



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS DEPARTAMENTO DE FÍSICA E
METEOROLOGIA

CURSO DE BACHARELADO EM FÍSICA DE MATERIAIS

Bioimpressão de um sistema baseado em biovidros

Aluna: Isis Lara Da Silva Marques

Orientador: Prof. Dr. Paulo Noronha Lisboa Filho

BAURU

2023

ISIS LARA DA SILVA MARQUES

Bioimpressão de um sistema baseado em biovidros

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado à Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho” como requisito para a
obtenção do título de Bacharel em Física de
Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Noronha Lisboa Filho

BAURU

2023

M357b Marques, Isis Lara Da Silva
Bioimpressão de um sistema baseado em biovidros / Isis Lara Da
Silva Marques. -- Bauru, 2023
20 p. : fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Física) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências,
Bauru
Orientador: Paulo Noronha Lisboa Filho

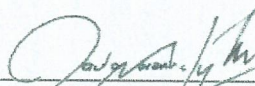
1. Bioimpressão. 2. Biovidro. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

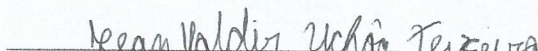
Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 13 dias do mês de fevereiro de 2023, às 10h00, em sessão pública em formato presencial/virtual via Google Meet, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Prof. Titular Paulo Noronha Lisboa Filho e composta pelos examinadores Prof. Dr. Wallace Moreira Pazin e Eng. MSc. Jean Valdir Uchoa Texeira, a aluna Isis Lara da Silva Marques apresentou o trabalho de conclusão de curso intitulado: "Bioimpressão de um sistema baseado em biovidros", como requisito curricular indispensável para a integralização do curso de Física – Bacharelado em Física de Materiais. Após reunião em sessão reservada, a Banca Examinadora deliberou e decidiu pela APROVAÇÃO do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.


Orientador


Membro 1


Membro 2

Aluno (a)

Resumo

A utilização das bioimpressoras 3D nas áreas aplicadas à saúde tem se mostrado cada vez mais promissora. Constructos tridimensionais (*scaffolds*) e filamentos vêm sendo cada vez mais utilizados para regeneração óssea e tecidual. Esta monografia descreve as ideias principais associadas à impressão 3D e mostra uma aplicação realizada com um filamento de biovidro a partir da utilização de uma bioimpressora de escala laboratorial.

Abstract

The use of 3D bioprinters in health-related areas has been increasingly promising. Three-dimensional constructs (scaffolds) and filaments have been increasingly used for bone and tissue regeneration. This monograph describes the main ideas associated with 3D printing and shows an application made with a bioglass filament from the use of a laboratory-scale bioprinter.

AGRADECIMENTOS

Eu dedico este trabalho de conclusão de curso a todos que fizeram parte da minha trajetória acadêmica.

Primeiramente a Deus, a qual me capacitou, que foi meu conselheiro e meu deu forças nos momentos difíceis do meu curso, me fez acreditar em mim mesma, me ajudando em todas as minhas conquistas e decisões, conseguindo, assim, chegar ao final dessa graduação com muita felicidade.

A minha família que me ajudou e me deu suporte necessário durante esta trajetória, em especial minha mãe Juliana, que sempre acreditou em mim e me deu todo o suporte, que me aconselhou nos momentos difíceis e não me fez desistir durante este percurso ao meu padrasto Kaio, juntamente com as minhas irmãs Clara e Elis.

Gostaria de agradecer em especial ao meu orientador Paulo Noronha, na qual me deu a oportunidade para estar iniciando minha pesquisa em seu laboratório e me deu todo apoio, suporte necessário, me dando ótimos conselhos e orientações, que sempre acreditou em mim e na minha capacidade, por todo ensinamento e voto de confiança. Obrigada por todas as conquistas e todo apoio, serei sempre eternamente grata. Gostaria de agradecer em especial ao Jean que é um amigo super especial e querido que me aconselha e me auxilia no que eu preciso.

Aos antigos e novos amigos que conquistei durante esta trajetória em especial a Caroline, Daniela, Denisson, Douglas, Edmar, Felipe, Gabrieli, Guilherme, Hulder, Juliana, Paola e o Silvio, amigos que conheci e vou levar para vida toda, e jamais esquecer dos momentos incríveis que passamos juntos e por terem me aturado durante toda a graduação, com conselhos, incentivos, motivação, trabalhos em grupo, viagens com a turma e provas. Todos tiveram um papel fundamental nessa jornada e, sem eles, seria impossível chegar até onde cheguei.

Agradeço também a todos meus professores pelos ensinamentos passados, os quais foram essenciais para eu chegar até aqui, desde as escolas até os cursinhos. Agradeço também aos professores do departamento de física por todo ensinamento e preparo para esta formação.

Gostaria de agradecer a todos do laboratório (GFAMN), por todo carinho e aprendizado. Meus sinceros agradecimentos a todos!!

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	8
1.1. História da impressão 3D e da bioimpressão 3D	8
2.TÉCNICAS UTILIZADAS NA BIOIMPRESSORA	8
2.1. Bioimpressão 3D baseado em jatos de tintas	8
2.2. Bioimpressão 3D assistida por laser e bioimpressão estereolitografia	9
2.3. Bioimpressão 3D por extrusão	10
2.4. Biovidro	11
3. OBJETIVO	13
3.1. Objetivo gerais	13
3.2. Objetivo específico	13
4.MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1. Reagentes utilizados	13
4.2. Síntese do biovidro	14
4.3. Impressão do filamento	14
4.4. Caracterização	16
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
6.CONCLUSÃO	18
7.REFERÊNCIAS	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bioimpressão 3D baseada em jato de tinta.....	9
Figura 2: Bioimpressão 3D assistida por laser.....	10
Figura 3: Bioimpressão por estereolitografia.....	10
Figura 4: Bioimpressão por extrusão.....	11
Figura 5: Diagrama de Hench e índice de bioatividade no sistema SiO_2 - Na_2O - CaO e 6% P_2O_5 .45S5 refere-se à composição do biovidro de acordo com a descrição de Hench.....	12
Figura 6: Solução de biovidro após refrigeração.....	14
Figura 7: Equipamentos da bioimpressora- a) Ilustração do sistema de intrusão; b) modelo da impressora utilizada; c) seringa utilizada e d) agulha utilizada.....	15
Figura 8: Imagem do software Pronterface.....	16
Figura 9: Imagem do software Slic3r.....	16
Figura 10: Equipamento de difração de raios X.....	16
Figura 11: Equipamento de microscopia confocal.....	16
Figura 12: Difratoograma de raio-x do biovidro produzido.....	17
Figura 13: Análise confocal: a) Imagem do filamento com ampliação 100x; b) Imagem do filamento com ampliação 100x com modo de topografia.....	18

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.1 HISTÓRIA DA IMPRESSÃO 3D E BIOIMPRESSÃO 3D

Historicamente as indústrias utilizavam o meio de produção de manufatura subtrativa, este é um meio de manuseio que era de ser esculpido diretamente no material, contrariamente à manufatura aditiva, a qual é usada na impressora 3D. Este método é operado pela técnica camada por camada que permite criar modelagens complexas.

Na década de 80, Charles Hull recebeu uma patente para estereolitografia, a qual descrevia um processo no qual polímeros líquidos que eram endurecidos sob a luz ultravioleta, formando assim seções transversais de um modelo 3D. Este processo foi realizado a partir de dados digitais e um feixe de luz controlado por um computador para criar uma camada por cima de outra camada, e assim sucessivamente. No final da década de 90, a indústria de impressão 3D dividiu-se para 2 áreas, uma área voltada para impressões de alto padrão e para peças com certos níveis de complexidade, aplicados nas áreas da medicina e saúde, e outra área para impressões de conceito desenvolvimento prototipagem funcional fácil de usar e de baixo custo.

Tendo avanços na área da saúde com a utilização da impressão 3D, tendo uma de suas primeiras aplicação em 2005 quando foi realizada a impressão de uma estrutura para uma cirurgia ortopédica e também para planejamento cirúrgico (SU et al., 2018).

2. TÉCNICAS UTILIZADAS NA BIOIMPRESSORA.

2.1 BIOIMPRESSÃO 3D BASEADA EM JATO DE TINTA.

Esta técnica de impressão sem contato, a qual a impressão irá ocorrer de forma digitalmente. Este método usa o termo "biotinta".

A biotinta tem como objetivo servir como entrega celular durante a formulação do processo. Para se abordar as técnicas de biofabricação, bioimpressão e biotipagem às composições da biotintas devem incluir células em diferentes ambientes e formas, sendo estas: células únicas, células agregadas em esferóides, bastonetes celulares, células organizadas em minitecidos ou organóides, células revestidas por uma fina camada de material, células semeadas em microtransportadores ou encapsuladas em microambientes coloidais personalizados (GROLL, Juergen et al, 2018).

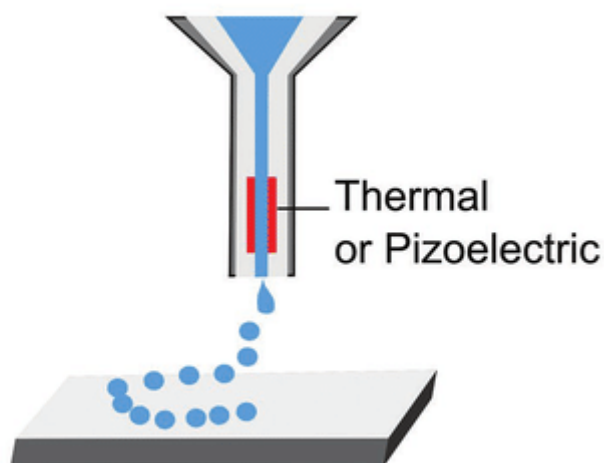
Este é um biomaterial com propriedades de baixa viscosidade e juntamente com células viáveis, estas as quais as células vivas, enquanto as células não viáveis se referem às que foram incapazes de viver. Esta é uma técnica de impressão que ocorre sem contato, a

impressão ocorre de modo em padrão controlado digitalmente. A duas maneiras simples de se ocorrer a impressão básica, uma delas é a de impressão contínua de jato de tinta e a outra é *drop-on-demand* (DOD) (CHUNG et al.,2020).

A impressão contínua de jato de tinta acontece pela a pressão aplicada sobre a biotinta, o que a força a sair pelo bucal, tendo um jato contínuo de gotículas. Um campo elétrico é aplicado, fazendo com que o jato se desvie para o substrato, as gotículas que não se formam no padrão ou se formam em excesso são redirecionadas para uma calha onde são reutilizadas.

A *drop-on-demand* (DOD), aplica o mesmo método do que a impressão contínua a jato (CIJ), com a diferença de que as gotículas são produzidas somente sob demanda. Neste método, usa-se um pulso de pressão para se formar as gotículas. Tendo em base esse mecanismo a impressão DOD pode ser qualificada em impressão piezoelétrica e térmica a jato de tinta como mostrado na figura 1.

Figura 1: Bioimpressão 3D baseada em jato de tinta



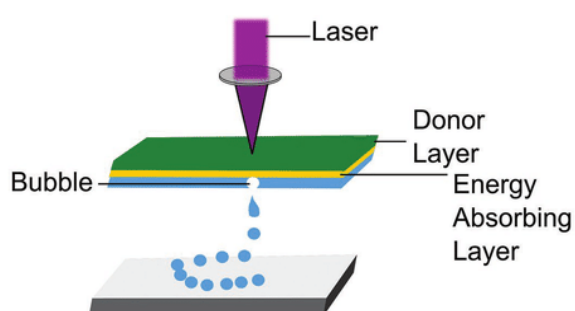
(Fonte:10.1002/adhm.201700939)

2.2 BIOIMPRESSÃO 3D ASSISTIDA POR LASER E BIOIMPRESSÃO POR ESTEREOLITOGRAFIA.

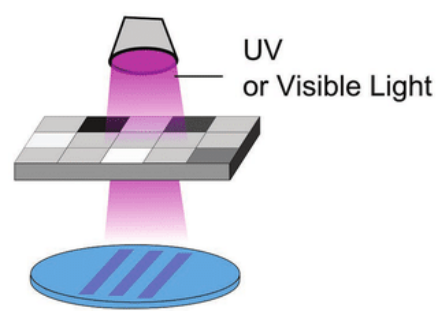
O método utilizado na bioimpressão 3D assistida por laser, é composto por um laser pulsante no qual é usado nas biompressões, e este processo fornece uma escrita direta sem contato com biompressora 3D. Existem elementos importantes para a impressão (LAB): uma fonte de laser pulsada, uma fita revestida com biotinta e um substrato receptor no qual a bio-tinta deve ser depositada, um exemplo é mostrado na Figura 2 (CHUNG et al.,2020).

O método de bioimpressão por estereolitografia é dependente da altura do design e não da sua complexidade, pois a mesma constrói o design de forma em camadas pela adição de materiais, irradiando luz em uma bio-tinta fotossensível curável como mostrado na Figura 3 (CHUNG et al., 2020).

Figura 2: Bioimpressão 3D assistida por laser Figura 3: Bioimpressão por estereolitografia



(Fonte:10.1002/adhm.201700939)



(Fonte:10.1002/adhm.201700939)

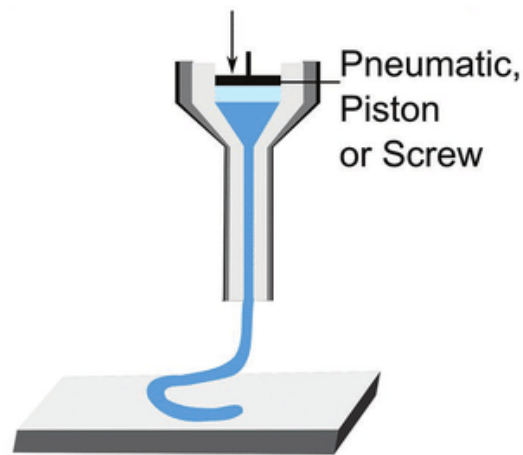
2.3 BIOIMPRESSÃO 3D POR EXTRUSÃO

Este método utiliza de um material, que é expelido por uma extrusora depositando um filamento em uma base ou plataforma. O material que se utiliza normalmente é um termoplástico derretido, este material é derretido e tracionado por um mecanismo é extrudado através de uma matriz (bico). Este processo pode ser usado para aplicações em tecidos (Vaz, et al 2020). Dentre as técnicas citadas, a técnica à base de extrusão é a mais utilizada devido ao seu baixo custo, alta simplicidade e capacidade de imprimir múltiplos materiais (Daskalakis, et al., 2022).

A bioimpressão por extrusão tem a vantagem de imprimir uma série de biomateriais com viscosidade variável que inclui hidrogéis, polímeros biocompatíveis e esferóides celulares. Estes esferóides são células que não se aderem ao plástico e formam estruturas em três dimensões (3D), a qual são fisiologicamente mais próximas dos tecidos humanos. Os materiais de viscosidade mais alta usualmente fornecem suporte estrutural para a construção impressa os materiais com uma viscosidade mais baixa fornecem um ambiente adequado para manter a viabilidade e função celular (Zhang J, et al 2021).

Para a extrusão de um filamento é necessário que o diâmetro do filamento, seja controlado, principalmente pela velocidade de escoamento. A composição do material e o modo a qual é extrudado, influenciam diretamente na morfologia, diâmetro e as propriedades mecânicas (Schätzlein., et al 2022).

Figura 4: Bioimpressão 3D por extrusão



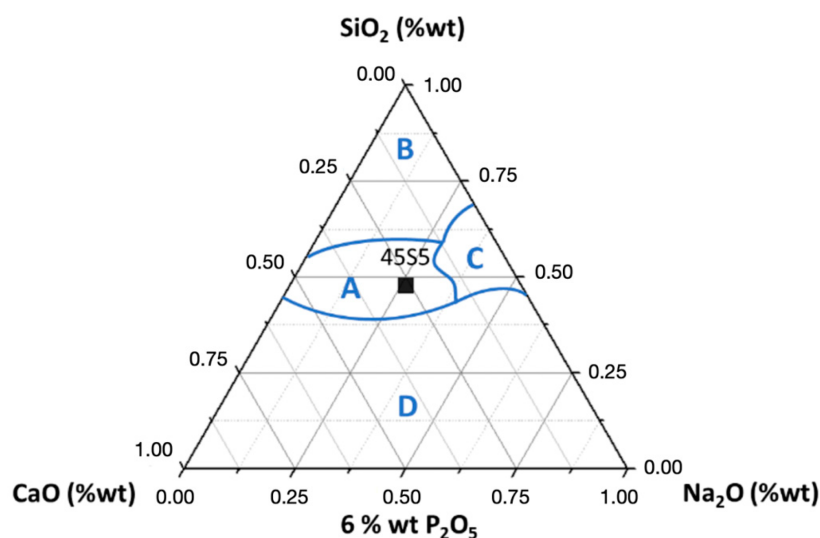
(Fonte:10.1002/adhm.201700939)

2.4. BIOVIDRO

O biovidro foi descoberto em 1969 por Hench e colaboradores, para utilização clínica que estabeleceu uma base sólida por 5 décadas na pesquisa de reconstrução óssea ou tecidual. Sua composição é 45% de SiO_2 , 24,5% Na_2O , 24,5% CaO e 6% P_2O_5 , composição em peso mais conhecida como 45S5 (Palivela,2022). Composição do biovidro mostrado na Figura 5.

Possui propriedades de estimular o crescimento ósseo devido a semelhança a apatita natural. Porém, se tem uma desvantagem o 45S5 possui uma fraca exequibilidade (Ribas,2019).

Figura 5: Diagrama de Hench e índice de bioatividade no sistema SiO_2 - Na_2O - CaO e 6% P_2O_5 . 45S5 refere-se à composição do biovidro de acordo com a descrição de Hench.



(Fonte:<https://doi.org/10.3390/biomedicines9111553>)

A=Bone bonding;B=Non-bonding (reactivity too low);C= Non-bonding(reactivity too high);D=Non-bonding(non glass forming);S= Soft tissue bonding;E=Bioglass composition

1) **45S5**: 45 mol % SiO_2 , 24.5 mol % CaO , 24.5 mol % Na_2O , and 6.0 mol % P_2O_5 .

2) **58S**: 60 mol% SiO_2 , 36 mol% CaO and 4 mol% P_2O_5 .

3) **70S30C**: 70 mol% SiO_2 , 30 mol% CaO .

4) **S53P4**: 53 mol% SiO_2 , 23 mol% Na_2O , 20 mol% CaO and 4 mol% P_2O_5 .
(S53P4 is the only bacterial growth inhibiting bioactive glass).

Para um material ser um ótimo biomaterial utilizável ele deve atender algumas propriedades, sendo estas: estiver disponível e em qualquer quantidade; ter um valor acessível; ter propriedades inertes para evitar reações corporais ou infecções quando implantado; não ser tóxico; pode ser facilmente moldado se preciso, não requer tempo cirúrgico adicional e não interferir em acompanhamentos médicos, como exames; tomografia computadorizada; entre outros. Nessas condições os biovidros são considerados um grupo de materiais reativos com propriedades atraentes, não apenas em termos de biocompatibilidade, mas também de bioatividade (Cannio, Maria, et al.2021).

O biovidro tem o maior índice de bioatividade *in vivo* dentre as biocerâmicas, apesar do biovidro ter uma boa biocompatibilidade e capacidade de ligação óssea,(ossos e dentes),o biovidro tem sua aplicações limitadas como material de andaime devido às suas fracas propriedades mecânicas, um dos desenvolvimentos para o melhoramento mecânico e biológicos dos scaffolds é a mudança nos compósitos de cerâmicas e poliméricas para o melhor desempenho mecânico para aprimoramento para corresponder aos ossos naturais.Tendo o biovidro como uma plataforma versátil para alguns casos, a incorporação de nanomateriais de carbono nanotubos de carbono, grafeno e óxido de grafeno nanoestruturados possuem propriedades particularmente atrativas e são utilizados como reforços (Rizwan ,2017).

O biovidro tem aplicações tanto em sua forma sólida quanto em sua forma em pó, pois se tem uma estrutura granal e porosas e em sua composição na forma de pó para a deposição e revestimentos biológicos.

Alguns exemplos de aplicações em sua forma sólida foi a de substituição de osso em próteses de uma orelha média. Logo, outras aplicações do uso biovidro em forma de pó vieram como o bioativo carregado com antibióticos ou drogas, que como possui uma fácil degradação, são usados para a liberação (antibióticos ou drogas) no tratamento de infecções ósseas (Cannio, Maria, et al.2021).

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

A partir dos conceitos propostos anteriormente, este trabalho utilizou uma solução de biovidro via rota sol-gel com objetivo de fabricar filamentos por meio da técnica de impressão 3D.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar os parâmetros experimentais para obtenção de filamentos de biovidros.
- Determinar as características morfológicas do filamento obtido.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 REAGENTES UTILIZADOS

Para a realização desse trabalho foram realizados os seguintes reagentes para a síntese do biovidro.

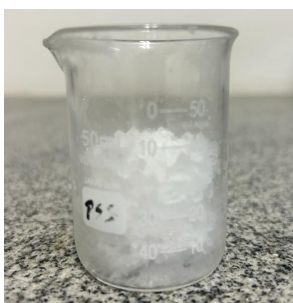
- Ácido Nítrico (HNO_3) (SIGMA, teor 65.0%)
- Ortossilicato de tetraetilo (SIGMA, teor 99.0%)
- Trietilfosfato (TEP) (SIGMA, teor 99.0%)
- Nitrato de Cálcio (SIGMA, teor 99.0 - 103.0%)

4.2 SÍNTESE DO BIOVIDRO

Inicialmente foi preparada uma solução de 2.8 M de HNO_3 , para isso 5.8 mL de ácido nítrico foi diluído em 24.2 mL de água deionizada, totalizando um volume de 30 mL. Foi adicionado 14.3 mL de ortossilicato de tetraetilo (TEOS) em 30 mL de HNO_3 tendo assim 2.8 M. A solução então foi deixada sob agitação durante 30 minutos. Adicionou-se lentamente 850 μL de trietilfosfato (TEP). Após cinco minutos 7.32 g de nitrato de cálcio tetra hidratado foi adicionado. A solução foi deixada sob agitação até a gelificação, que ocorreu em aproximadamente 3 horas.

Após este tempo foi obtida uma solução altamente viscosa a qual foi armazenada na geladeira a 8°C graus, para posterior fabricação dos filamentos (imagem ilustrativa abaixo de como ficou a solução).

Figura 6: solução de biovidro após refrigeração



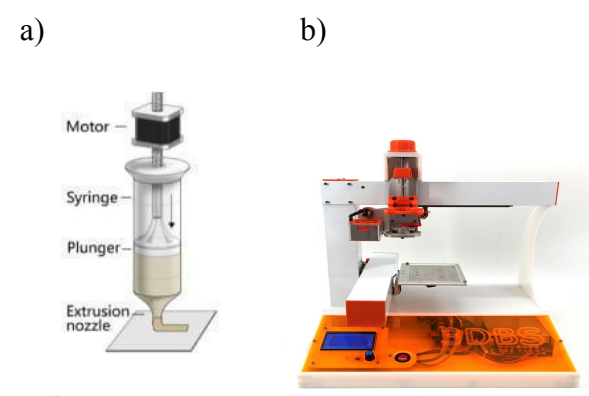
Fonte: A autora

4.3 IMPRESSÃO DO FILAMENTO

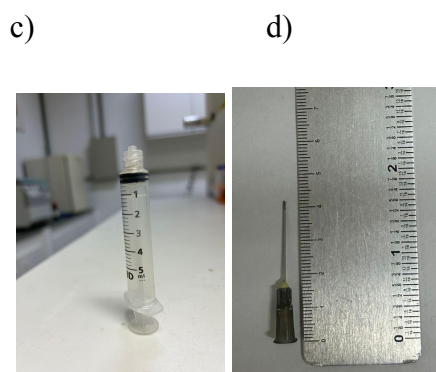
Para a confecção do filamento foi utilizado a solução resfriada a qual foi colocada na seringa de 5 mL com uma agulha de 0,6 mm. Posteriormente a seringa foi acoplada ao grampo, a qual faz parte do conjunto de motor com o parafuso infinito, gerando uma pressão

no êmbolo no qual causa uma expulsão do material pela agulha da seringa na forma de um filamento em temperatura ambiente. De acordo com a (figura a). Todo este procedimento foi realizado pela bioimpressora da marca 3DBS, modelo EDUCACIONAL STARTER™.

Figura 7: Equipamentos da bioimpressora- a) Ilustração do sistema de intrusão; b) modelo da impressora utilizada; c)seringa utilizada e d) agulha utilizada.



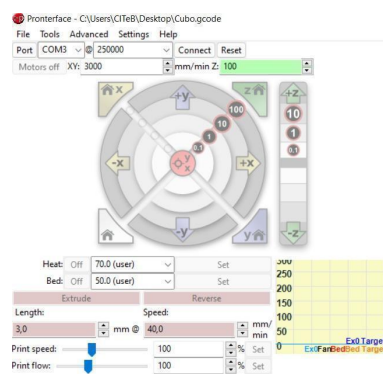
Fonte: IUFoST SIB 3D Printing.12.21.pdf) (Fonte:(3d biotechnologies solutions.com)



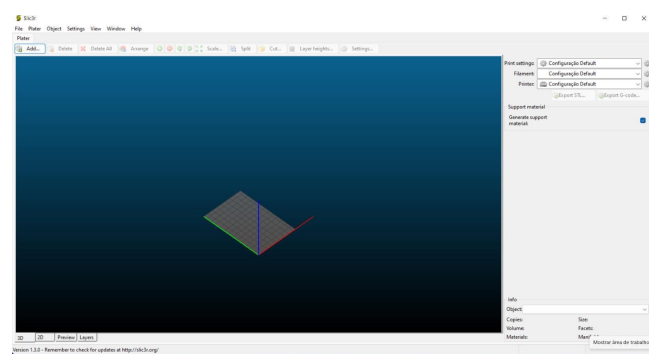
Fonte: A autora

Para a fabricação do filamento foi utilizado os seguintes parâmetros da plataforma segundo a figura 7, comprimento 3,0 mm; velocidade 40,0 mm/min; velocidade de impressão 100%; fluxo de impressão 100% dentro do software *Pronterface* conforme mostrado na Figura 8. Utilizando um projeto criado no software Slic3r, como ilustrado na Figura 9.

Figura 8: Imagem do software Pronterface Figura 9: Imagem do software Slic3r



Fonte: A autora



Fonte: A autora

4.4 CARACTERIZAÇÃO.

Para a caracterização do filamento obtido, foram utilizadas as técnicas de difração raios X e microscopia confocal, para a difração foi utilizado o equipamento RIGAKU (Figura 9) no modo de análise de pó com 40 kV/ 20mA de 5° até 80°. Para a microscopia confocal foi utilizado o equipamento LEICA (Figura 10), com ampliação de 100x.

Figura 10: Equipamento de difração de raios X Figura 11: Equipamento da microscopia confocal



Fonte: A autora

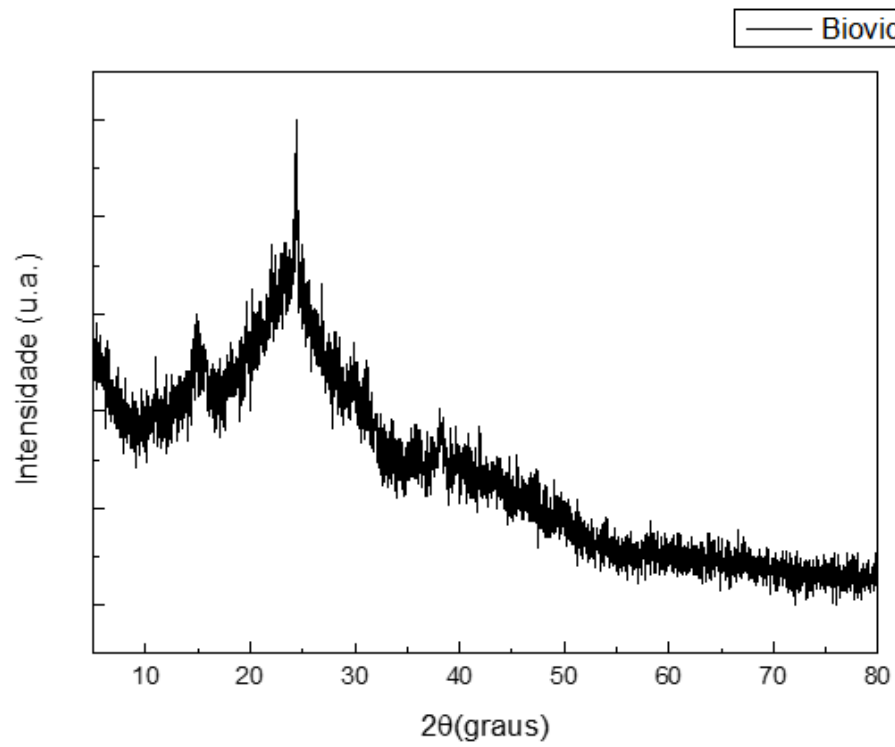
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

O filamento na forma de pó triturado de biovidro ao ser analisado no DRX (Figura 12), mostrou um resultado predominantemente amorfo, resultado esperado para um material vítreo. Entretanto, é possível observar alguns picos indicando o início de uma cristalização. Os picos observados estão em torno de 15° e 25° .

Na análise das características de superfície por microscopia confocal na Figura 13a, foi obtida a imagem do filamento a qual apresentou-se com diâmetro uniforme; com aspecto rugoso e diversas rachaduras como comprovado pela imagem de topografia da Figura 13b. As quais contribuem para uma rugosidade de $1,816 \mu\text{m}$.

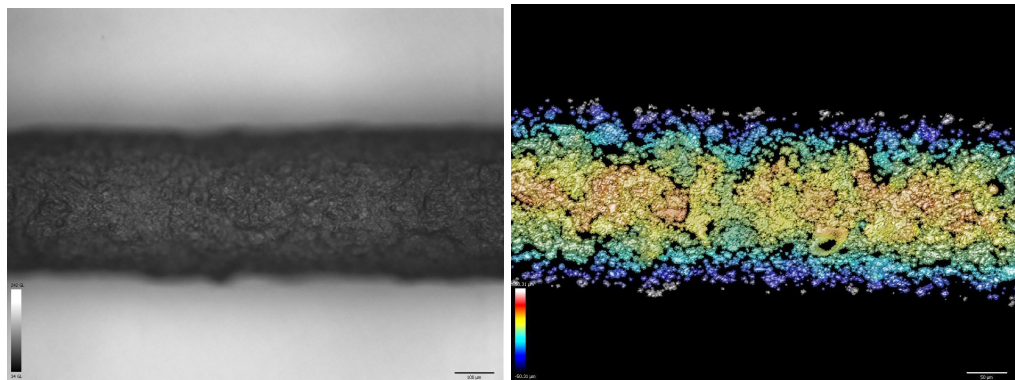
Os resultados obtidos indicam que pela rota adotada foi possível obter a fabricação de filamento por pela técnica de bioimpressão por extrusão, a qual futuramente pode ser aplicada para a fabricação de *scaffold*.

Figura 12: Difratoograma de raios X do biovidro produzido



(Fonte: A autora)

Figura 13: Análises confocal: a) Imagem do filamento com ampliação 100x; b) Imagem do filamento com ampliação 100x com modo de topografia.



(Fonte: A autora)

6.CONCLUSÕES

Pode-se concluir que foi possível realizar a bioimpressão de um filamento de biovidro, através do método sol-gel, obtendo assim um filamento rugoso e com estrutura amorfa a qual pode ser utilizado futuramente como scaffold em aplicações médicas.

7. REFERÊNCIAS

CANNIO, Maria et al. Bioactive glass applications: A literature review of human clinical trials. **Materials**, v. 14, n. 18, p. 5440, 2021.

CHUNG, Justin J. et al. Toward biomimetic scaffolds for tissue engineering: 3D printing techniques in regenerative medicine. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, p. 586406, 2020

Educacional Starter™. , [s.d.]. Disponível em:

<<http://www.3dbiotechnologiessolutions.com/educacional-starter/>>. Acesso em: 10 fev. 2023

FOYT, Daniel A. et al. Exploiting advanced hydrogel technologies to address key challenges in regenerative medicine. **Advanced healthcare materials**, v. 7, n. 8, p. 1700939, 2018.

GROLL, Juergen et al. A definition of bioinks and their distinction from biomaterial inks. **Biofabrication**, v. 11, n. 1, p. 013001, 2018.

PALIVELA, Bhargav Chandan; BANDARI, Sai Drupadh; MAMILLA, Ravi Sankar. Extrusion-based 3D printing of bioactive glass scaffolds-process parameters and mechanical properties: A review. **Bioprinting**, p. e00219, 2022.

RIBAS, Renata Guimarães et al. Current advances in bone tissue engineering concerning ceramic and bioglass scaffolds: A review. **Ceramics International**, v. 45, n. 17, p. 21051-21061, 2019.

RIZWAN, M.; HAMDI, M.; BASIRUN, W. J. Bioglass® 45S5-based composites for bone tissue engineering and functional applications. **Journal of biomedical materials research Part A**, v. 105, n. 11, p. 3197-3223, 2017.

SCHÄTZLEIN, Eva et al. 3D-printed PLA-bioglass scaffolds with controllable calcium release and MSC adhesion for bone tissue engineering. **Polymers**, v. 14, n. 12, p. 2389, 2022.

SU, Amanda; AL'AREF, Subhi J. History of 3D printing. In **Subhi j. Al'Aref; Bobak Mosadegh; Simon Dunham; James K. M. 3D Printing Applications in Cardiovascular Medicine**. Academic Press, 2018. p. 1-10.

VARVARA, Rodica-Anita; SZABO, Katalin; VODNAR, Dan Cristian. 3D food printing: Principles of obtaining digitally-designed nourishment. **Nutrients**, v. 13, n. 10, p. 3617, 2021.

VAZ, Guilherme. Estudo sistemático sobre o cenário da tecnologia de bioimpressão 3D. 2020.

ZHANG, Jianhua et al. 3D Bioprinting of human tissues: Biofabrication, bioinks, and bioreactors. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 8, p. 3971, 2021.