

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JULIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

CÂMPUS DE ARARAQUARA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOMATERIAIS E
BIOPROCESSOS

MESTRADO PROFISSIONAL

DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D PARA
OBTENÇÃO DE SCAFFOLDS POR MEIO DA TECNOLOGIA FDM

ALESSANDRO DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: Prof. Dr. ANTÔNIO CARLOS GUASTALDI

COORIENTADOR: Prof. Dr. JONAS DE CARVALHO

ARARAQUARA - SP

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JULIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

CÂMPUS DE ARARAQUARA

DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D PARA
OBTENÇÃO DE SCAFFOLDS POR MEIO DA TECNOLOGIA FDM

ALESSANDRO DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos (Mestrado Profissional), Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. ANTÔNIO CARLOS GUASTALDI

COORIENTADOR: Prof. Dr. JONAS DE CARVALHO

ARARAQUARA - SP

2023

O49d

Oliveira, Alessandro de.

Desenvolvimento e construção de uma impressora 3D para obtenção de scaffolds por meio da tecnologia FDM / Alessandro de Oliveira. – Araraquara: [S.n.], 2023.

53 f. :

il.

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Estadual Paulista. “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos. Área de Biomateriais e Bioprocessos.

Orientador: Antônio Carlos Guastaldi.

Coorientador: Jonas de Carvalho.

1. Manufatura aditiva. 2. Bioimpressão. 3. Biopolímeros. 4. Regeneração óssea e scaffolds. I. Guastaldi, Antônio Carlos, orient. II. Carvalho, Jonas de, coorient. III. Título.

Impacto potencial desta pesquisa

Hoje no Brasil são quase 30 milhões de idosos, ou seja, 14,3% da população. Em 2030, estima-se que o país tenha mais idosos do que crianças. Acidentes de Trânsito e violência, também são fatores que aumentam o número de pessoas que necessitam de regeneração do tecido ósseo. Esta pesquisa contribui com a desenvolvimento de soluções rápidas e efetivas contra a morbidade nesta população.

Potential impact of this research

Today in Brazil there are almost 30 million elderly people, that is, 14.3% of the population. In 2030, it is estimated that the country will have more elderly people than children. Traffic accidents and violence are also factors that increase the number of people in need of bone tissue regeneration. This research contributes to the development of quick and effective solutions against morbidity in this population.

RESUMO

A tecnologia de manufatura aditiva já se tornou uma importante ferramenta para os ramos de pesquisa e de desenvolvimento de produtos nas indústrias, universidades e sociedade em geral. Devido a rapidez e baixo custo de produção de protótipos ou até mesmo partes funcionais de um mecanismo, essa tecnologia ganha espaço a cada dia e abre portas para novas linhas de pesquisa. Da mesma maneira que a área de desenvolvimento de produtos, a engenharia de tecidos tem a cada dia avançado no desenvolvimento de materiais e processos capazes de produzir tecidos, órgãos e próteses de forma rápida, segura e que possam ser implantados em organismos vivos permitindo a regeneração de tecidos perdidos ou mesmo implantados de forma a solucionar problemas de saúde ou possibilitar melhor qualidade de vida seja a um ser humanos ou animal. Dessa forma a área de engenharia de biomateriais tem trabalhado em pesquisas e desenvolvimentos de materiais que possuam propriedades adequadas a aplicação em engenharia de tecidos. Tal tarefa é dificultada pela falta de equipamentos capazes de transformar os materiais desenvolvidos em modelos tridimensionais com propriedades químicas e físicas ideais para a aplicação em regeneração óssea, seja pela indisponibilidade de impressoras adequadas ou pelo alto custo de aquisição de máquinas sofisticadas. Por este motivo, o este trabalho possibilitou o desenvolvimento de uma impressora 3d capaz de imprimir modelos tridimensionais a partir de filamentos compostos de biomaterial. Além do desenvolvimento, também foi explorado e apresentado os parâmetros de impressão de acordo com as características do biomaterial utilizado, contribuindo assim para o avanço dos estudos e ensaios práticos do comportamento desses materiais na regeneração de tecidos de forma rápida, precisa e a um custo acessível.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, bioimpressão, Biopolímeros, regeneração óssea e scaffolds

ABSTRACT

Additive manufacturing technology has already become an important tool for research and product development in industries and universities. Due to the speed and low cost of producing prototypes or even functional parts of a mechanism, this technology gains space every day and opens doors to new lines of research. In the same way as the area of product development, tissue engineering has advanced every day in the development of materials and processes capable of producing tissues, organs and prostheses quickly, safely and that can be implanted in living organisms allowing regeneration. of lost or even implanted tissues in order to solve health problems or provide a better quality of life for both humans and animals. Thus, the area of biomaterials engineering has been working on research and development of materials that have suitable properties for application in tissue engineering. This task is hampered by the lack of equipment capable of transforming the materials developed into three-dimensional models with ideal chemical and physical properties for application in bone regeneration, either due to the unavailability of suitable printers or the high cost of acquiring sophisticated machines. For this reason, this work enabled the development of a 3d printer capable of printing three-dimensional models from filaments composed of biomaterial. In addition to the development, the printing parameters were also explored and presented according to the characteristics of the biomaterial used, thus contributing to the advancement of studies and practical tests of the behavior of these materials in tissue regeneration quickly, accurately and at an affordable cost.

Keywords: Additive manufacturing, bioprinting, Biopolymers, bone regeneration and scaffolds.

*Dedico este trabalho com muito orgulho
ao meu pai Cilso Zacarias de Oliveira e
minha mãe Maria Alves de Oliveira,
pois sempre me apoiaram e incentivaram,
aos meus queridos irmãos e minhas filhas
Nicole e Lara pelo apoio e compreensão.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar o meu caminho e me conceder o dom da vida, toda força e sabedoria durante os desafios enfrentados.

Meus cordiais agradecimentos ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Carlos Guastaldi, pelo apoio e incentivo no cumprimento deste desafio, compartilhando comigo seus conhecimentos e ideias, possibilitando meu aperfeiçoamento técnico, e pela grande conquista profissional.

Agradeço ao Prof. Dr. Jonas de Carvalho pela minha inserção nessa magnífica área de pesquisa e pelo grande conhecimento compartilhado no decorrer deste projeto. Da mesma forma agradeço os colegas de trabalho pela ajuda e disposição, sem medir esforços, no decorrer da realização deste trabalho.

Agradeço à Instituição UNESP e ao pessoal da seção técnica do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara pela estrutura, apoio e oportunidade de realização do curso.

Agradeço também a Escola SENAI “Henrique Lupo”, por permitir e apoiar o desenvolvimento de atividades em suas instalações.

Por fim, agradeço aos avaliadores participantes da banca examinadora, pela disponibilidade e contribuição com este trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Princípios de alimentação dos processos de extrusão de material:.....	19
Figura 2 - Princípios da tecnologia de MA por extrusão de material.	20
Figura 3 - Camadas de deposição de Material.....	20
Figura 4 - Etapas da produção de órgãos e tecidos humanos	25
Figura 5 – Filamento de Biomaterial.....	27
Figura 6 - Bicos de extrusão.....	28
Figura 7 – Sistema cartesiano de impressão.	29
Figura 8 – A impressora (Estrutura).	30
Figura 9 – Sistema de Movimentação dos eixos X e Y	31
Figura 10 - Correia e Polia GT2	31
Figura 11 - Eixos Lineares	32
Figura 12 - Eixo "Z" e Fuso Roscado	32
Figura 13 – Extrusor.....	33
Figura 14 - Driver TMC2209.....	37
Figura 15 - Interface do Software CAD - Autodesk Inventor 2023.....	38
Figura 16- Interface do Software de Fatiamento - Cura 5.3.1	39
Figura 17 - Modelo 3D para testes.	40
Figura 18 - Modelo impresso em PLA.	41
Figura 19 - Modelo impresso em biomaterial.	41
Figura 20 - Estrutura da impressora.....	43
Figura 21 - Extrusor imprimindo modelo em PLA.....	44

Figura 22 - Sistema de movimentação eixo Z	44
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MA	-	Manufatura Aditiva
3D	-	Modelagem tridimensional
MR	-	Medicina regenerativa
ET	-	Engenharia de Tecidos
CAD	-	Desenho assistido por computador
MM	-	Sistema Internacional de Medidas (SI)
RM	-	Ressonância Magnética
CTI	-	Centro de Tecnologia da Informação
STL	-	Arquivo no formato <i>stereolithography</i>
CDP	-	Corpo de Prova
FDM	-	Deposição de Material Fundido
SLA	-	Estereolitografia
SLS	-	Sinterização Seletiva à Laser
ACM	-	Material composto de alumínio
PLA	-	Ácido polilático
ABS	-	Acrilonitrila-butadieno-estireno
PETG	-	Polietileno tereftalato glicol

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações PLA - Poli (ácido láctico)	21
Tabela 2 - Lista de equipamentos	26
Tabela 3 – Especificações técnicas do Motor.	34
Tabela 4 - Especificações técnicas da placa controladora.	35
Tabela 5 - Especificação técnica da Impressora.	42
Tabela 6 - Parâmetros de impressão.	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1	Manufatura aditiva.....	17
3.2	Impressoras 3d	17
3.2.1	Impressoras por extrusão de filamentos	18
3.3	Fabricação com filamento fundido (FDM ou FFF)	19
3.4	Poli(ácido láctico) (PLA)	21
3.5	Filamentos.....	21
3.6	Bioimpressão	22
3.6.1	Biomateriais	22
3.6.2	Biotintas	23
3.6.3	Scaffolds	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1	Materiais.....	26
4.1.1	Máquinas e Equipamentos.....	26
4.1.2	Filamento	27
4.1.3	Bico extrusor	28
4.2	Método	29
4.2.1	Forma construtiva da impressora.....	29
4.2.2	Sistema de movimentação	30
4.2.3	Sistema de extrusão.....	33
4.2.4	Motores	33
4.2.5	Controladora	34
4.2.6	Drivers.....	36
4.2.7	Softwares CAD e Fatiador.....	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40

5.1	Modelo impresso	40
5.2	A impressora	42
5.3	Processo de impressão	45
6	CONCLUSÕES	47
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	APÊNDICE A – MATERIAIS PARA IMPRESSORA DE BIOMATERIAIS (FDM)	52

1 INTRODUÇÃO

O termo Manufatura Aditiva é um dos grandes pilares da indústria 4.0 e certamente tem grande inserção em todas as esferas da indústria. De acordo com Volpato e Carvalho (2018), a Manufatura Aditiva, traduzida do inglês *additive manufacturing* ou ainda Impressão 3D (termo usado popularmente) é um processo de fabricação caracterizado por meio da adição em camadas sucessivas de material a partir de um modelo geométrico 3D originado por um sistema de desenho assistido por computador (abreviação CAD em inglês), que permite a fabricação de componentes físicos utilizando uma infinidade de materiais, diferentes técnicas, formas e princípios. Dizem ainda, que a Manufatura aditiva (MA) tem como principal característica facilidade de automatização, minimizando consideravelmente a intervenção do operador durante o processo. Pois uma vez que o operador/programador desenvolve a estratégia, de forma virtual, para a construção do modelo, a máquina irá reproduzir o mesmo, tornando o processo automático onde a interação e influência deste se dá mais por meio da supervisão do que de modo operacional. Isso tem tornado o processo extremamente popular.

Quando os estudos se direcionam para pesquisas nas áreas de Engenharia de Tecidos (ET) e a Medicina Regenerativa (MR), materiais biocompatíveis são necessários para o desenvolvimento destas. Atualmente as pesquisas com “biotintas” são comuns, mas possuem diversas barreiras como a estabilidade dimensional, resistência mecânica adequada a construção de órgãos e a não homogeneidade dos elementos que compõem os corpos de prova.

A engenharia de biomateriais vem ao longo dos anos desenvolvendo novos biomateriais para a aplicação no campo da Medicina regenerativa, sendo eles naturais ou sintéticos. Desde a produção até a implantação no ser vivo, o biomaterial passa por diversos processos, como por exemplo, a mistura com outros materiais, a transformação em matéria prima para processos posteriores ou mesmo a construção de

modelos Tridimensionais. Dessa forma, também se torna necessário estudos e desenvolvimento de processos que possam preservar, modificar ou melhorar as propriedades físicas e químicas desses biomateriais, possibilitando assim alcançar os resultados esperados do material desenvolvido.

A manufatura aditiva é um processo proveitoso para a fabricação de scaffolds por apresentar vantagens como a precisão na deposição de material e repetibilidade, podendo obter estruturas complexas que estão dentro das especificações para a aplicação em engenharia tecidual (RAYMOND, 2010). Porém nem sempre os equipamentos disponíveis para a estruturação desses produtos cumprem com a necessidade que o biomaterial exige ou não entregam qualidade necessária para a aplicação dos modelos impressos. Diante disso, é possível observar que o desenvolvimento de impressoras 3D específicas para a bioimpressão poderá facilitar os testes, reduzindo o tempo de ensaio, análise mais eficaz dos scaffolds impressos e redução de custos com ensaios.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo deste trabalho científico é o desenvolvimento e construção de uma impressora 3d por processo fabricação com filamento fundido (FDM) que imprima scaffolds a partir de filamento de biomaterial aplicado as áreas de Engenharia de tecidos.

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo, será necessário o estudo sobre o processo MA, bem como os materiais e os parâmetros adequados a impressão. Além destes, o comportamento do processo de impressão de biomateriais e as propriedades dos scaffolds impressos, fazer análise dimensional e submetê-los à ensaios para avaliar o processo de impressão e eficiência da impressora. Listamos abaixo esses objetivos.

- Pesquisar sobre os tipos de construção destas máquinas;
- Definição do modelo da impressora, visando a garantir as propriedades esperadas dos modelos impressos.
- Desenvolver sistema de aquecimento e extrusão que permita a impressão a partir de filamentos específicos para aplicação em Medicina regenerativa e Engenharia de Tecidos;
- Dimensionar e realizar projeto mecatrônico do equipamento;
- Fabricar corpos de prova por MA utilizando filamentos de biomateriais;
- Definir parâmetros de impressão adequados ao biomaterial utilizado.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Manufatura aditiva

Volpato (2017) descreve que a manufatura aditiva ou impressão 3D é o processo de produção baseado na adição de camadas sucessivas de material. Cita também, que o aparecimento da MA vem sendo considerado como um marco em termos de tecnologias de manufatura, com grande impacto em vários setores. Observa-se uma ampliação constante nas áreas de aplicação da MA, existindo ainda muito espaço para novos desenvolvimentos. Isto tem gerado um cenário de grandes oportunidades de pesquisas, tanto em materiais quanto de processos e aplicações.

Na manufatura aditiva, a arquitetura dos *scaffolds* são fabricados pelo processamento de materiais líquidos ou em pó, de acordo com desenhos projetados. Diferentes técnicas de MA têm vantagens significativas sobre as técnicas convencionais de fabricação para produzir *scaffolds* complexos com arquitetura com perfil externo preciso, morfologia interna 3D e reproduzível (PATI et al. 2015). Segundo Dababneh (2014), as tecnologias mais promissoras em bioimpressão são: a jato de tinta, a laser e por extrusão.

3.2 Impressoras 3d

As impressoras 3d são dispositivos eletromecânicos que criam objetos tridimensionais a partir de modelo digital, construindo-o através da deposição de material em camadas sucessivas. As diversas formas construtivas das impressoras 3d permitem

que as peças e experimentos confeccionados possuam estabilidade dimensional quando experimentada.

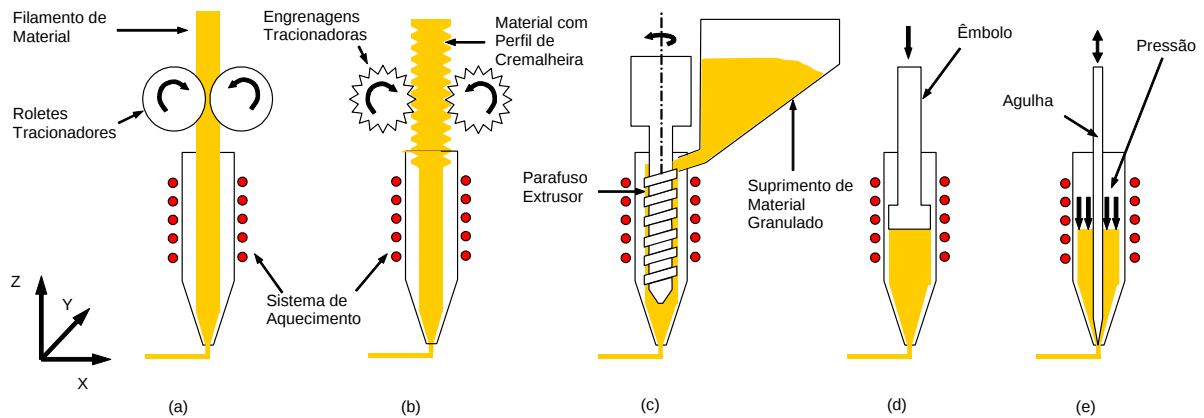
3.2.1 Impressoras por extrusão de filamentos

A impressão por extrusão pode ser dividida em duas técnicas principais: a extrusão de material fundido, como Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM) e a extrusão de material líquido gelificante (ROQUE, 2019).

A impressão 3D pelo processo FDM que utiliza como matéria prima filamentos contínuos, é a mais conhecida e está em pleno crescimento no setor industrial que tem utilizado este processo em seguimentos diversos como em modelos de fundição, construção de protótipos, peças funcionais de máquinas e equipamentos, impressão de próteses ortopédicas entre outros. Graças a disponibilidade de informações gratuitas e acesso aos equipamentos de impressão a baixo custo, hoje esta tecnologia também já se popularizou se tornando comum para uso doméstico, por estudantes, engenheiros e a comunidade em geral que fazem uso deste processo para a construção das mais diversas utilidades. Exemplo dessas aplicações são a criação de utensílios domésticos, peças técnicas, objetos de decoração, protótipos etc.

Neste modelo de construção a fabricação do produto se dá pela extrusão do material que por sua vez pode ser apresentado de diversas formas. Convencionalmente o material é apresentado em forma de filamentos, mas conforme figura 1 o processo de extrusão pode permitir o recebimento de materiais de diversas formas, sendo as mais comuns: (a) filamento contínuo ou (b) varetas com perfil de cremalheira, (c) material granulado, em pó ou pasta processados por parafuso extrusor, (d) êmbolo ou (e) pressão, com agulha controladora de vazão.

Figura 1- Princípios de alimentação dos processos de extrusão de material:



Fonte: Volpato (2017)

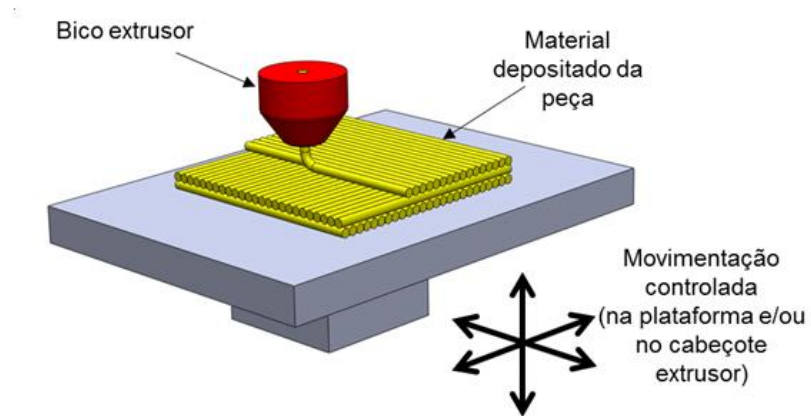
3.3 Fabricação com filamento fundido (FDM ou FFF)

Impressão pelo processo FDM a técnica mais utilizada, pois não tem um custo tão elevado, porém não permite uma fabricação de pequenos modelos com grande riqueza de detalhamento. A técnica vem do aquecimento de um filamento polimérico até um estado semissólido e posteriormente a deposição pelo bico extrusor nos eixos X, Y e Z, camada por camada (FERNANDES, 2016).

Volpato (2017) descreve que o processo de modelagem por fusão e deposição (Fused Deposition Modeling) – FDM é repetido a cada camada de material depositado, até que a peça seja construída (Figura 2) e permite grande liberdade para a confecção das peças e experimentos.

Nesse processo de impressão, tem se utilizado filamentos a base de polímeros comumente encontrado no mercado que possibilitam na maioria das aplicações uma boa resistência mecânica, qualidade dimensional e acabamento superficial do modelo.

Figura 2 - Princípios da tecnologia de MA por extrusão de material.



Fonte: Volpato (2017)

Na figura 3 é possível verificar as camadas de deposição do material no modelo impresso e de acordo com o caminho realizado durante a deposição da camada é possível a construção de infinitas geometrias que formam o modelo impresso.

Figura 3 - Camadas de deposição de Material.



Fonte: Autoria Própria

3.4 Poli(ácido láctico) (PLA)

O poli(ácido láctico) (PLA) é um biopolímero termoplástico comercial baseado em ácido láctico, obtido a partir do amido de culturas como milho, cana-de-açúcar e beterraba, por exemplo. Atualmente, o PLA tem uma variedade de aplicações médicas, neste projeto o material utilizado para testes foi o fornecido pela empresa *3D LAB*, que apresenta boa qualidade e uniformidade dimensional. Na Tabela 1 é apresentado as propriedades do PLA utilizado para os testes de impressão.

Tabela 1 - Informações PLA - Poli (ácido láctico)

PLA - Poli (ácido láctico)			
Propriedades Matéria prima 3D LAB Granulado		Resultados ensaio de tração segundo a Norma ASTM D 638 Corpo de prova impresso	
Densidade	1,24[g/cm ³]	Tensão de Escoamento	24,8 [Mpa]
Temp. Fusão	185[°C]	Módulo de Elasticidade	1896,0 [Mpa]
Temperatura de Transição Vítrea	60[°C]	Tensão de Ruptura	46 [Mpa]
Tensão de Escoamento	66 [Mpa]	Alongamento	3,69[%]
Resistência a Flexão	130 [Mpa]		
Módulo de Elasticidade	4350 [Mpa]		

Fonte: Disponível em: < <https://www.3dlab.com.br/propriedades-dos-materiais-para-impressora-3d/#PLA> >. Acesso: 13 nov. 2022.

3.5 Filamentos

A qualidade dos filamentos é parte crucial do processo de impressão, pois as propriedades termoquímicas e uniformidade dimensional apresentada pelo filamento permitirá uma impressão de maior qualidade. Os filamentos comumente encontrados no

mercado têm diâmetro de 1,75 e 3mm. Esses filamentos utilizados na extrusão são geralmente feitos de plástico ou outros materiais termoplásticos, como PLA (ácido polilático), ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno), PETG (polietileno tereftalato glicol), nylon, entre outros. Os filamentos são vendidos em rolos e podem ser facilmente trocados para permitir que a impressora 3D seja usada para criar objetos com diferentes materiais e cores.

A diversidade de materiais disponíveis possibilita que os modelos impressos sejam aplicados em diversos seguimentos. Ao escolher um filamento, é importante considerar as características e propriedades do material, bem como a compatibilidade com a impressora 3D.

3.6 Bioimpressão

3.6.1 Biomateriais

Carvalho (2007) diz que os biomateriais podem ser classificados segundo seu princípio, podendo ser: os materiais biológicos e os artificiais. Um biomaterial é obtido a partir da análise da sua aplicação, que pode ser tratamento de uma doença, substituição de uma prótese ou uso cosmético (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2014). Entre as diversas formas desses biomateriais, destacam-se as biotintas que são uma mistura de material biocompatível e células vivas (LI; TAN; LI, 2018).

Outros materiais utilizados neste processo são os biopolímeros que podem ser impressos em forma de matrizes tridimensionais que servem como elo mecânico para o crescimento de células na medicina regenerativa (MAURMANN et al., 2015).

Existe uma grande diversidade de biomateriais, sendo naturais ou sintéticos, que podem ser utilizados na regeneração de tecidos desde que atendam as

necessidades de biocompatibilidade, propriedades mecânicas e biodegradação. Entre eles podemos destacar o fosfato de cálcio, que além de ser um biopolímero natural é um dos principais elementos dos tecidos ósseos.

3.6.2 Biotintas

O termo bioink (biotinta) foi usado pela primeira vez no contexto da impressão de órgãos em 2003 e foi introduzido em conjunto com o termo biopaper (biopapel). Inicialmente, o conceito era fornecer, ou até imprimir, um biopaper (hidrogel) e, em seguida, inserir células vivas ou esferoides de tecidos como o "bioink" utilizando a tecnologia de bioimpressão. Assim, o termo Bioink originalmente se refere ao componente celular que foi posicionado em 3D em ou dentro de hidrogéis. Em muitos dos estudos pioneiros, células e agregados celulares foram usados como bioink. No entanto, mesmo nesta fase, alguns autores argumentavam que uma formulação prática de bioink deveria ser “Estrutural e funcionalmente mais sofisticada”. Simultaneamente, o número de técnicas de manufatura aditiva (extrusão, deposição de gotículas tais como técnicas baseadas em jato de tinta e microválvulas, transferência direta a laser, e técnicas baseadas em litografia) aumentaram e são usadas para a bioimpressão de células, porém todas possuem desafios físicos e reológicos diferentes para a utilização de uma biotinta viável (Portal Biofabricação 3d, 2023).

3.6.3 Scaffolds

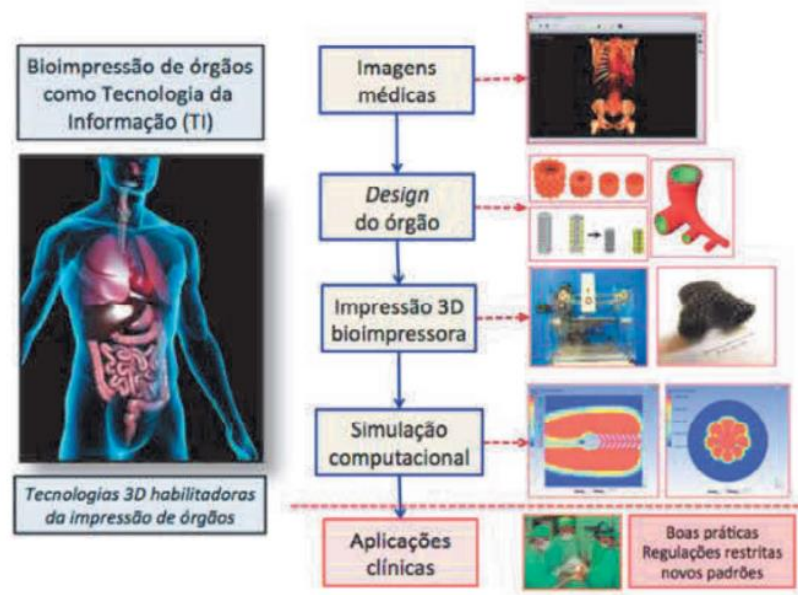
Guastaldi (2021) descreve scaffold como estrutura para a regeneração de tecido ósseo com propriedades necessárias para que em contato com tecido vivo promova a regeneração.

O Processo de obtenção de scaffolds e micro tecidos por meio da bioimpressão é uma técnica moderna que possibilita a construção de modelos tridimensionais que apresentam ótima precisão dimensional, além da distribuição de moléculas e materiais ao longo de sua estrutura impressa (DERNOWSEK, 2018).

Esta tecnologia é relativamente nova e tem sido alvo de inúmeros estudos para de aplicação e utilização no campo de Engenharia tecidual. Com isso, o sucesso da bioimpressão demanda uma forte integração entre as áreas de Engenharia e biologia, entre outras áreas de conhecimento, a figura 4 representa as etapas para a bioimpressão.

Os scaffolds não possuem um padrão definido e é desenvolvido de acordo com a necessidade podendo ter variações de tamanho, geometria, material e características pelo fato de cada aplicação depender diretamente da necessidade de aplicação no ser vivo que na maioria dos casos são situações únicas e específicas.

Figura 4 - Etapas da produção de órgãos e tecidos humanos



Fonte: CTI, 2019.

Podemos observar que o processo de bioimpressão tem etapas similares as da impressão 3D fazendo integração com áreas médicas para obtenção de imagem, com a engenharia para modelagem, tratamento e análise dos modelos e a produção para a impressão do modelo físico. A diferenciação se dá pelo material utilizado no processo que possui composição e propriedades específicas que devem ser preservadas para a aplicação em um organismo vivo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Máquinas e Equipamentos

Para a construção da impressora, foi utilizado os laboratórios de metalmecânica disponibilizados pela escola Senai “Henrique Lupo”. Neste ambiente foram realizadas a maior parte das operações de usinagem e montagem do equipamento.

Para as operações de usinagem e montagem da impressora foram utilizados os seguintes equipamentos:

Tabela 2 - Lista de equipamentos

Equipamento	Marca/ Modelo	Aplicação no Trabalho
Centro de Usinagem CNC	Romi / Discovery 560	Usinagem de peças como: mancais, suporte dos motores, perfis de alumínio etc.
Torno Convencional	Romi / T 240	Torneamento dos eixos e guias, cilindro tracionador do filamento e fuso do eixo “Z”.
Furadeira de Coluna	Yadoya / FY A32	Furação em geral
Parafusadeira portátil	Vonder / Pfv 012 12V	Furação e rosqueamentos geral
Serra de Fita vertical	Ronemak / AC250V	Corte dos perfis de alumínio, chapas etc.
Multímetro digital	It-Blue / Dt-830b Portátil	Medição e ajuste de tensão e corrente dos drivers.
Ferramentas e instrumentos de uso manual em geral	-	Alicate, chaves, paquímetros, micrometros, tesoura, Arco de Serra, martelo, riscadores, tintas etc.

4.1.2 Filamento

Neste trabalho, o filamento utilizado para estudos e testes foi o desenvolvido a partir dos trabalhos de pesquisa nos programas de mestrado e doutorado nesta mesma universidade, que tinham como objetivo o estudo e desenvolvimento de biomateriais, também a extrusão deles em forma de filamentos homogêneos e com uniformidade dimensional que permitissem a impressão pelo processo FDM.

Este filamento contém em sua composição uma mistura de PLA e fosfato de cálcio na proporção de 80% para 20% respectivamente. Dessa forma o filamento apresenta propriedades parecidas com materiais comerciais, quando nos referimos aos parâmetros de impressão, pelo fato do material predominante ser o PLA, diferenciando apenas pelas partículas de fosfato de cálcio, que podem ser vistas a olho nu, distribuídas ao longo da sua estrutura. É possível ver na figura 5 o filamento de biomaterial fornecido para este estudo.

Figura 5 – Filamento de Biomaterial

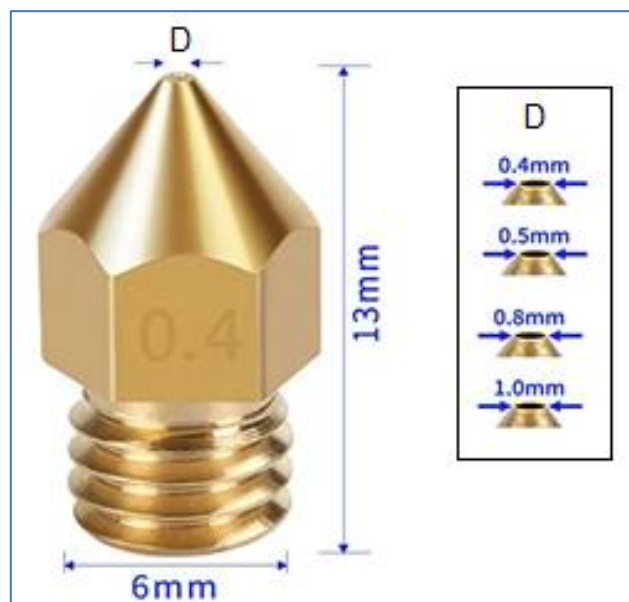


Fonte: Autoria Própria

4.1.3 Bico extrusor

Nesta impressora foi utilizado para a extrusão do filamento de biomaterial um bico de impressão comercial de modelo MK8, variando as dimensões do bico (0.4, 0.5, 0.8 e 1.0mm) conforme mostra a figura 6.

Figura 6 - Bicos de extrusão



Fonte: Autoria Própria

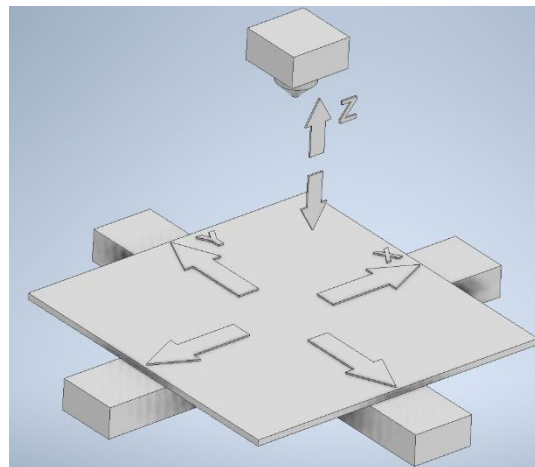
4.2 Método

4.2.1 Forma construtiva da impressora

A Forma construtiva da impressora influencia diretamente a qualidade, velocidade e tamanho dos modelos impressos. Por este motivo, foi escolhido o modelo cartesiano, que possui 3 eixos lineares ortogonais entre si. Essa configuração permite imprimir modelos complexos com bom acabamento superficial, precisão dimensional à uma velocidade boa para desenvolvimento de protótipos.

Na figura 5 é apresentado a forma construtiva da impressora representada pela área de impressão e seus respectivos eixos.

Figura 7 – Sistema cartesiano de impressão.

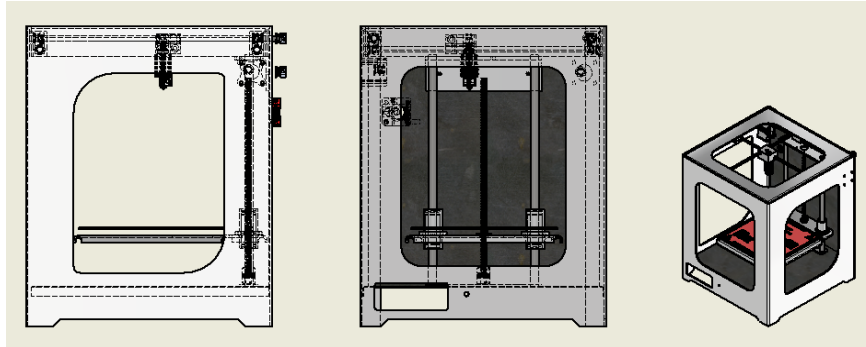


Fonte: Autoria Própria

Pensando em ter maior controle do processo de impressão, optou-se por uma estrutura fechada, que permite controle de temperatura interno. Dessa forma, o processo de impressão terá menor interferência das variáveis externas como temperatura do

ambiente e correntes de ar durante a impressão do modelo. A figura 6 mostra a estrutura da impressora enclausurada com carenagem.

Figura 8 – A impressora (Estrutura).



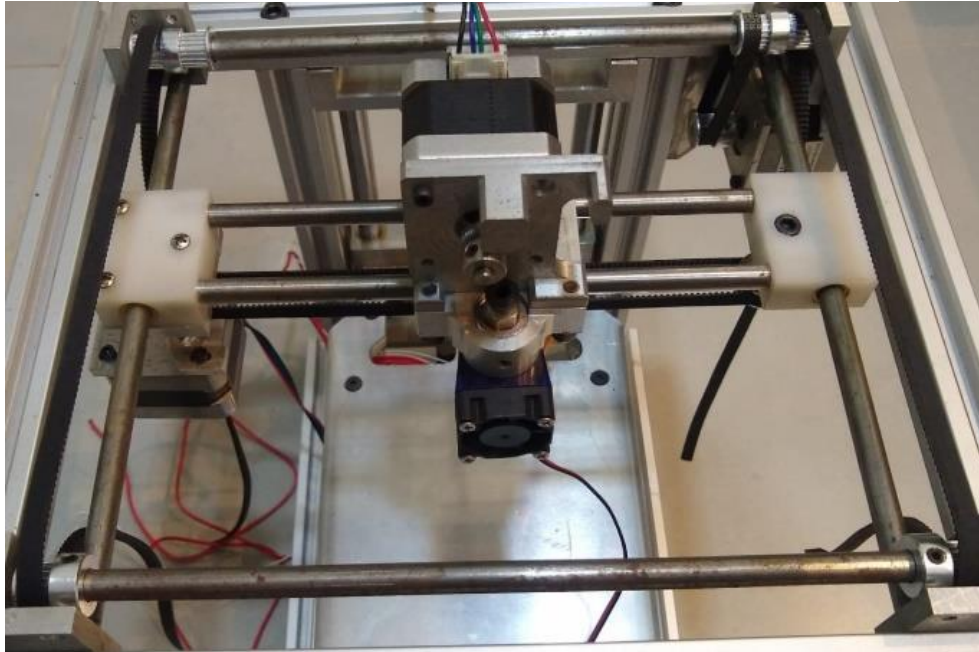
Fonte: Autoria Própria

4.2.2 Sistema de movimentação

Para o sistema de movimentação da impressora, foi construída uma estrutura cartesiana de 3 eixos ortogonais (x, y e z), sendo x e y acionados por correias sincronizadoras do tipo M2 e o eixo Z através de fuso roscado, que podem ser vistas nas figuras de 8 a 11.

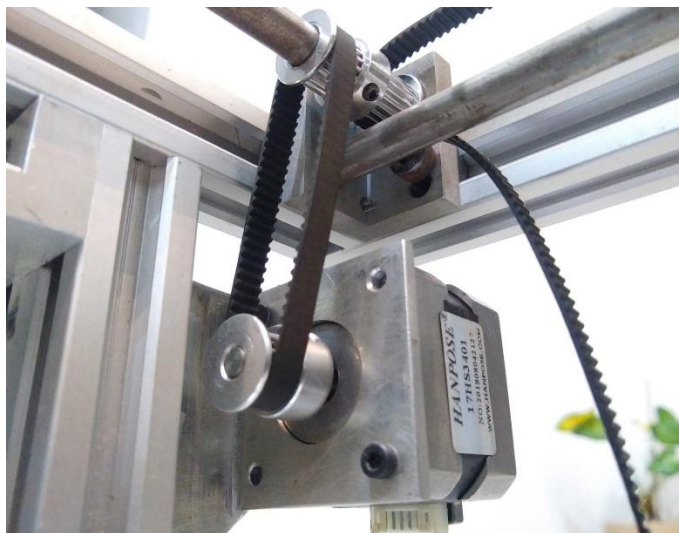
A diferença entre o sistema de movimentação dos eixos se deve ao fato de que a velocidade de deslocamento para a deposição de material sobre a mesa de trabalho, além de muito maior, não permite erros de posicionamento devido a folgas no sistema de furo e porca. Por outro lado, o peso que é suportado pelo eixo Z se mantém mais estável quando se utiliza de fusos ao invés de correias.

Figura 9 – Sistema de Movimentação dos eixos X e Y



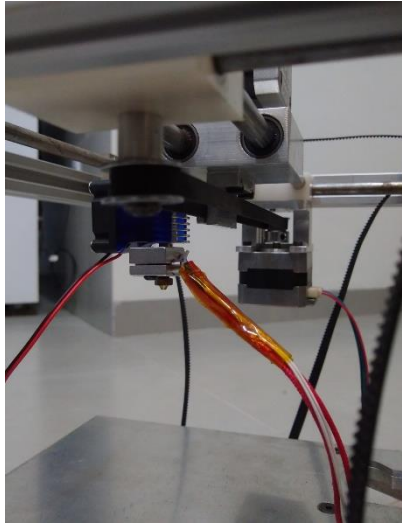
Fonte: Autoria Própria

Figura 10 - Correia e Polia GT2



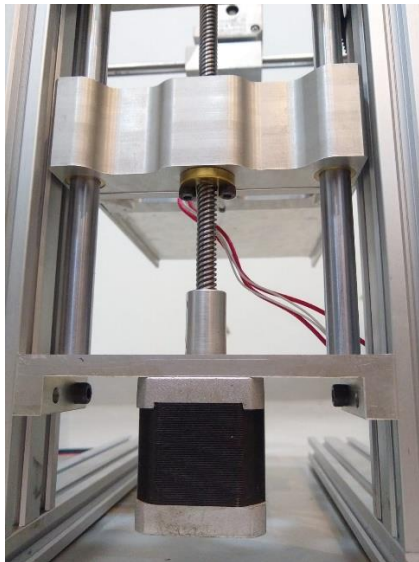
Fonte: Autoria Própria

Figura 11 - Eixos Lineares



Fonte: Autoria Própria

Figura 12 - Eixo "Z" e Fuso Roscado

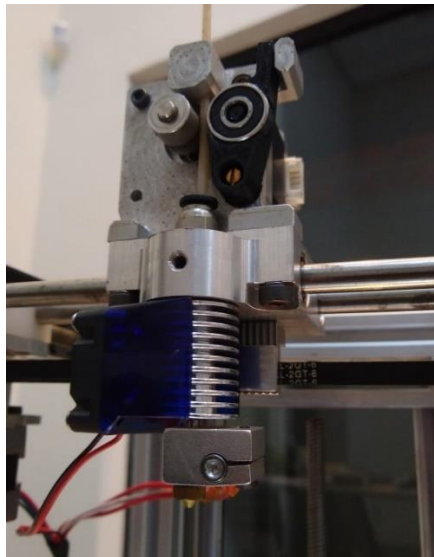


Fonte: Autoria Própria

4.2.3 Sistema de extrusão

O processo de extrusão foi estudado e desenvolvido exclusivamente para a impressão do filamento de biomaterial, conforme figura 12 e Figura 13. A extrusão é acionada por roletes estriados que forçam a passagem do filamento por um bico aquecido que possui dimensões e geometria específicos para esse material.

Figura 13 – Extrusor.



Fonte: Autoria Própria

4.2.4 Motores

Os motores são os elementos responsáveis pela movimentação dos eixos e tracionamento do filamento, dessa forma a utilização de motores de passo é a melhor opção quando se observa o custo/benefício deste comparado a outros tipos de motores. Neste projeto foi utilizado os motores de passo modelo Nema 17 - Torque 5.0Kgcm

|42HS48 fornecido pela empresa Kalatec Automação. Esse modelo de motor é o mais utilizado em impressoras 3d e por se tratar de mecanismos de que quase não oferecem resistência mecânica quando a movimentação, o torque oferecido por eles atende perfeitamente a condição de trabalho, descartando a necessidade de cálculos de torque para dimensionamento desses motores. Vemos figura 12 as características técnicas conforme site do fornecedor.

Motor de Passo Nema17	
Código Kalatec	KTC-42HS48-1684-08AF
Flange	42mm
Comprimento da carcaça	48mm
Passo em ângulo	1,80
Fase	02 fases
Torque Estático Bipolar	0,5Nm (5.0 Kgf.cm)
Quantidade de Fios	Conector 4 Pinos
Ligações possíveis	Bipolar Serie
Alimentação	2.8V
Corrente	1.68A/fase
Inércia	N/D
Temperatura de Operação	-20 a +50°C
Classe de isolamento	Classe B (130oC)
Diâmetro do eixo	5.0 mm
Peso	0.34Kg

Tabela 3 – Especificações técnicas do Motor.

Fonte: Disponível em: < <https://loja.kalatec.com.br/ktc-42hs48-1684-08af-motor-de-passo-torque-de-5-0kgcm-html>>. Acesso: 03 fev. 2023.

4.2.5 Controladora

A placa controladora de impressora 3D é o componente eletrônico que gerencia todo o processo de impressão 3D. Esta placa é responsável por interpretar as informações do arquivo de impressão, coordenar os movimentos dos motores, regular a temperatura do bico extrusor e da mesa aquecida, além de outras funções importantes.

É possível encontrar várias placas controladoras de impressora 3D disponíveis no mercado, cada uma com suas próprias especificações e recursos. Neste caso optamos pelo modelo SKR 1.3 que é uma placa controladora de alta performance, produzida pela Bigtreetech, uma empresa chinesa especializada em produtos eletrônicos para impressão 3D. A placa é baseada no microcontrolador ARM Cortex-M3 de 32 bits e suporta uma ampla variedade de drivers de motor de passo.

A SKR 1.3 possui recursos avançados, como um slot para cartão SD integrado, permite a utilização de display LCD colorido de 128x64 pixels, conectividade USB e um conector para módulo WiFi opcional. A placa também suporta a expansão de hardware por meio de conectores adicionais, como o conector para o módulo BLTouch e o conector para o sensor de filamento.

Além disso, a SKR 1.3 é compatível com vários softwares de impressão 3D, incluindo o Marlin, que é um firmware de código aberto popular para impressoras 3D. Esta placa permite ao usuário alcançar melhor qualidade rapidez e precisão na impressão. Na tabela 3 é apresentado a imagem de placa e suas características técnicas.

Tabela 4 - Especificações técnicas da placa controladora.

	Marca	BIGTREE TECH
	Nome do produto	BIGTREE TECH SKR V1.3
	Microprocessador	ARM Cortex-M3 CPU
	Tensão de entrada	DC12V-DC24V, 5A-15A
	Dimensões da Placa	110 * 85 milímetros
	Dimensões	102 * 76 milímetros
	Displays Suportados	TFT3.5, TFT2.8, 2004LCD, 12864LCD
	Drives Suportados	Driver TMC2208 / TMC2130 / TMC2100 / ST820 / A4988 / DRV8825 / LV8729
	Modo de funcionamento	STEP / DIR, TMC2208-UART, TMC2130-SPI
	Sensor de temperatura	TH0, TH1, TB, 3 canal 100K NTC (resistência térmica)
	Formato de arquivo	GCode
	Tipo	XYZ, Delta, Kossel, Ultimaker, Corexy

Fonte: <https://bigtree-tech.com/>

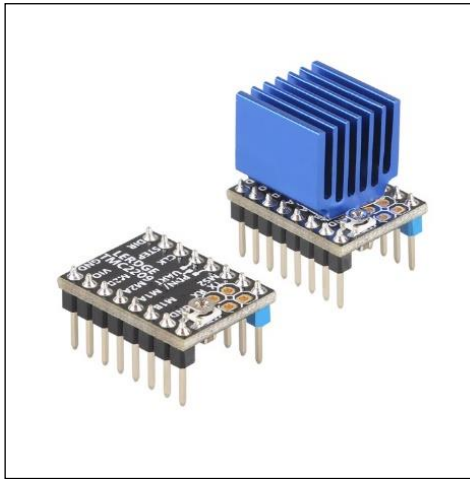
4.2.6 Drivers

Os motores de passo avançam em passos discretos e precisos em vez de girar continuamente. Para controlar o movimento dos motores de passo, é necessário fornecer um sinal de controle preciso que determina a quantidade de passos que o motor deve girar e a direção em que ele deve girar.

Os drivers para motor de passo são responsáveis por fornecer esse sinal de controle ao motor. Eles interpretam os sinais de controle que vêm da placa controladora e os convertem em sinais elétricos que o motor de passo pode entender. Eles também são responsáveis por fornecer a corrente necessária para o motor de passo, que é essencial para garantir um movimento preciso e estável.

A placa SKR 1.3 suporta uma variedade de drivers de motor de passo, porém escolhemos para este trabalho o modelo TMC209, que além de bastante popular para aplicação em impressoras 3d, tem preço acessível e algumas características interessantes em relação aos concorrentes de mesmo padrão de qualidade. É conhecido por ser muito silencioso e preciso, devido ao seu sistema de detecção de carga StallGuard. Ele também possui um modo de operação StealthChop que reduz o ruído do motor de passo em baixas velocidades, além de ter suporte a sensor de temperatura integrado. A Figura 13 mostra o modelo do driver e seu dissipador de calor.

Figura 14 - Driver TMC2209.



Fonte: <https://pt.aliexpress.com>

4.2.7 Softwares CAD e Fatiador

A fase inicial do processo de impressão 3d é talvez a mais importante de todo processo. Pois é nessa etapa que se obtém o modelo 3D, define estratégias e parâmetros de impressão.

Após definido essa etapa, a impressora deverá realizar o trabalho de impressão transferindo para uma fora física todo o processo antes criado virtualmente.

Nessa etapa do processo utilizamos de software de CAD (computer aided design) para modelamento e preparação do modelo 3D e um software Fatiador para configurar os parâmetros e preparar o modelo para impressão em camadas.

Entre tantos outros softwares disponíveis no mercado, optamos por utilizar o Autodesk Inventor 2022, desenvolvido e comercializado pela empresa *Autodesk*. Em sua versão estudantil, nos possibilitou modelar, editar e modificar o modelo 3D de forma rápida e com precisão. Além disto, possui ferramentas de integração com outros software e tecnologias como escaneamento 3d. Além do software CAD, a Autodesk disponibiliza

em seu site inúmeras ferramentas para modelagem e manufatura, algumas com utilização gratuita para estudantes e professores.

Já para fatiamento, o mercado de impressão 3d oferece inúmeras ferramentas para o fatiamento e controle de impressão, por esse motivo adotamos um software de fatiamento que possibilita total controle dos parâmetros e estratégia de impressão, permitindo assim, testar inúmeras configurações e explorar ao máximo as propriedades do filamento, além das características da impressora. Neste caso, adotamos o Ultimaker Cura, em sua versão 5.3.1 gratuita, que fornecida pela empresa Ultimaker, possui interface de fácil uso e poderosos recursos para fatiamento, levantamento de custos e impressão.

Além de cases compartilhados pelos usuários, é possível encontrar uma infinidade de informações técnicas quanto ao uso deste software e técnicas de impressão 3D disponibilizado pelo próprio fabricante em seu site. Na figura 14 podemos visualizar o modelo 3d em fase de modelamento no software CAD, após isso na figura 15 vemos o modelo inserido no software fatiador para configuração dos parâmetros de impressão.

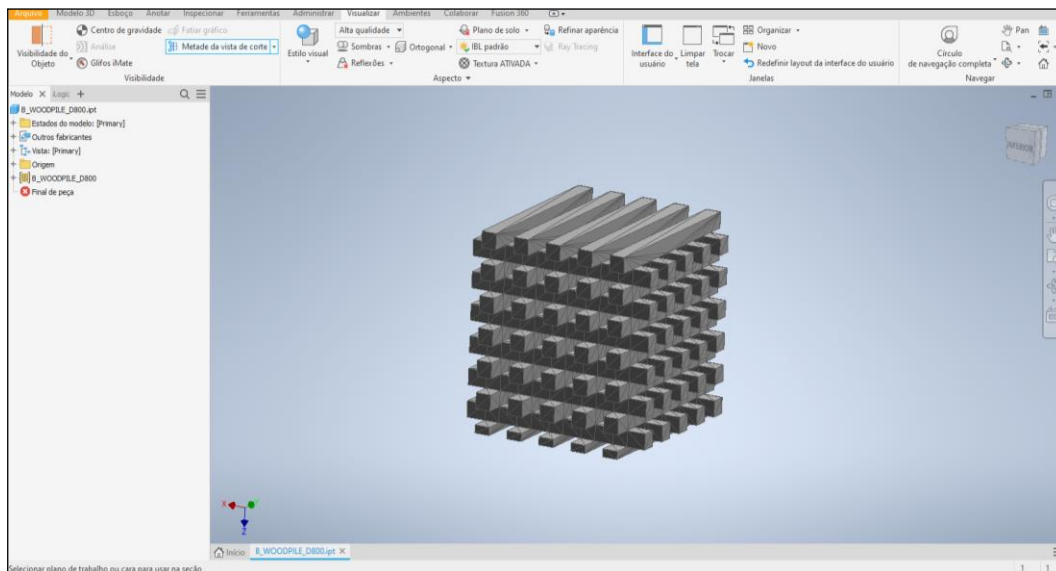


Figura 15 - Interface do Software CAD - Autodesk Inventor 2023

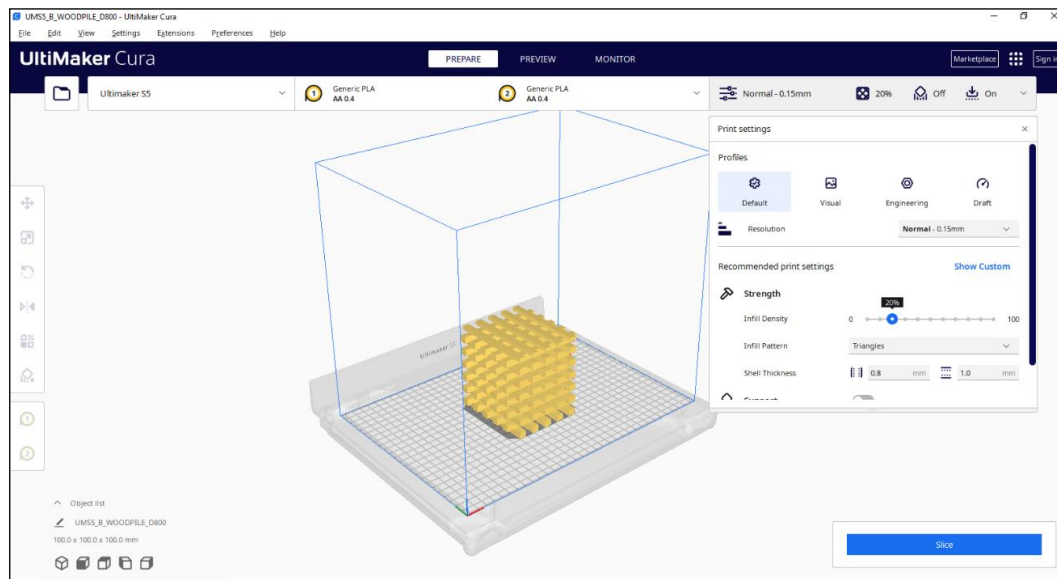


Figura 16- Interface do Software de Fatiameto - Cura 5.3.1

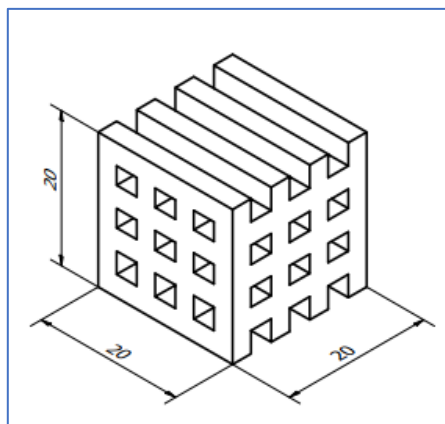
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será apresentado os resultados obtidos ao longo do trabalho, além das características da impressora, os parâmetros utilizados durante os testes e as percepções que poderão nortear os trabalhos futuros.

5.1 Modelo impresso

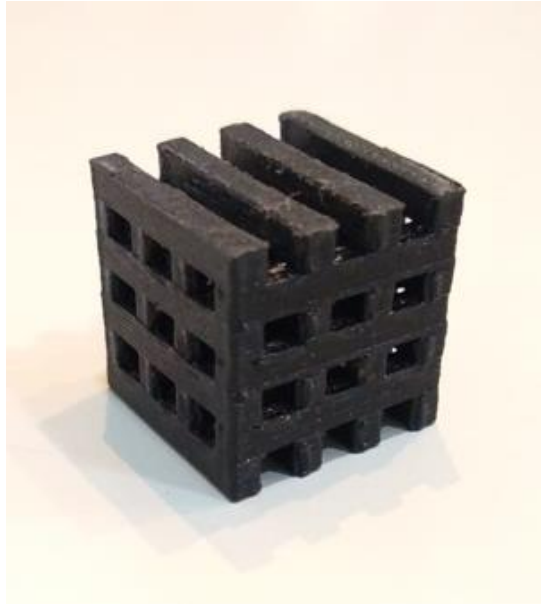
O modelo utilizado para testes e avaliação do processo de impressão foi modelado no software CAD 3D (INVENTOR) e exportado para o software fatiador (CURA) no formato STL. Devido a pequena quantidade de filamento de biomaterial disponível, foi optado a impressão de um modelo de pequena dimensão, mas que tivesse características que permitisse a avaliar o desempenho da impressora, bem como o acabamento e as dimensões finais em relação ao modelo 3D. A figura 16 apresenta o modelo com suas respectivas dimensões, a figura 17 mostra o modelo impresso em PLA e na figura 18 o mesmo impresso em Biomaterial.

Figura 17 - Modelo 3D para testes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 18 - Modelo impresso em PLA.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19 - Modelo impresso em biomaterial.



Fonte: Autoria própria.

5.2 A impressora

Os estudos realizados até o momento apontam que a impressão 3D de biomateriais pelo processo FDM tem como grande barreira o escoamento do material pelo bico extrusor. Dessa forma a qualidade dos scaffolds impressos está mais ligado ao sistema de extrusão e deposição do que na forma construtiva ou mesmo no sistema de controle da impressora 3D. Portanto, para que o estudo realizado apresentasse resultados mais relevantes, foi adotada uma impressora com sistema de movimentação e controle similar as existentes no mercado, focando efetivamente as atenções para o desenvolvimento de um sistema de extrusão capaz de extrusar de forma contínua e homogênea o filamento de biomaterial.

Na tabela 4 é apresentado as especificações técnicas da impressora.

Especificação técnica da Impressora	
Volume de impressão (LxPxA)	120 x 120 x 100 mm
Tamanho da impressora (LxPxA)	300 x 300 x 380 mm
Tecnologia de impressão	FDM
Diâmetro do bico	0.4 / 0.5 / 0.8 / 1.0mm
Resolução XYZ	XY: 0,02mm , Z: 0.005mm
Velocidade de impressão	até 100 mm/s
Conectividade	Cabo USB
Temperatura máxima da mesa	80°C
Calibração da mesa	Manual
Temperatura máxima do bico	230°C
Interface de usuário	Display Lcd 128x64
Alimentação	100-240V AC, 50/60Hz
Diâmetro do filamento	3 mm

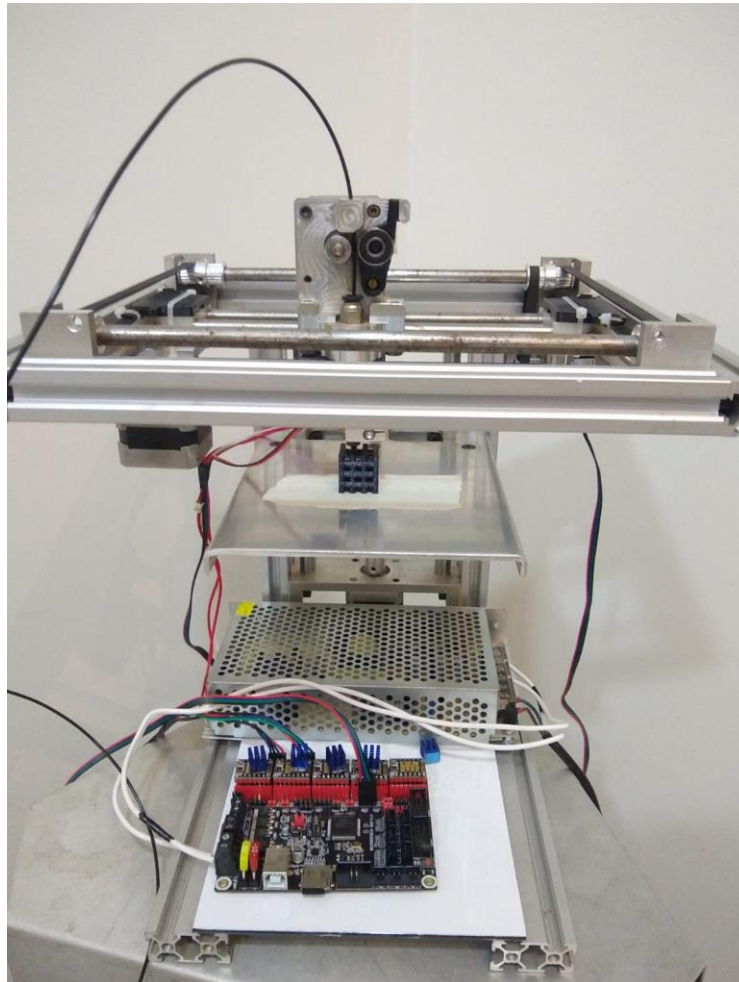
Tabela 5 - Especificação técnica da Impressora.

Fonte: Autoria própria.

Logo abaixo, nas figuras 19, 20 e 21 é apresentado a estrutura e as partes da impressora em fase final de montagem, sendo que para os testes e impressão das

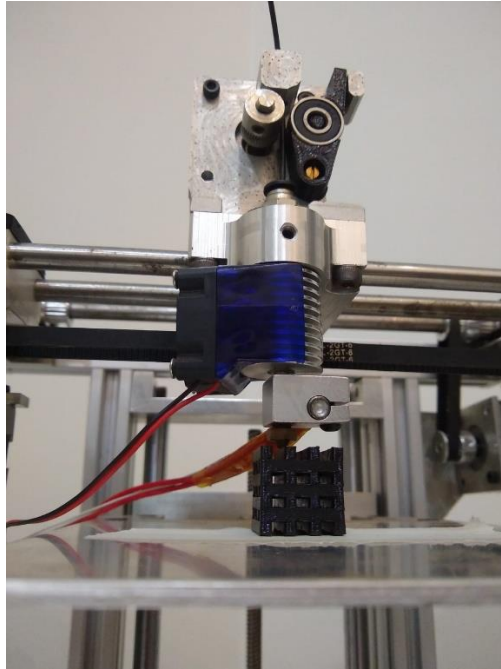
amostras foi utilizada a impressora sem seu enclausuramento. Toda a estrutura da impressora foi construída em alumínio, sendo partes em perfis comerciais, chapas dobradas e outras peças usinadas. Algumas partes que não estarão sujeitas a grandes esforços mecânicos foram obtidas a partir de Manufatura aditiva em PLA na cor preta.

Figura 20 - Estrutura da impressora



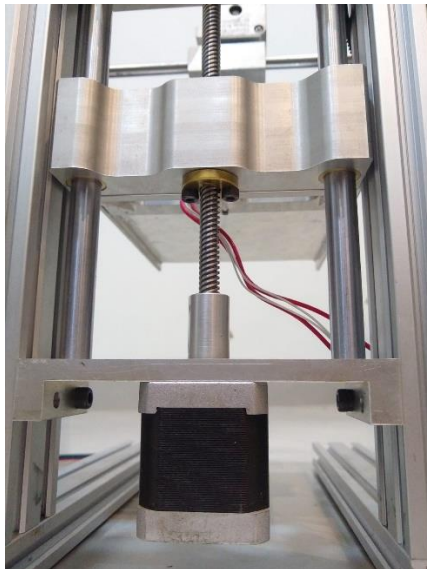
Fonte: Autoria própria.

Figura 21 - Extrusor imprimindo modelo em PLA



Fonte: Autoria própria.

Figura 22 - Sistema de movimentação eixo Z



Fonte: Autoria própria.

5.3 Processo de impressão

Para melhor avaliação do processo de impressão, utilizamos como padrão de comparação o PLA por possuir propriedades já bem conhecidas no processo de impressão, e diante dos testes, notou-se que para permitir a extrusão do filamento de biomaterial, de forma contínua e homogênea, o diâmetro do bico deve ter dimensão maior que a comumente usada para o PLA. Além disso, a temperatura deve ser ligeiramente acima da usualmente aplicada para este material. Foram realizados vários testes de impressão com ambos os materiais(PLA e Biomaterial), e são apresentados na tabela 5 de forma comparativa os parâmetros que apresentaram melhor qualidade da impressão.

Parâmetros de impressão	Material de impressão	
	PLA (Preto)	Filamento de Biomaterial
Diâmetro do Filamento (mm)	1,75	3
Diâmetro do Bico de Latão (mm)	0,4	1
Temperatura do bico (°C)	185	200
Temperatura da Mesa (°C)	60	60
Velocidade de Avanço (mm/s)	40	30
Espessura da camada (mm)	0,2	0,5
Tempo de impressão (s)	22	16
Acabamento superficial	Ótimo	Bom
Varição dimensional (mm)	+/- 0,1	+/- 0,3
Nível de detalhes	Ótimo	Razoável
Uniformidade da Extrusão	Ótimo	Bom

Tabela 6 - Parâmetros de impressão.

Fonte: Autoria própria.

Nestes testes foi utilizado um conjunto extrusor construído em partes usinadas em alumínio e outras impressas em PLA, assim foi possível imprimir alguns modelos, ainda com baixa qualidade, mas que servirão para nortear as ações para melhoria do processo de impressão.

A quantidade de filamento de biomaterial apresentado para os testes não foi suficiente para explorar mais condições de impressão, além de que o filamento não apresentou secção de perfil e dimensão uniformes em toda sua extensão. Isso causou variações no modelo impresso e até mesmo a obstrução do bico em alguns momentos. Dessa forma foi explorado os testes em cima do filamento de PLA que havia grande quantidade disponível.

6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados encontrados, podemos certificar que foi possível desenvolver uma impressora 3D para a impressão de scaffolds a partir de filamentos de biomaterial, garantindo que o modelo impresso apresente dimensões e acabamento superficial dentro do esperado. Porém, economicamente o custo para a construção de uma impressora especial não se justifica, devido ao fato de que toda a estrutura e mecanismo de movimentação, os equipamentos eletrônicos e controle podem ser os mesmos utilizados nas impressoras de baixo custo encontradas no mercado. Sendo que para a impressão de filamentos de biomaterial, é necessário concentrar os estudos na melhoria e adequação dos sistemas de extrusão.

A extrusão do material se apresentou mais difícil do que os materiais comumente impressos devido a composição do filamento. Observa-se que as partículas de celulose bacteriana dificultam o escoamento do material derretido pelo bico extrusor.

Dessa forma, para conseguir a deposição do filamento de forma uniforme, garantido a qualidade do modelo impresso, foi necessário trabalhar com temperaturas mais elevadas e diâmetro do bico pouco maior (1.0mm).

Esse aumento no diâmetro do bico de certa forma prejudica a qualidade da impressão, uma vez que diâmetros maiores não permitem impressão de pequenos detalhes e cantos vivos.

Diante dos estudos realizados até o momento é certo de que a impressora 3D é capaz de imprimir Scaffolds com bom nível de qualidade quando observado a dimensão e homogeneidade do modelo.

Um fator importante a destacar que a qualidade da impressão e riqueza de detalhes, bem como os cantos vivo do modelo, estão limitados ao diâmetro do bico, pelo fato de que bicos de pequenos diâmetros não permitem o escoamento contínuo e uniforme do biomaterial.

Dessa forma, podemos verificar que os testes de impressão pelo processo FDM permite imprimir modelos tridimensionais a partir de filamentos mistos de biomateriais, desde que haja a variação dos parâmetros de impressão e as dimensões do bico extrusor.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nas próximas etapas do trabalho é necessário a finalização da montagem da impressora e realização de testes, variando os parâmetros para definição dos limites que permitirão uma melhor qualidade no modelo impresso. Com isso será possível não só criar um manual para o tipo de filamento, como também auxiliar as pesquisas que tem como foco o desenvolvimento de biomateriais aplicados em engenharia de tecidos para a regeneração de tecidos ósseos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACURA. SOLUÇÕES. Indústria 4.0. 2018. Disponível em: <<https://www.acura.com.br/pt/tecnologia/industria-4-0>>. Acesso em: Janeiro 2022.

AUTODESK. [Site institucional]. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/>>. Acesso em: 14 nov 2022.

AUTODESK. IMPRESSÃO 3D. O que é impressão 3D? 2019. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/solutions/3d-printing>>. Acesso em: Janeiro 2022.

BARROSO, WF. **Proposta de viabilidade técnica-econômica para Bioimpressão 3d auxiliada por manipulador robótico.** 2019. Dissertação (Mestrado em Bioprocessos, Biomateriais e Bioprodutos) Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, Araraquara. 2019.

BIGTREETECH. [Site institucional e comercial]. Disponível em: <<https://bigtree-tech.com/>>. Acesso em abril 2023.

GUASTALDI, AC.; APARECIDA, AH. Fosfatos de cálcio de interesse biológico: importância como biomateriais, propriedades e métodos de obtenção de recobrimentos. **Quím. Nova.** v. 33, n. 6, p.1352-1358, 2010.

GUASTALDI, Antônio C. et al. **Bioimpressão 3D no contexto da indústria 4.0 aplicada à saúde.** São Carlos: EdUFSCar, 2021.

KALATEC AUTOMAÇÃO. [Site institucional e comercial]. Disponível em: <<https://www.kalatec.com.br/>>. Acesso em abril 2023.

PORTAL BIOFABRICAÇÃO 3D. [Site institucional e comercial] Disponível em: <<https://www.biofabricacao.com/single-post/2018/11/04/o-que-s%C3%A3o-bioinks-biotintas-conceitos-importantes-da-bioimpress%C3%A3o-de-tecidos/>>. Acesso em abril 2023.

ROQUE, R. **Biofabricação de scaffolds com fosfatos de cálcio e Inter conectividade estruturada entre poros. 2019.** Dissertação (Mestrado em Bioprocessos, Biomateriais e Bioprodutos) Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP, Araraquara. 2019.

ULTIMAKER. 2022. Disponível em: <<https://ultimaker.utopica3d.com/>>. Acesso em Janeiro 2022.

VOLPATO N. **Manufatura Aditiva Tecnologias e aplicações da impressão 3D.** São Paulo: Edgard Blücher, 2017.

VOLPATO, N. et al. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações.** 01. ed. São Paulo: Bluscher, 2007.

APÊNDICE A – Materiais para impressora de biomateriais (FDM)

Grupo	Quantidade	Descrição
Elétricos e Eletrônicos	1	Placa mãe para controle SKR 1.3
	4	Driver p/ Motor de Passo TMC 2209
	1	Display LCD 128x64 Controlador Gráfico RepRap
	1	Fonte de Alimentação 360w - 12V
	1	Mesa aquecida 12v - 200x200mm
	4	Motor de Passo nema 17 - 5Kgf/cm ²
	1	Cartucho Aquecedor 12v 40w
	2	Termistor NTC B3950 100K
	1	Botão tipo alavanca
	-	Cabos elétricos, Terminais e Conectores
Componentes mecânicos comerciais	1	Fuso trapezoidal TR8 - 8x300mm
	1	Porca de latão c/ Flange - TR8 - 8mm
	6	Polias sincronizadoras GT2 - 16D
	1	Polia Sincronizadora esticadora GT2 - 16D
	1,8m	Correia Sincronizadora GT2 - 6mm
	2	Eixo linear D12 x 300mm
	2	Eixo Linear D8 x 300mm
	2	Eixo Linear D8 x 250mm
	4	Rolamento
	-	Parafusos, porcas e Arruelas
Peças Usinadas	1	Mesa
	1	Suporte da mesa
	1	Mancal de Apoio inferior
	1	Mancal de Apoio Superior
	1	Carro esquerdo do Eixo Y
	1	Carro Direito do Eixo Y
	1	Suporte do Motor do eixo X
	1	Carro Eixo X
	1	Base do Extrusor
	1	Suporte do Motor do eixo Y
	4	Suporte para eixo guia dos eixos
	1	Conjunto Extrusor