

**SISTEMA DE BIOIMPRESSÃO COM  
CABEÇOTE ADAPTÁVEL PARA  
IMPRESSORAS 3D *FUSED DEPOSITION  
MODELING* (FDM)**

**TAMIRES PEREIRA ALVES**

**SALVADOR**

**2023**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DA BAHIA  
CAMPUS SALVADOR**

**TAMIRES PEREIRA ALVES**

**SISTEMA DE BIOIMPRESSÃO COM CABEÇOTE  
ADAPTÁVEL PARA IMPRESSORAS 3D *FUSED  
DEPOSITION MODELING* (FDM)**

**SALVADOR - BAHIA**

**2023**

**TAMIRES PEREIRA ALVES**

**SISTEMA DE BIOIMPRESSÃO COM CABEÇOTE ADAPTÁVEL PARA  
IMPRESSORAS 3D *FUSED DEPOSITION MODELING* (FDM)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Produtos, área de concentração em Projeto e Desenvolvimento de Tecnologias/Produtos em Sistemas Biomédicos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Gabriel Souza Almeida

Co-Orientador: Prof. Dr. Handerson Jorge Dourado Leite

**SALVADOR**

**2023**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS  
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

A474s      Alves, Tamires Pereira

Sistema de bioimpressão com cabeçote adaptável para impressora 3D fused deposition modeling (FMD): / Tamires Pereira Alves; orientador Antonio Gabriel Souza Almeida; coorientador Handerson Jorge Dourado Leite -- Salvador, 2023.

117 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas de Produtos) -- Instituto Federal da Bahia, Salvador, 2023.

1. Manufatura aditiva. 2. Bioimpressora 3D. 3. Engenharia tecidual. 4. Biofabricação de pele. 5. Tecido cutâneo. I. Almeida, Antonio Gabriel Souza, orient. II. Leite, Handerson Jorge Dourado, coorient. III. TÍTULO.

CDU 004.356.2



**INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE SISTEMAS E PRODUTOS – PPGESP**

**SISTEMA DE BIOIMPRESSÃO COM CABEÇOTE ADAPTÁVEL PARA  
IMPRESSORAS 3D *FUSED DEPOSITION MODELING* (FDM)**

**TAMIRES PEREIRA ALVES**

Produto(s) Gerado(s): Dissertação

Orientador: Prof. Dr. Antonio Gabriel Souza Almeida

Coorientador: Prof. Dr. Handerson Jorge Dourado Leite

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Antonio Gabriel Souza Almeida

Orientador – Instituto Federal da Bahia (IFBA)

---

Prof. Dr. Handerson Jorge Dourado Leite

Coorientador – Instituto Federal da Bahia (IFBA)

---

Prof. Dra. Luanda Kivia de Oliveira Rodrigues

Membro Interno – Instituto Federal da Bahia (IFBA)

---

Profa. Dra. Joseneide Santos Queiroz

Membro Externo – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia ( UFRB)

---

Prof. Dr. Josielson Costa da Silva

Membro Externo – Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela banca examinadora em 20/12//2023

---



Documento assinado eletronicamente por **HANDERSON JORGE DOURADO LEITE, Professor Titular**, em 20/12/2023, às 20:45, conforme decreto nº 8.539/2015.

---



Documento assinado eletronicamente por **LUANDA KIVIA DE OLIVEIRA RODRIGUES, Docente Permanente**, em 20/12/2023, às 20:46, conforme decreto nº 8.539/2015.

---



Documento assinado eletronicamente por **Josielson Costa da Silva, Usuário Externo**, em 20/12/2023, às 20:48, conforme decreto nº 8.539/2015.

---



Documento assinado eletronicamente por **JOSENEIDE SANTOS QUEIROZ, Usuário Externo**, em 21/12/2023, às 08:37, conforme decreto nº 8.539/2015.

---



Documento assinado eletronicamente por **ANTONIO GABRIEL SOUZA ALMEIDA, Docente Permanente**, em 21/12/2023, às 10:20, conforme decreto nº 8.539/2015.

---



A autenticidade do documento pode ser conferida no site [http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&acao\\_origem=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0) informando o código verificador **3309489** e o código CRC **84D59B7B**.

---

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais, ao meu filho, à minha família, aos amigos, aos Professores e ao Polo de Inovação Salvador, que contribuíram com a realização e conclusão deste projeto.

## AGRADECIMENTOS

O caminho até a chegada desse momento foi longo e cheio de percalços. Foi necessária muita dedicação, perseverança e resiliência. Foram anos de desafios pessoais, emocionais e profissionais. Mas também foi um período de muito aprendizado, de troca de experiências e conhecimentos e de fortalecimento de relações.

Tive o privilégio de contar com pessoas especiais, que contribuíram de diversas formas para a conclusão desse projeto. E por esse motivo, eu sou extremamente grata.

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por sua constante presença em Tudo.

Aos meus pais, Célia e Joel, por serem o meu exemplo de vida, por toda dedicação, amor, carinho e cuidado, e por toda a vida de trabalho e persistência que me proporcionou desde sempre a seguir pelo caminho da educação. Mainha e Painho, vocês são maravilhosos e todas as vitórias são nossas. Ao meu filho, Pedro Luís, por ser o meu combustível, minha inspiração diária e por sempre sonhar junto comigo. Ao meu companheiro, Diego, por todo apoio e parceria.

A minha família, por todo encorajamento, amor e compreensão, e por todo suporte emocional e financeiro ao longo dessa jornada. Aos meus amigos, que mesmo de longe se fizeram presentes e sempre acreditaram no meu potencial.

Ao meu Professor e Orientador, Antonio Gabriel, por sua dedicação incansável, apoio, pelos ensinamentos compartilhados, pelas orientações e palavras de incentivo, e por todas as oportunidades.

Ao Professor Handerson, por todas as contribuições e ensinamentos.

Ao Polo de Inovação Salvador pela infraestrutura e recursos fornecidos, que foram fundamentais para a condução deste projeto. E por ser um dos meus lugares favoritos, onde amadureci como pessoa e como profissional, criei laços fortes e me apaixonei pelo mundo da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Aos queridos amigos e Professores do Polo de Inovação Salvador, por todo carinho e apoio, pelo compartilhamento de conhecimento e pelo constante incentivo.

Ao IFBA, Instituição que eu amo e que faz parte da minha trajetória pessoal e acadêmica desde 2009.

"When black women move, the whole structure of society moves with them."

**Angela Davis**

## RESUMO

Bioimpressão 3D é uma tecnologia que combina simultaneamente células vivas e biomateriais através de um processo de manufatura auxiliada por computador, para a fabricação de uma variedade de construções biológicas para aplicações na medicina de precisão, desenvolvimento de drogas e cosméticos, fabricação de modelos para estudo e substituição de tecidos. A bioimpressão de tecido cutâneo é uma alternativa para substituição de tecidos lesionados por acidentes, queimaduras ou feridas graves, trazendo a possibilidade de maior controle no modelo a ser transplantado e individualização para atender cada necessidade. Os elevados custos para aquisição e manutenção de equipamentos específicos são uma barreira para a popularização da tecnologia. O presente projeto tem por objetivo desenvolver um sistema de bioimpressão com cabeçote adaptável para impressoras 3D que utilizem a tecnologia de deposição de material fundido (*Fused Deposition Modeling* – FDM) para fabricação de substitutos de pele biologicamente ativos. O sistema promoverá a modificação de impressoras 3D de pequeno porte, fazendo a substituição do seu cabeçote tradicional, transformando-as em bioimpressoras 3D que irão utilizar a técnica de bioimpressão por extrusão, proporcionando a criação de substrato para recomposição de tecido cutâneo com a geometria e as dimensões necessárias. O produto proposto é caracterizado por um cabeçote para substituição, adequado para a tecnologia, e um estrutura de estabilização da plataforma de deposição, e tem como diferenciais a possibilidade de adaptação em diferentes modelos de impressoras 3D de bancada, a facilidade na montagem e na operação, e ser uma solução de menor custo de desenvolvimento, fabricação e montagem.

**Palavras-chave:** Manufatura Aditiva, Bioimpressora 3D, Engenharia Tecidual, Biofabricação de Pele, Tecido Cutâneo

## ABSTRACT

3D bioprinting is a technology that simultaneously combines living cells and biomaterials through a computer-aided manufacturing process to produce a variety of biological constructs for applications in precision medicine, drug and cosmetic development, model making for study and tissue replacement. The bioprinting of skin tissue is an alternative for replacing tissues damaged by accidents, burns or serious wounds, offering the possibility of greater control over the model to be transplanted and individualization to meet each need. The high costs of acquiring and maintaining specific equipment are a barrier to popularizing the technology. The aim of this project is to develop a bioprinting system with an adaptable head for 3D printers that use Fused Deposition Modeling (FDM) technology to manufacture biologically active skin substitutes. The system will promote the modification of small 3D printers by replacing their traditional head, transforming them into 3D bioprinters that will use the extrusion bioprinting technique, enabling the manufacture of tissues with the required shape and dimensions. The proposed product is characterized by a replacement head, suitable for the technology, and a structure for stabilizing the deposition platform. Its differentials are the possibility of adapting it to different models of benchtop 3D printers, ease of assembly and operation, and the fact that it is a solution with lower development, manufacturing and assembly costs.

**Keywords:** Additive Manufacturing, 3D Bioprinter, Tissue Engineering, Skin Biomanufacturing, Skin.

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Modelo de referência do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) apresentado por ROZENFELD et al. (2017). Em destaque, as macrofases e suas respectivas fases abordadas no presente projeto. ....</i>	21
<i>Figura 2 - Dinâmica da Matriz QFD (ABREU, 1997). ....</i>	27
<i>Figura 3 – Estrutura Analítica de Projeto (EAP). ....</i>	32
<i>Figura 4 – Código de cores das fases do Projeto. ....</i>	33
<i>Figura 5 – Cronograma do Projeto. ....</i>	34
<i>Figura 6 – Quadro Kanban com tarefas e subtarefas. ....</i>	36
<i>Figura 7 – Modelo BioEdPrinter V4. Site do fabricante (BIOEDTECH, 2015). ....</i>	38
<i>Figura 8 – Modelo BioEdPrinter V2. Site do fabricante (BIOEDTECH, 2015). ....</i>	38
<i>Figura 9 – Modelo Cabeçote Bio, da BioEdTech. Site do fabricante (BIOEDTECH, 2015). ....</i>	38
<i>Figura 10 – Bioimpressora 3D da Dermyah. Site do fabricante (DERMYAH, [s.d.]). ....</i>	39
<i>Figura 11 – Bioimpressora 3D Inkredible+ da Cellink. Site do fabricante (CELLINK, [s.d.]). ....</i>	40
<i>Figura 12 – Patente Sistema Estéril de Fabricação Aditiva – BR 112020010791-3 A2 (DEVLIN; JAAKKO; KESTI, 2020). ....</i>	43
<i>Figura 13 – Patente Multi-dimensional bioprinting system – US10538725B1 (NATARAJAN, 2020). ....</i>	48
<i>Figura 14 – Patente Additive Manufacturing of Embedded Materials – US10150258B2 (FEINBERG; HINTON, 2018). ....</i>	48
<i>Figura 15 – Quantidade de publicações com base na pesquisa feita na plataforma Web of Science utilizando a primeira estratégia de busca. ....</i>	51
<i>Figura 16 – Ciclo de vida do processo de bioimpressão 3D (JAVAID; HALEEM, 2021). ....</i>	55
<i>Figura 17 - Matriz QFD. ....</i>	59
<i>Figura 18 – Legenda de símbolos e números utilizados na Matriz QFD, na Matriz de Relacionamentos e na Matriz de Correlações e como direcionador de melhoria dos requisitos de produto. ....</i>	60
<i>Figura 19 – Função Global. ....</i>	63
<i>Figura 20 – Funções parciais. ....</i>	64
<i>Figura 21 – Visão geral da solução. ....</i>	75
<i>Figura 22 – À esquerda, modelagem inicial da Montagem do Sistema de Bioimpressão em uma Impressora 3D FDM realizada em software CAD. À direita, o cabeçote proposto em destaque. ....</i>	76
<i>Figura 23 - Modelo 3D projetado em software CAD do Cabeçote adaptável para bioimpressão por extrusão. Vistas frontal, lateral e perspectiva isométrica. ....</i>	78
<i>Figura 24 - Modelo 3D projetado em software CAD da estrutura de estabilização da plataforma de deposição. Vistas frontal, superior e perspectiva isométrica ....</i>	78

<i>Figura 25 - Modelo 3D projetado em software CAD do Cabeçote adaptável para bioimpressão e da estrutura de estabilização da plataforma de deposição por extrusão inseridos em um equipamento base genérico. Perspectiva isométrica. ....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 26 - Posição inicial do estudo da transmissão de movimento do atuador linear de passo para o êmbolo do reservatório de biotinta do Cabeçote adaptável para bioimpressão. Modelo projetado em software CAD/CAE. Vista frontal e perspectiva isométrica. ....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 27 - Posição final do estudo da transmissão de movimento do atuador linear de passo para o êmbolo do reservatório de biotinta do Cabeçote adaptável para bioimpressão. Modelo projetado em software CAD/CAE. Vista frontal e perspectiva isométrica. ....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 28 - Mini atuador linear de passo especificado. ....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 29 - Seringa descartável de 3 ml. ....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 30 - Seringa descartável de 5 ml. ....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 31 - Agulhas com conexão Luer Lock, com calibres 22G, 25G e 27G, respectivamente. ....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 32 - Placa de Petri de vidro 80 x 150 mm. ....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 33 - Barra roscada M5. ....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 34 - Alguns dos elementos de fixação a serem utilizados na montagem: porca de inserção (ou inserto metálico), rebite de rosca e porca borboleta, respectivamente. ....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 35 - Kits de biotintas Cellink para fabricação de tecido cutâneo, o CELLINK SKIN (A) e o GelXA SKIN (B). ....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 36 - Equipamento base selecionado para montagem do protótipo e realização de testes, e o seu cabeçote tradicional em destaque – Modelo AiP do fabricante Sethi 3D. ....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 37 - Modelo virtual do cabeçote adaptável para bioimpressão destacando as peças projetadas especificamente para fabricação do conjunto. ....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 38 - Modelo virtual da estrutura de estabilização da plataforma de deposição destacando as peças projetadas especificamente para fabricação do conjunto. ....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 39 - Vista frontal da montagem do cabeçote adaptável para bioimpressão e suas principais dimensões. ....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 40 - Vista lateral da montagem do cabeçote adaptável para bioimpressão e suas principais dimensões. ....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 41 - Vista frontal da montagem da estrutura de estabilização da plataforma de deposição e suas principais dimensões. ....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 42 - Vista superior da montagem da estrutura de estabilização da plataforma de deposição e suas principais dimensões. ....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 43 - Montagem do cabeçote adaptável para bioimpressão em perspectiva isométrica. Visualização em arestas externas. ....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 44 - Montagem da estrutura de estabilização da plataforma de deposição em perspectiva isométrica. Visualização em arestas externas. ....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 45 – Composição das biotintas. Adaptado (CHEN et al., 2023). ....</i>	<i>104</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Resultados relevantes – busca nacional de patentes.</i> .....	41
<i>Tabela 2 – Resultados relevantes – busca internacional de patentes.</i> .....	44
<i>Tabela 3 – Critérios de avaliação de soluções relevantes - Pesquisa de Mercado e Pesquisa de Anterioridade.</i> .....	49
<i>Tabela 4 – Resultados encontrados nas diferentes plataformas de busca – pesquisa de publicações científicas.</i> .....	50
<i>Tabela 5 – Necessidades dos clientes e requisitos do produto.</i> .....	58
<i>Tabela 6 – Matriz de especificações do Projeto.</i> .....	61
<i>Tabela 7 – Princípios de Solução – Matriz Morfológica.</i> .....	65
<i>Tabela 8 – Concepções geradas após análise da Matriz Morfológica.</i> .....	72
<i>Tabela 9 - Partes que compõem o sistema proposto, incluindo os itens do cabeçote adaptável para bioimpressão e a estrutura de estabilização.</i> .....	80
<i>Tabela 10 - Parâmetros de extrusão recomendados (velocidade e pressão mínima) (CELLINK, 2023).</i> .....	82
<i>Tabela 11 - Informações do atuador linear de passo especificado.</i> .....	87
<i>Tabela 12 - Modelagem para Prototipagem: Estimativa de consumo de material, tempo de fabricação e a massa estimada das peças.</i> .....	95
<i>Tabela 13 - Lista de materiais e serviços.</i> .....	97
<i>Tabela 14 - Lista de Fornecedores e fabricantes.</i> .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**3D:** Tridimensional

**ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ABTO:** Associação Brasileira de Transplante de Órgãos

**ANVISA:** Agência Nacional de Vigilância Sanitária

**ASTM:** *American Society for Testing and Materials*

**BPF:** Boas Práticas de Fabricação

**CAD:** *Computer Aided Design*

**CAE:** *Computer Aided Engineering*

**dCEM:** Matriz Descelularizada

**EAP:** Estrutura Analítica de Projeto

**ESACENET:** *European Patent Office*

**FDM:** *Fused Deposition Modeling*

**ICT:** Institutos de Ciência e Tecnologia

**INPI:** Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**ISO:** *International Organization for Standardization*

**JPA:** *Japan Patent Office*

**PCL:** Policaprolactona

**PDP:** Processo de Desenvolvimento de Produto

**PEG:** Polietilenoglicol

**PEO:** Poli (óxido de etileno)

**PLA:** Ácido Polilático

**PLLA:** Ácido Poli-L-Láctico

**PRODIP:** Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos

**PVA:** Álcool Polivinílico

**QFD:** *Quality Function Deployment*

**RDC:** Resolução Da Diretoria Colegiada

**ROSPATENT:** *Russian Patent Office*

**SBQ:** Sociedade Brasileira De Queimaduras

**SUS:** Sistema Único De Saúde

**TEMP:** *Tissue-engineered Medical Products*

**USPTO:** *United States Patent and Trademark Office*

**WHO:** *World Health Organization*

**WIPO:** *World Intellectual Property Organization*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
<b>3. MÉTODO .....</b>	<b>21</b>
3.1. PLANEJAMENTO DO PROJETO .....	23
3.2. PROJETO INFORMACIONAL .....	24
3.2.1. <i>Produtos concorrentes/similares</i> .....	24
3.2.2. <i>Patentes</i> .....	25
3.2.3. <i>Artigos</i> .....	25
3.2.4. <i>Normas e Legislação</i> .....	25
3.2.5. <i>Ciclo de vida do Processo</i> .....	26
3.2.6. <i>Ciclo de vida do Produto</i> .....	26
3.2.7. <i>Identificação e Necessidades dos Clientes</i> .....	26
3.2.8. <i>Necessidades e Requisitos (Matriz QFD)</i> .....	27
3.2.9. <i>Especificações do projeto</i> .....	28
3.3. PROJETO CONCEITUAL .....	28
3.3.1. <i>Função Global</i> .....	28
3.3.2. <i>Funções Parciais</i> .....	29
3.3.3. <i>Matriz Morfológica</i> .....	29
3.3.4. <i>Concepções</i> .....	29
3.3.5. <i>Matriz de Avaliação</i> .....	30
3.4. PROJETO PRELIMINAR .....	30
3.5. PROJETO DETALHADO .....	30
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1. PLANEJAMENTO DO PROJETO .....	32
4.2. PROJETO INFORMACIONAL .....	37
4.2.1. <i>Produtos concorrentes/similares</i> .....	37
4.2.2. <i>Patentes</i> .....	41
4.2.3. <i>Artigos</i> .....	49
4.2.4. <i>Normas e legislação</i> .....	52
4.2.5. <i>Ciclo de vida do processo de bioimpressão 3D</i> .....	55
4.2.6. <i>Identificação e necessidades dos clientes</i> .....	56

4.2.7.	<i>Necessidades e Requisitos (Matriz QFD)</i> .....	56
4.2.8.	<i>Especificações do projeto (Matriz de especificações)</i> .....	60
4.3.	<b>PROJETO CONCEITUAL</b> .....	63
4.3.1.	<i>Função Global</i> .....	63
4.3.2.	<i>Funções Parciais</i> .....	64
4.3.3.	<i>Matriz Morfológica</i> .....	64
4.3.4.	<i>Concepções</i> .....	71
4.3.5.	<i>Matriz de Avaliação</i> .....	75
4.4.	<b>PROJETO PRELIMINAR</b> .....	77
4.4.1.	<i>Detalhamento do Projeto 3D</i> .....	77
4.4.2.	<i>Estudo de Movimento e Avaliação do Conjunto</i> .....	81
4.4.3.	<i>Especificação dos Componentes</i> .....	85
4.4.4.	<i>Modelagem para Prototipagem</i> .....	92
4.5.	<b>PROJETO DETALHADO</b> .....	96
4.5.1.	<i>Lista de Materiais e Serviços</i> .....	96
4.5.2.	<i>Lista de fabricante e fornecedores</i> .....	98
4.5.3.	<i>Detalhamento do Conjunto</i> .....	100
<b>5.</b>	<b>PERSPECTIVAS FUTURAS</b> .....	<b>104</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>108</b>
	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>115</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A *American Society For Testing And Materials* define a Manufatura Aditiva como o processo de unir materiais para criar objetos a partir de modelos tridimensionais, geralmente camada após camada, em oposição aos métodos de fabricação subtrativos, como a usinagem tradicional (ASTM INTERNATIONAL, 2021). Incluindo uma grande quantidade de técnicas de fabricação, a Manufatura Aditiva surgiu como um processo emergente para possibilitar uma nova forma de produção em baixo volume e de maior flexibilidade.

Em meio a uma crescente evolução científica e tecnológica, o surgimento de soluções para desafios presentes nas mais diversas áreas se firma de maneira determinante. Em virtude do constante desenvolvimento de ferramentas de processamento de imagens tridimensionais e de técnicas de Manufatura Aditiva, houve uma adoção de novas aplicações na área médica, por exemplo. Essas aplicações variam desde a criação de modelos anatômicos para treinamento e planejamento de intervenções cirúrgicas até a fabricação de tecido vivo, caracterizando a bioimpressão 3D, uma das mais conhecidas tecnologias da Engenharia Tecidual (GOLDSTEIN *et al.*, 2016).

A Engenharia Tecidual emprega a sinergia de células, biomoléculas, fatores de crescimento e, por vezes estruturas de cultivo, os chamados *scaffolds*, com o objetivo de imitar a matriz extracelular nativa para a reposição e regeneração dos tecidos (SUNDARAMURTHI; RAUF; HAUSER, 2016). A bioimpressão é uma tecnologia que combina simultaneamente células vivas e biomateriais através de um processo de manufatura auxiliada por computador para gerar ambientes vivos bidimensionais e também bioestruturas tridimensionais que imitam as características naturais do tecido. O principal foco da prática é a criação de compósitos biomiméticos funcionais tridimensionais para diversas possibilidades de aplicação (SAYGILI *et al.*, 2020).

Segundo a Associação Brasileira de Transplantes de Órgãos, até setembro de 2022, o número total de pacientes na lista de espera de transplante de órgão no Brasil era de 52.682, enquanto o número total de potenciais doadores era de 9.812 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS, 2022). No Brasil, o Sistema Nacional de Transplantes é responsável pela regulamentação, controle e monitoramento

do processo de doação e transplantes realizados no país. O transplante de pele, por exemplo, é utilizado como alternativa para o tratamento de pacientes vítimas de queimaduras ou de feridas crônicas. A camada superficial de pele transplantada funciona como um curativo biológico diminuindo a dor, a perda de líquidos pela ferida e a chance de infecção (MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2017). É uma alternativa temporária, retirando o paciente da fase crítica da queimadura ou traumatismo, não substituindo permanentemente o tecido. Atualmente o Brasil possui quatro bancos de pele (MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2020).

A *World Health Organization* estima que 1800.000 mortes ocorrem todos os anos causadas por queimaduras, sendo as principais causas incêndios, escaldamentos e a eletricidade. Queimaduras não fatais são uma das principais causas de morbidade, incluindo hospitalização prolongada, incapacidade, cicatrizes hipertróficas, contraturas, amputações, muitas vezes resultando em estigma e rejeição (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2018). Elas estão entre as feridas traumáticas mais caras, devido ao longo tempo de hospitalização e reabilitação, além dos altos custos envolvidos no tratamento de cicatrizes pós-lesão (GERSTL *et al.*, 2021). Em 2004, quase 11 milhões de pessoas em todo o mundo sofreram queimaduras graves, que exigiram atenção médica. (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2018). No Brasil, as queimaduras foram responsáveis por 1.085.841 de internações, entre os anos de 2008 e 2017. A média de permanência hospitalar dos pacientes foi de  $4,8 \pm 1,1$  dias e a média da taxa de mortalidade foi de  $2,1 \pm 0,7\%$  (FONTANA *et al.*, 2020).

Algumas pesquisas descrevem que o transplante de pele convencional nem sempre é bem-sucedido em feridas de maior dimensão (ZIEGLER; WIDGEROW; EVANS, 2022) (ORGILL; BLANCO, 2009), sendo a utilização de modelos personalizados e fabricados a partir de bioimpressão uma relevante e conveniente opção. Além das vantagens já inerentes do processo básico de MA, como a possibilidade de completa adaptabilidade e personalização do modelo fabricado, a redução do risco de rejeição de tecidos bioimpressos após a implantação a partir de diferentes abordagens nas questões de vascularização e compatibilidade é de extrema importância para validar a viabilidade da tecnologia (JAVAID; HALEEM, 2021) (GAO *et al.*, 2021). Devido às demandas contínuas, a existência de estratégias alternativas que superam os métodos tradicionais de

transplante de órgãos e tecidos é de crescente importância (OZBOLAT; YU, 2013). Além de ser uma alternativa para fabricação de órgãos e tecidos para transplante, a bioimpressão 3D é explorada para confecção de implantes médicos, testes de medicamentos, como uma poderosa tecnologia para fornecer aos pacientes com doenças graves tratamentos personalizados, além de outras aplicações (SUNDARAMURTHI; RAUF; HAUSER, 2016).

Inúmeros trabalhos científicos demonstram a versatilidade de utilização da MA em diversas áreas, como na Medicina, seja na fabricação de modelos para planejamento cirúrgico, até a impressão de tecido vivo. As formas mais complexas de aplicação da tecnologia são principalmente caracterizadas pelos elevados custos com equipamentos específicos e com a manutenção dos mesmos, além da necessidade de mão de obra especialmente qualificada para operação e manutenção.

Dessa forma, o projeto proposto visa desenvolver um sistema de bioimpressão com cabeçote adaptável para impressoras 3D que utilizem a tecnologia de deposição de material fundido (*Fused Deposition Modeling* - FDM) com foco na fabricação de tecido cutâneo. O sistema promoverá a modificação de impressoras 3D de pequeno porte, fazendo a substituição de seu cabeçote tradicional, transformando-as em bioimpressoras 3D que utilizam a técnica de deposição contínua de biotinta – a bioimpressão por extrusão – possibilitando a criação de tecidos de acordo com a forma e o tamanho necessários, adequados para cada lesão. O produto pretende apresentar como diferencial a possibilidade de adaptação em diferentes modelos de impressoras 3D de bancada, facilidade na montagem e na utilização, e menor custo de aquisição, com objetivo de viabilizar a utilização da tecnologia pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral é desenvolver o protótipo de um Sistema adaptável para uma impressora FDM de pequeno porte que possua as características básicas necessárias para a sua utilização. Os objetivos específicos são:

- Realizar projeto mecânico do conjunto;
- Fabricar protótipo do produto;
- Realizar testes e validação do protótipo fabricado;
- Realizar a proteção intelectual da proposta através de depósito da patente no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

### 3. MÉTODO

O desenvolvimento do presente projeto utilizou como base as metodologias de Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), proposta por ROZENFELD *et al.* (2017), e de Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (PRODIP), descrita por BACK *et al.* (2008), além de algumas diretrizes e definições do Guia *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK), publicado pelo PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (2021). Dessa forma, o processo descrito abrange cinco fases, sendo elas: planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. A etapa final do desenvolvimento e as etapas de pós desenvolvimento do PDP – preparação da produção e lançamento do produto – não foram aplicadas, pois não fazem parte do escopo do projeto. A Figura 1 ilustra o modelo de referência para o desenvolvimento de produtos, de acordo com ROZENFELD *et al.* (2017), destacando as pertinentes para a proposta.

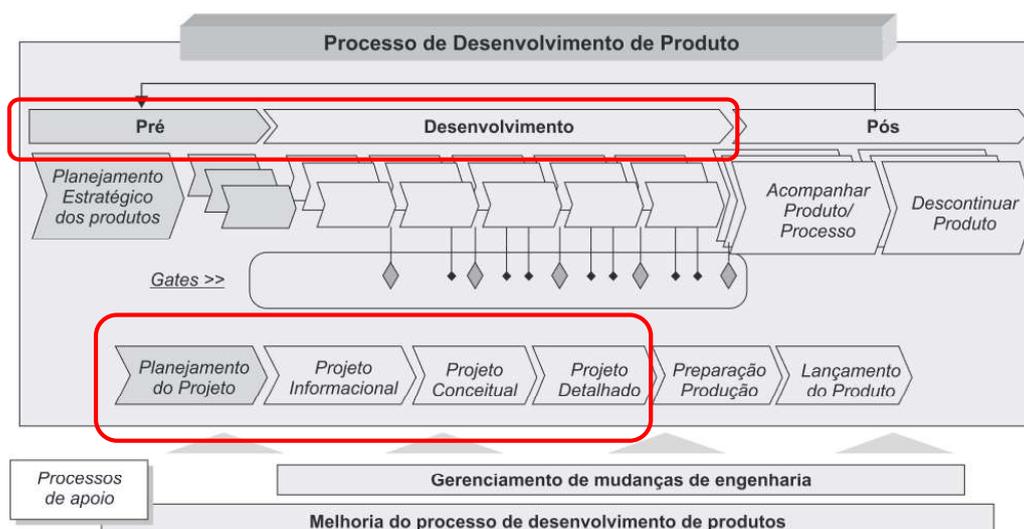


Figura 1 - Modelo de referência do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) apresentado por ROZENFELD *et al.* (2017). Em destaque, as macrofases e suas respectivas fases abordadas no presente projeto.

Essa metodologia é caracterizada pela entrega de um conjunto de resultados, necessários para o avanço do PDP para a fase seguinte. As macrofases são: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

A macrofase de desenvolvimento se inicia com a fase de planejamento do projeto, na qual são definidos o escopo do projeto, sua viabilidade técnico-econômica, equipe a ser mobilizada, a infraestrutura necessária, os prazos de execução das tarefas, os custos esperados e os riscos envolvidos, e, dessa forma, melhorar o grau de maturidade do projeto (ROMEIRO *et al.*, 2013). Para tal, ferramentas ágeis para gerenciamento foram utilizadas como suporte, entre elas o quadro *Kanban* e o método *Scrum*. O *Scrum* tem como pilares a transparência, a inspeção e a adaptação. É elaborada uma lista dinâmica de recursos, requisitos, melhorias e correções que devem ser concluídos para que projeto seja bem-sucedido – o *Product Backlog*. O entendimento das necessidades, a visualização do fluxo de trabalho, a definição de prioridades e nível de complexidade e a realização de entregas e testes periódicos – os *sprints* – são parte do método.

A segunda fase corresponde ao projeto informacional, que utiliza o resultado da fase anterior para definir especificações do projeto, estabelecendo valores alvo para os parâmetros inicialmente identificados, complementando as informações sobre os prováveis clientes e detalhando os requisitos do produto (ROMEIRO *et al.*, 2013). Nessa fase uma pesquisa completa de informações é realizada através da pesquisa da literatura em bases de dados científicos, com o objetivo de entender o estado da arte da tecnologia proposta, além da prospecção de patentes e pesquisa de mercado. Foi utilizada uma importante ferramenta utilizada conectar as necessidades e expectativas do cliente com as características técnicas do produto ou serviço, A Matriz QFD (*Quality Function Deployment*) – ou Casa da Qualidade. O detalhamento do ciclo de vida do projeto e do produto, que também compõe essa etapa, serão realizados após o Exame de Qualificação

. O resultado parcial dessa fase é a elaboração de um quadro preliminar de especificações e requisitos do projeto.

A fase seguinte é o projeto conceitual. Nessa etapa, todas as informações resultantes das fases anteriores são transformadas em linguagem geométrica, ou seja, são definidos os princípios de solução para as funções e idealizado o arranjo esquemático das partes que constituem o produto, a chamada arquitetura de produto (ROMEIRO *et al.*, 2013). As ferramentas utilizadas nessa fase são: função global (principal função do produto, que define a razão principal para a sua existência no mercado), funções parciais (que

contribuem para o desempenho da função global, sendo as subfunções do processo), matriz morfológica (para criar e visualizar soluções alternativas a partir dos princípios de solução mais encontrados para cada função) e matriz de avaliação (escolha do conceito mais adequado, de acordo com os pesos dos requisitos definidos na fase anterior).

Na fase do projeto preliminar é realizada a escolha da geometria definitiva do produto proposto, englobando as especificações de cada componente. Esse é o momento de mapear todas as informações e critérios técnicos importantes para a prototipagem, produção, montagem e operação, além das ferramentas necessárias para materialização do modelo, como softwares CAD (*Computer-Aided Design*) e CAE (*Computer-Aided Engineering*).

O projeto detalhado é a quinta e última fase da solução proposta. Ele completa a descrição do produto, concluído a descrição dos materiais, a especificação e o dimensionamento dos componentes. Os processos de prototipagem e fabricação são planejados e definidos, os testes para validação necessários são realizados e toda a documentação do projeto é finalizada (ROMEIRO *et al.*, 2013).

### **3.1.PLANEJAMENTO DO PROJETO**

Para o planejamento e gerenciamento do projeto a metodologia *Scrum* foi utilizada, com os objetivos de possibilitar redução do tempo para realização de tarefas e adaptação constante dos processos com mais facilidade. Dessa forma, as tarefas necessárias para o andamento do projeto são identificadas, bem como o nível de complexidade dessas tarefas e uma estimativa de tempo necessário para realização das mesmas e o conseqüente desenvolvimento do projeto. Essa prática permite identificar rapidamente estágios de trabalho problemáticos e, ao aprimorá-los.

Algumas ferramentas foram utilizadas para dar suporte ao *Scrum*, sendo elas:

- Cronograma de atividades: forma de ter uma visão geral sobre os prazos do projeto, mostra como e quando as entregas serão iniciadas e finalizadas. É uma forma simples e objetiva de visualização gráfica do todo;

- *Kanban*: é um método organizacional para visualização do fluxo de trabalho, como forma de trazer clareza e aumentar a eficiência do processo de trabalho. Um grupo de cartões com as atividades descritas são distribuídos em colunas pré-definidas, representando etapas diferentes do fluxo de desenvolvimento, como “a ser feito”, “em execução”, “para revisão” e “finalizado”.
- EAP (Estrutura Analítica do Projeto): é um diagrama para organização do escopo do projeto de forma visual, hierárquica e em partes fracionadas, com objetivo de facilitar o gerenciamento das entregas, diluir as tarefas e melhor apresentá-las.

## **3.2.PROJETO INFORMACIONAL**

As principais atividades realizadas nessa etapa são as pesquisas de referências relevantes na literatura científica e o levantamento de dados e informações. Esses resultados são importantes para definir as etapas e planejar adequadamente o avanço no desenvolvimento, além de proporcionar maior embasamento teórico na temática da proposta. A busca de patentes, artigos, documentos técnicos e produtos concorrentes são algumas das formas de se obter as informações.

### **3.2.1. Produtos concorrentes/similares**

Para a realização da pesquisa de mercado para identificação de produtos concorrentes e similares foi realizada principalmente em sites de busca da internet, mapeando-se os principais fabricantes do setor, além de feito um acompanhamento de publicações de especialistas da área e de alguns eventos online promovidos pelas empresas fabricantes.

As informações obtidas durante essas pesquisas servem como base para o *benchmarking* – comparação entre produtos, processos e práticas, reais ou planejados, com os de organizações similares para identificar as práticas recomendadas, gerar ideias para melhorias e fornece uma base para medir o desempenho (PROJECT

MANAGEMENT INSTITUTE, 2021) – e para definição de opções de soluções diferentes das já existentes até o momento.

### **3.2.2. Patentes**

Assim como a pesquisa de mercado, a busca de anterioridade é uma etapa de grande importância dentro da fase de projeto informacional, que tem o objetivo de investigar as invenções e modelos de utilidade já depositados sobre o produto, e avaliar as possíveis semelhanças desses resultados com a solução proposta. Foram realizadas buscas nas principais base de dados nacionais e internacionais de patentes, para tal, foram definidas as opções de estratégia de busca, com as combinações de palavras-chave e operadores booleanos, e os resultados mais relevantes foram selecionados a partir de critérios pré-definidos (status da patente, ano de depósito, classificação internacional de patentes, relação com a tecnologia em estudo, entre outros).

### **3.2.3. Artigos**

A pesquisa bibliográfica sobre o tema e assuntos correlatos foi realizada em bases de dados científicos das plataformas de busca *Scopus*, *Science Direct*, *Web of Science* e *Engineering Village*. Foram definidas as opções de estratégia de busca, com as combinações de palavras-chave e operadores booleanos, e os resultados mais relevantes foram selecionados a partir de critérios pré-definidos. As informações obtidas com a análise dos estudos selecionados e com as pesquisas em plataformas específicas da área médica e biológica foram importantes para dar robustez ao referencial teórico sobre o tema e seus conceitos básicos, melhor compreensão sobre a tecnologia em estudo e o seu estado da arte.

### **3.2.4. Normas e Legislação**

Para o desenvolvimento, fabricação e comercialização do produto proposto como um equipamento médico-hospitalar, se faz necessário seguir as normas e legislação vigentes em todas as etapas do processo. Foram realizadas pesquisas iniciais relacionadas a tecnologia de bioimpressão 3D, nos contextos nacional e internacional. As principais plataformas utilizadas foram: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT),

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), *International Organization for Standardization* (ISO) e *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

### **3.2.5. Ciclo de vida do Processo**

O levantamento das etapas do ciclo de vida do processo de bioimpressão 3D, mais especificamente para fabricação de tecido cutâneo, é importante para definir em quais etapas deste processo a solução proposta irá se inserir, e também para entender os problemas inerentes a ele além dos identificados inicialmente.

Para obtenção das informações sobre estas etapas do ciclo de vida, serão realizadas pesquisas nos sites e na documentação técnica dos fabricantes de produtos concorrentes e similares, além de buscas nos estudos selecionados durante a pesquisa bibliográfica. O ciclo de vida do processo deverá ser apresentado em formato de diagrama.

### **3.2.6. Ciclo de vida do Produto**

O ciclo de vida do produto compõe uma série de fases que representam a evolução de um produto, de sua concepção ao crescimento, maturidade até sua descontinuação. A elaboração do ciclo de vida do produto proposto possibilita a definição a sequência de tarefas necessárias para o desenvolvimento do produto, desde o projeto, inserção no mercado até a sua retirada. O ciclo de vida do produto deverá ser apresentado em formato de diagrama.

### **3.2.7. Identificação e Necessidades dos Clientes**

As necessidades dos clientes representam as demandas, desejos e expectativas dos consumidores em relação ao produto. Entendê-las é essencial para o desenvolvimento de um produto que de fato atenda às expectativas do mercado. Para o entendimento dessas necessidades é preciso identificar os clientes envolvidos – responsáveis pela distribuição, comercialização e uso de fato do produto. Para tal, pesquisas precisarão ser realizadas para identificação das reais necessidades, podendo ser em formato de entrevistas ou análise de documentação e informações obtidas das etapas de pesquisa.

### 3.2.8. Necessidades e Requisitos (Matriz QFD)

A Matriz da Casa da Qualidade, ou *Quality Function Deployment* (QFD) é uma técnica utilizada para auxiliar a equipe de projeto na geração das especificações-meta, por meio da busca pelo consenso nas diferentes definições sobre o produto. Além disso, ela possibilita o estabelecimento de relações entre necessidades dos clientes e requisitos de projeto, registra os dados de *benchmarking*, das especificações por meio da definição de valores-meta associados aos requisitos de projeto, verificar os conflitos entre os requisitos de projeto e as dificuldades técnicas associadas a cada requisito. A Figura 2 ilustra a dinâmica da Matriz QFD, partindo da “voz” do cliente e tendo como resultado os requisitos do produto

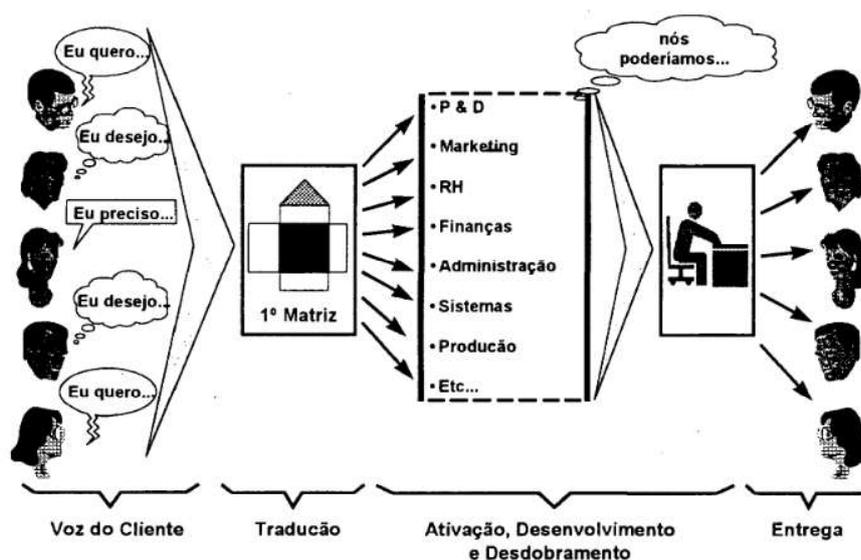


Figura 2 - Dinâmica da Matriz QFD (ABREU, 1997).

Na Matriz QFD, para cada relação de necessidade e requisito, definidos na etapa anterior, é atribuída um peso, onde: 0 (não existe relação), 1 (relação fraca), 3 (existe relação) e 9 (relação forte) (ABREU, 1997) – Matriz de Relacionamentos (ROZENFELD *et al.*, 2017). Essa avaliação é feita relacionando as linhas com as respectivas colunas. Ao final, os requisitos podem ser ordenados de acordo com a sua relevância, para se estabelecer uma classificação, partindo dos requisitos mais importantes. Na parte superior da Matriz – Matriz de Correlações (ROZENFELD *et al.*, 2017) – é avaliada as interações

entre os requisitos do produto, sendo atribuídas as seguintes relações: positiva forte (++), positiva (+), negativa (-) e negativa forte (--). Para os requisitos que não possuem relações, deixa-se sem preencher a avaliação. As legendas com os símbolos representativos estarão ilustradas no tópico de Resultados.

### **3.2.9. Especificações do projeto**

As especificações do projeto são definidas com base nas classificações obtidas como resultado da Matriz QFD. Essas especificações são o objetivo final da fase de Projeto Informacional. Elas serão apresentadas em uma tabela, estando distribuídas em colunas o preenchimento das seguintes informações: requisitos do projeto, metas, unidades, sensor, saída desejável, saída indesejável e observações/restrições.

## **3.3.PROJETO CONCEITUAL**

Na fase de Projeto Conceitual, as atividades da equipe de projeto relacionam-se com a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema identificado (ROZENFELD *et al.*, 2017). Os conceitos gerados são representados por diagramas, ilustrações condensadas do produto ainda não completamente definido (ROMEIRO *et al.*, 2013). Como resultado, a opção mais adequada e viável do produto proposto deverá compreender um conceito inicial, com base nas informações das etapas anteriores.

As ferramentas Função Global, Função Parcial, Matriz Morfológica, Geração de Conceitos e modelagem 3D inicial e Matriz de Avaliação são usadas nessa fase.

### **3.3.1. Função Global**

A função global é um conceito fundamental no PDP. Ela se refere à principal razão pela qual um produto é criado, ou seja, o problema que ele se propõe a resolver, atendendo as necessidades e requisitos anteriormente definidos. Ela é a base para a definição de todas as demais funções que o produto deve ter. No caminho intermediário, são identificadas as relações entre entradas (recursos iniciais que existem e são fornecidas ao produto) e saídas (os resultados finais, desejados e indesejados).

A definição clara da função global ajuda a tomada de decisões durante todo o PDP, o que pode levar a produtos mais eficazes e bem-sucedidos no mercado.

### **3.3.2. Funções Parciais**

As funções parciais do produto são resultado do desdobramento da função global. Essa ação permite uma análise mais minuciosa da estrutura do produto. Elas compreendem funções mais diretas para identificação de princípios de soluções da proposta. O desdobramento e detalhamento das funções parciais poderá ser representado em forma de fluxograma.

### **3.3.3. Matriz Morfológica**

A matriz morfológica constitui-se de uma abordagem estruturada para a geração de alternativas de solução para o problema identificado, aumentando a área de pesquisa de soluções para um determinado problema de projeto (ROZENFELD *et al.*, 2017). Ela tem o objetivo de auxiliar na identificação de um conjunto grande de alternativas de solução para o produto por meio de uma análise sistemática da configuração que ele terá, possibilitando a definição inicial do que será a arquitetura do produto. Para cada função do produto existe um número de possíveis soluções.

O procedimento básico para a montagem da matriz morfológica é composto pelas etapas de: listagem das funções do produto; listagem dos possíveis meios, ou princípios de solução, para cada função; representação das funções e dos princípios de solução; e exploração das combinações. A matriz morfológica poderá ser representada em formato de tabela com os princípios de solução para cada função apresentados.

### **3.3.4. Concepções**

Essa etapa irá sintetizar e converter as informações obtidas nas etapas anteriores em possíveis concepções do produto para atender as necessidades e os requisitos definidos. A partir da matriz morfológica e dos princípios de soluções apresentados é possível gerar e propor quantas soluções desejar. As concepções podem ser representadas como forma de esboços ou desenhos realizados com auxílio de softwares de engenharia.

### **3.3.5. Matriz de Avaliação**

O processo de tomada de decisão deve ser realizado através de análise sistemática, que, considerando as especificações e as alternativas de projeto, possa fornecer subsídios suficientes para execução de determinada atividade (ROMEIRO *et al.*, 2013). A matriz de avaliação é um método baseado em cenários e nas necessidades do cliente, servindo para definir a solução que mais supre as necessidades identificadas. Os requisitos do projeto serão usados no projeto preliminar, para direcionar a avaliação quantitativa do desenvolvimento da solução proposta.

### **3.4.PROJETO PRELIMINAR**

O Projeto Preliminar é uma fase intermediária entre o Projeto Conceitual e Projeto Detalhado, sendo definida como um primeiro ciclo de detalhamento e otimização. Ele tem como objetivo fornecer uma noção mais concreta da primeira especificação do produto, para então se decidir as etapas seguintes (ROMEIRO *et al.*, 2013). Nessa fase, a concepção do produto amadurece, partindo das informações e requisitos definidos anteriormente e indo até o seu detalhamento técnico, na fase de Projeto Detalhado.

Softwares de CAD e CAE são importantes ferramentas importantes para auxiliar no dimensionamento, especificação de materiais e componentes, para realização de ajustes no modelo e avaliações mais otimizadas. Para essa fase o software *SolidWorks* foi utilizado para realização de modelagem 3D e estudos de movimento do modelo proposto.

### **3.5.PROJETO DETALHADO**

O projeto detalhado dá prosseguimento à fase anterior, e tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto, para então serem encaminhados para as etapas seguintes, quando pertinente. Ele faz a integração dos componentes, subsistemas, sistemas, sucessivamente, até o produto final. Os detalhamentos completam a concepção, definida no Projeto Conceitual, com o objetivo de obter um produto que atenda aos requisitos dos clientes e todas as especificações-meta da fase de Projeto Informacional (ROZENFELD *et al.*, 2017).

Lista de materiais necessários para a prototipagem e fabricação, lista de possíveis fornecedores e prestadores de serviço, detalhamento técnico e orientações de fabricação, montagem, operação e manutenção, são resultados dessa fase.

/

## 4. RESULTADOS

Com base no método descrita no tópico anterior, foram obtidos resultados para cada uma das fases do projeto, seguindo a classificação de PDP. Estes serão apresentados a seguir, nos seus respectivos subtópicos.

### 4.1. PLANEJAMENTO DO PROJETO

Inicialmente foi criada a Estrutura Analítica do Projeto (EAP), contendo as fases de planejamento, projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, abordadas nesse projeto. A Figura 3 apresenta a EAP, descrevendo as atividades principais de cada fase do PDP.

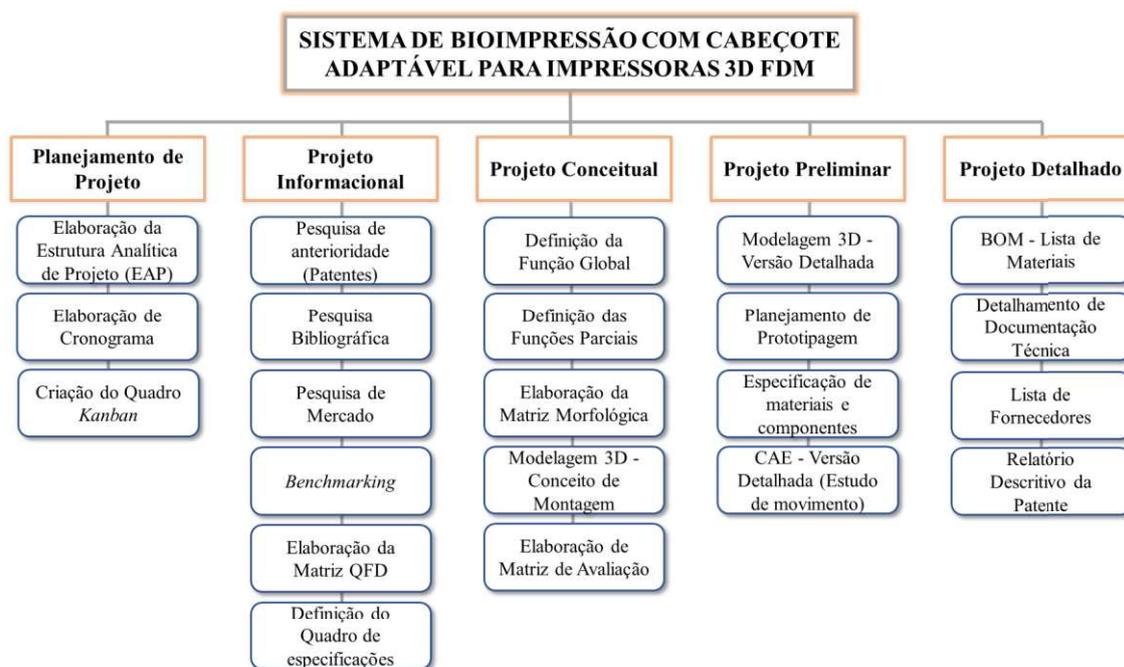
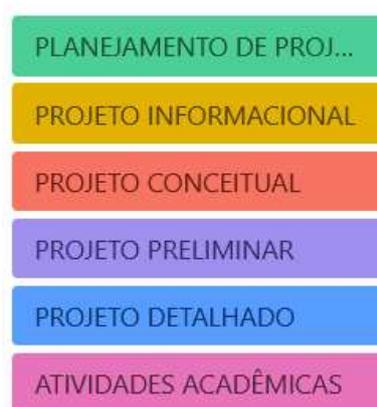


Figura 3 – Estrutura Analítica de Projeto (EAP).

Com base nas atividades descritas na EAP, as tarefas e subtarefas foram distribuídas em um cronograma simplificado, mostrado na Figura 5. O tempo de execução das tarefas foi inicialmente estimado, levando em consideração o tempo de duração do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas e Produtos – 24 meses. A Figura 4 mostra o

código de cores para melhor visualização das tarefas referentes as fases, utilizado no Cronograma e no quadro *Kanban* – Planejamento de Projeto (verde); Projeto Informacional (amarelo); Projeto Conceitual (vermelho); Projeto Preliminar (lilás); Projeto Detalhado (azul); Atividades Acadêmicas (rosa).



*Figura 4 – Código de cores das fases do Projeto.*

CRONOGRAMA - Sistema de Bioimpressão com Cabeçote Adaptável para Impressoras 3D FDM																								
TAREFAS	SEMESTRE 01						SEMESTRE 02						SEMESTRE 03						SEMESTRE 04					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24
Elaboração de Estrutura Analítica de Projeto (EAP)	■	■																						
Elaboração de Plano de Trabalho	■	■																						
Elaboração de Cronograma estimado	■	■																						
Criação de Quadro Kanban	■	■																						
Pesquisa de Anterioridade (patentes nacionais)			■	■	■	■																		
Pesquisa de Anterioridade (patentes internacionais)			■	■	■	■																		
Pesquisa bibliográfica (Publicações científicas)			■	■	■	■																		
Pesquisa de Mercado (Produtos concorrentes e similares)			■	■	■	■																		
Pesquisa de Normas e Legislação					■	■	■																	
Elaboração da Matriz QFD					■	■	■																	
Elaboração da tabela de análise de conflitos								■	■															
Definição de Quadro de especificações do produto									■	■														
Definição da Função Global do produto									■	■														
Definição da Funções Parciais do produto										■	■													
Elaboração da Matriz Morfológica												■	■											
Elaboração da Matriz de Avaliação														■	■									
Modelagem 3D - Versão Inicial (conceito de montagem)													■	■	■	■								
Exame de Qualificação																	■							
Modelagem 3D - Versão Detalhada (montagem em equipamento base)																	■	■						
CAE - Versão Preliminar (estudo de movimento)																	■	■	■					
Planejamento de Prototipagem																		■	■	■				
Especificação de materiais e componentes														■	■	■	■	■						
CAE - Versão Detalhada (estudo de movimento)																		■	■	■				
BOM - Lista de Materiais																					■	■		
Detalhamento de documentação técnica (peças fabricáveis)																					■	■	■	
Detalhamento de documentação técnica completa																					■	■	■	
Lista de fornecedores																						■	■	
Escrita de Relatório descritivo da patente																		■	■	■	■			
Defesa																								■

Figura 5 – Cronograma do Projeto.

Ao todo foram descritas no cronograma proposto 29 tarefas, conforme mostrado na lista abaixo. Elas estão organizadas por ordem para execução e podem ou não ser dependentes entre si. Algumas delas não dependem da finalização da tarefa predecessora e podem acontecer simultaneamente.

- Planejamento de Projeto
  1. Elaboração de Estrutura Analítica de Projeto (EAP)
  2. Elaboração de Plano de Trabalho
  3. Elaboração de Cronograma estimado
  4. Criação de Quadro *Kanban*
- Projeto Informacional
  5. Pesquisa de Anterioridade (patentes nacionais)
  6. Pesquisa de Anterioridade (patentes internacionais)
  7. Pesquisa bibliográfica (Publicações científicas)
  8. Pesquisa de Mercado (Produtos concorrentes e similares)
  9. Pesquisa de Normas e Legislação
  10. Elaboração da Matriz QFD
  11. Elaboração da tabela de análise de conflitos
  12. Definição de Quadro de especificações do produto
- Projeto Conceitual
  13. Definição da Função Global do produto
  14. Definição da Funções Parciais do produto
  15. Elaboração da Matriz Morfológica
  16. Elaboração da Matriz de Avaliação
  17. Modelagem 3D - Versão Inicial (conceito de montagem)
  18. Exame de Qualificação (Atividade acadêmica)
  19. Modelagem 3D - Versão Detalhada (montagem em equipamento base)
- Projeto Preliminar
  20. CAE - Versão Preliminar (estudo de movimento)
  21. Planejamento de Prototipagem
  22. Especificação de materiais e componentes
  23. CAE - Versão Detalhada (estudo de movimento)

- Projeto Detalhado
  24. BOM - Lista de Materiais
  25. Detalhamento de documentação técnica (peças fabricáveis)
  26. Detalhamento de documentação técnica completa
  27. Lista de fornecedores
  28. Escrita de Relatório descritivo da patente
  29. Defesa (Atividade acadêmica)

A Figura 6 apresenta uma visão parcial do quadro *Kanban* criado a partir da EAP. As tarefas e subtarefas são separadas em colunas que representam a sua situação no momento: *Backlog*, Para Fazer (*Sprint*), Em execução, Concluído. Cada tarefa tem sua responsabilidade atribuída – Aluno ou Orientador. Informações mais detalhadas podem ser inseridas e arquivos relacionados podem ser anexados dentro dos respectivos cartões. A organização em cartões e colunas, e a utilização de uma ferramenta virtual, como o Trello, facilitam a atualização da situação do projeto.

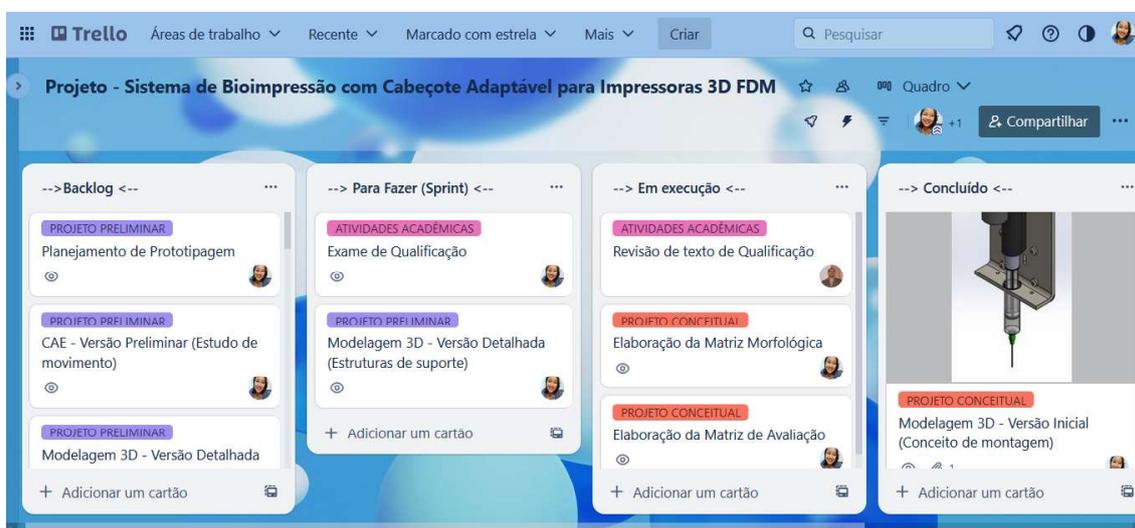


Figura 6 – Quadro Kanban com tarefas e subtarefas.

A utilização de ferramentas visuais é muito eficaz para a observação do projeto como um todo, com todas as etapas necessárias para a conclusão descritas, e para auxiliar no gerenciamento do tempo de execução de cada tarefa.

Ocorreram alguns intervalos entre as fases, estando o Projeto Conceitual em execução até o presente momento.

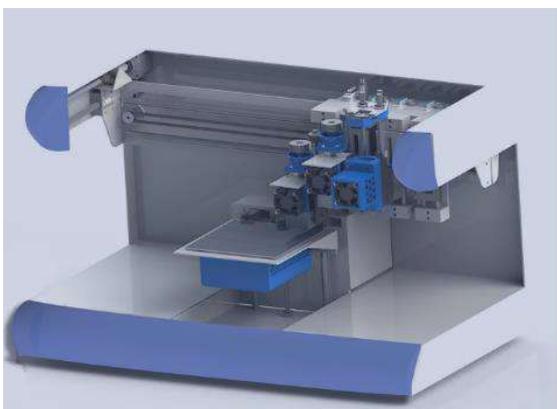
## **4.2.PROJETO INFORMACIONAL**

### **4.2.1. Produtos concorrentes/similares**

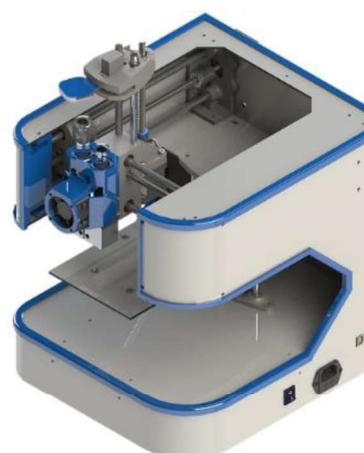
Para análise da concorrência, inicialmente foi feita uma pesquisa de mercado. Com isso, foram encontrados diversos produtos utilizados para biofabricação. A lista abaixo traz algumas das soluções encontradas, destacando as suas funcionalidades:

#### **BioEdPrinter V2 e BioEdPrinter V4**

São dois modelos do fabricante BioEdTech (Figuras 7 e 8). A BioEdPrinter V2 é uma bioimpressora que possui 2 seringas em seu cabeçote, sendo uma delas termocontrolada, possui sensor de tensão para êmbolo, precisão de 25  $\mu\text{m}$  e área de trabalho de 110 x 140 mm (eixos x e y). O valor informado no site do fabricante é de R\$ 12.339,00. A BioEdPrinter V4 é uma impressora modular de baixo custo indicada para treinamentos e pesquisa que possui 4 cabeçotes diferentes, sensor de tensão para êmbolo, precisão de 25  $\mu\text{m}$  no sistema mecânico e 1  $\mu\text{m}$  no sistema piezoelétrico e área de trabalho de 150 x 150 x 100 mm (eixos x, y e z). O valor informado no site do fabricante é de R\$ 15.300,00. Os dois modelos possuem fotocura da biotinta com luz ultravioleta (UV) no cabeçote e câmara para visualização da fabricação (BIOEDTECH, 2015).



*Figura 7 – Modelo BioEdPrinter V4. Site do fabricante (BIOEDTECH, 2015).*



*Figura 8 – Modelo BioEdPrinter V2. Site do fabricante (BIOEDTECH, 2015).*

### **Kit - cabeçote bio**

Uma solução também da Empresa BioEdTech. Trata-se de um cabeçote de extrusão por seringa para montagem em impressoras 3D FDM da marca Creality, mais especificamente o modelo Ender. O kit pode incluir o cabeçote e a impressora e também possui a opção de sistema UV para fotocura de modelo fabricado. O valor informado no site do fabricante é de R\$ 5.600,00. A Figura 9 mostra o kit.



*Figura 9 – Modelo Cabeçote Bio, da BioEdTech. Site do fabricante (BIOEDTECH, 2015).*

### **Dermyah 3D**

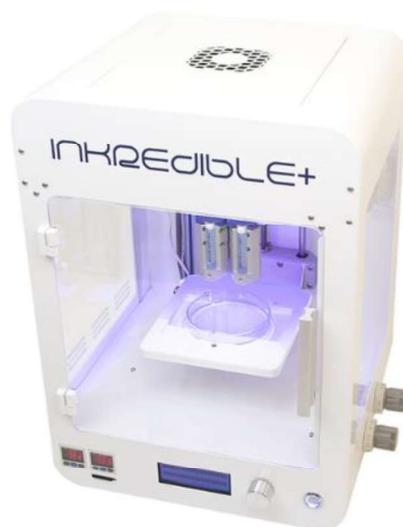
É uma bioimpressora 3D da Dermyah. O equipamento, mostrado na Figura 10, é utilizado para recriação de tecido cutâneo para aplicação em tratamentos estéticos personalizados, como rejuvenescimento facial, Harmonização Orofacial e máscara facial feita sob medida, com células-tronco vegetais e outro 15 bioativos. Segundo informação obtida no site do fabricante, o equipamento está em pré-venda e o valor de venda é informado mediante contato (DERMYAH, [s.d.]).



*Figura 10 – Bioimpressora 3D da Dermyah. Site do fabricante (DERMYAH, [s.d.]).*

### **Inkredible+**

O modelo Inkredible+ (Figura 11) é uma bioimpressora 3D do fabricante Cellink. Possui dois cabeçotes de impressão aquecidos e possibilidade de implementação de cabeçote resfriado, compatíveis com seringas de 3 ml e seringas de alumínio. Possui módulos de fotocura integrados, posicionamento preciso nos eixos x, y e z e é compatível com uma ampla gama de biotintas. O valor de venda é informado pelo fabricante foi de USD 18.528,00. A Cellink possui outros modelos de bioimpressoras 3D (CELLINK, [s.d.]).



*Figura 11 – Bioimpressora 3D Incredible+ da Cellink. Site do fabricante (CELLINK, [s.d.]).*

Entre os modelos citados a BioEdPrinter básica / Kit Cabeçote Bio apresenta uma proposta bastante semelhante ao projeto do Sistema de Bioimpressão com Cabeçote Adaptável para Impressoras 3D FDM. Porém, o fato de sua utilização estar condicionada a apenas um modelo de impressora diferencia da possibilidade de uma estrutura ajustável para proporcionar a compatibilidade com diferentes equipamentos da proposta do projeto em questão.

Foi realizada também uma pesquisa com o objetivo de identificar Empresas especializadas em tecnologia de biofabricação. As Empresas identificadas são internacionais, e, algumas importam equipamentos e insumos para o Brasil.

A lista abaixo traz as principais Empresas identificadas:

- **Allevi:** Startup americana fundada em 2014, localizada na Filadélfia (ALLEVI, [s.d.]);
- **Poietis:** Empresa de biotecnologia localizada na França (POIETIS, [s.d.]);
- **Cellink:** Já citada como fabricante de uma das soluções similares apresentada anteriormente, é uma Empresa de Boston, fundada em 2016 (CELLINK, [s.d.]).

#### 4.2.2. Patentes

##### Busca Nacional de Patentes

Para o contexto nacional, foi usada a Base de dados de Patente e Modelo de Utilidade do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), com base em banco de dados com documentos publicados a partir do ano 2000, com as palavras-chave:

- (1) bioimpressão
- (2) bioimpressora
- (3) cabeçote AND bio\*
- (4) biofabricação.

Observando que o símbolo “\*” substitui qualquer cadeia de caractere na busca. Como estratégia de busca, foi usada a busca avançada, com palavra-chave individualizada e agrupada nos campos de título e resumo.

Ao todo, foram encontrados 29 processos que satisfizeram a pesquisa com base nos termos utilizados. Porém, nem todas as patentes encontradas nas buscas realizadas correspondem a equipamentos e/ou acessórios voltados para bioimpressão. A Tabela 1 lista os resultados mais relevantes que fundamentaram a análise de possíveis conflitos a seguir.

*Tabela 1 – Resultados relevantes – busca nacional de patentes.*

PATENTE	RESUMO
<p><b>SISTEMA ESTÉRIL DE FABRICAÇÃO ADITIVA</b> (BR 112020010791-3 A2)</p> <p>DEPÓSITO: 29/11/2018</p> <p>PUBLICAÇÃO: 10/11/2020</p> <p>CONCESSÃO: -</p>	<p>A presente invenção se refere a uma solução que inclui uma impressora 3D projetada para atender aos requisitos de sala limpa. A impressora pode ser configurada para bioimpressão 3D. A impressora pode ser usada para criar estruturas celulares, enxertos de tecidos e órgãos. A impressora pode incluir um ambiente estéril (ou semelhante a uma sala limpa) para a impressão de itens. A impressora pode incluir um gabinete que isola</p>

	<p>os processos de fabricação do ambiente externo e que pode ser esterilizado entre as execuções de impressão. A solução também inclui um kit de impressão que pode ser esterilizado de forma independente e passado para o gabinete do sistema (DEVLIN; JAAKKO; KESTI, 2020).</p>
<p><b>MÉTODOS, SISTEMAS E DISPOSITIVOS AUTOMATIZADOS PARA A FABRICAÇÃO DE TECIDO</b></p> <p>(BR 11 2016 002149 5 A2)</p> <p>DEPÓSITO: 30/07/2014</p> <p>PUBLICAÇÃO: 01/08/2017</p> <p>CONCESSÃO: -</p>	<p>Trata-se de aprimoramentos para a tecnologia de bioimpressão que facilitam a automação de processos de fabricação de órgão e tecido (CLAY <i>et al.</i>, 2017).</p>
<p><b>CÂMARA DE PERFUSÃO DE CULTIVO TRIDIMENSIONAL PARA A ENGENHARIA DE TECIDOS</b></p> <p>(BR 10 2012 03360 4 A2)</p> <p>DEPÓSITO: 28/12/2012</p> <p>PUBLICAÇÃO: 19/08/2014</p> <p>CONCESSÃO: -</p>	<p>A presente tecnologia descreve uma câmara de perfusão para cultivo de tecidos, cujo material de confecção pode envolver diferentes tipos de polímeros que possuam boas propriedades térmicas e elétricas, moderada resistência, de fácil usinagem e passível de ser autoclavado, fator essencial quando a proposta é trabalhar com material biológico. Em seu aspecto físico, a câmara pode apresentar diferentes formatos, desde que respeitando as condições de cultivo do tecido de interesse. A câmara de perfusão desenvolvida torna possível a realização de</p>

	<p>um cultivo tridimensional de células semeadas em uma matriz que, quando corretamente adaptada à câmara de perfusão, favorece a passagem do fluxo através desse <i>scaffold</i>, garantindo que o meio possa chegar à maioria, senão à totalidade das células, favorecendo, desta forma, a viabilidade e proliferação celular (PEREIRA; DA SILVA; DE GOES, 2014).</p>
--	---

Entre os trabalhos citados anteriormente, foi possível destacar o *Sistema Estéril de Fabricação Aditiva*, ilustrado na Figura 12.

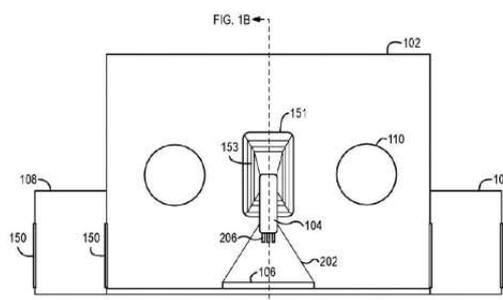


Figura 12 – Patente Sistema Estéril de Fabricação Aditiva – BR 112020010791-3 A2 (DEVLIN; JAAKKO; KESTI, 2020).

### Busca Internacional de Patentes

Para o contexto internacional, foi utilizada a ferramenta de pesquisa *Google Patents*, que inclui publicações das Bases de dados de Patentes e Modelos de Utilidade de vários países, como *United States Patent and Trademark Office (USPTO)*, *Japan Patent Office (JPA)*, *European Patent Office (ESPACENET)*, *Russian Patent Office*

(ROSPATENT) e *World Intellectual Property Organization* (WIPO), com a estratégia de busca:

- (*bioprinter* OR “*3d bioprinter*”) AND *apparatus* AND *head*;
- (*bioprinter* OR “*3d bioprinter*”) AND *accessory* AND *head*

Ao todo, foram encontrados 2131 processos que satisfizeram a pesquisa com base nos termos utilizados. A Tabela 2 abaixo lista os resultados mais relevantes que fundamentaram a análise de possíveis conflitos a seguir.

Tabela 2 – Resultados relevantes – busca internacional de patentes.

PATENTE	RESUMO
<p><b>3D BIOPRINTER</b> (USD861747S1)</p> <p>DEPÓSITO: 10/07/2017 PUBLICAÇÃO: 01/10/2019 CONCESSÃO: 01/10/2019</p>	<p>É uma patente da Cellink que traz como reivindicação o design ornamental para uma bioimpressora 3D (GRIP <i>et al.</i>, 2019).</p>
<p><b>APPARATUS FOR MAKING ENGINEERED TISSUE USING SELF-ASSEMBLING CELL AGGREGATES</b> (US20160130551A1)</p> <p>DEPÓSITO: 14/01/2016 PUBLICAÇÃO: 12/05/2016 CONCESSÃO: -</p>	<p>Cartucho de bioimpressora compreendendo: uma câmara de armazenamento e um orifício de deposição, a câmara de armazenamento contendo uma bio-tinta, a bio-tinta uma composição sólida ou semi-sólida compreendendo células vivas, desde que o cartucho de bio-impressora seja compatível com um computador para auxílio do dispositivo de bioimpressão automático ou semiautomático (FORGACS <i>et al.</i>, 2016).</p>
<p><b>MULTIDISPENSOR CARTESIAN ROBOTIC PRINTER</b> (US9764515B2)</p> <p>DEPÓSITO: 01/05/2015 PUBLICAÇÃO: 19/09/2017</p>	<p>O sistema inclui um detector de detecção de posição configurado para detectar as posições das pontas dos distribuidores e a localização e dimensões da superfície de impressão. O</p>

<p>CONCESSÃO: 19/09/2017</p>	<p>sistema inclui um dispositivo de posicionamento robótico configurado para acionar os distribuidores. O sistema também inclui uma unidade de controle configurada para receber e mapear em um espaço 3D as posições das pontas dos dispensadores e a posição e dimensões da superfície de impressão. A unidade de controle é ainda configurada para controlar o dispositivo de posicionamento robótico para acionar os distribuidores em relação à superfície de impressão no espaço 3D e para depositar materiais independentemente na superfície de impressão ou no material depositado na superfície de impressão (YOST <i>et al.</i>, 2017).</p>
<p><b><i>ADDITIVE MANUFACTURING OF EMBEDDED MATERIALS</i></b> (US10150258B2)</p> <p>DEPÓSITO: 24/10/2018 PUBLICAÇÃO: 26/09/2019 CONCESSÃO: -</p>	<p>Em um aspecto, um método inclui o fornecimento de material de suporte dentro do qual a estrutura é fabricada, depositando, no material de suporte, o material de estrutura para formar a estrutura fabricada e removendo o material de suporte para liberar a estrutura fabricada do material de suporte. O material de suporte fornecido é estacionário em um nível de tensão aplicada abaixo de um nível de tensão de limiar e flui em um nível de tensão aplicada em ou acima do nível de tensão de limiar durante a fabricação da estrutura. O material de suporte fornecido é configurado para suportar mecanicamente pelo menos uma porção da estrutura e para evitar a deformação da estrutura durante a</p>

	<p>fabricação da estrutura. O material da estrutura depositado é suspenso no material de suporte em um local onde o material da estrutura é depositado. O material da estrutura compreende um fluido que faz a transição para um estado sólido ou semissólido após a deposição do material da estrutura (FEINBERG; HINTON, 2018).</p>
<p><b><i>BIOPRINTER AND METHODS OF USING SAME</i></b> (US20160288414A1)</p> <p>DEPÓSITO: 04/11/2014 PUBLICAÇÃO: 06/10/2016 CONCESSÃO: -</p>	<p>Uma bioimpressora e métodos de uso da bioimpressora. A bioimpressora permite o movimento tridimensional seletivo de vários conjuntos de bicos durante a operação da bioimpressora. A bioimpressora pode ser usada para produzir construções de tecido livre de andaime tendo uma pluralidade de elementos celulares intercalados entre uma rede vascular semipermeável. A bioimpressora também pode ser usada para imprimir uma construção de tecido diretamente em um defeito de tecido de um sujeito. A bioimpressora pode ser fornecida como parte de um sistema de bioimpressão que inclui um scanner para geração de imagens do defeito do tecido (OZBOLAT <i>et al.</i>, 2016).</p>
<p><b><i>MULTI-DIMENSIONAL BIOPRINTING SYSTEM</i></b> (US10538725B1)</p> <p>DEPÓSITO: 03/11/2015 PUBLICAÇÃO: 21/01/2020 CONCESSÃO: 21/01/2020</p>	<p>Uma cabeça de impressão de uma bioimpressora incluindo uma pluralidade de segmentos de distribuição de fluido dispostos em relação um ao outro para formar uma estrutura de rede tridimensional, cada um da</p>

	<p>pluralidade de segmentos de distribuição de fluido tendo um membro interno e um membro externo, o membro externo sendo posicionado concentricamente para fora para o membro interno, o membro interno tendo um lúmen e uma porta de saída de fluido operável para fornecer um biomaterial e o membro externo operável para abrir ou fechar a porta de saída de fluido. Método de bioimpressão de uma estrutura biológica tridimensional, o método incluindo a impressão simultânea de uma matriz tridimensional de voxels de biomaterial dentro de um meio de suporte usando um conjunto de cabeça de impressão de bioimpressora, removendo o conjunto de cabeça de bioimpressora do meio de suporte e removendo o meio de suporte para formar uma estrutura biológica auto-sustentável (NATARAJAN, 2020).</p>
--	---

Nem todas as patentes encontradas nas buscas realizadas correspondem a equipamentos e/ou acessórios para uso em equipamentos de manufatura aditiva. Entre os trabalhos citados anteriormente, é possível destacar dois, um que cita em seu resumo e reivindicação os termos “cabeçote de impressão” e “multidimensional” – “*Multi-dimensional Bioprinting System*” – e um que traz desenhos em seu relatório descritivo que correspondem a um cabeçote de bioimpressão – “*Additive Manufacturing of Embedded Materials*”.

Na primeira patente – “*Multi-dimensional Bioprinting System*” – o sistema descrito corresponde a um método de biofabricação e um cabeçote de bioimpressão contendo

vários seguimentos para distribuição do fluido para possibilitar a formação de estruturas internas de suporte. Uma proposta de utilização diferente do produto em desenvolvimento.

A segunda patente selecionada – “*Additive Manufacturing of Embedded Materials*” – diz respeito a um método de biofabricação e a um sistema de bioimpressão com deposição de material de suporte, além do material de construção de modelo, que possui pelo menos duas cabeças de impressão e um conjunto de braços para seleção de bico de deposição em operação. Uma proposta de utilização diferente do produto em desenvolvimento.

As Figuras 13 e 14 ilustram imagens das patentes em destaque.

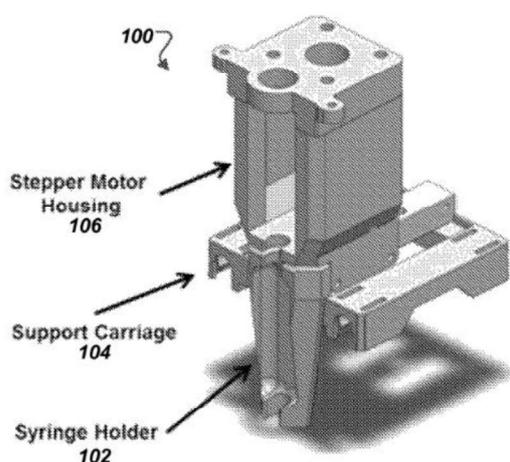


Figura 14 – Patente *Additive Manufacturing of Embedded Materials* – US10150258B2 (FEINBERG; HINTON, 2018).

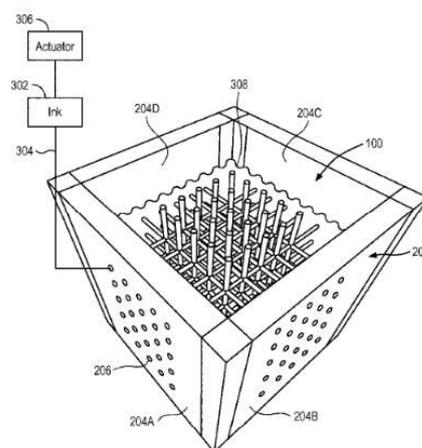


Figura 13 – Patente *Multi-dimensional bioprinting system* – US10538725B1 (NATARAJAN, 2020).

Para análise e comparação entre os trabalhos correlatos e soluções similares em destaque e o produto proposto foram elaborados cinco critérios de avaliação, com suas respectivas respostas esperadas. A Tabela 3 sintetiza as respostas obtidas com base na análise das soluções já existentes. Em verde, as respostas esperadas e em vermelho as respostas não esperadas. Foi possível observar que o número máximo de respostas não

esperadas por solução foi 3. O produto proposto apresenta como diferenciais a possibilidade de adaptação em diferentes modelos de impressoras 3D de bancada, a facilidade na montagem e na operação, e ser uma solução de menor custo de desenvolvimento e aquisição.

*Tabela 3 - Critérios de avaliação de soluções relevantes - Pesquisa de Mercado e Pesquisa de Anterioridade.*

Solução Anterior	Critérios de Avaliação						
	Equipamento completo?	Acessório ou módulo para impressoras 3D FDM?	Acessório ou módulo para biompressoras 3D?	É compatível com impressoras 3D FDM de prateleira?	Possui estruturas de encaixe ajustáveis?	Possui apenas um bico de impressão?	Em caso de patente: encontra-se vencida?
Sistema Estéril de Fabricação Aditiva	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não
<i>Additive Manufacturing of Embedded Materials</i>	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
<i>Multi-Dimensional Bioprinting System</i>	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
BioEdPrinter V2 e V4	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	-
BioEdPrinter básica (Kit Cabeçote Bio)	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	-
Dermyah 3D	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	-
Inkredible+	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	-

### 4.2.3. Artigos

A pesquisa de publicações científicas sobre bioimpressão 3D, engenharia tecidual e biofabricação de pele foi realizada nas bases de dados das plataformas de busca Google

Acadêmico, *Scopus*, *Science Direct*, *Web of Science* e *Engineering Village*. Os estudos internacionais sobre o tema são mais expressivos em comparação às publicações nacionais, em termos de quantidade de resultados. As estratégias de busca utilizadas foram:

- “3d bioprinting” AND “tissue engineering”
- “3d bioprinting” AND “tissue engineering” AND skin
- "3d bioprinter" AND "tissue engineering" AND skin
- Período de publicação: 2012 – 2022

Os resultados encontrados estão mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados encontrados nas diferentes plataformas de busca – pesquisa de publicações científicas.

Plataformas	Pesquisa Bibliográfica		
	Palavras-chave		
	“3d bioprinting” AND “tissue engineering”	“3d bioprinting” AND “tissue engineering” AND skin	"3d bioprinter" AND "tissue engineering" AND skin
<b>Google Acadêmico</b>	16500	12300	1520
<i>Scopus</i>	192	182	7
<i>Science Direct</i>	2528	1455	314
<i>Web of Science</i>	1201	118	7
<i>Engineering Village</i>	776	66	2

Com os resultados, é possível observar uma significativa diminuição na quantidade de estudos para o terceiro grupo de palavras-chave, comparando-o com os outros dois. Os resultados demonstram também o quão atual é o tema. Em todas as plataformas de buscas e suas respectivas bases a maior quantidade de estudos foram publicados nos anos de 2021 e 2021. O ano de publicação mais antigo observado foi 2007, fora do filtro aplicado para essa pesquisa. A Figura 15 traz um gráfico da quantidade de publicações ao longo dos anos, com base na pesquisa feita na plataforma *Web of Science* utilizando a primeira estratégia de busca.

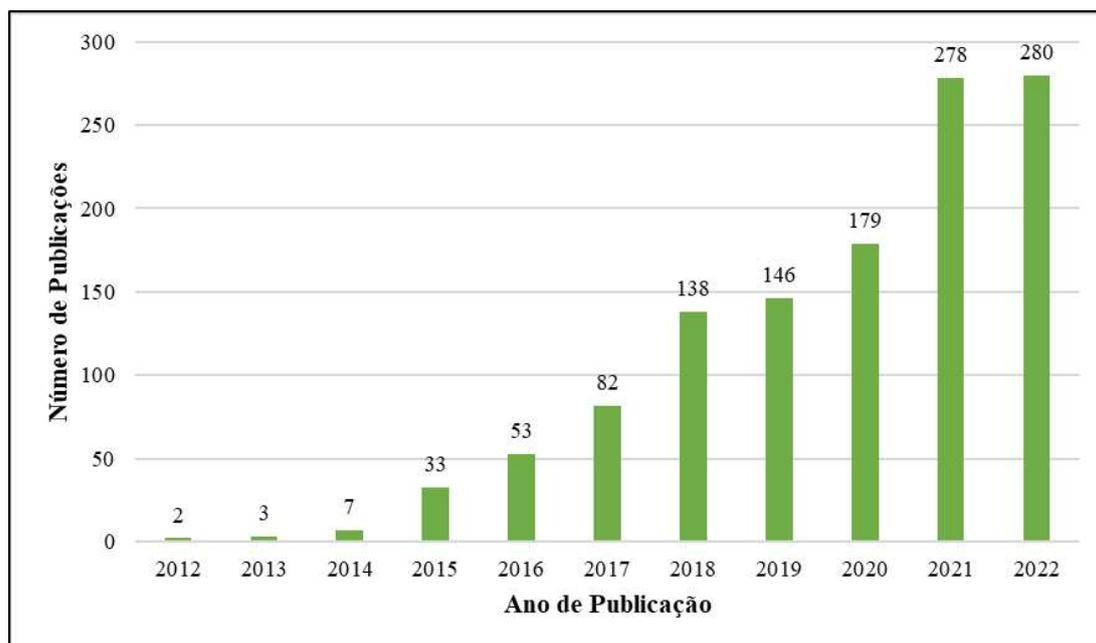


Figura 15 – Quantidade de publicações com base na pesquisa feita na plataforma Web of Science utilizando a primeira estratégia de busca.

Entre os resultados obtidos, foi possível destacar alguns mais pertinentes para o objetivo do projeto. Um deles foi o artigo intitulado *3D Bioprinting with Live Cells* (2022). Nele, os autores apresentam uma extensa revisão sobre as técnicas de biofabricação existentes, descrevendo a evolução da tecnologia, características e aplicações de cada método, comparação com práticas convencionais e materiais utilizados. É também discutida a possibilidade da impressão 4D na futura indústria de órgãos, incorporando fatores temporais ao processo de bioimpressão, propondo a incorporação de materiais inteligentes biocompatíveis na biotinta com o objetivo também de mitigar problemas de viabilidade e interação entre tecido fabricado e tecido nativo (PERSAUD *et al.*, 2022).

Um outro trabalho em destaque foi o *Feasibility of Bioprinting with a Modified Desktop 3D Printer* (2016). Nesse artigo é descrito a modificação de uma impressora 3D de bancada para biofabricação de tecido cartilaginoso através de deposição dupla e simultânea utilizando uma biotinta e um filamento de ácido poli-L-láctico (PLLA). Os autores detalham o projeto, montagem e a calibração desta bioimpressora modificada, e os testes de viabilidade, proliferação, bioquímica e expressão gênica do tecido fabricado.

O modelo é restrito para um tipo de impressora 3D, a MakerBot Replicator 2, através da adaptação da sua forma de deposição com a adição de um cabeçote para o material biológico alinhado ao cabeçote convencional, e para uma aplicação específica – tipo de tecido, material, parâmetros de fabricação (GOLDSTEIN *et al.*, 2016).

O capítulo *3D bioprinting skin* do livro *3D Bioprinting for Reconstructive Surgery* (2018) apresenta uma visão geral das pesquisas disponíveis sobre fabricação de pele bioimpressas em 3D, e sobre materiais, equipamentos e processos. Além disso, os autores descrevem a Engenharia Tecidual como uma possibilidade às práticas comumente utilizadas para tratamento de feridas na pele, como as causadas por queimaduras extensas, e a tecnologia de bioimpressão 3D como uma solução avançada e precisa, que combina vários tipos de células da pele e biomateriais para atender necessidades médicas específicas do paciente (LI; HUANG; FU, 2018).

Para pesquisa de publicações com informações relacionadas ao tema saúde, mais especificamente sobre dados de transplante de órgãos, queimaduras, feridas e práticas clínicas para tratamento e/ou substituição de tecido cutâneo, foram utilizadas as plataformas do Ministério da Saúde do Brasil, ABTO, WHO e SBQ.

#### **4.2.4. Normas e legislação**

Para a pesquisa de normas sobre bioimpressão 3D e/ou fabricação de substitutos biológicos, foram realizadas buscas nas bases de dados de Agências Reguladoras nacionais e internacionais. No contexto nacional, os resultados encontrados na ABNT sobre o tema – 3 no total – fazem algumas referências a fabricação de tecido ósseo e cartilaginoso. Foram elas:

- ABNT NBR ISO 13019:2021 Produtos médicos de engenharia tecidual — Quantificação de glicosaminoglicanos sulfatados (GAGs) para avaliação de condrogênese.
- ABNT NBR ISO 19090:2022 Produtos médicos de engenharia tecidual - Cerâmicas bioativas - Método para medir a migração celular em materiais porosos

- ABNT ISO/TR 16379:2022 Produtos médicos de engenharia tecidual - Avaliação da estrutura anisotrópica da cartilagem articular usando imageamento por RM-TD (tensor de difusão).

As buscas por bioimpressoras 3D ou equipamentos similares como produtos registrados que já são usados aqui no Brasil na base de dados da ANVISA não retornou resultados.

No contexto internacional, resultados específicos e também mais abrangentes sobre o tema foram encontrados nas bases de dados de algumas Agências Reguladoras – ISO e ASTM. Algumas dessas normas estão listadas abaixo. Nas pesquisas foram utilizadas as palavras-chave “engenharia tecidual” ou “*tissue engineering*”; “*tissue-engineered medical products*”; *bioprint*\*.

- ASTM F3209-16 *Standard Guide for Autologous Platelet-Rich Plasma for Use in Tissue Engineering and Cell Therapy.*
- ASTM F2027-16 *Standard Guide for Characterization and Testing of Raw or Starting Materials for Tissue-Engineered Medical Products.*
- ASTM F3224-17 *Standard Test Method for Evaluating Growth of Engineered Cartilage Tissue using Magnetic Resonance Imaging.*
- ASTM F2150-19 *Standard Guide for Characterization and Testing of Biomaterial Scaffolds Used in Regenerative Medicine and Tissue-Engineered Medical Products.*
- ASTM F2944-20 *Standard Practice for Automated Colony Forming Unit (CFU) Assays — Image Acquisition and Analysis Method for Enumerating and Characterizing Cells and Colonies in Culture.*
- ASTM F3259-17 *Standard Guide for Micro-computed Tomography of Tissue Engineered Scaffolds.*
- ASTM F2312-11(2020) *Standard Terminology Relating to Tissue Engineered Medical Products.*
- ASTM F2450-18 *Standard Guide for Assessing Microstructure of Polymeric Scaffolds for Use in Tissue-Engineered Medical Products.*

- ASTM F2064-17 *Standard Guide for Characterization and Testing of Alginates as Starting Materials Intended for Use in Biomedical and Tissue Engineered Medical Product Applications.*
- ASTM F3274-21 *Standard Guide for Testing and Characterization of Alginate Foam Scaffolds Used in Tissue-Engineered Medical Products (TEMPs).*
- ASTM F3163-22 *Standard Guide for Categories and Terminology of Cellular and/or Tissue-Based Products (CTPs) for Skin Wounds.*
- ASTM F2027-16 *Standard Guide for Characterization and Testing of Raw or Starting Materials for Tissue-Engineered Medical Products.*
- ASTM F2315-18 *Standard Guide for Immobilization or Encapsulation of Living Cells or Tissue in Alginate Gels.*
- ASTM F3504-21 *Standard Practice for Quantifying Cell Proliferation in 3D Scaffolds by a Nondestructive Method.*
- ASTM F1441-03 (2022) *Standard Specification for Soft-Tissue Expander Devices*
- ISO/TS 21560:2020 *General requirements of tissue-engineered medical products.*
- ISO 24651:2022 *Biotechnology — Biobanking — Requirements for human mesenchymal stromal cells derived from bone marrow.*
- ISO/WD 7614 *Tissue-engineered medical products — The method for quantification of remnant DNA in decellularized ECM scaffolds.*

De acordo com a RDC 751/2022, foi identificado que o produto proposto se enquadra na classificação de Classe III, precisando obrigatoriamente seguir o conjunto de medidas que devem ser adotadas pelo fabricante para garantir a qualidade sanitária e segurança, de acordo com os regulamentos técnicos para o seu registro, as Boas Práticas de Fabricação (BPF). Informações como o princípio de fundamento, os acessórios existentes no conjunto, a indicação e finalidade do produto, precauções, restrições, advertências e cuidados especiais, e as formas de apresentação do produto, devem constar no relatório técnico para o registro do produto médico na ANVISA.

Além das citadas anteriormente, relativas a Engenharia Tecidual, é importante destacar algumas das normas inerentes ao processo de desenvolvimento de Dispositivos Médicos. São elas:

- ABNT ISO/TR 20416:2021 Dispositivos médicos — Monitorização pós-comercialização para fabricantes.
- ABNT NBR ISO 13485:2016 Produtos para saúde — Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos para fins regulamentares.
- ABNT ISO/TR 80002-2:2021 Software de dispositivo médico Parte 2: Validação de software para sistemas de qualidade de dispositivos médicos.

#### 4.2.5. Ciclo de vida do processo de bioimpressão 3D

O ciclo de vida do processo de bioimpressão 3D envolve diversas fases e etapas para fabricação de estruturas 3D utilizando material biológico. Vale observar que algumas etapas e processos específicos envolvidos na tecnologia podem variar dependendo da técnica utilizada, dos materiais e das aplicações pretendidas. Os estágios do processo podem ser divididos em (1) Pré-processamento, (2) Processamento, (3) Pós-processamento. A Figura 16 apresenta uma sequência geral de etapas do processo, de acordo com JAVAID; HALEEM (2021).



Figura 16 – Ciclo de vida do processo de bioimpressão 3D (JAVAID; HALEEM, 2021).

#### 4.2.6. Identificação e necessidades dos clientes

Os clientes externos – aqueles que utilizarão o produto de fato – são:

- Laboratórios de pesquisa de Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs) e Universidades.
- Centros de treinamento e desenvolvimento profissional nas áreas de Engenharia Tecidual e Biotecnologia.
- Centros de Referência e Hospitais especializados em queimaduras.
- Empresa e Equipe responsáveis pela instalação e manutenção do sistema.

Com isso, foi possível definir as suas principais necessidades para a solução proposta:

- Baixo custo de aquisição e manutenção.
- Troca fácil de bico de bioimpressão.
- Montagem fácil do sistema no equipamento base.
- Boa estabilidade do reservatório de material.
- Montagem fácil do reservatório de material no cabeçote.
- Possibilidade de utilização em diferentes modelos de impressoras 3D FDM.
- Componentes e peças de reposição de fácil aquisição.
- Otimização e economia do consumo de energia.
- Possibilidade de deposição de um ou dois tipos diferentes de materiais.
- Boa estabilidade de recipiente de deposição de modelo em fabricação.
- Conjunto leve.

#### 4.2.7. Necessidades e Requisitos (Matriz QFD)

Com base nas necessidades dos clientes externos, foram definidos os requisitos de produto referentes. Na Tabela 5 é possível visualizar de forma mais clara as necessidades de clientes e os requisitos de produtos. Em seguida, a Figura 17 apresenta a Matriz QFD, com as relações entre as necessidades e requisitos devidamente preenchidas e que servirá

como referência para as decisões relativas às especificações do produto. A Figura 18 ilustra a legenda de símbolos utilizada na Matriz QFD para correlação entre necessidades de clientes e requisitos do produto e como direcionador de melhoria dos requisitos de produto, respectivamente.

Tabela 5 – Necessidades dos clientes e requisitos do produto.

Sistema de Bioimpressão com Cabeçote Adaptável para Impressoras 3D FDM		
Item	Necessidades dos Clientes	Requisitos do Produto
1	Troca fácil de bico de bioimpressão	Utilização de seringas e agulhas com padrão de rosca luerlock
2	Montagem fácil do sistema no equipamento base	Utilização de fixadores normatizados
		Utilização de porcas de inserção nas peças plásticas
		Utilização de porcas rebite em peças metálicas ou de maior espessura
3	Boa estabilidade do reservatório de material	Utilização de peça tipo abraçadeira click plástica para fixação da seringa reservatório por encaixe em seu centro
4	Montagem fácil do reservatório de material no cabeçote	Estrutura de fixação utilizando peças tipo abraçadeira borboleta
5	Possibilidade de utilização em diferentes modelos de impressoras 3D FDM	Estrutura com possibilidade de ajustes mecânicos para fixação em barras de diferentes tamanhos
6	Baixo custo de manutenção	Utilização de itens de prateleira para montagem do conjunto
7	Componentes e peças de reposição de fácil aquisição	
8	Otimização e economia do consumo de energia	Sugestão de configurações salvas previamente utilizando combinação de parâmetros para otimizar aquecimento e movimentação de cabeçote Melhorias nas rotinas de inicialização do equipamento base e na movimentação durante a fabricação
9	Possibilidade de deposição de um ou dois tipos diferentes de materiais	Peça encaixável para suporte de segunda seringa no cabeçote
10	Boa estabilidade de recipiente de deposição de modelo em fabricação	Conjunto de grampos para fixação e estabilização da superfície de deposição. Serão adaptados nas quatro arestas da mesa de impressão do equipamento base
11	Conjunto leve	Utilização de peças fabricáveis plásticas e/ou peças metálicas com menor espessura
		Peças com cavidades passantes em sua estrutura



Correlação	
++	Posit. Forte
+	Posit. Fraco
	Inexistente
-	Neg. Fraca
--	Neg. Forte

Direcionador de melhoria	
○	não importa a variação do valor
↑	quanto maior o valor melhor
↓	quanto menor o valor melhor

Correlação entre requisitos de cliente e de produto			
		<b>Relação forte</b>	9
		<b>Existe relação</b>	3
		<b>Relação fraca</b>	1

*Figura 18 – Legenda de símbolos e números utilizados na Matriz QFD, na Matriz de Relacionamentos e na Matriz de Correlações e como direcionador de melhoria dos requisitos de produto.*

#### 4.2.8. Especificações do projeto (Matriz de especificações)

A Matriz de especificações foi construída com base nas informações reunidas nas etapas anteriores e é o resultado final do projeto informacional, trazendo todas as especificações do produto proposto. A Tabela 6 apresenta a Matriz de Especificações do Projeto, com suas respectivas saídas desejáveis e indesejáveis, metas, sensor e unidade.

Tabela 6 – Matriz de especificações do Projeto.

Matriz de Especificações						
Item	Requisitos do projeto	Metas	Unidades	Sensor	Saída Desejável	Saída Indesejável
1	Custo de aquisição	Desenvolver e fabricar produto com menor custo possível	R\$	Planilha de composição de peça	Baixo custo	Alto custo do produto final
2	Custo de operação	Especificar componentes com menor custo possível e otimizar a definição de parâmetros de fabricação	R\$	Planilha de custos de operação	Baixo custo	Alto custo de operação no cenário definido
3	Custo de manutenção	Especificar componentes de baixo custo, de qualidade e de fácil aquisição	R\$	Planilha de custos de manutenção	Baixo custo de manutenção	Alto custo de manutenção
4	Troca fácil de bico de bioimpressão	Especificar componentes comerciais e normatizados	-	Visual	Utilização de seringas e agulhas com padrão de rosca luer lock	Dificuldade na montagem de partes do conjunto
5	Facilidade na montagem do conjunto	Desenvolver e fabricar produto com partes adequadas para facilitar a montagem	-	Visual	Montagem fácil do sistema na impressora 3D de base	Dificuldade na montagem do produto na impressora 3D de base
6	Boa estabilidade do reservatório de material	Utilização de peça tipo abraçadeira click plástica para fixação da seringa reservatório por encaixe em seu centro	-	Visual	Deposição de biomaterial constante e estável	Falta de estabilidade na deposição de biomaterial
7	Facilidade na montagem do reservatório de bioaterial	Especificar peças tipo abraçadeira borboleta para fixação da estrutura no cabeçote	-	Visual	Montagem fácil do reservatório no cabeçote	Dificuldade na montagem do reservatório no cabeçote

8	Alta adaptabilidade	Possibilidade de utilização em diferentes modelos de impressoras 3D <i>FDM</i>	-	Visual	Utilização em diferentes modelos e marcas de impressoras 3D <i>FDM</i>	Não ser adaptável para utilização em vários tipos de impressoras 3D <i>FDM</i>
9	Componentes e peças de reposição de fácil aquisição	Especificar componentes de prateleira para montagem do conjunto	-	Visual	Facilidade na aquisição, e consequentemente na operação do equipamento	Dificuldade na aquisição de peças de reposição
10	Otimização e economia do consumo de energia	Definir melhorias nas rotinas de inicialização do equipamento base e na movimentação durante a fabricação	-	-	Equipamento com maior eficiência energética	Equipamento com alto consumo de energia
11	Possibilidade de deposição de um ou dois tipos diferentes de materiais	Utilizar peça encaixável para suporte de segunda seringa no cabeçote	-	Visual	Deposição de um segundo material, caso necessário	Impossibilidade de deposição de um segundo material
12	Boa estabilidade de recipiente de deposição de modelo em fabricação	Utilizar conjunto de grampos para fixação e estabilização da superfície de deposição	-	Visual	Boa resolução e adequação geométrica no modelo fabricado	Modelo fabricado com baixa resolução
13	Conjunto leve	Utilização de peças fabricáveis plásticas e/ou peças metálicas com menor espessura e com cavidades passantes	g	-	Até 300g (massa aproximada de um motor de passo, utilizado em cabeçotes de impressoras 3D)	Conjunto robusto, que irá interferir na movimentação do equipamento

### 4.3.PROJETO CONCEITUAL

#### 4.3.1. Função Global

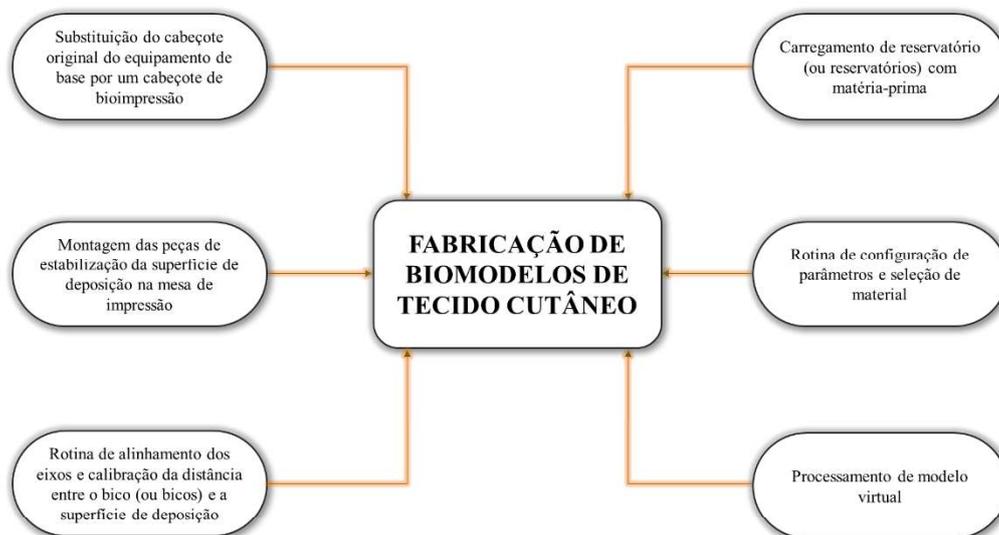
Para a função global do produto, temos como entradas: energia, biotinta, material biológico, modelo virtual, parâmetros de biofabricação. Já como saída, foi possível destacar: energia dissipada, tecido cutâneo bioimpresso e excedente de material de fabricação (biotinta e aglomerado de células). A Figura 19 apresenta uma representação dessas entradas e saídas, relacionando-as com a função global definida.



Figura 19 – Função Global.

### 4.3.2. Funções Parciais

As funções parciais, que são o desdobramento da função global do produto proposto, são apresentadas no fluxograma ilustrado na Figura 20.



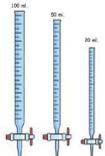
*Figura 20 – Funções parciais.*

### 4.3.3. Matriz Morfológica

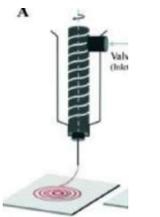
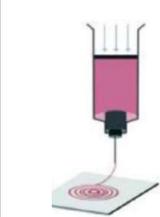
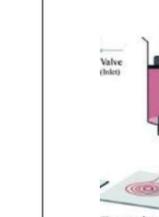
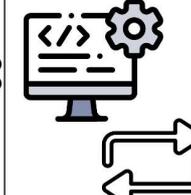
A partir das funções parciais, foi possível definir um caminho lógico com princípios de solução para cada uma das funções e subfunções do produto proposto e seus desdobramentos. A Tabela 7 apresenta a Matriz Morfológica. Foram definidas quatro soluções.

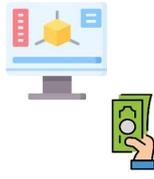
Tabela 7 – Princípios de Solução – Matriz Morfológica.

Matriz Morfológica				
Funções Parciais	Solução 01	Solução 02	Solução 03	Solução 04
Substituição do cabeçote original do equipamento base por um cabeçote de bioimpressão				
	Parafusadeira	Aperto manual	Ferramentas de aperto - chaves e alicates	
Montagem de peças de estabilização da plataforma de deposição				

	Fixação com adesivo reutilizável	Plataforma fixa	Sistema projetado tipo grampo com parafusos em 4 pontos	
<b>Montagem das peças do cabeçote adaptável no eixo do equipamento de base</b>				
	Abraçadeira de nylon	Sistema fixo e integrado	Abraçadeira tipo borboleta	Fixação permanente - adesivo instantâneo
<b>Reservatório de biomaterial</b>				
	Cilindro plástico	Bureta	Seringa descartável	Tudo de ensaio

<b>Deposição de biomaterial</b>				
	Agulha hipodérmica luer slip	Agulha hipodérmica metálica	Agulha hipodérmica luer lock	
<b>Energia de deposição de biomaterial</b>				
	Atuador hidráulico	Atuador pneumático	Atuador Elétrico	

Técnica de bioimpressão - Extrusão				
	Parafuso	Pneumática	Pistão	
Calibração da distância entre o bico e a superfície de deposição				
	Manual (utilizando papel offset)	Manual (utilizando peça calibrada)	Automática (rotina do software definida previamente)	Automática (rotina do software definida a cada utilização)

<b>Processamento do modelo virtual</b>				
	Software próprio - desenvolvido no projeto	Software proprietário	Software livre	
<b>Sistema de controle</b>				
	CLP	Circuito Impresso	Plataforma programável de prototipagem eletrônica	

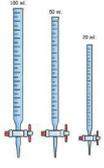
<b>Informações do processo</b>				
	Software próprio - desenvolvido no projeto	Software proprietário	Software livre	
<b>Configuração de parâmetros de impressão (material, altura de camada, velocidade de impressão, padrão de preenchimento etc)</b>				
	Software próprio - desenvolvido no projeto	Software proprietário	Software livre	

#### **4.3.4. Concepções**

Levando em consideração os requisitos do projeto e as necessidades dos clientes definidos na fase de Projeto Informacional, foi possível concluir a análise da matriz morfológica apresentada e se chegar à concepção das soluções, ilustradas na Tabela 8.

Tabela 8 – Concepções geradas após análise da Matriz Morfológica.

Matriz Morfológica					
Funções Parciais	Solução 02	Solução 03	Funções Parciais	Solução 02	Solução 03
Substituição do cabeçote original do equipamento base por um cabeçote de bioimpressão			Técnica de bioimpressão - Extrusão		
	Aperto manual	Ferramentas de aperto - chaves e alicates		Pneumática	Pistão
Montagem de peças de estabilização da plataforma de deposição	 		Calibração da distância entre o bico e a superfície de deposição		

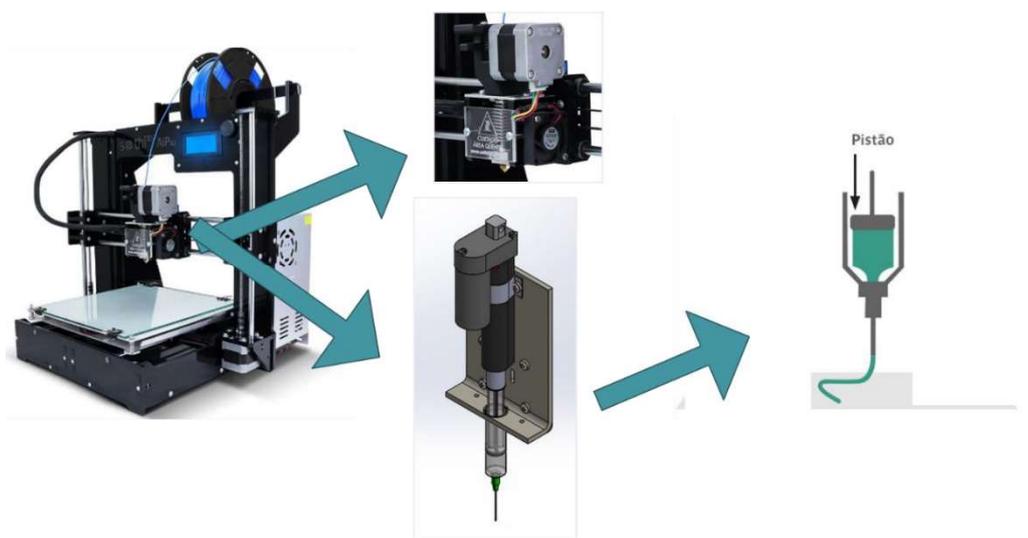
	Plataforma fixa	Sistema projetado tipo grampo com parafusos em 4 pontos		Manual (utilizando peça calibrada)	Automática (rotina do software definida previamente)
<b>Montagem das peças do cabeçote adaptável no eixo do equipamento de base</b>			<b>Processamento do modelo virtual</b>		
	Sistema fixo e integrado	Abraçadeira tipo borboleta		Software proprietário	Software livre
<b>Reservatório de biomaterial</b>			<b>Sistema de controle</b>		
	Bureta	Seringa descartável		Circuito Impresso	Plataforma programável de prototipagem eletrônica

<b>Deposição de biomaterial</b>			<b>Informações do processo</b>		
	Agulha hipodérmica metálica	Agulha hipodérmica luer lock		Software proprietário	Software livre
<b>Energia de deposição de biomaterial</b>			<b>Configuração de parâmetros de impressão (material, altura de camada, velocidade de impressão, padrão de preenchimento etc)</b>		
	Atuador pneumático	Atuador Elétrico		Software proprietário	Software livre

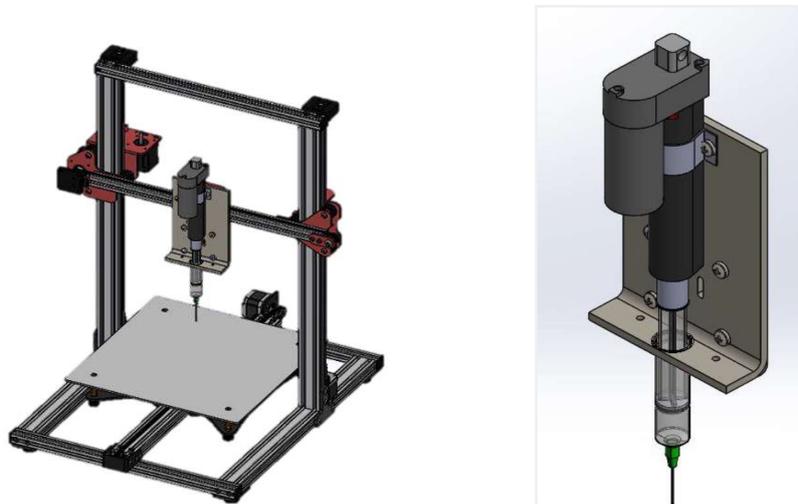
#### 4.3.5. Matriz de Avaliação

Conforme observado nas opções de soluções descritas para cada subsistema – ou subfunções – foi realizada uma análise qualitativa entre três dos quatro princípios de solução apresentados, tendo em vista que apenas três das doze subfunções apresentaram uma quarta opção de solução. As soluções 2 e 3 foram as que mais se aproximaram com as necessidades dos clientes e requisitos de projeto. Porém, a solução 3 atende melhor aos requisitos de projeto, e será usada como referência para a continuidade do desenvolvimento da solução. Alguns princípios apresentados na opção 2 podem ser explorados e utilizados para melhor atender alguma necessidade ou especificação de projeto. Ajustes e sinergia entre os princípios de solução apresentados podem ocorrer, caso necessário.

A modelagem inicial do produto proposto, seguindo alguns dos itens descritos na solução 3 é apresentada na Figura 22. A Figura 21 traz uma visão geral da solução.



*Figura 21 – Visão geral da solução.*



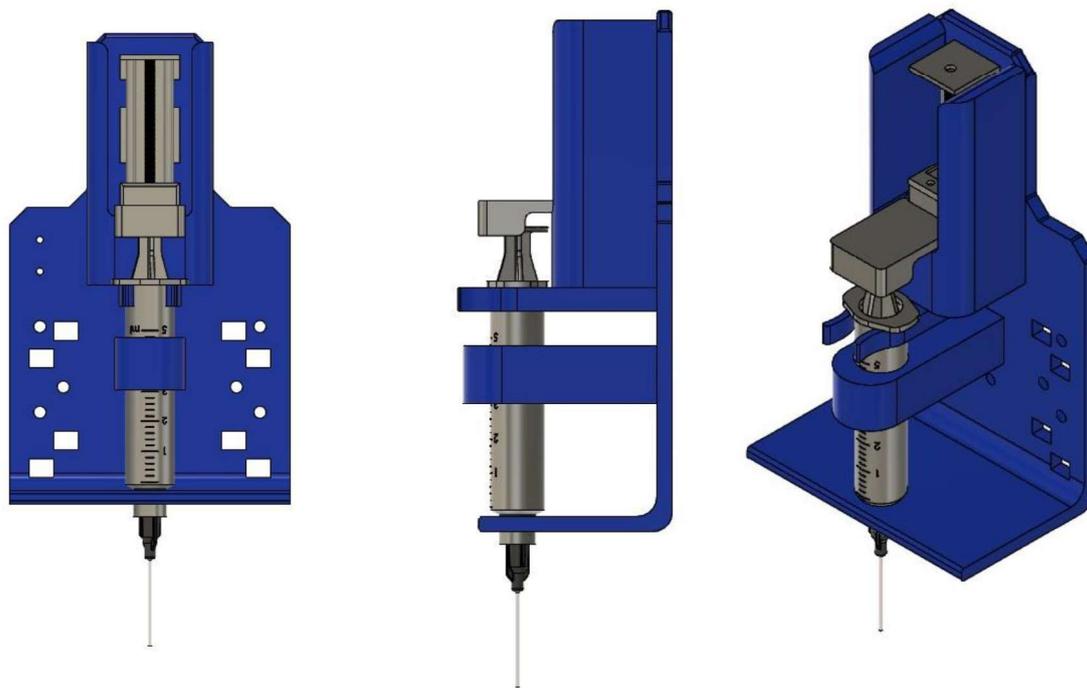
*Figura 22 – À esquerda, modelagem inicial da Montagem do Sistema de Bioimpressão em uma Impressora 3D FDM realizada em software CAD. À direita, o cabeçote proposto em destaque.*

## **4.4.PROJETO PRELIMINAR**

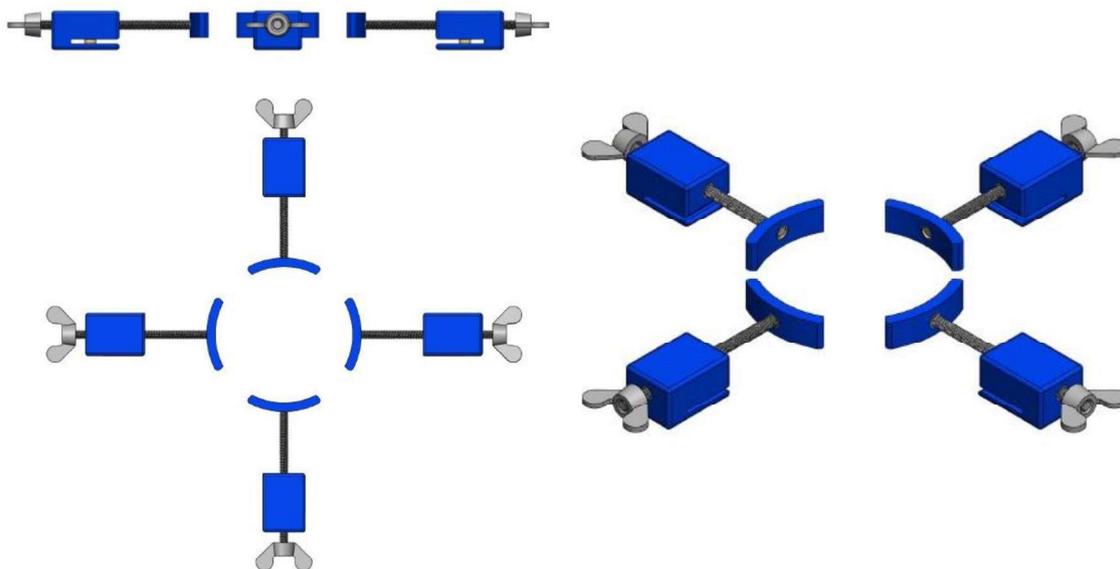
### **4.4.1. Detalhamento do Projeto 3D**

Conforme descrito no item anterior, o conceito inicial do conjunto proposto aplicou itens definidos na solução 3 – substituição do cabeçote original do equipamento base utilizando ferramentas de aperto, montagem das peças de estabilização da plataforma de deposição utilizando um sistema de aperto projetado tipo grampo com quatro parafusos, montagem das peças do cabeçote adaptável no eixo do equipamento base utilizando abraçadeira tipo borboleta, reservatório de biomaterial sendo uma seringa descartável, deposição do biomaterial sendo feita com uma agulha hipodérmica, a energia de deposição de biomaterial promovida por um atuador linear elétrico, a extrusão com pistão como técnica de bioimpressão, a calibração da distância entre o bico e a plataforma de deposição feita de forma automática a partir de rotina estabelecida previamente, processamento de modelo virtual, visualização de informações do processo e configuração dos parâmetros de impressão realizados em software livre. Parte da modelagem inicial foi apresentada nas Figuras 21 e 22.

Tendo sido definido o conceito construtivo do sistema de bioimpressão, iniciou-se o projeto preliminar com a modelagem definitiva 3D do conjunto. Com base no modelo inicial, foram realizados alguns ajustes necessários. A Figura 23 apresenta o cabeçote para bioimpressão, em vistas frontal, lateral e em perspectiva isométrica. A Figura 24 apresenta a estrutura de estabilização da plataforma de deposição, em vistas frontal, superior e em perspectiva isométrica.



*Figura 23 - Modelo 3D projetado em software CAD do Cabeçote adaptável para bioimpressão por extrusão. Vistas frontal, lateral e perspectiva isométrica.*



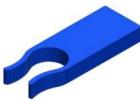
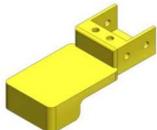
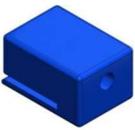
*Figura 24 - Modelo 3D projetado em software CAD da estrutura de estabilização da plataforma de deposição. Vistas frontal, superior e perspectiva isométrica*

O cabeçote adaptável para bioimpressão foi projetado com o objetivo de cumprir a função global proposta: fabricação de biomodelos de tecido cutâneo, a partir da substituição do cabeçote convencional de uma impressora 3D FDM de bancada. O conjunto é composto por uma estrutura de base e fixação no eixo x do equipamento base, um atuador linear de passo, um reservatório de biotinta, um bico de deposição de biotinta, uma peça de suporte e posicionamento superior do reservatório de biotinta, uma peça de suporte e posicionamento inferior do reservatório de biotinta, uma peça de proteção para o atuador linear de passo, uma peça auxiliar de extrusão e porcas de inserção, parafusos Philips máquina cabeça chata, porcas e arruelas de pressão como elementos de fixação.

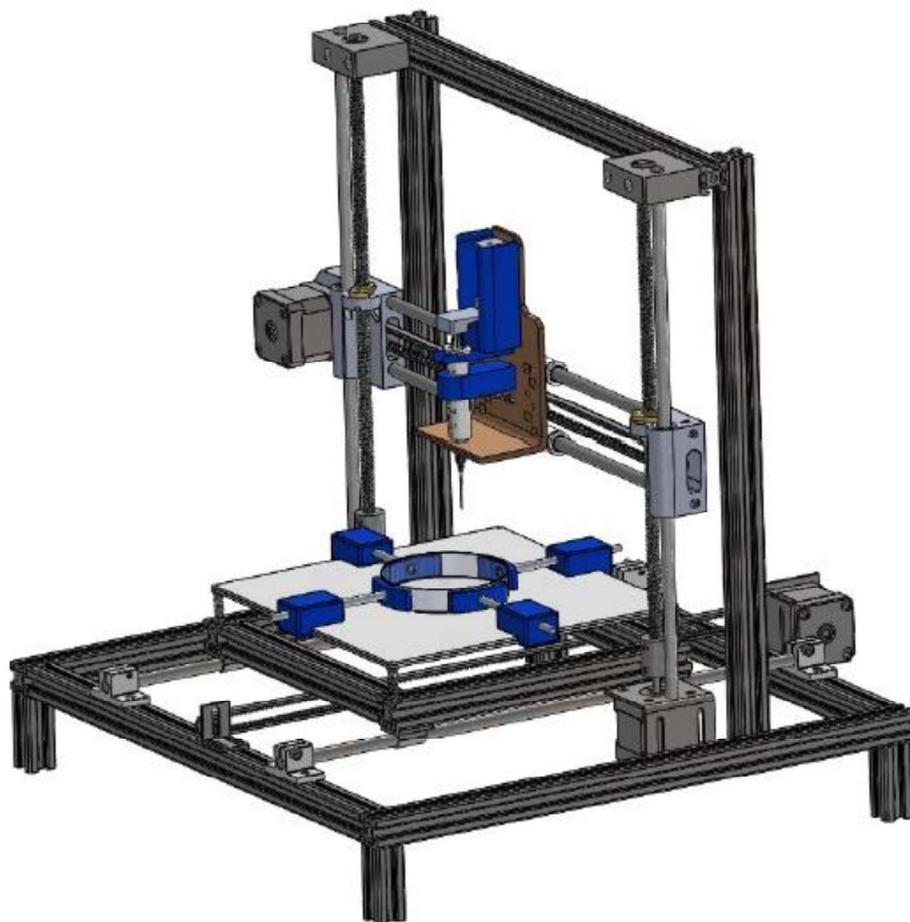
A estrutura de estabilização da plataforma de deposição foi projetada com o objetivo de posicionar adequadamente a superfície onde o biomaterial será depositado e, conseqüentemente, o modelo biofabricado será formado. A estrutura é composta por quatro peças de contato com a plataforma de deposição, quatro segmentos de barra roscada, conjunto de fixação da estrutura na mesa do equipamento base e porcas de inserção, rebites com rosca e porcas borboleta como elementos de fixação.

A Tabela 9 ilustra as partes que compõem o sistema proposto, incluindo os itens do cabeçote adaptável para bioimpressão e a estrutura de estabilização.

Tabela 9 - Partes que compõem o sistema proposto, incluindo os itens do cabeçote adaptável para bioimpressão e a estrutura de estabilização.

COMPONENTES - SISTEMA DE BIOIMPRESSÃO COM CABEÇOTE ADAPTÁVEL PARA IMPRESSORAS 3D FDM					
Item - Descrição					
Estrutura de base e fixação adaptável	Atuador linear de passo	Reservatório de biotinta	Bico de deposição de biotinta	Peça de suporte e posicionamento superior do reservatório de biotinta	Peça de suporte e posicionamento inferior do reservatório de biotinta
					
Peça de proteção para o atuador linear de passo	Peça auxiliar de extrusão	Peças de contato com a plataforma de deposição	Segmentos de barra roscada	Peças de fixação da estrutura na mesa do equipamento base	
					

A Figuras 25 apresenta os modelos virtuais do cabeçote adaptável para bioimpressão e da estrutura de estabilização da plataforma de deposição montados em um equipamento base genérico, reproduzindo o cenário futuro de montagem do protótipo.



*Figura 25 - Modelo 3D projetado em software CAD do Cabeçote adaptável para bioimpressão e da estrutura de estabilização da plataforma de deposição por extrusão inseridos em um equipamento base genérico. Perspectiva isométrica.*

#### **4.4.2. Estudo de Movimento e Avaliação do Conjunto**

Com o objetivo de validar virtualmente e visualmente o conjunto em movimentação, foi realizado um estudo de movimento do mesmo. Para isso, foi utilizada a ferramenta *SolidWorks Motion* do software *SolidWorks*. A diferença de massa entre o cabeçote tradicional do equipamento base e o cabeçote adaptável para bioimpressão é um fator positivo em relação ao funcionamento do sistema como um todo, pois menos energia

será necessária para promover a movimentação do cabeçote adaptável ao logo dos eixos coordenados do equipamento. O cabeçote tradicional tem 517 g no total, sendo 258 g referente ao motor de passo, enquanto a massa estimada em software do cabeçote adaptável para bioimpressão é 177g, dos quais 53 g são do atuador linear de passo.

Os parâmetros do estudo levaram em consideração as características do material e, conseqüentemente, as orientações do fabricante de biotintas disponíveis comercialmente (CELLINK, 2023). A Tabela 9 apresenta os parâmetros recomendados para biofabricação de tecido cutâneo, utilizando uma agulha de calibre 22G (0,70 x 25 mm) como bico e a biotinta *Cellink Skin*, do fabricante Cellink.

Tabela 10 - Parâmetros de extrusão recomendados (velocidade e pressão mínima) (CELLINK, 2023).

<b>Parâmetros de Bioimpressão</b>		
<b>Bico de deposição: Agulha 22G (Diâmetro = 0,70 mm)</b>		
<b>Velocidade de deposição [mm/s]</b>	<b>Pressão (sem material biológico) [KPa]</b>	<b>Pressão (com material biológico) [KPa]</b>
5	11	9
10	12	11
15	14	12
20	15	13

Além dos parâmetros referentes ao biomaterial, é importante também considerar os dados do atuador linear de passo, responsável pela extrusão. Conforme será descrito no subtópico “Especificação dos Componentes”, o atuador linear selecionado foi do tipo Mini motor de passo deslizante com curso de 35 mm, modelo A.

As informações de entrada dos estudos de movimento são:

- Tipo de Motor: Linear (Atuador);
- Componente de localização do motor: Peça de transmissão de movimento / Peça auxiliar de extrusão;
- Tipo de movimento: Servomotor de velocidade. Velocidade igual a 5 mm/s;
- Tipo de força: Força linear de ação;

- Faces que suportam carga: Peça auxiliar de extrusão, que está em contato com a parte superior do êmbolo do reservatório de biotinta. Considerando seringa de 5 ml, a agulha de calibre 22G e a pressão recomenda, temos:

$$d_i = 12 \text{ mm}$$

$$r_i = d_i/2 = 12/2 \rightarrow r_i = 6 \text{ mm}$$

$$A_i = \pi \times r^2$$

$$A_i = \pi \times (6)^2$$

$$A_i = 113,1 \text{ mm}^2 \rightarrow A_i = 1,131 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$P = F/A_i$$

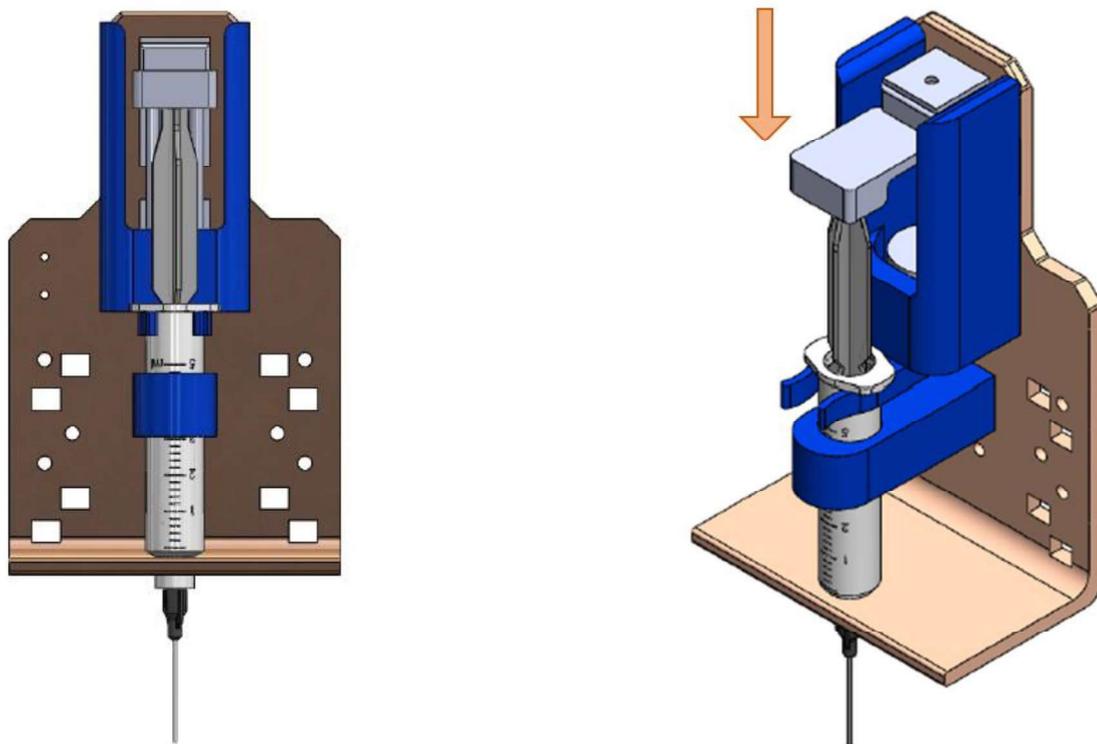
$$(11000) = F/(1,131 \times 10^{-4})$$

$$F = (11000) \times (1,131 \times 10^{-4})$$

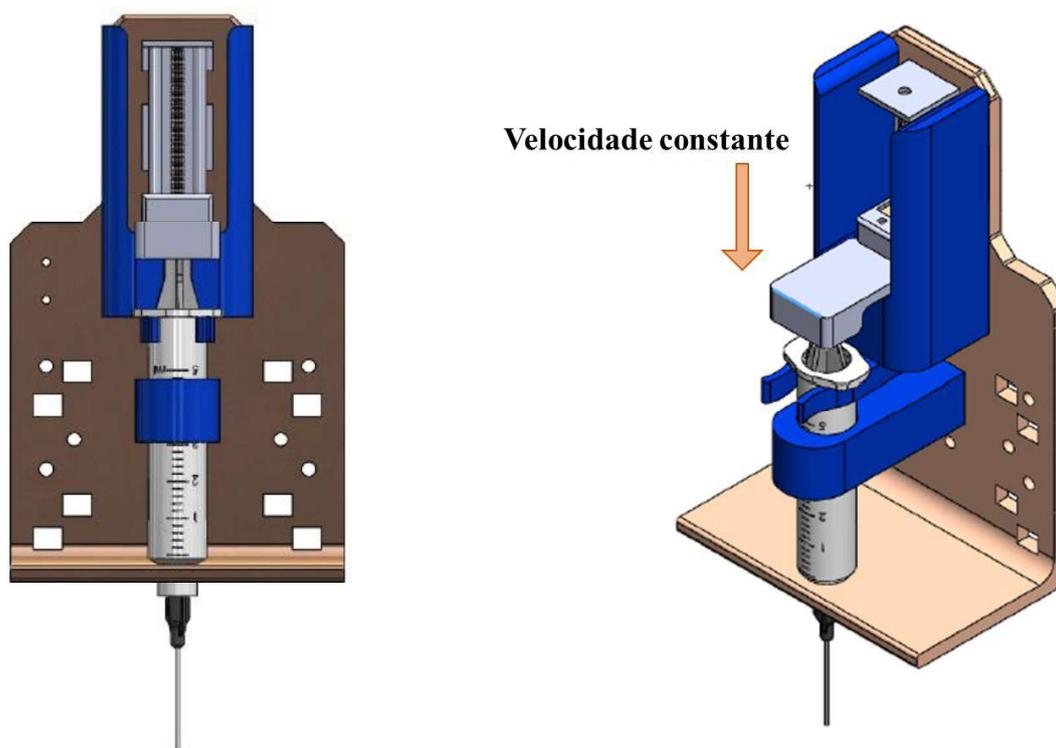
$$F = 1,244 \text{ N}$$

- Carga aplicada no componente: 1,244 N;
- Componentes fixos: estrutura de base e fixação ajustável, estrutura do atuador linear de passo, o cilindro do reservatório de biotinta, o bico de deposição, as peças de posicionamento e estabilização do reservatório, a peça de proteção do atuador e os elementos de fixação;
- Componentes flutuantes: peça auxiliar de extrusão, bloco de suporte de rolamento linear, êmbolo do reservatório de biotinta e eixo roscado do atuador linear de passo.

Definidos os dados de entrada, foram realizados o estudo direcionado para o cabeçote adaptável para bioimpressão. Ele demonstrou a transmissão de movimento do atuador linear de passo para o êmbolo do reservatório de biotinta. As Figuras 26 e 27 apresentam as posições inicial e final do estudo, respectivamente.



*Figura 26 - Posição inicial do estudo da transmissão de movimento do atuador linear de passo para o êmbolo do reservatório de biotinta do Cabeçote adaptável para bioimpressão. Modelo projetado em software CAD/CAE. Vista frontal e perspectiva isométrica.*



*Figura 27 - Posição final do estudo da transmissão de movimento do atuador linear de passo para o êmbolo do reservatório de biotinta do Cabeçote adaptável para bioimpressão. Modelo projetado em software CAD/CAE. Vista frontal e perspectiva isométrica.*

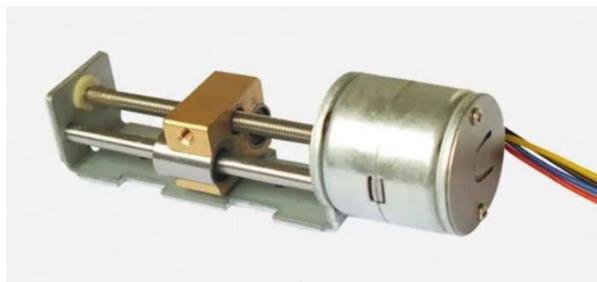
#### **4.4.3. Especificação dos Componentes**

Conforme descrito no subtópico “Detalhamento do Projeto 3D”, alguns componentes do sistema proposto estão disponíveis comercialmente. Esses itens de prateleira foram especificados tendo como base alguns dos princípios das soluções 2 e 3, conforme descrito anteriormente. Levando em consideração os requisitos do produto – definidos na fase de Projeto Informacional – buscou-se atingir, principalmente, um baixo custo de fabricação e manutenção.

Além dos itens de prateleira, as peças projetadas especialmente para fabricação e montagem do sistema também levou em consideração os requisitos do produto: cavidades passantes para redução da massa, peças plásticas e com menor espessura, quando aplicável, estrutura com possibilidades de ajustes mecânicos para fixação em barras/eixos

de diferentes tipos. Os componentes projetados serão apresentados mais detalhadamente no subtópico “Modelagem para Prototipagem”.

Com o objetivo de promover a extrusão da biotinta através da transmissão do movimento ao êmbolo do reservatório, foi especificado um atuador linear elétrico. A necessidade de realização de movimentos precisos e rotações em ângulos bem definidos para esse processo só poderia ser atendida com a utilização de um motor de passo. O cabeçote tradicional do equipamento base já dispõe de um motor de passo, o NEMA 17HS3001-20B. Porém, ele tem características robustas para a aplicação proposta. A solução encontrada foi um modelo de atuador linear de passo genérico, do tipo mini deslizante, com curso de 35 mm. O seu funcionamento está condicionado a adaptação da conexão no equipamento base, sendo aproveitada a unidade de controle e alimentação do mesmo. A Figura 28 apresenta o mini atuador linear de passo especificado e a Tabela 10 descreve algumas de suas características.



*Figura 28 - Mini atuador linear de passo especificado.*

Tabela 11 - Informações do atuador linear de passo especificado.

<b>MINI ATUADOR LINEAR DE PASSO</b>	
<b>Tensão nominal, DC [V]</b>	12
<b>Resistência de fase [<math>\Omega</math>]</b>	20
<b>Corrente [mA]</b>	600
<b>Fases</b>	2
<b>Comprimento da haste [mm]</b>	45
<b>Curso [mm]</b>	35
<b>Diâmetro do parafuso [mm]</b>	3
<b>Passo do parafuso [mm]</b>	0,5
<b>Ângulo de passo [deg]</b>	18
<b>Diâmetro do motor [mm]</b>	20

Como reservatório de biotinta foi especificada uma seringa estéril, de uso único e atóxica, com bico que garante conexões seguras e sem vazamentos e com conexão *Luer Lock*. Os volumes que atendem esse objetivo são os de 3 ml e 5 ml, tendo sua utilização condicionada à troca peças de posicionamento e estabilização do reservatório. Os estudos de movimento foram realizados utilizando um modelo de seringa descartável de 5 ml. As Figuras 29 e 30 apresentam as seringas reservatórios de 5 ml e 3 ml, respectivamente.



Figura 30 - Seringa descartável de 5 ml.



Figura 29 - Seringa descartável de 3 ml.

Como bico de deposição de biotinta foi especificada uma agulha de irrigação estéril, sem bisel, com canhão de conicidade universal para conexão *Luer Lock*. Com sua

utilização principal não direcionada para a infusão de medicamentos ou para a extração de fluidos, a sua ponta sem bisel proporciona uma saída uniforme do material, além de garantia de um nivelamento adequado entre o bico e a superfície de deposição. Apesar disso, as agulhas hipodérmicas também podem ser utilizadas. Segundo orientações de fabricantes e distribuidores de biotintas e material para bioimpressão 3D, as opções de diâmetros que podem atender o objetivo de deposição de material são 22G (0,70 x 25 mm), 25G (0,50 x 19 mm) e 27G (0,40 x 25 mm) (MATSOS; ALLEVI BY 3D SYSTEMS, 2020) (CELLINK, 2023). A opção de agulha selecionada irá influenciar diretamente os parâmetros de fabricação e, conseqüentemente, a viabilidade celular. Os estudos de movimento foram realizados utilizando um modelo de agulha 22G (0,70 x 25mm). A Figura 31 apresenta as agulhas 22G, 25G e 27G, respectivamente.



*Figura 31 - Agulhas com conexão Luer Lock, com calibres 22G, 25G e 27G, respectivamente.*

Como plataforma de deposição foi especificada uma placa de Petri, que é um utensílio comumente utilizado em laboratórios de microbiologia e rotinas de bacteriologia para cultura e identificação de microrganismos. A placa é fabricada em vidro, disponíveis comercialmente nas dimensões 60 x 150 mm, 80 x 150 mm, 100 x 20 mm, 120 x 20 mm e 150 x 20 mm. A estrutura de estabilidade e posicionamento da plataforma de deposição possibilita a utilização de placas de Petri de diferentes diâmetros, selecionados de acordo com as dimensões do modelo a ser biofabricado. Para fins de montagem e visualização do conjunto no equipamento base e prototipagem, utilizou-se da placa de Petri 80 x 150 mm. A Figura 32 apresenta a placa de Petri de vidro.



*Figura 32 - Placa de Petri de vidro 80 x 150 mm.*

Além das peças projetadas para serem prototipadas em impressora 3D, a estrutura de estabilização da plataforma de deposição é construída também utilizando itens disponíveis comercialmente. Um deles é a barra roscada M5, utilizada com o objetivo de promover a movimentação das peças de contato e aperto com a plataforma de deposição. A Figura 33 apresenta a barra roscada M5 em aço. Em toda a estrutura são utilizados elementos de fixação normatizados e disponíveis comercialmente. São eles: parafusos Philips máquina cabeça chata, porcas e arruelas de pressão, porcas de inserção M3, rebite de rosca M5 e porcas borboleta M5. A Figura 34 apresenta alguns dos elementos de fixação a serem utilizados na montagem: porca de inserção (ou inserto metálico), rebite de rosca e porca borboleta, respectivamente.



*Figura 33 - Barra roscada M5.*



Figura 34 - Alguns dos elementos de fixação a serem utilizados na montagem: porca de inserção (ou inserto metálico), rebite de rosca e porca borboleta, respectivamente.

A utilização de matéria-prima especializada para bioimpressão de tecido cutâneo tem importante relevância para fins de realização de testes e validação da funcionalidade do protótipo do sistema de bioimpressão com cabeçote adaptável para impressoras 3D FDM. Algumas Empresas internacionais, fabricantes e representantes, comercializam as biotintas já preparadas para utilização – *Allevi*, *Cellink* e *Advanced BioMatrix*. Os custos com os materiais específicos são elevados. A Figura 35 apresenta os kits de biotintas Cellink para fabricação de pele, o CELLINK SKIN e o GelXA SKIN.

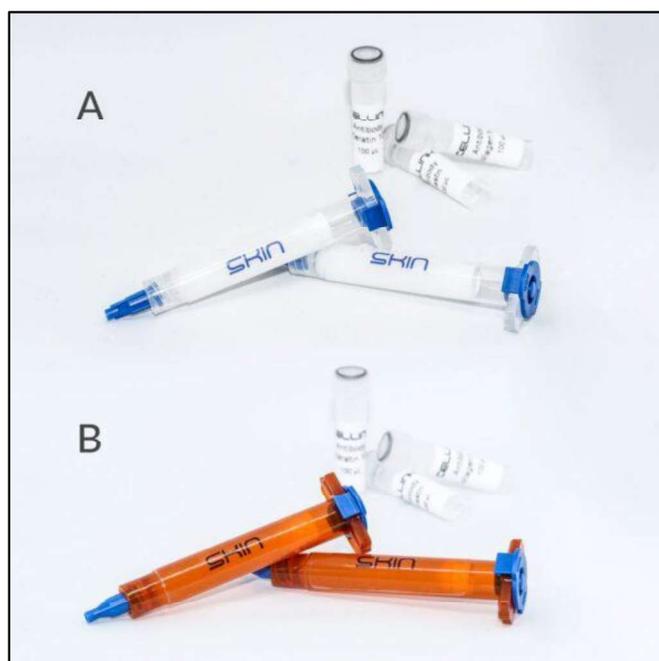
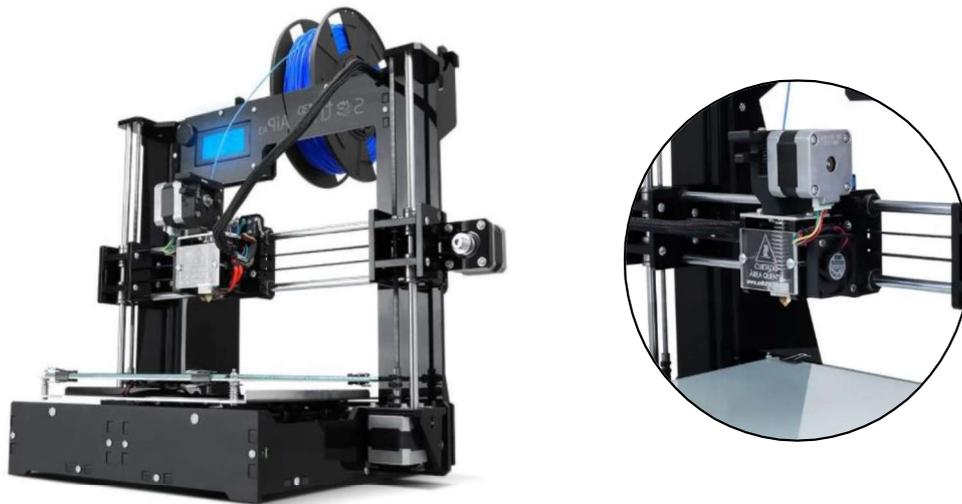


Figura 35 - Kits de biotintas Cellink para fabricação de tecido cutâneo, o CELLINK SKIN (A) e o GelXA SKIN (B).

Para a etapa de ensaio *in vivo* ou *in vitro*, e para avaliação de viabilidade celular, a incorporação de material biológico é realizada antes do processo de bioimpressão. Para os primeiros testes de fluxo e deposição do material com a seringa e a agulha selecionadas (reservatório e bico de deposição) a serem realizados manualmente, e para os testes iniciais do protótipo, será utilizado um hidrogel interpenetrado a base de alginato fabricado artesanalmente, seguindo as orientações descritas em um estudo realizado em 2019 – *Development of a Smart Bioink for Bioprinting Applications* (MONTERO et al., 2019). A mistura utilizou água deionizada como solvente e alginato de sódio como polímero. Por ser composta por materiais de baixo custo, o hidrogel artesanal possibilita a realização de uma maior quantidade de testes e repetições para possíveis ajustes construtivos e de parâmetros.

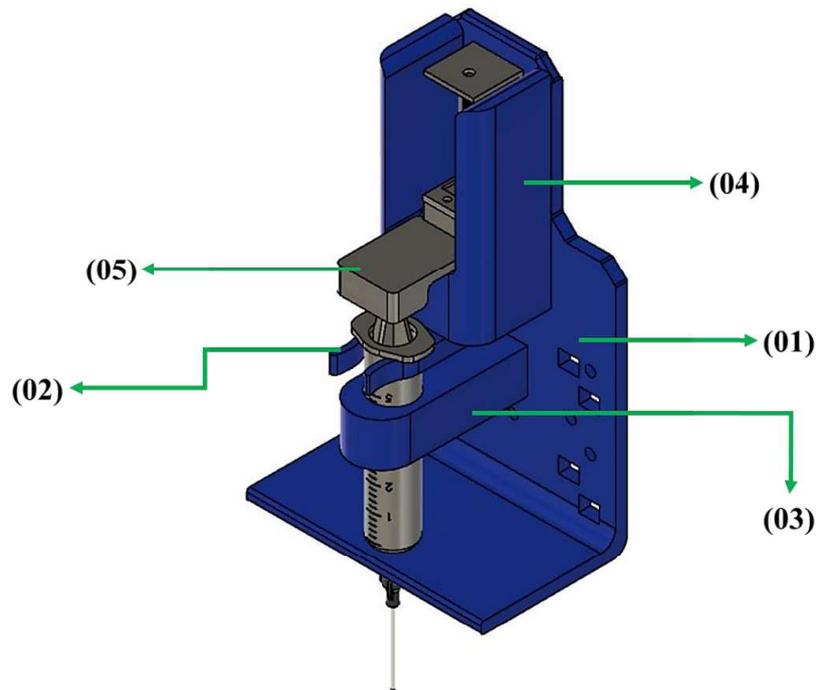
Conforme descrito entre as funções do sistema proposto, a sua substituição do cabeçote tradicional de uma impressora 3D FDM de bancada pelo cabeçote adaptável para bioimpressão, irá converter esse equipamento em uma bioimpressora por extrusão. O equipamento base utilizado para avaliação, montagem e testes do protótipo do sistema foi uma impressora 3D do fabricante Sethi 3D, modelo AiP. A impressora possui estrutura fabricada em acrílico, dimensões máximas de 400 x 350 x 400 mm, volume de impressão de 220 x 210 x 200 mm, tela de controle integrada, *firmware* de funcionamento *Repetier* e utiliza como software de controle o *Repetier-Host*. A Figura 36 ilustra o modelo utilizado e o seu cabeçote tradicional em destaque.



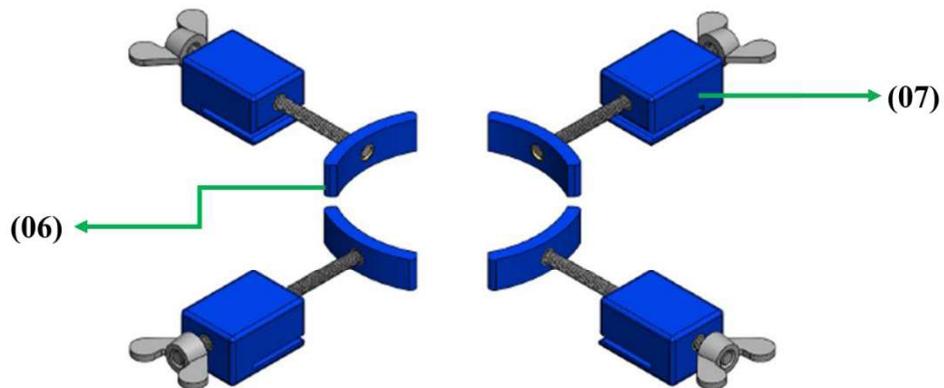
*Figura 36 - Equipamento base selecionado para montagem do protótipo e realização de testes, e o seu cabeçote tradicional em destaque – Modelo AiP do fabricante Sethi 3D.*

#### **4.4.4. Modelagem para Prototipagem**

Todas as peças não disponíveis comercialmente foram modeladas no software de engenharia *SolidWorks*, pré-processadas em software de fatiamento, e, posteriormente, preparadas para fabricação em impressora 3D utilizando a técnica FDM e com material PLA nas cores azul e cinza. As Figuras 37 e 38 ilustram os modelos virtuais do cabeçote adaptável para bioimpressão e da estrutura de estabilização da plataforma de deposição destacando as peças projetadas especificamente para fabricação do conjunto, respectivamente.



*Figura 37 - Modelo virtual do cabeçote adaptável para bioimpressão destacando as peças projetadas especificamente para fabricação do conjunto.*



*Figura 38 - Modelo virtual da estrutura de estabilização da plataforma de deposição destacando as peças projetadas especificamente para fabricação do conjunto.*

A lista de peças projetadas, seguindo a indicação numérica das Figuras 37 e 38, são:

(01) Estrutura de base e fixação ajustável

- (02) Peça de suporte e posicionamento superior do reservatório de biotinta
- (03) Peça de suporte e posicionamento inferior do reservatório de biotinta
- (04) Peça de proteção do atuador linear de passo
- (05) Peça auxiliar de extrusão
- (06) Peças de contato com a plataforma de deposição
- (07) Peças de fixação da estrutura na mesa do equipamento base

Vale ressaltar que o padrão de montagem e fixação da peça base do eixo x permite a sua adaptação em outros modelos de equipamento base. Alguns ajustes pontuais podem ser requeridos a depender do equipamento, como ajuste na posição do módulo fim de curso do eixo z, em decorrência da mudança da posição da extremidade do bico de deposição, ajuste na posição do módulo fim de curso do eixo x, em decorrência da mudança da região de fixação do mesmo na base de fixação (01) e correção da posição inicial do cabeçote na inicialização do equipamento e da rotina de bioimpressão.

A Tabela 12 descreve a estimativa de consumo de material, o tempo de fabricação e a massa estimada das peças, considerando a prototipagem a partir de impressão 3D utilizando o material PLA – altura de camada de 0,32 mm, densidade de preenchimento de 80 % e velocidade de impressão em 50 mm/s.

Tabela 12 - Modelagem para Prototipagem: Estimativa de consumo de material, tempo de fabricação e a massa estimada das peças.

<b>MODELAGEM PARA PROTOTIPAGEM</b>				
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tempo de Fabricação (minutos)</b>	<b>Massa - Material (g)</b>	<b>Volume - Material (cm<sup>3</sup>)</b>
01	Estrutura de base e fixação ajustável	270	55,00	44,35
02	Peça de suporte e posicionamento superior do reservatório de biotinta	21	4,00	3,23
03	Peça de suporte e posicionamento inferior do reservatório de biotinta	55	13,00	10,48
04	Peça de proteção do atuador linear de passo	131	27,00	21,77
05	Peça auxiliar de extrusão	33	6,00	4,84
06	Peças de contato com a plataforma de deposição	18	3,00	2,42
07	Peças de fixação da estrutura na mesa do equipamento base	71	17,00	13,71
<b>TOTAL</b>		<b>599</b>	<b>125</b>	<b>100,80</b>

## **4.5.PROJETO DETALHADO**

### **4.5.1. Lista de Materiais e Serviços**

Conforme descrito na etapa de Projeto Preliminar, o sistema de bioimpressão com cabeçote adaptável para impressoras 3D FDM é composto por itens disponíveis comercialmente e por peças projetadas especificamente para a construção da solução. Dessa forma, a Tabela 13 apresenta a lista de materiais e serviços, detalhando os valores dos mesmos e, conseqüentemente, os custos totais para fabricação, montagem e realização dos testes de bancada do protótipo.

Tabela 13 - Lista de materiais e serviços.

LISTA DE MATERIAIS E SERVIÇOS					
Item	Descrição	Fornecedor Prestador de serviço	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
1	Atuador linear de passo	AliExpress	1	R\$ 92,70	R\$ 92,70
2	Barra roscada Aço - M5 1m	CCP Parafusos e Ferramentas	1	R\$ 4,67	R\$ 4,67
3	Placa de Petri de vidro - 80 x 15 mm	Loja NetLab	1	R\$ 10,28	R\$ 10,28
4	Seringa descartável Luer Lock 5ml	Utilidades Clínicas	1	R\$ 0,28	R\$ 0,28
5	Agulha de irrigação 22G	Dental Cremer	1	R\$ 1,20	R\$ 1,20
6	Adesivo Instantâneo 20g	Loja do Mecânico	1	R\$ 7,90	R\$ 7,90
7	Porca de inserção M3 x 4	Autocore Robótica	18	R\$ 1,00	R\$ 18,00
8	Rebite com rosca aba plana M5	Dutra Máquinas	8	R\$ 0,56	R\$ 4,48
9	Parafuso Phillips Máquina cabeça chata M3	CCP Parafusos e Ferramentas	20	R\$ 0,19	R\$ 3,80
10	Parafuso Phillips Máquina cabeça chata M2	CCP Parafusos e Ferramentas	2	R\$ 0,19	R\$ 0,38
11	Arruela de pressão M3	CCP Parafusos e Ferramentas	20	R\$ 0,02	R\$ 0,40
12	Arruela de pressão M2	CCP Parafusos e Ferramentas	2	R\$ 0,04	R\$ 0,08
13	Porca borboleta M5	CCP Parafusos e Ferramentas	4	R\$ 0,81	R\$ 3,24
14	Alginato de sódio 150g	Adicel Ingredientes	1	R\$ 69,53	R\$ 69,53
15	Água deionizada 5L	Palácio das Essências	1	R\$ 27,00	R\$ 27,00
17	Fabricação de peças plásticas - Serviço de Impressão 3D	Polo de Inovação Salvador	1	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00
<b>Custos totais – Protótipo</b>					<b>R\$ 1.843,94</b>

O valor total para aquisição de materiais e serviços para fabricação e montagem do protótipo, e realização de testes iniciais de funcionalidade do mesmo foi igual a R\$ 1.843,94 (mil oitocentos e quarenta e três reais e noventa e quatro centavos).

Após o primeiro momento de montagem, fabricação e testes iniciais, e levando em consideração o cenário futuro de realização de testes com maior fidelidade, a aquisição da biotinta específicas para fabricação de tecido cutâneo pode ser considerada. Como já mencionado anteriormente, são itens com um elevado custo. Segundo orçamento enviado pelo representante da Cellink no Brasil, a SOTELAB, a biotinta GelXA Skin 3 x 3ml tem o valor de R\$ 14.500,00, e a biotinta CELLINK Skin 5 x 3 ml custa R\$ 25.590,00.

#### **4.5.2. Lista de fabricante e fornecedores**

A Tabela 14 traz uma lista com alguns possíveis fabricantes e fornecedores de materiais e serviços, que podem ser acionados para suprir as necessidades de material, itens e peças do projeto.

Tabela 14 - Lista de Fornecedores e fabricantes.

LISTA DE FORNECEDORES E FABRICANTES				
Descrição	Área / Item	Página Web	Localização	Contato
SOTELAB	Biotinta	www.sotelab.com.br	São Paulo - SP	sotelab@sotelab.com.br (11) 3872-3064
Cellink		www.cellink.com	Estados Unidos	insidesales@cellink.com
Allevi		www.allevi3d.com	Estados Unidos	sales.allevi3d@3dsystems.com
Advanced BioMatrix		advancedbiomatrix.com	Estados Unidos	support@advancedbiomatrix.com
Actuonix	Atuador linear de passo	www.actuonix.com	Canadá	sales@actuonix.com
RobotShop		www.robotshop.com	Estados Unidos	supportcenter@robotshop.com
Vinitrônica		www.vinitronica.com.br	Goiânia - GO	contato@vinitronica.com.br
Palácio das Essências	Matéria-prima para teste	palacioidasessencias.com.br	Salvador - BA	contato@palacioidasessencias.com.br (71) 99660-0909
Adicel		www.adicel.com.br	Belo Horizonte - MG	sac@adicel.com.br (31) 3425-3999
CCP Parafusos e Ferramentas	Elementos de fixação	www.ccpvirtual.com.br	São Paulo - SP	vendasvirtual@ccpvirtual.com.br
Utilidades Clínicas	Reservatório e bico	www.utilidadesclinicas.com.br	São José - SC	orcamento@utilidadesclinicas.com.br
Loja NetLab	Itens de laboratório	www.lojanetlab.com.br	São Paulo - SP	vendas@lojanetlab.com.br (11) 2373-0040
Loja Prolab		www.lojaprolab.com.br	São Paulo - SP	vendas@prolab.com.br (11) 3939-5700
Polo de Inovação Salvador	Impressão 3D	portal.ifba.edu.br/polodeinovacaosalvador	Salvador - BA	poloinovacaosalvador@ifba.edu.br (71) 3221-0396

### **4.5.3. Detalhamento do Conjunto**

Finalizando a etapa de Projeto Detalhado as principais dimensões do sistema proposto são apresentadas. As Figuras 39 e 40 representam as vistas lateral e frontal da montagem do cabeçote adaptável para bioimpressão, respectivamente. As Figuras 41 e 42 representam as vistas frontal e superior da montagem da estrutura de estabilização da plataforma de deposição, respectivamente. A Figura 43 ilustra a estrutura de estabilização da plataforma de deposição em perspectiva isométrica. A Figura 44 ilustra o cabeçote adaptável para bioimpressão em perspectiva isométrica. Os itens normatizados e disponíveis comercialmente não terão as suas dimensões detalhadas e representadas nesse subtópico.

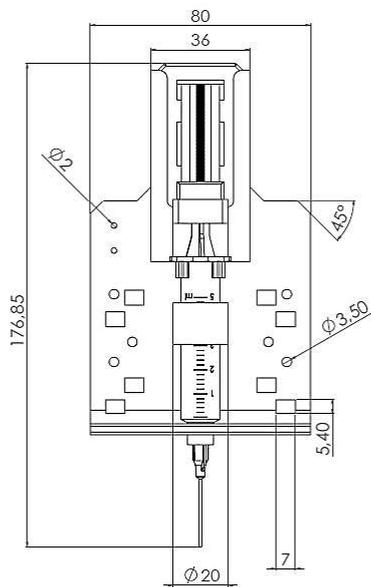


Figura 39 - Vista frontal da montagem do cabeçote adaptável para bioimpressão e suas principais dimensões.

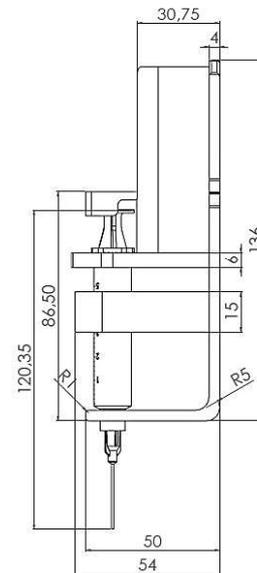


Figura 40 - Vista lateral da montagem do cabeçote adaptável para bioimpressão e suas principais dimensões.

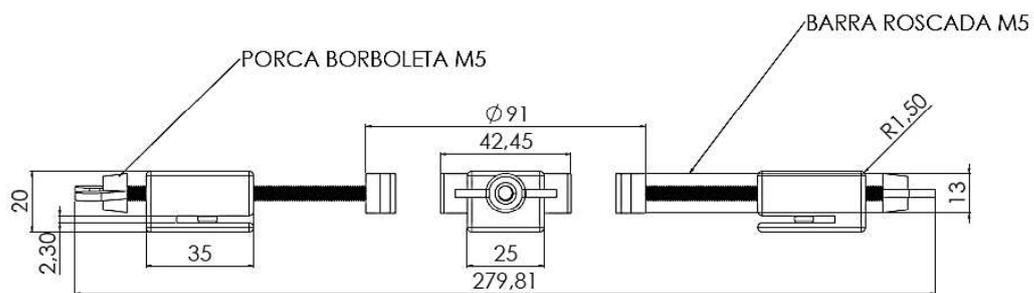


Figura 41 - Vista frontal da montagem da estrutura de estabilização da plataforma de deposição e suas principais dimensões.

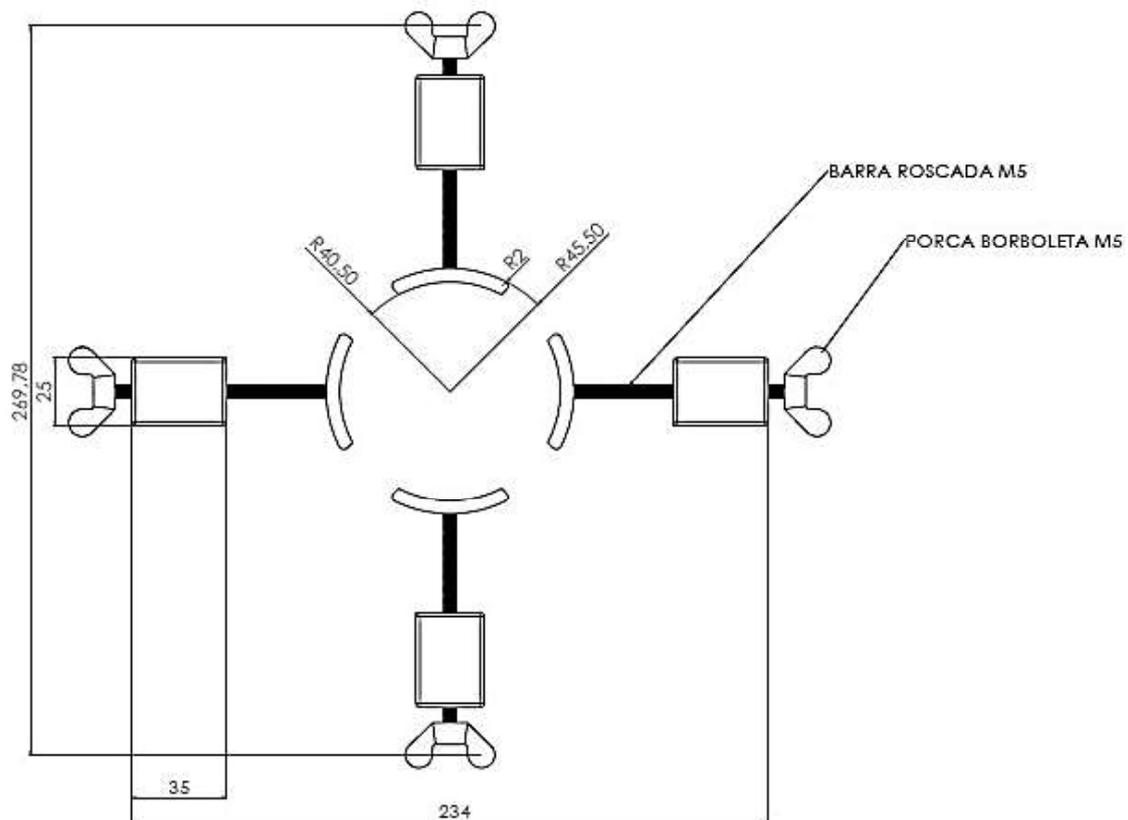


Figura 42 - Vista superior da montagem da estrutura de estabilização da plataforma de deposição e suas principais dimensões

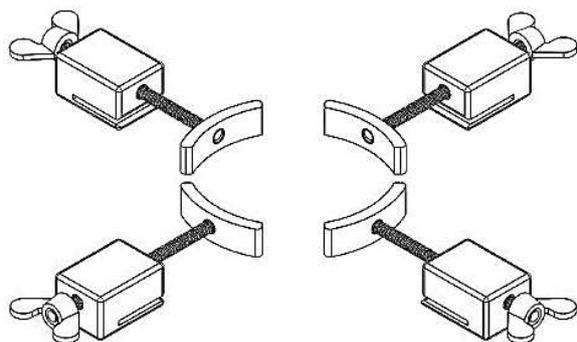


Figura 44 - Montagem da estrutura de estabilização da plataforma de deposição em perspectiva isométrica. Visualização em arestas externas.

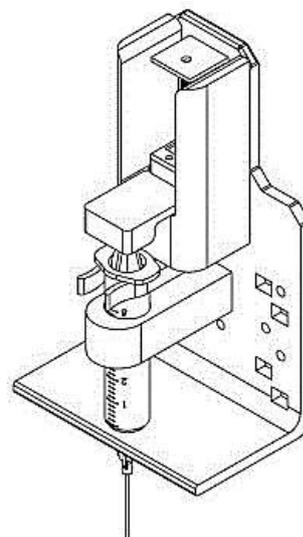


Figura 43 - Montagem do cabeçote adaptável para bioimpressão em perspectiva isométrica. Visualização em arestas externas.

## 5. PERSPECTIVAS FUTURAS

Os biomateriais são essenciais para a Engenharia Tecidual, sendo eles a base da composição das biotintas utilizadas na bioimpressão 3D, para aplicações como testes de drogas e cosméticos, fabricação de pastas alimentícias, medicina regenerativa com a fabricação de substitutos biológicos, no desenvolvimento de novos biomateriais e a fabricação de biomodelos 3D para pesquisa e estudo de doenças (MURPHY; ATALA, 2014).

Os biomateriais podem ser de origem sintética – Policaprolactona (PCL), Polietilenoglicol (PEG), Poli(óxido de etileno) (PEO) e Pluronic – ou natural – Alginato, Quitosana, Agarose, Ácido hialurônico, Colágeno, Gelatina, Fibrina (CHEN *et al.*, 2023) – e eles deve apresentar um comportamento mecânico adequado, possuir o mínimo de reação com o organismo e ser biocompatível (WIDU *et al.*, 1999). A bioimpressão e a aplicação bem-sucedida dos modelos fabricados dependem fortemente das propriedades das biotintas selecionadas. Alguns dos biomateriais utilizados na biofabricação de tecido cutâneo são quitosana, agarose, matriz descelularizada (dECM), ácido polilático (PLA) e álcool polivinílico (PVA) (CHEN *et al.*, 2023). A Figura 45 ilustra a relação de composição das biotintas – Biomaterial associados a células, biomoléculas e fatores de crescimento – aplicadas na bioimpressão 3D.

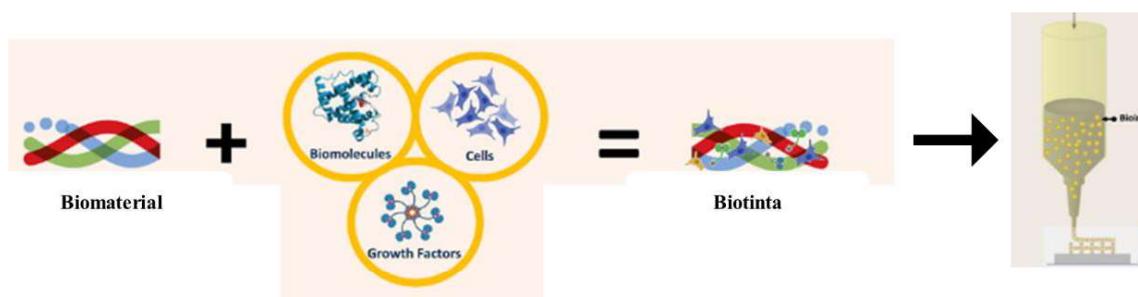


Figura 45 – Composição das biotintas. Adaptado (CHEN *et al.*, 2023).

As constantes demandas e a necessidade de utilização de técnicas e materiais alternativos, são fatores gerais que impulsionam os estudos envolvendo biomateriais de base biológica. Além disso, a utilização de recursos naturais envolve importantes

vantagens, como baixo custo, alta disponibilidade e poucos efeitos adversos quando comparados às drogas e materiais de base sintética (DA PENHA et al., 2017). Nesse contexto temos a pele da tilápia-do-nilo e o mastruz, ou erva-de-santa-maria, que são descritos na literatura como opções amplamente utilizadas na área médica, com aplicações na engenharia tecidual.

A tilápia-do-nilo – nome científico *Oreochromis niloticus* – é um peixe africano da família Cichlidae, conhecido pelos antigos egípcios já em 2000 a.C. Ela foi introduzida em várias regiões do mundo para consumo humano e é encontrada em ambientes salobros e de água doce. Reproduz o ano inteiro em regiões tropicais e é considerada uma espécie muito tolerante a variações ambientais (HORTO BOTÂNICO; MUSEU NACIONAL UFRJ, 2023). No Brasil – o quarto maior produtor mundial de tilápia – ela é um dos pescados mais cultivados, dominando 63,5% da produção do país (MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA, 2022). Com o grande consumo do pescado, ocorre também o aumento da quantidade de resíduos orgânicos provenientes da produção, entre eles a sua pele. Esse fato justifica também os estudos para o bom aproveitamento desse recurso (COSTA, 2019).

Os estudos para utilização da pele de tilápia como curativo para tratamento de pacientes vítimas de queimaduras foram iniciados por pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (LIMA-JUNIOR et al., 2017). Desde então, diversas pesquisas sobre o tema foram desenvolvidas (MILAGRES et al., 2023) (VAZ et al., 2020), e, ao longo dos anos, a eficácia da utilização da pele de tilápia foi fortemente comprovada, devido às suas propriedades mecânicas satisfatórias e similaridade à pele humana quanto à composição e arranjo das fibras colágenas (HERNÁNDEZ, 2020). Não apenas para o tratamento de queimaduras, mas também para uso em dermocosméticos (SÁNCHEZ TUESTA et al., 2021), no tratamento da síndrome de Rokitansky com a reconstrução do canal vaginal (DIAS, 2021) (LOPES et al., 2023), e na engenharia tecidual (LEAL, 2022) (HERNÁNDEZ, 2020) (JUSTINO, 2021) (MENEZES, 2020). Vale ressaltar que para o tratamento de queimaduras, a pele de tilápia é utilizada como curativo temporário (LIMA-JUNIOR et al., 2017), o que a diferencia da solução de biofabricação de substitutos de tecido cutâneo a partir da bioimpressão 3D.

Como estudo destaque, tem-se a Dissertação de Mestrado *Extração e Caracterização de Colágeno de Pele de Tilápia (Oreochromis Niloticus): Avaliação do Seu Potencial na Formulação De Hidrogéis Para Medicina Regenerativa*, onde JUSTINO (2021) descreve a extração de colágeno tipo I da pele de tilápia para composição da formulação de hidrogéis – biomateriais – utilizando PEG e quitosana, para aplicações na medicina regenerativa. Além disso, o autor realizou a avaliação desse material, comprovando a sua não toxicidade às células e a sua capacidade de utilização para adesão celular.

Entre as plantas medicinais, existe o mastruz – nome científico *Chenopodium ambrosioides L.* – é uma planta extremamente comum em regiões tropicais e subtropicais. Originária do México, e muito difundida na América Central e do Sul. No Brasil, o mastruz é por vezes considerada uma erva daninha. Suas principais indicações são: vermífuga, antiespasmódica, digestiva, antirreumática, anti-inflamatória, regeneradora do tecido ósseo, antipirética e antifúngica (FITOTERAPIA BRASIL, [s.d.]). A WHO possui *guidelines e good practices* sobre a Medicina Tradicional e a utilização de ervas medicinais para aplicações na área médica (WORLD HEALTH ORGANIZATION, [s.d.]), assim como o Ministério da Saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

Diversos estudos apresentam a utilização do mastruz para aplicações na área médica (SOUZA *et al.*, 2020) (TRINDADE *et al.*, 2021) (NAWOWE, 2023) (DA PENHA *et al.*, 2017), porém, estudos específicos sobre a sua utilização para desenvolvimento de materiais que possam ser aplicados na medicina regenerativa ainda são poucos, principalmente no Brasil. Na Dissertação de Mestrado *Desenvolvimento e Avaliação de Esferas de Quitosana/Dysphania Ambrosioides (L.) Mosyakin & Clemants Liofilizadas para Aplicação como Biomaterial*, RÉGIS (2018) descreveu o desenvolvimento de esferas compostas de quitosana e extrato alcóolico bruto de mastruz como um biomaterial para aplicações na área médica-odontológica com ênfase na regeneração óssea, explorando as propriedades anti-inflamatórias e cicatrizantes de ambos os materiais.

As propriedades incrivelmente atrativas e a disponibilidade abundante dos recursos naturais descritos abrem a possibilidade de desenvolvimento de novos estudos sobre biomateriais de base biológica para aplicação na medicina regenerativa e na bioimpressão

3D, explorando demandas para além das amplamente descritas atualmente na literatura. Esse pode ser um fator determinante para popularização da tecnologia e redução dos custos envolvidos no processo, pois traria a possibilidade de utilização de uma matéria-prima nacional e de menor custo, sendo uma opção aos materiais comerciais já existentes.

## 6. REFERÊNCIAS

ABREU, F. DE S. **QFD - Quality Function deployment: Requisitos Organizacionais Para Aplicação**. MSc Thesis—Fundação Getulio Vargas: [s.n.].

ALLEVI. **Bioprinting, Simplified | 3D Bioprinters & Bioinks**. Disponível em: <<https://www.allevi3d.com/>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS. **Registro Brasileiro de Transplantes - Ano XXVIII Nº 3**. [s.l: s.n.]. Acesso em: 29 jun. 2023.

ASTM INTERNATIONAL. Terminology for Additive Manufacturing - General Principles - Terminology. v. 10.04, 2 mar. 2022.

BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008.

BIOEDTECH. Disponível em: <<https://www.bioedtech.com.br/>>. Acesso em: 5 jul. 2022.

CELLINK. **BIOPRINTING PROTOCOL CELLINK SKIN**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.cellink.com/wp-content/uploads/2023/02/Bioprinting-Protocol-CELLINK-SKIN\\_2-Jan-2023.pdf](https://www.cellink.com/wp-content/uploads/2023/02/Bioprinting-Protocol-CELLINK-SKIN_2-Jan-2023.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2023.

CELLINK. **INKREDIBLE and INKREDIBLE+™**. Disponível em: <<https://www.cellink.com/bioprinting/inkredible-3d-bioprinter/>>. Acesso em: 5 jul. 2022.

CHEN, X. et al. Biomaterials / Bioinks and Extrusion Bioprinting. **Bioactive Materials**, v. 28, p. 511–536, 1 out. 2023.

CLAY, P. et al. **Métodos, Sistemas E Dispositivos Automatizados Para a Fabricação De Tecido.**, 1 ago. 2017.

COSTA, F. T. DA. **Extração De Colágeno Da Pele De Tilápia Do Nilo Com Protocolo Ácido**. Trabalho De Conclusão De Curso—Universidade Tecnológica Federal do Paraná: [s.n.].

DA PENHA, E. S. et al. Effect of *Chenopodium Ambrosioides* on the Healing Process of the in Vivo Bone Tissue. **Microscopy Research and Technique**, v. 80, n. 11, p. 1167–1173, 1 nov. 2017.

DERMYAH. **DERMYAH 3D**. Disponível em: <<http://dermyah3d.com.br/>>. Acesso em: 5 jul. 2022.

DEVLIN, J. A.; JAAKKO, M.; KESTI, J. **Sistema Estéril De Fabricação Aditiva.**, 10 nov. 2020.

DIAS, M. T. P. M. **Neovaginoplastia Com Pele De tilápia: Novo Enxerto Biológico Para Síndrome De Mayer-Rokitansky-Küster-Hauser.** MSc Thesis—UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ: [s.n.].

FEINBERG, A.; HINTON, T. **Additive manufacturing of embedded materials.**, 11 dez. 2018.

FITOTERAPIA BRASIL. **Dysphania Ambrosioides.** Disponível em: <<https://fitoterapiabrasil.com.br/planta-medicinal/dysphania-ambrosioides>>. Acesso em: 9 jul. 2023.

FONTANA, T. DA S. et al. Queimaduras no Brasil: Análise retrospectiva de internações e mortalidade. **Revista Brasileira De Queimaduras**, v. 19, p. 65–71, 24 ago. 2020.

FORGACS, G. et al. **Apparatus for Making Engineered Tissue Using self-assembling Cell Aggregates.** , 12 maio 2016.

GAO, C. et al. 3D bioprinting for fabricating artificial skin tissue. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 208, p. 112041, 1 dez. 2021.

GERSTL, J. et al. The Global Macroeconomic Burden of Burn Injuries. **Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open**, v. 9, n. 10S, p. 159–160, out. 2021.

GOLDSTEIN, T. A. et al. Feasibility of Bioprinting with a Modified Desktop 3D Printer. **Tissue Engineering Part C: Methods**, v. 22, n. 12, p. 1071–1076, dez. 2016.

GRIP, M. et al. **3D Bioprinter.**, 1 out. 2019.

HERNÁNDEZ, E. N. M. **Desenvolvimento De Matriz Extracelular Descelularizada (Scaffold) De Pele De Tilápia Como Novo Biomaterial Para Aplicação Em Medicina Regenerativa**. MSc Thesis—UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ: [s.n.].

HORTO BOTÂNICO; MUSEU NACIONAL UFRJ. **Horto Botânico | Museu Nacional - UFRJ**. Disponível em: <https://museunacional.ufrj.br/hortobotanico/Peixes/Oreochromis%20niloticus.html>. Acesso em: 9 jul. 2023.

JAVAID, M.; HALEEM, A. 3D bioprinting applications for the printing of skin: A brief study. **Sensors International**, v. 2, p. 100123, 2021.

JUSTINO, M. A. **EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COLÁGENO DE PELE DE TILÁPIA (OREOCHROMIS NILOTICUS): AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL NA FORMULAÇÃO DE HIDROGÉIS PARA MEDICINA REGENERATIVA**. MSc Thesis—Universidade Federal do Rio Grande do Sul: [s.n.].

LEAL, B. B. J. **Desenvolvimento de um biomaterial a partir de colágeno de pele de tilápia para utilização como enxerto vascular em doenças arteriais periféricas**. MSc Thesis—Universidade Federal do Rio Grande do Sul: [s.n.].

LI, Z. B.; HUANG, S.; FU, X. 3D bioprinting skin. In: THOMAS, D. J.; JESSOP, Z. M.; WHITAKER, I. S. (Eds.). **3D Bioprinting for Reconstructive Surgery Techniques and Applications**. [s.l.] Woodhead Publishing, 2018. p. 367–376.

LIMA-JUNIOR, E. M. et al. Uso Da Pele De Tilápia (*Oreochromis niloticus*), Como Curativo Biológico oclusivo, No Tratamento De Queimaduras. **repositorio.ufc.br**, 1 jun. 2017.

LOPES, B. O. et al. SISTEMATIZAÇÃO DA ASSISTÊNCIA DE ENFERMAGEM a UMA PACIENTE COM SÍNDROME DE INSENSIBILIDADE ANDROGÊNICA COMPLETA SUBMETIDA a CIRURGIA DE NEOVAGINA COM PELE DE TILÁPIA. In: KLAUSS, J. (Ed.). **O CUIDAR EM ENFERMAGEM NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO HUMANO: PRÁTICA E PESQUISA**. [s.l.: s.n.]. p. 97–109.

MATSOS, S.; ALLEVI BY 3D SYSTEMS. **Fibroblast Bioprinting Protocol |**

**Materials & Methods | Protocols.** Disponível em:

<<https://www.allevi3d.com/fibroblast-bioprinting-protocol/>>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MENEZES, M. DO L. L. R. **Hidrogéis De Colágeno Extraído De Pele De Tilápia Do Nilo Com Potencial Aplicação Na Engenharia De Tecidos.** MSc Thesis—UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ: [s.n.].

MILAGRES, A. O. et al. O USO DA PELE DE TILÁPIA DO NILO COMO CURATIVO OCLUSIVO TEMPORÁRIO NO TRATAMENTO DE QUEIMADURAS TÉRMICAS: REVISÃO SISTEMÁTICA. **REVISTA INTERDISCIPLINAR CIÊNCIAS MÉDICAS**, v. 6, n. 2, p. 60–67, 17 fev. 2023.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. **Tilápia: conheça a versatilidade desse peixe de água doce.** Disponível em: <<https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/noticias/tilapia-conheca-a-versatilidade-desse-peixe-de-agua-doce>>. Acesso em: 9 jul. 2023.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Política E Programa Nacional De Plantas Medicinais E Fitoterápicos.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/politica\\_programa\\_nacional\\_plantas\\_medicinais\\_fitoterapicos.pdf](https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/politica_programa_nacional_plantas_medicinais_fitoterapicos.pdf)>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. **Banco de Pele começa a funcionar no Into.** Disponível em: <<https://www.gov.br/sau.gov.br/pt-br/assuntos/noticias/2017/abril/banco-de-pele-comeca-a-funcionar-no-into>>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. **Brasil envia pele humana para vítimas de acidente no Peru.** Disponível em: <<https://www.gov.br/sau.gov.br/pt-br/assuntos/noticias/2020/janeiro/brasil-envia-pele-humana-para-vitimas-de-acidente-no-peru>>.

MONTERO, F. E. et al. Development of a Smart Bioink for Bioprinting Applications. **Frontiers in Mechanical Engineering**, v. 5, 27 set. 2019.

MURPHY, S. V.; ATALA, A. 3D bioprinting of tissues and organs. **Nat Biotechnol**, v. 32, n. 8, p. 773–785, 5 ago. 2014.

NATARAJAN, J. A. **Multi-dimensional bioprinting system.**, 21 jan. 2020.

NAWOE, R. S. **Constituição química da *Chenopodium ambrosioides* L. (Mastruz/Erva-de-Santa-Maria) e sua correlação farmacoterapêutica no tratamento de Leishmaniose: Revisão bibliográfica.** Trabalho de Conclusão de Curso—Universidade Federal de São Paulo: [s.n.].

ORGILL, D. P.; BLANCO, C. Introduction: development of skin substitutes. **Biomaterials for Treating Skin Loss: a Volume in Woodhead Publishing Series in Biomaterials**, p. 3–8, 1 jan. 2009.

OZBOLAT, I. T. et al. **Bioprinter and methods of using same.**, 6 out. 2016.

OZBOLAT, I.; YU, Y. Bioprinting Toward Organ Fabrication: Challenges and Future Trends. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 60, n. 3, p. 691–699, mar. 2013.

PEREIRA, M. D. M.; DA SILVA, A. R. P.; DE GOES, A. M. **Câmara De Perfusão De Cultivo Tridimensional Para a Engenharia De Tecidos.**, 19 ago. 2014.

PERSAUD, A. et al. 3D Bioprinting with Live Cells. **Engineered Regeneration**, v. 3, n. 3, p. 292–309, 1 set. 2022.

POIETIS. **Poietis**. Disponível em: <<https://poietis.com/>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Guide to the Project Management Body of Knowledge**. 7. ed. Pennsylvania: Project Management Institute, 2021.

RÉGIS, M. DE A. **DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ESFERAS DE QUITOSANA/DYSPHANIA AMBROSIOIDES (L.) MOSYAKIN & CLEMANTS LIOFILIZADAS PARA APLICAÇÃO COMO BIOMATERIAL.** Trabalho de Conclusão de Curso—UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE: [s.n.].

ROMEIRO, E. et al. **Projeto do produto**. [s.l.] Elsevier Brasil, 2013.

ROZENFELD, H. et al. **GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**. [s.l.] Saraiva Educação S.A., 2017.

SÁNCHEZ TUESTA, L. et al. Avaliação preliminar da segurança do n-butanol do processo de extração de colágeno e do extrato de colágeno da pele de *Oreochromis niloticus* (tilápia) para uso dermocosmético. **recil.ensinolusofona.pt**, 2021.

SAYGILI, E. et al. 3D bioprinting: A powerful tool to leverage tissue engineering and microbial systems. **Bioprinting**, v. 18, p. e00071, jun. 2020.

SOUZA, C. K. A. DE C. DE et al. O USO DO MASTRUZ COMO AGENTE CICATRIZANTE EM FERIDAS CUTÂNEAS. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 78–78, 1 dez. 2020.

SUNDARAMURTHI, D.; RAUF, S.; HAUSER, C. 3D bioprinting technology for regenerative medicine applications. **International Journal of Bioprinting**, v. 2, n. 2, 29 jun. 2016.

TRELLO. **Trello**. Disponível em: <<https://trello.com/>>.

TRINDADE, G. D. et al. Efeitos de extrato em gel de *Chenopodium ambrosioides* L. (mastruz) no tratamento de lesões ósseas de ratas osteoporóticas. **Revista Eletrônica Acervo Odontológico**, v. 3, 13 abr. 2021.

VAZ, L. C. et al. EXTRAÇÃO DO COLÁGENO A PARTIR DE PELE DE PEIXE DA ESPÉCIE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) DO RIO E REPRESA. **conhecer.org.br**, v. 7, 10 dez. 2020.

WIDU, F. et al. Corrosion and Biocompatibility of Orthodontic Wires. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 10, n. 5, p. 275–281, 6 maio 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Burns**. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/burns>>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Search results - WHO**. Disponível em: <<https://www.who.int/home/search?indexCatalogue=genericsearchindex1&searchQuer>>

[y=herbal%20medicines&wordsMode=AnyWord>](#). Acesso em: 9 jul. 2023.

YOST, M. J. et al. **Multidispensor cartesian robotic printer.**, 19 set. 2017.

ZIEGLER, M.; WIDGEROW, A. D.; EVANS, G. Stem cell research in tissue engineering and translational medicine. **Tissue Engineering: Current Status and Challenges**, p. 157–172, 1 jan. 2022.

## CONCLUSÕES

A versatilidade na utilização da Manufatura Aditiva em diversas áreas já está estabelecida. Na Medicina, sua aplicação vai desde seja na fabricação de modelos anatômicos para treinamento e planejamento de intervenções cirúrgicas até a fabricação de tecido vivo, caracterizando a bioimpressão 3D. Em meio a uma crescente evolução científica e tecnológica, o surgimento de soluções alternativas para desafios existentes se faz necessário, devido às demandas contínuas, principalmente na área da saúde. Além de ser uma alternativa para transplantes totais ou parciais, a bioimpressão 3D é explorada para confecção de implantes médicos, testes de medicamentos e desenvolvimento de tratamentos individualizados para doenças graves. As formas mais complexas de aplicação da tecnologia são principalmente caracterizadas pelos elevados custos de aquisição de equipamentos específicos e com a manutenção dos mesmos, além da necessidade de mão de obra especialmente qualificada.

O Projeto Sistema de Bioimpressão com Cabeçote Adaptável para Impressoras 3D FDM foi idealizado com o objetivo de desenvolver uma solução alternativa para a fabricação de substitutos biológicos de tecido cutâneo para atender vítimas de queimaduras e de lesões graves. Segundo informações levantados nas pesquisas realizadas ao longo do desenvolvimento do projeto, queimaduras não fatais são uma das principais causas de morbidade, incluindo hospitalização prolongada, incapacidade, cicatrizes hipertróficas, contraturas, amputações, muitas vezes resultando em estigma e rejeição. Elas estão entre as feridas traumáticas mais caras, devido ao longo tempo de hospitalização e reabilitação, além dos altos custos envolvidos no tratamento de cicatrizes pós-lesão.

A solução proposta tem como princípio construtivo a substituição do cabeçote tradicional de uma impressora 3D FDM de pequeno porte pelo cabeçote adaptável para bioimpressão, transformando o equipamento base em uma bioimpressora por extrusão.

O desenvolvimento do projeto utilizou como base algumas metodologias, sendo a principal delas o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), proposta por

ROZENFELD e outros autores. Dessa forma, dividiu-se o projeto em cinco etapas: Planejamento do Projeto, Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado.

Na fase de Planejamento do Projeto, foram utilizadas ferramentas de gestão com o objetivo principal de organizar todas as atividades a serem realizadas ao longo do projeto, além de fornecer boa visualização e setorização do projeto como um todo.

No Projeto Informacional foram coletadas informações importantes do campo de aplicação da solução, através de uma completa pesquisa de anterioridade nas bases científicas e de propriedade intelectual e pesquisa de mercado. As informações reunidas contribuíram fortemente para o desenvolvimento da fase de Projeto Conceitual, onde foram definidos os princípios de solução para as funções global e parciais, e o arranjo esquemático das partes que constituem a solução. Nessa fase foram elaboradas a matriz QFD, matriz morfológica e realizada a modelagem inicial do sistema.

No Projeto Preliminar foi detalhada todo o processo de obtenção do projeto 3D em sua versão final do cabeçote adaptável para bioimpressão e da estrutura de estabilização da plataforma de deposição, utilizando software CAD. Foram também especificados os componentes necessários para construção do protótipo e realizado um estudo de movimento em software CAE para validar virtualmente o modelo projetado. Já na fase de Projeto Detalhado, elaborou-se a lista de materiais e serviços, descrevendo os custos totais envolvidos na construção de um protótipo do sistema. Foi descrita também uma lista de possíveis fornecedores para atender futuras necessidades. O detalhamento técnico do cabeçote adaptável para bioimpressão e da estrutura de estabilização da plataforma de deposição também foram apresentados.

No projeto preliminar, o uso de um software CAE ajudou bastante para o desenvolvimento do mecanismo pantográfico e estrutural, visto que foi possível simular suas movimentações e esforços presentes no mecanismo e estrutura. Já no projeto detalhado, destaca-se a construção de uma lista de fornecedores, fabricantes e estimativa inicial do custo de um protótipo em escala real, permitindo a tomada de decisão para construção de um protótipo escala.

Finalizando todas as fases do processo de desenvolvimento de produto e ratificando o caráter inovador e viabilidade técnica da solução, foi escrito o relatório descritivo da patente de invenção, preparando-a para depósito junto ao INPI.

É possível avaliar que os objetivos do presente projeto foram alcançados, e, importante também traçar os próximos passos, que irão resultar na construção de um protótipo funcional e preparado para testes e possíveis desdobramentos almejando a sua maturidade. Entre esses próximos passos e trabalhos futuros, podem-se destacar: conferência dos materiais adquiridos para construção do protótipo, realização de testes de bancada, realização de testes com biotinta, ajustes necessários e validação dos diferenciais descritos. Vale ressaltar também o interesse na elaboração de artigos científicos para submissão, aproveitando o conhecimento adquirido ao longo do desenvolvimento do projeto.