/watch?v=E0vezUI3YOM&list=PLU6JdXk635CWOZSgj-vODASmGPxuhMIb&index=2>

5 DISCUSSÃO

O desenvolvimento de desenho por CAD e impressão 3D de *devices* oftalmológicos oferece um meio de produzir e inovar nesta área. A possibilidade de produção de “Protótipo da Cuba de Imersão” utilizando a manufatura aditiva se mostrou viável e a utilização desta tecnologia possui como ponto positivo a customização completa dos protótipos, podendo variar o diâmetro para diferentes tamanhos de olhos e variar a geometria para produção de Cubas de qualquer volume.

A partir do modelo utilizado, foi possível o desenho em 2D do protótipo, o que possibilita a diversificação do design, limitado às dimensões propostas e geometria relacionada à impressão 3D.

A utilização da impressora 3D para produção das cubas demonstrou-se viável apenas para protótipos, com limitações em relação à qualidade de impressão obtida.

Em algumas impressões (figura 19b e 20b) ocorreu um processo denominado de “*stringing*”, conhecido na área de impressão 3D como filetes de filamento flutuantes, que conectam partes internas do protótipo, formadas durante o processo de movimentação da extrusora. Vale ressaltar que este processo é dependente da qualidade do material e da impressora utilizada, não impactando no objetivo proposto para esta impressão.

Para a confecção dos protótipos foram observadas, além do “*stringing*”, irregularidades na base ocasionadas pelo tipo de tecnologia utilizada. Por se tratar de uma manufatura aditiva por deposição de material fundido, a impressão sofre influência da deposição do material que, ao se solidificar novamente, apresenta uma aplanagem nas camadas iniciais, criando uma geometria indesejável. Entretanto, tal deformação pode ser relevada a depender do local em que será formada.

No caso “Protótipo da Cuba de Imersão”, apenas a parte inferior necessita de um acabamento mais refinado. Sendo assim, o posicionamento do modelo demonstra ser um dos parâmetros com influência na impressão final. O uso de manufatura aditiva por estereolitografia pode ser uma alternativa viável para produção do produto final.

Outro parâmetro que se destaca é a velocidade de impressão. Durante a deposição do material derretido, cada camada possui temperaturas distintas e assim, influenciam no processo de formação da peça a ser confeccionada. Por se tratar de um objeto de tamanho reduzido, ao utilizar uma velocidade significativamente elevada, ocorrem deformações (figuras 20a e 20b) tanto entre as camadas (espaços vazios) quanto nas próprias linhas de determinadas camadas (linhas achatadas).

Algumas peças também apresentaram aspecto mais áspero e grosseiro, resultado do processo de fatiamento submetido que, indiferente dos parâmetros utilizados, o software utilizado demonstrou limitações ao renderizar o resultado final.

6 CONCLUSÃO

Foi possível verificar a aplicabilidade da manufatura aditiva na confecção de protótipos de Cubas para o exame de biometria ultrassônica por imersão utilizando PLA.

Para estudos futuros, pode-se confeccionar as Cubas em resina fotossensível e elaborar protocolo de avaliação da tecnologia da impressão 3D para fabricação de cubas de imersão.

7 REFERÊNCIAS

1. SAMPAIO, C.L.M. **Guia Maker da Impressão 3D: Teoria e práticas consolidadas.** v.0.99, 2017. Livro open-source disponível em <http://www.makerlinux.com.br/ebook/>.
2. Gorni AA. **Introdução à prototipagem rápida e seus processos.** Rev Plástico Industrial;
3. Carvalho J, Volpato N. **Prototipagem rápida como processo de fabricação.** In: Volpato N, Ahrens CH, Ferreira CV, Petrush G, Carvalho J, Santos JRL, Silva, JVL. Prototipagem Rápida - Tecnologias e Aplicações. São Paulo: Blücher, 2007;
4. Impressoras3D.com [homepage na internet]. Guia de tipos de resina 3D para impressão [acesso em 03 dez 2021]. Disponível em: <https://www.impresoras3d.com/pt/>
5. Oliveira, Filipe de **Avaliação dos métodos biométricos do olho humano empregados no cálculo do poder dióptrico da lente intra-ocular.** / Filipe de Oliveira. -São Paulo, 2010. xv, 105 f.
6. CAMPBELL, Thomas et al. . Could 3D printing change the world. Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing, Atlantic Council, Washington, DC, v. 3, 2011.
7. Seminário em Tecnologia da Informação do Programa de Capacitação Institucional (PCI) do CTI Renato Archer, 9., 2019, Campinas. Impressão em alumina por meio da tecnologia SLS, 2019. 6p.
8. Tessa Jane Gordelier T.J. et tal, . Optimising the FDM additive manufacturing process to achieve maximum tensile strength: a state-of-the-art review. Rapid Prototyping Journal , July 2019. DOI:10.1108/RPJ-07-2018-0183
9. Dong-Hyeon Ko, Dongpyo Kim. Emerging Microreaction Systems Based on 3D Printing Techniques and Separation Technologies Journal of Flow Chemistry 7(3):1-10. DOI:10.1556/1846.2017.00013
10. Wietech Ind. Com., Serv. e Locação de Equipamentos Eletrônicas Ltda. Wietech, 2022. Página inicial. Disponível em: < <https://www.wietech.com.br/>>. Acesso em: 01 de fev. de 2022.
11. 3DMax, 2022. Disponível em: <<https://www.gtmax3d.com.br/filamentos/pla/175mm-gtmax3d-branco-1kg>>. Acesso em: 01 de fev. de 2022.

8 ANEXOS

ANEXO 01 - Data sheet PLA



PLA Plus

Material: PLA

Cor: Todas as cores

Diâmetro: 1.75mm

Temperatura de transição vítrea: 60°C

Informações de impressão


Temperatura de extrusão (bico)	190°C à 220°C
Temperatura da mesa (mesa)	0°C à 60°C
Velocidade de impressão	até 150mm

*Recomendamos o uso do cooler para ventilar a peça durante a impressão.


*Esses parâmetros são apenas uma recomendação, podendo variar de acordo com o equipamento utilizado.

Propriedade	Método de teste	Unidade	Valor
Resistência a tensão	D882	MPa	7,700 (53)
Alongamento na ruptura	D882	%	6
Módulo de flexão	D882	GPa	500 (3.5)
Resistência ao impacto IZOD	D256	J/m	0.3 (16)

ANEXO 02a Declaração de responsabilidade



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Universidade Federal de São Paulo
Campus São Paulo - Escola Paulista de Medicina
Departamento de Oftalmologia e Ciências Visuais

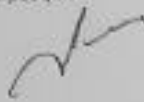


DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Título do Projeto de Pesquisa: Protótipo de Copa de Imersão Confeccionada Em Manufatura Aditiva;
 Pesquisador Responsável: Vagner Rogério dos Santos;
 Campus UNIFESP/ Departamento: Departamento de Oftalmologia e Ciências Visuais;
 Objetivo acadêmico: Graduação;
 Nome do aluno: Leonardo Hideki Nomachi Neto;
 Equipe de Pesquisa: Helder Luiz Bachiega, Stefano Neto Jai Hyun Choi;
 Local onde será realizada a pesquisa: Setor de Inovação de tecnologia em Saúde & Ciências Visuais Aplicadas;
 E-mail para contato: leonardo.naifo@unifesp.br

Eu, Vagner Rogério dos Santos pelo projeto acima especificado, declaro que:

1. O projeto de pesquisa não induzirá participantes de pesquisa, nem utilizará materiais obtidos diretamente de seres humanos (por exemplo: células, sangue periférico, tecidos, entre outros), nem utilizará imagem/som/questionários/entrevistas/grupo focal que permitam sua identificação individual, dados de prontuários de assistência do paciente, fichas de cadastros pessoais e/ou fichas escolares;
2. O projeto de pesquisa não utilizará animais vertebrados não humanos nem materiais obtidos diretamente de animais vertebrados não humanos (por exemplo: células, sangue periférico, tecidos, entre outros);
3. Estou ciente de que se nesta pesquisa houver manipulação genética (organismos geneticamente modificados), será necessário obter carta de aprovação da Comissão Interna de Biossegurança da Unifesp (CIBio), e que é minha responsabilidade obtê-la antes do início da pesquisa (Lei nº 11.105/2005 <http://www2.unifesp.br/reitoria/orgaos/comissoes/cibio/index.php?cod=apresenta>);
4. Estou ciente de que caso a pesquisa envolva acesso a patrimônio genético brasileiro e/ou conhecimento tradicional, o projeto deverá ser cadastrado no sistema auto declaratório SisGen, conforme Lei nº 13.123/2015, antes da sua publicação e/ou comercialização do produto, sendo de minha responsabilidade realizar e manter este cadastro atualizado (<https://sisgen.gov.br/>);
5. Estou ciente de que caso os dados utilizados nesta pesquisa não forem de acesso público e/ou se a pesquisa não for realizada em local público, será necessário obter o documento de autorização emitido pela instituição em que será realizada a pesquisa e/ou detentora dos dados a serem utilizados, onde deverá conter as atividades que serão desenvolvidas e assinatura do dirigente institucional ou pessoa por ele delegada, com identificação de cargo/função e respectiva assinatura, antes do início da pesquisa (Lei nº 12.527/2011);
6. Estou ciente de que se houver coleta de exemplares biológicos e/ou se a pesquisa for realizada em unidades de conservação federais ou em cavidade natural subterrânea, será necessário obter documento de autorização do Ministério do Meio Ambiente, conforme Instrução Normativa nº 03/2014 do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, e é de minha responsabilidade obter este documento antes do início da pesquisa (<https://www.icmbio.gov.br/sisbio/>).



Página 1 de 2

Campus São Paulo - Escola Paulista de Medicina - Departamento de Oftalmologia e Ciências Visuais
Rua Botucatu, 822 - Vila Clementino, São Paulo - SP
Telefone: (11) 5085-2010 – <https://www.ofthalmunifesp.com.br/>

ANEXO 02b



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Universidade Federal de São Paulo
Campus São Paulo - Escola Paulista de Medicina
Departamento de Oftalmologia e Ciências Visuais



7. Estou ciente de que se o projeto tiver a possibilidade de gerar conhecimento passível de proteção intelectual (patentes, direito autoral, novos tratamentos, marcas, softwares, cultivares, segredo industrial), é minha responsabilidade entrar em contato com a Agência de Inovação Tecnológica e Social (Agits);

8. Estou ciente de que se houver uso do Hospital São Paulo ou algum de seus ambulatoriais ou setores será necessário anexar autorização expedida pelo Comitê de Ensino, Pesquisa e Extensão do Hospital São Paulo (COEPE/HSP), e é minha responsabilidade obter este ofício antes do início da pesquisa (email: coepe@huhsp.org.br);


9. Estou ciente de que se houver o uso de agentes radioativos, será necessário obter documento de autorização do Núcleo de Proteção Radiológica (NPR) e é minha responsabilidade obter este documento antes do início da pesquisa (para maiores informações sobre o NPR, contato: npr@unifesp.br; VOIP-2882);

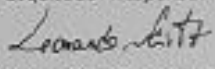
10. O referido projeto cumpre as normas legais vigentes relacionadas à proteção intelectual, boas práticas e ética em pesquisa e que será minha responsabilidade zelar pela correta condução do projeto de pesquisa;

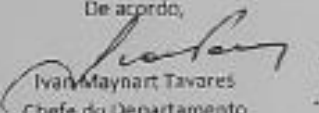
11. Comprometo-me a manter a confidencialidade dos dados coletados e gerados pela pesquisa bem como manter a privacidade de seus conteúdos. Também é minha a responsabilidade não repassar os dados coletados ou o banco de dados em sua íntegra, ou parte dele, a pessoas não envolvidas na equipe da pesquisa;

12. Declaro a precisão de todas as informações acima fornecidas e comprometendo-me a informar todos os demais pesquisadores envolvidos no projeto sobre elas.

Local São Paulo - data 26 de setembro de 2021


Vagner Rogério dos Santos
Pesquisador Responsável


Leonardo Hideki Nomachi Naito
Assinatura do orientando

De acordo,

Ivan Maynard Tavares
Chefe do Departamento
Prof. Dr. Ivan Maynard Tavares
Professor Adjunto - Livre-Docente
Chefe do Depto. Oftalmologia e Ciências Visuais
Escola Paulista de Medicina - UNIFESP

Página 2 de 2

Campus São Paulo - Escola Paulista de Medicina - Departamento de Oftalmologia e Ciências Visuais
Rua Retucaru, 822 - Vila Clementino, São Paulo - SP
Telefone: (11) 5085-2010 - <https://www.ofthalmounifesp.com.br/>