



RAQUEL  
SANCHES SOUSA

# **Análise da Necessidade de Dispositivos Médicos e Criação de um Plano de Negócios para uma Start-Up na Área da Impressão 3D**

Relatório de Projeto de Intervenção de Mestrado  
em Engenharia Biomédica

## **ORIENTADOR**

Professor Doutor Rui Mansidão

## **COORIENTADOR**

Professor Doutor Célio Pina

Dezembro 2025



**JÚRI**

Professora Doutora Helena Caria

## **Agradecimentos**

Serve a presente secção para exprimir o meu profundo agradecimento, a todos aqueles que, de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço ao Politécnico de Setúbal por me permitir o acesso aos estudos ao longo de todos estes anos e me ter gratificado com a oportunidade de adquirir todos os conhecimentos necessários para que no futuro, possa desempenhar um papel importante e profissional no mundo do trabalho. Agradeço também o acesso que me foi fornecido pela Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, a todas as plataformas necessárias para a realização de estudos e trabalhos, de modo a aumentar o meu sucesso universitário.

Ao Professor Doutor Rui Mansidão e ao Professor Doutor Célio Pina, agradeço a orientação prestada não só ao longo deste ano, mas também no decorrer de todos os anos letivos. Neste mesmo ramo, não posso deixar de agradecer também a todos os docentes envolvidos neste percurso, por me transmitirem os conhecimentos necessários ao meu desenvolvimento enquanto Engenheira Biomédica, em especial, à professora Carla Carneiro, por ter despendido do seu tempo para me dar sugestões que me ajudaram bastante a terminar o meu trabalho.

Um obrigada especial à minha melhor amiga Patrícia Batista, por todo o apoio e todos os momentos partilhados nos últimos anos. Obrigada, por todas as vezes em que me ajudaste, por todas as vezes em que me fizeste acreditar que eu era capaz mesmo quando eu não acreditava nisso. Sem ti nada disto teria sido possível. Serás para sempre a minha pessoa preferida e estarei para sempre, grata pela tua presença.

Obrigada ao Miguel Cruz por ser um amigo incrível e ter ouvido todos os meus desabafos e momentos de desespero. Obrigada a todos os meus colegas de equipa, em especial à Ana Dedeiras e à Catarina Dias, por me fazerem sentir em casa quando estou no trabalho (ou até mesmo fora dele), por me darem vontade de (mesmo cansada e com a cabeça a mil) ir trabalhar, por apoiarem de perto todo este percurso nervoso e cansativo e estarem sempre comigo, mesmo nos dias mais difíceis. Obrigada à Joana Silva e à Érica Mendes, por deixarem o meu coração sempre mais quentinho. Obrigada a estas amizades incríveis, é um pouco devido a elas que me encontro a concluir esta etapa.

Obrigada aos meus familiares, nomeadamente aos meus pais e à minha irmã, pela presença e amor incondicional que me deram, não só ao longo deste percurso, mas em

toda a vida. Obrigada por acreditarem sempre no meu potencial, espero que estejam orgulhosos.

Por fim, obrigada a mim mesma, pela persistência em todos os (muitos) dias em que acreditei fortemente não ser capaz de terminar esta fase, todas as noites mal dormidas para conciliar este projeto com o trabalho e o medo de não conseguir deixar os meus orgulhosos. Foi possível, consegui! Obrigada.

## **Resumo**

O presente projeto tem como principais objetivos, analisar as necessidades de mercado da área médica que podem ser colmatadas através da Manufatura Aditiva e desenvolver um plano de negócios para a criação de uma Start-Up na área dos cuidados de saúde, capaz de produzir ortóteses personalizadas por impressão 3D, que irão trazer aos seus portadores, uma melhor recuperação e conforto. A metodologia envolveu pesquisa de mercado, análise de possibilidades técnicas e económicas, para além da aplicação de estratégias de marketing digital e presencial. Destacou-se a importância da personalização, redução de custos e tempo de produção, contribuindo para soluções mais eficientes e acessíveis e o fortalecimento de parcerias de forma a garantir a viabilidade e sustentabilidade da proposta em questão.

**Palavras-chave:** Manufatura Aditiva, Impressão 3D, Ortóteses, Start-Up, Inovação

## **Abstract**

The main objectives of this project are to analyze the market needs in the medical field that can be met through Additive Manufacturing and to develop a business plan for the creation of a Start-Up in the healthcare sector, capable of producing customized orthoses using 3D printing, which will provide their users with better recovery and comfort. The methodology involved market research, analysis of technical and economic possibilities, as well as the application of digital and face-to-face marketing strategies. The importance of customization, cost reduction, and production time was highlighted, contributing to more efficient and accessible solutions and the strengthening of partnerships in order to ensure the viability and sustainability of the proposal in question.

**Key-words:** Additive Manufacturing, 3D Printing, Orthotics, Start-Up, Innovation

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT .....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS .....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIV
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. OBJETIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. IMPRESSÃO 3D E ENGENHARIA BIOMÉDICA .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1. <i>Processos de Manufatura Aditiva</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.2. <i>Materiais Utilizados</i> .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3. <i>Aplicações da Impressão 3D na Engenharia Biomédica</i>.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. MODELOS DE NEGÓCIOS NA ÁREA DA SAÚDE.....</b>	<b>26</b>
<b>3. PLANO DE NEGÓCIOS.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1. ANÁLISE DE MERCADO.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.1. <i>Dados Primários</i> .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.2. <i>Dados Secundários</i> .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. MODELO DE NEGÓCIO .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO .....</b>	<b>47</b>
<b>4. DIVULGAÇÃO DO PRODUTO .....</b>	<b>49</b>
<b>5. CUSTOS E RENTABILIDADE .....</b>	<b>52</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

## Lista de Figuras

Figura 2.1: Esquema do processo de Fabrico Aditivo (Mughir, 2022) .....	6
Figura 2.2: Técnicas de Fabrico Aditivo (Mughir, 2022).....	12
Figura 2.3: Exemplos de ortóteses produzidas por impressão 3D (V., 2022) .....	23
Figura 2.4: Crescimento das exportações no setor da saúde em Portugal (Invest in Portugal, 2024) .....	30
Figura 2.5: Participação dos principais mercados de exportações portuguesas de produtos de saúde (Invest in Portugal, 2024) .....	31
Figura 2.6: Crescimento do número de Start-Ups em saúde em Portugal (Invest in Portugal, 2024) .....	32
Figura 3.1: Qual o seu papel na loja? .....	34
Figura 3.2: Quantos anos tem o estabelecimento? .....	34
Figura 3.3: Com que frequência vende ortóteses?.....	35
Figura 3.4: Que tipo de ortóteses são mais procuradas pelos seus clientes?.....	35
Figura 3.5: Como classifica o interesse dos seus clientes por produtos personalizados? .....	36
Figura 3.6: Já ouviu falar de ortóteses produzidas por impressão 3D? .....	36
Figura 3.7: Que vantagens vê em ortóteses feitas por impressão 3D? .....	37
Figura 3.8: Que preocupação teria ao introduzir ortóteses por impressão 3D na sua loja? .....	37
Figura 3.9: Estaria interessado em vender ortóteses feitas por impressão 3D se fossem fabricadas por uma empresa nacional com certificação? .....	37
Figura 3.10: Estaria interessado em participar num projeto de inovação com acesso a ortóteses fabricadas por impressão 3D .....	38
Figura 3.11: Países mais envolvidos no avanço da Impressão 3D (Rehman et al., 2023) .....	41
Figura 3.12: Progressão anual no mercado global de Impressão 3D (Rehman et al., 2023) .....	42
Figura 3.13: Modelo Canva aplicado ao presente projeto .....	46
Figura 3.14: Fluxograma representativo das etapas de desenvolvimento de uma ortótese personalizada por MA (Alrasheedi et al., 2025).....	47
Figura 3.15: Exemplo de ortótese personalizada para membro inferior (Lavigne, 2021) .....	48

Figura 4.1: Estratégia de divulgação do produto em três eixos complementares (Beaulieu & Lehoux, 2018) .....	49
--	----

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Principais vantagens e desvantagens do FC e do MA (Peron et al., 2024) ...	7
Tabela 2.2: Principais normas a ter em consideração no FC e MA (ISO: Global Standards for Trusted Goods and Services, 2025) .....	8
Tabela 2.3: Vantagens e desvantagens dos métodos de Impressão 3D (Shahrubudin et al., 2019).....	17
Tabela 2.4: Materiais utilizados de acordo com o método de fabrico (Mughir, 2022) ..	20
Tabela 2.5: Materiais e as suas aplicações na área da Biomédica (Trindade et al., 2024) .....	24
Tabela 2.6: Principais tipos de modelos de negócio e em que consiste cada um deles (Lokman & Chahine, 2020; Sodiq Odetunde Babatunde, 2024).....	27
Tabela 3.1: Potencial e risco de investimento da impressão 3D em áreas médicas (Álvarez-Chimal et al., 2025; Javaid et al., 2022; Jun et al., 2025; Kermavnar et al., 2021; Prządka et al., 2025) .....	43
Tabela 4.1: Plano estruturado da implementação da estratégia de divulgação (Beaulieu & Lehoux, 2018).....	51
Tabela 5.1: Estimativa de custos iniciais.....	52
Tabela 5.2: Custo dos produtos vendidos.....	55
Tabela 5.3: Rendimento.....	55
Tabela 5.4: Demonstração de resultados previstos.....	56
Tabela 5.5: Cash flow estimado .....	57
Tabela 5.6: Avaliação económica do projeto .....	58

## **Lista de Siglas e Acrónimos**

ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonítrila Butadieno Estireno)

ADN: Ácido Desoxirribonucleico

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para Testes e Materiais)

BJ: Binder Jetting (Jato de Tinta)

CAD: Computer-Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

CAE: Computer-Aided Engineering (Engenharia Assistida por Computador)

CEO: Chief Executive Officer (Diretor Executivo)

CMVMC: Custo das Mercadorias Vendidas e Matérias Consumidas

CNC: Computer Numerical Control (Controlo Numérico Computorizado)

COVID-19: CoronaVirus Disease 2019 (Doença Causada pelo Coronavírus, Identificada em 2019)

DED: Directed Energy Deposition (Deposição de Energia Direcionada)

DLP: Digital Light Processinh (Processamento de Luz Digital)

DMLM: Direct Metal Laser Melting (Fusão Direta a Laser de Metal)

DMLS: Direct Metal Laser Sintering (Sinterização Direta a Laser de Metal)

EBM: Electron Beam Melting (Fusão por Feixe de Eletrões)

EIT: European Institute of Innovation and Technology (Instituto Europeu de Inovação e Tecnologia)

ELSA: Ethical, Legal and Social Aspects (Aspetos Éticos, Legais e Sociais)

ERS: Entidade Reguladora da Saúde

EUA: Estados Unidos da América

FC: Fabrico Convencional

FSE: Fornecimento e Serviços Externos

IR: Índice de Rentabilidade

ISO: International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)

LOM: Laminated Object Manufacturing (Fabrico de Objetos Laminados)

MA: Manufatura Aditiva

MDF: Modelação por Deposição Fundida

MIT: Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)

MJ: Material Jetting (Jato de Material)

NEST: New Emerging Science and Technology (Ciência e Tecnologia Emergente)

PBF: Powder Bed Fusion (Fusão em Leito de Pó)

PC: Preço de Custo

PCL: Polycaprolactone (Polivaprolactona)

PE: Polyethylene (Polietileno)

PETG: Polyethylene Terephthalate Glycol (Polietileno Tereftalato Glicol)

PLA: Polylactic Acid (Ácido Polilático)

PP: Polypropylene (Polipropileno)

PPP: Parcerias Público-Privadas

PRI: Período de Recuperação do Investimento

PV: Preço de Venda

SLA: Stereolithography (Estereolitografia)

SLM: Selective Laser Melting (Fusão Seletiva a Laser)

SLS: Selective Laser Sintering (Sinterização Seletiva a Laser)

SNS: Serviço Nacional de Saúde

STL: Standard Tessellation Language (Linguagem Padrão)

TIR: Taxa Interna de Rentabilidade

TPU: Thermoplastic Polyurethane (Poliuretano Termoplástico)

UV: Ultravioleta

VAL: Valor Atual Líquido

VAM: Vat Additive Manufacturing (Fabricação Aditiva por Ultrassom)

## **Lista de Símbolos**

3D: Three Dimentsional (Tridimensional)

2D: Two Dimensional (Bidimensional)

%: Percentagem

€: Euro

# 1. Introdução

## 1.1. Introdução Teórica

Os dispositivos médicos são instrumentos de saúde importantes que englobam um vasto conjunto de produtos e podem ser utilizados, tanto por profissionais, como por não profissionais. Segundo o Infarmed, “um dispositivo médico define-se como qualquer instrumento, aparelho, equipamento, material ou artigo destinado a ser usado no corpo humano cujo principal efeito pretendido não seja alcançado por meios farmacológicos, imunológicos ou metabólicos para fins de: diagnóstico, prevenção, monitorização, tratamento ou atenuação de uma doença, de uma lesão ou de uma deficiência; investigação, substituição ou modificação da anatomia ou de um processo fisiológico.” (INFARMED, 2008)

A evolução tecnológica tem desempenhado um papel crucial na transformação de todos os setores, e tal como expectável, o setor da saúde não é exceção, portanto, nos últimos anos foi possível assistir a um avanço significativo no desenvolvimento de dispositivos médicos, impulsionado por constantes inovações que procuram melhorar a eficácia dos tratamentos e consequentemente, a qualidade de vida dos pacientes. Desde a introdução de tecnologias minimamente invasivas até à personalização de tratamentos, a integração de ferramentas e técnicas tem permitido que os profissionais de saúde ofereçam soluções mais precisas e adaptadas às necessidades individuais dos pacientes, refletindo não apenas o progresso científico, como também a crescente procura por cuidados de saúde com maior qualidade e acessibilidade (Silva et al., 2021).

Dentro do contexto, a Manufatura Aditiva (MA) surge como uma tecnologia emergente com um potencial transformador na criação de produtos para o setor da saúde, revelando-se uma abordagem inovadora e um motor de desenvolvimento económico, que permite a produção de dispositivos médicos personalizados que podem ser adaptados às especificidades anatómicas de cada paciente resultando em tratamentos mais eficazes e cómodos, uma vez que o mesmo não só possibilita a criação de implantes e próteses à medida, mas também abre novas possibilidades para a impressão de tecidos e órgãos, revolucionando a forma como abordamos a medicina regenerativa. A capacidade de produzir em pequena escala e com alta precisão torna esta tecnologia uma ferramenta

valiosa para enfrentar os desafios atuais na saúde e promover a inovação e personalização no atendimento ao paciente (Patel et al., 2024; Silva et al., 2021).

Os materiais utilizados têm de apresentar alta biocompatibilidade. A utilização de materiais biodegradáveis reduz o impacto ambiental, minimizando a liberação de resíduos plásticos e apoia a preservação do ecossistema, sendo considerada uma tecnologia que procura criar dispositivos médicos personalizados e seguros, promovendo a sustentabilidade ambiental e o acesso à saúde de forma inclusiva (Soares do Nascimento et al., 2025).

A criação de empresas na área da MA é de extrema importância, especialmente considerando que à medida que a população envelhece e as doenças crônicas se tornam mais prevalentes, a necessidade de tratamento personalizado e eficaz cresce e uma empresa nesta área pode atender a essas mesmas necessidades e exigências, desenvolvendo produtos médicos que se ajustem à anatomia de cada paciente como próteses ou implantes, permitindo a produção de modelos anatômicos que auxiliem o planejamento cirúrgico (aumentando a precisão e segurança dos procedimentos) e também, contribuindo para o desenvolvimento de novos materiais e técnicas, e consequentemente para a criação de dispositivos mais leves, resistentes e biocompatíveis, que atendam melhor às necessidades tanto dos profissionais de saúde como dos pacientes. A flexibilidade deste processo de fabricação permitirá que as empresas respondam rapidamente às mudanças na procura do mercado (como a necessidade de equipamentos médicos durante crises de saúde pública, como foi o caso da pandemia COVID-19), podendo a sua rapidez de resposta, ser um diferencial competitivo significativo (Patel et al., 2024; Silva et al., 2021).

No entanto, para que as empresas, especialmente as Start-Ups, possam capitalizar sobre essas inovações é fundamental que desenvolvam planos de negócios robustos e bem estruturados que delineiem não só a visão e os objetivos da empresa, mas também, que identifiquem oportunidades de mercado, analisem a concorrência e estabeleçam estratégias financeiras e operacionais. No ambiente competitivo atual, onde a agilidade e a capacidade de adaptação são essenciais, um plano de negócios sólido pode ser a diferença entre o sucesso e o fracasso (Patel et al., 2024).

Tal como previamente mencionado, na criação de uma empresa é bastante importante definir planos de negócios de maneira a delinear estratégias e, portanto, os mesmos podem

incluir três etapas cruciais à sua formação e evolução: a iniciação, a execução e a extensão. A iniciação é, tal como o nome indica, a etapa inicial onde as empresas começam por explorar as oportunidades de mercado e a entender melhor o ecossistema onde operam. Durante essa fase, são analisados os *stakeholders* (pessoas, grupos ou organizações que têm interesse ou são afetadas pelas atividades, decisões e resultados de uma empresa ou projeto) relevantes e como as suas interações podem contribuir para a criação de valor. O artigo Rong et al. (2018) destaca que a análise cuidadosa do ecossistema é fundamental para identificar como as empresas se podem posicionar e quais as parcerias que podem ser formadas de maneira que o seu potencial de sucesso seja maximizado (Rong et al., 2018).

Na etapa de execução as empresas procuram implementar os seus modelos de negócios e começam a operar no mercado de acordo com as diretrizes estabelecidas na fase de iniciação. A flexibilidade é essencial uma vez que as empresas precisam de se adaptar rapidamente às mudanças na procura de mercado e nas condições operacionais (Rong et al., 2018).

A extensão envolve a evolução do plano de negócios, onde as empresas procuram expandir as suas ofertas, seja introduzindo novos produtos, seja ampliando as suas plataformas. A capacidade de extensão é importante, uma vez que permite que as empresas se adaptem e cresçam em resposta às mudanças no mercado e nas tecnologias emergentes (Rong et al., 2018).

As capacidades de escalabilidade, flexibilidade e extensibilidade são fundamentais no desenvolvimento destes planos de negócio, independentemente da área da empresa, sendo: a escalabilidade referente à capacidade de uma empresa em aumentar a sua produção e operações sem que haja um aumento proporcional nos custos (uma vez que é necessária a capacidade de resposta aos pedidos crescentes de produtos personalizados) permitindo que as mesmas aproveitem economias de escala tornando-se assim, mais competitivas no mercado; a flexibilidade, pode representar-se pela capacidade de uma empresa em adaptar-se rapidamente a mudanças nas condições do mercado ou nas preferências dos consumidores (a tecnologia e a procura do cliente estão em constante evolução e este parâmetro permite que as empresas ajustem as suas ofertas e processos de produção de maneira ágil), o que é algo crucial num setor onde a inovação é rápida e as expectativas dos clientes podem mudar rapidamente; a extensibilidade, referente à capacidade que um plano de negócios tem em expandir de maneira a incluir novos

produtos, serviços ou mercados (pode significar a adição de novas linhas de produtos ou a exploração de novos segmentos de mercado), sendo vital para uma sustentabilidade a longo prazo uma vez que permite que as empresas se adaptem à mudança nas necessidades dos consumidores e aproveitem novas oportunidades de crescimento (Patel et al., 2024; Rong et al., 2018; Silva et al., 2021).

A estrutura do ecossistema de negócios tem um grande impacto na dinâmica dos planos de negócios e podem destacar-se diferentes tipos de ecossistemas, os baseados em produtos que tendem a ser mais focados (tal como o nome indica) em produtos específicos e podem ter menos *stakeholders* envolvidos permitindo uma maior flexibilidade na adaptação dos modelos mas podem verificar-se mais limitados nas oportunidades de colaboração e inovação, e os ecossistemas baseados em plataformas, que geralmente envolvem uma rede mais ampla de *stakeholders* (incluindo fornecedores, clientes e parceiros) e que, embora isso possa aumentar a complexidade e a rigidez dos modelos de negócios, também vai oferecer oportunidades significativas para a criação de valor através de interações e colaborações, sendo necessário gerir as expectativas de todos os *stakeholders* para garantir que o modelo de negócios permaneça viável e sustentável (Patel et al., 2024; Rong et al., 2018; Silva et al., 2021).

Posto isto, a dinâmica dos planos de negócios na indústria da impressão 3D é considerada complexa e multifacetada e, portanto, exige que as empresas sejam ágeis e adaptáveis, sendo fulcral conhecer as etapas de desenvolvimento, as capacidades necessárias e a influência da estrutura do ecossistema para o sucesso neste setor que se encontra em crescente evolução (Patel et al., 2024; Rong et al., 2018; Silva et al., 2021).

Em suma, a criação de empresas na área da impressão 3D é crucial para atender às necessidades atuais do setor da saúde e da indústria uma vez que as mesmas não contribuem apenas para a melhoria dos cuidados de saúde, mas também impulsionam o desenvolvimento económico e tecnológico na comunidade (da Silva et al., 2021; Patel et al., 2024; Rong et al., 2018).

## **1.2. Objetivo**

O objetivo deste projeto consiste em analisar as necessidades de mercado da área médica que podem ser colmatadas através de impressão 3D e no desenvolvimento de um plano

de negócios para uma Start-Up na área dos cuidados de saúde e de reabilitação que responda às necessidades específicas deste setor.

## **2. Revisão da Literatura**

A Manufatura Aditivo (MA) e o Fabrico Convencional (FC) são duas abordagens diferentes para a produção de objetos e componentes e diferem consoante a forma como os produtos são fabricados, a eficiência da produção, os custos e a flexibilidade de design. A MA tem vindo a revelar-se mais eficiente e vantajosa do que o FC em muitas destas aplicações (Mughir, 2022; Peron et al., 2024)

O Fabrico Convencional (ou Manufatura Subtrativa) consiste em métodos tradicionais de produção que envolvem a remoção de material a partir de um bloco de forma a criar um produto final. Este processo é normalmente controlado por máquinas, como tornos, fresadoras e centros de maquinação, sendo possível que os materiais sejam cortados, perfurados, lixados ou moldados para atingir as dimensões e forma desejadas (Mughir, 2022; Peron et al., 2024).

Existem vários tipos de FC entre os quais se encontram por exemplo a fresagem (onde uma ferramenta de corte rotativa é usada para remover material), o torneamento (onde uma peça é girada enquanto uma ferramenta de corte remove material da sua superfície), a maquinagem CNC (Computer Numerical Control, onde o fabrico é controlado por computador permitindo uma alta precisão e controlo sobre a remoção do material), a fundição (onde o metal derretido é despejado num molde para formar a peça desejada) e a soldagem (onde através de calor e pressão, é possível unir dois ou mais componentes) (Mughir, 2022; Peron et al., 2024).

Estes processos apresentam vantagens (Tabela 2.1) bastante importantes como a alta precisão e acabamento (nomeadamente através do controlo numérico computadorizado (CNC)), a capacidade de produção em massa (sendo processos extremamente eficientes em produções de grandes volumes de componentes padronizados) e permite o uso de uma gama bastante ampla de materiais (metais, plásticos, cerâmicos e compósitos) (Mughir, 2022; Peron et al., 2024).

Entre as suas desvantagens (Tabela 2.1) é pertinente referir que, uma vez que a fabricação é baseada na remoção de material, muitos processos convencionais são alvo de uma quantidade significativa de desperdício podendo não só aumentar os custos, como

também impactar a sustentabilidade devido ao desperdício de material. Para designs mais complexos ou personalizados pode também aumentar a complexidade dos processos e das ferramentas utilizadas e consequentemente o aumento dos custos e do tempo de produção, o que pode tornar-se uma desvantagem ainda maior para produção em pequenas quantidades (Peron et al., 2024).

A MA, comumente conhecida como impressão 3D, consiste numa tecnologia que, contrariamente ao FC, constrói objetos camada por camada a partir de um modelo digital e, portanto, envolve a adição de material até que o produto final seja formado. É um processo (esquemático na Figura 2.1) que começa com a criação de um modelo digital tridimensional recorrendo ao uso de softwares de modelagem como CAD (Computer-Aided Design) que é posteriormente convertido num arquivo STL (Standard Tessellation Language) que pode por exemplo ser lido por uma impressora 3D. O processo de impressão pode variar consoante a tecnologia utilizada, mas geralmente envolve etapas como a preparação do modelo (onde o modelo 3D é desenhado por camadas e diferentes perspetivas de maneira que a impressora crie o objeto camada por camada com alta precisão), dependendo da tecnologia utilizada, o material pode ser fundido com calor, curado com luz UV (que faz solidificar as resinas fotopoliméricas) ou sinterizado com lasers. Após a impressão pode ser ainda necessário realizar o pós-processamento, como remoção de suportes, polimento ou tratamento térmico para que o objeto alcance as propriedades e o acabamento desejados (Mughir, 2022).



Figura 2.1: Esquema do processo de Fabrico Aditivo (Mughir, 2022)

Existem vários tipos de FA como a Modelação por Deposição Fundida (Fused Deposition Modeling ou Fusão por Filamento Fundido) que utiliza um filamento de material plástico que é fundido e extrudido através de uma cabeça de impressão aquecida para formar camadas, o SLA (Stereolithography ou Estereolitografia) que cura uma resina líquida

através de luz UV de maneira a formar camadas sólidas uma por uma, o SLS (Selective Laser Sintering) onde um laser sinteriza partículas de pó para formar uma peça sólida camada por camada, o DPL (Digital Light Processing) que é semelhante ao SLA mas utiliza uma fonte de luz projetada digitalmente para curar a resina em camadas e o Metal 3D Printing que utiliza tecnologias como o Direct Metal Laser Sintering (DMLS) para sinterizar metais e criar peças metálicas complexas (Mughir, 2022).

Todos estes processos apresentam vantagens (Tabela 2.1) como a liberdade de design uma vez que a MA permite criar geometrias complexas sem as restrições dos métodos tradicionais, existe menos desperdício de material uma vez que o mesmo é depositado camada por camada e, portanto, revela-se um processo mais sustentável. A MA permite a criação de peças altamente personalizadas sem a necessidade de moldes caros ou ferramentas personalizadas, sendo possível uma rápida produção de protótipos, o que vai acelerar o ciclo de desenvolvimento de novos produtos com custos reduzidos (mesmo que para produção em pequenas quantidades) (Peron et al., 2024).

Tal como expectável são técnicas que têm também algumas desvantagens (Tabela 2.1) como limitações na velocidade (embora seja ideal para protótipos rápidos e produções pequenas, a MA pode revelar-se demorado para produções em grande escala uma vez que quanto maior e mais complexa, mais tempo vai demorar a sua impressão), limitações de materiais (embora haja uma grande variedade de materiais que podem ser utilizados - posteriormente abordados no subcapítulo 2.1.2. - existem menos opções para a MA do que para o FC, especialmente em termos de materiais metálicos (como por exemplo as ligas de titânio e níquel com propriedades de alta resistência), em termos de resolução e reprodutibilidade (embora a MA tenha avançado bastante em tecnologias como a MDF, a qualidade da superfície e a resolução ainda não atingem o nível dos métodos tradicionais, o custo por unidade (o custo por unidade pode ser mais alto na MA em comparação com os métodos convencionais de produção em grande escala) e a conformidade das peças produzidas em termos regulamentares (Peron et al., 2024).

*Tabela 2.1: Principais vantagens e desvantagens do FC e do MA (Peron et al., 2024)*

MÉTODO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Fabrico Convencional	Elevada precisão dimensional; Bom acaba superficial; Adequado para produção em	Elevado desperdício de material; Limitações de geometria; Ferramentas e fixações necessárias.

	massa; Vasta gama de materiais disponíveis.	
Manufatura Aditiva	Permite geometrias complexas e personalizadas; Menor desperdício de material; Ideal para prototipagem rápida; Redução da montagem (várias peças numa única impressão).	Velocidade de produção mais lenta para grandes quantidades; Elevado custo de equipamento; Acabamento superficial e precisão ligeiramente inferiores; Menor gama de materiais disponíveis.

Embora estes dois métodos de fabrico apresentem diferentes vantagens e limitações, a sua utilização na área médica requer também o cumprimento rigoroso de normas e certificações internacionais que comprovem a qualidade e segurança dos dispositivos produzidos, garantindo que os produtos finais cumprem tanto os requisitos legais como clínicos antes de chegarem aos pacientes. A Tabela 2.2 compila as principais normas aplicáveis ao fabrico de dispositivos médicos, tanto para FC como para MA (Alexander et al., 2021).

*Tabela 2.2: Principais normas a ter em consideração no FC e MA (ISO: Global Standards for Trusted Goods and Services, 2025)*

NORMA	ÂMBITO	APLICABILIDADE
ISO 13485:2016 “Medical devices – Quality management systems – Requirements for regulatory purposes”	Gestão da qualidade para a indústria de dispositivos médicos.	Base para qualquer fabrico de dispositivos médicos (FC e MA).
ISO 14971:2019 “Medical devices – Application of risk management to medical devices”	Gestão de riscos ao longo do ciclo de vida de um dispositivo médico.	Obrigatório para saber onde estão os perigos e como mitigá-los (FC e MA).
ISO 10993-1 “Biological evaluation of medical devices – Part 1: Requirements and general principles for the evaluation of biological safety”	Avaliação biológica de dispositivos de contacto direto com o corpo humano.	Onde os dispositivos têm contacto com tecidos ou fluidos (FC e MA).
IEC 60601-1 “Medical electrical equipment – Part 1: General		

requirements for basic safety and essential performance”	Segurança e desempenho essencial de equipamentos médicos elétricos.	Aplica-se a dispositivos médicos elétricos (normalmente FC).
ISO/ASTM 52900: 2021 “Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary”	Define termos e fundamentos para a MA.	Base de entendimento para Manufatura Aditiva (MA).
ISO/ASTM 52920:2023 “Additive manufacturing – Qualification principles – Requirements for industrial additive manufacturing processes and production sites”	Critérios para processos de Manufatura Aditiva.	Norma específica para Manufatura Aditiva (MA).
ISO/ASTM 52953 “Additive manufacturing for metal – General principles – Registration of data acquired from process monitoring and for quality control”	Monitorização e controlo de qualidade em Manufatura Aditiva metálica.	Especialmente metais (MA).
ISO/ASTM 52907 “Additive manufacturing – Feedstock materials – Methods to characterize metal powders”	Métodos de caracterização de materiais-fonte no FA de metais.	Materiais específicos (MA).

## 2.1. Impressão 3D e Engenharia Biomédica

A impressão 3D tem sido alvo de atenção nas últimas décadas devido à sua facilidade de fabricação e possibilidade de personalização dos dispositivos médicos (Harding et al., 2023; Kunkel, 2020).

Ambos os métodos de produção (MA e FC) têm lugar na indústria, mas o FC revela-se mais eficaz para produções em massa onde a capacidade de trabalhar com materiais de alta qualidade é essencial e a MA destaca-se nos campos de personalização, prototipagem rápida e criação de geometrias complexas e, portanto, a escolha entre o método mais vantajoso de utilizar vai depender do tipo de produto, da quantidade desejada e do

orçamento disponível, o que está alinhado com as necessidades na área médica (Harding et al., 2023; Kunkel, 2020).

No entanto, a MA tem vindo a revelar-se uma abordagem bastante vantajosa devido à combinação de tecnologias utilizadas e à eficiência que transmite em termos de inovação no setor industrial, permitindo a produção de objetos muito difíceis ou até mesmo impossíveis de alcançar através de métodos de FC. A liberdade de design que a MA proporciona permite que se criem produtos mais leves e eficientes, por exemplo ortóteses ou dispositivos para administração de fármacos, resultando numa poupança significativa no consumo de energia e materiais. (Guo & Leu, 2013; Harding et al., 2023).

Com o passar dos anos a preocupação com a sustentabilidade e eficiência dos recursos tem vindo a aumentar cada vez mais, o que leva as empresas a considerar a MA como uma alternativa viável devido à redução do desperdício de material e à capacidade de produzir consoante a procura, nomeadamente em setores médicos (Rehman et al., 2023).

Um dos principais motivos que leva a MA a destacar-se perante o FC é a redução de material utilizado, que vai traduzir-se numa redução dos resíduos de produção e diminuir a utilização de recursos naturais contribuindo para uma menor pegada ambiental. A MA tem vindo a ser associada a benefícios em termos de redução das emissões de carbono e do aquecimento global, o que é algo bastante importante a ter em consideração nos tempos que decorrem (Harding et al., 2023; Kumar et al., 2021; Rehman et al., 2023).

Posto isto, a decisão de optar pela MA ou pelo FC não é simples e deve ter em conta todo o ciclo do produto. Um estudo mencionado por Peron et al., (2024) propõe um sistema de suporte à decisão que tem em conta as variações nos preços da eletricidade e a disponibilidade de matérias-primas (sendo estes, fatores que podem influenciar significativamente a viabilidade económica de cada tecnologia), ajudando as empresas a determinar quão mais vantajoso economicamente seria o uso da MA em vez do FC (Peron et al., 2024).

A evolução das tecnologias de MA, tem despoletado a sua utilização numa panóplia de aplicações e prevê-se que à medida que as empresas reconheçam os seus benefícios, a sua utilização continue a crescer, desafiando as práticas tradicionais de fabrico e moldando o futuro da produção industrial. No entanto, são de esperar obstáculos importantes, dentro dos quais se destacam a certificação e regulamentação dos materiais impressos e do processo em si, uma vez que muitos dos processos de MA ainda não têm validação

padronizada que garanta a repetibilidade e a fiabilidade da produção em massa (Kumar et al., 2021). As normas ISO (por exemplo a família ISO/ASTM 52900 (“Additive manufacturing – Qualification principles – Requirements for industrial additive manufacturing processes and production sites”) definem requisitos de maneira a garantir uma produção controlada, mas a sua aplicação prática está ainda em crescimento (ISO/ASTM 52900, 2015). Para além disso, na utilização médica ou em implantes, a esterilização representa outro desafio crítico uma vez que, os métodos de esterilização como calor, vapor ou radiação, podem alterar a microestrutura ou as propriedades mecânicas do material impresso, consequentemente afetando a biocompatibilidade ou fadiga do componente ao longo do tempo, sendo necessário cumprir a norma ISO 10993 (“Biological evolution of medical devices”) que define requisitos de avaliação biológica de dispositivos médicos, incluindo os produzidos por MA (ISO 10993-1, 2018). Posto isto, embora a MA seja promissora, é necessário que exista uma implementação consistente de normas e processos de qualidade, validação e documentação de cada material e processo e a garantia de que a esterilização ou pós-processamento não comprometa o desempenho final do dispositivo em si (Tatiana Jabor Botura, 2025) (Kumar et al., 2021; Madison Duensing, 2025).

### **2.1.1. Processos de Manufatura Aditiva**

O aumento da procura por modelos complexos de alta resolução, obrigou a um avanço no desenvolvimento de processos de MA. Existem três tipos principais de tecnologias de Manufatura Aditiva: sinterização (que envolve o aumento da temperatura do material sem que o mesmo se transforme em líquido, de maneira a criar protótipos complexos); fusão (que envolve o uso de feixes de eletrões ou laser para fundirem pós); e estereolitografia ou fotopolimerização (que envolve a utilização de radiação ultravioleta) (Guo & Leu, 2013).

De acordo com a Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM) existem sete técnicas de Manufatura Aditiva: jato de material, fotopolimerização, jato de tinta, fusão em leito de pó, extrusão de material, deposição direta de energia e laminação de folhas, como é possível verificar na Figura 2.2 (Guo & Leu, 2013; Mughir, 2022).

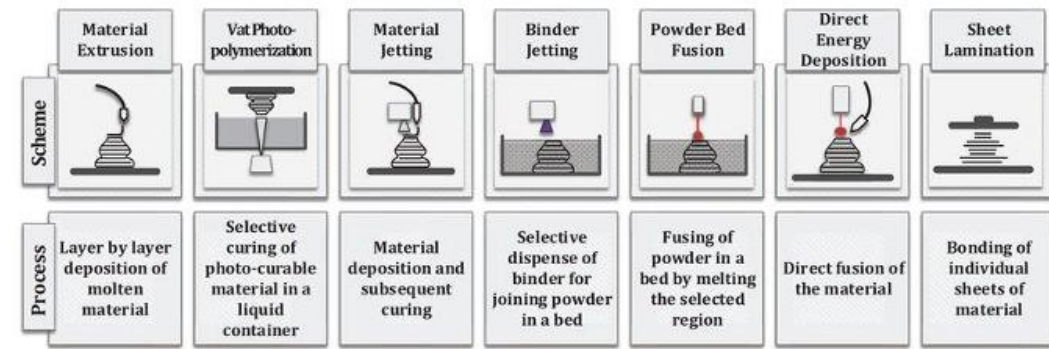


Figura 2.2: Técnicas de Fabrico Aditivo (Mughir, 2022)

As primeiras máquinas de impressão 3D, foram máquinas de estereolitografia (SLA) criadas no século XX, tendo sido esta a primeira técnica de impressão 3D comercialmente disponível (patenteada por Charles Hull em 1984). Esta técnica utiliza fotopolimerização em cuba (VAT photopolymerization) que consiste na cura de polímeros fotorreativos através de laser, luz ou ultravioleta (UV) e envolve a criação de um modelo CAD que é posteriormente convertido em formato STL e enviado para a impressora em questão. No SLA o processo de impressão dispõe de quatro elementos: um fotopolímero líquido curável com luz (fotorreativo) ultravioleta, uma fonte de laser, uma mesa perfurada e um computador que regula o processo. A impressora tem um reservatório cheio de resina líquida fotossensível e um laser UV contorna a camada do objeto (consoante o modelo desenhado em computador), solidificando apenas as áreas desejadas, uma vez que o feixe de luz vai endurecer a resina nos pontos específicos formando uma camada sólida à medida que a plataforma vai descendo ou subindo (dependendo da máquina) e uma nova camada de resina fica exposta à luz. O processo repete-se até que o modelo esteja terminado e o pós-processamento requer por norma a lavagem com álcool (para remover a resina não solidificada), a cura UV adicional (para aumentar a resistência e o acabamento (remoção de suportes, lixar e/ou pintar caso necessário) (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

Outra técnica de fotopolimerização é o processamento digital de luz (DLP) que é semelhante ao SLA, mas a fonte de luz é a principal diferença sendo que nesta técnica é utilizada uma lâmpada de arco com um painel de cristal líquido e a luz pode ser aplicada a toda a superfície do tanque de resina numa única passagem, tornando-o geralmente um processo mais rápido do que o SLA. Os materiais utilizados na fotopolimerização são inicialmente líquidos e endurecem quando expostos à luz UV. Os parâmetros importantes

a ter em conta são o tempo de exposição, o comprimento de onda e a quantidade de energia fornecida (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019)

O jato de tinta (Binder Jetting, BJ) introduzido pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), é um processo de prototipagem rápida no qual um agente ligante líquido é depositado seletivamente através de um jato de maneira a unir partículas de pó. Esta técnica pode imprimir uma variedade de materiais, incluindo metais, areias, polímeros, híbridos e cerâmicas, e é um processo simples, rápido e barato onde é utilizado um aglutinante químico (que é influenciado pela temperatura e pelo tempo) em jato sobre um pó de modo a formar camadas 2D e após secar é sempre adicionado mais pó e repetido o processo até que seja conseguido o modelo 3D (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

No jato de material (Material Jetting, MJ), uma resina líquida fotopolimerizável ou cera é depositada em gotas no local destinado e a camada é curada com luz UV, passando à camada seguinte até criar o modelo 3D. As peças finais geralmente apresentam uma excelente resolução e acabamento superficial e é ainda possível utilizar várias resinas diferentes em simultâneo (criando um multimaterial). Embora estes processos possam parecer idênticos, diferem não só no tipo de material utilizado (sendo que o jato de tinta utiliza pó e o jato de material utiliza resinas ou ceras), mas também no pós-processamento uma vez que o jato de material requer uma ação mínima (como remoção de suportes ou limpeza) e o jato de tinta requer sinterização ou até mesmo filtragem da peça obtida (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

Na técnica fusão em leito de pó (Power Bed Fusion, PBF) é utilizada uma fina camada de pó para criar uma “cama” e uma fonte de energia (como laser ou feixe de elétrões) é utilizada para fundir esse pó de acordo com a geometria dos componentes a ser criados. Desta forma os pós são fundidos/sinterizados camada por camada pelo laser até que a forma tridimensional seja alcançada, sendo essas camadas fixadas às camadas adjacentes através de processos de PBF incluindo, sinterização direta a laser de metal (DMLS), fusão direta a laser de metal (DMLM), sinterização seletiva a laser (SLS, criada por Carl Deckard em 1987), fusão por feixe de elétrões (EBM) e fusão seletiva a laser (SLM) que variam consoante o material utilizado e consoante o mesmo seja fundido ou sinterizado (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

A deposição direta de energia (Direct Energy Deposition, DED) é uma técnica de impressão 3D comumente utilizada para manutenção e reparação em vez de produção de componentes e os principais elementos utilizados são as cabeças de deposição que integram fontes de energia e dois bicos de alimentação de energia. O pó metálico é fundido e depositado camada por camada (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

De acordo com a ASTM, a laminação de folhas é o processo de impressão 3D no qual folhas de materiais são unidas de maneira a criar parte de um objeto e é um método utilizado por tecnologias como fabricação de objetos laminados (LOM) e fabricação aditiva por ultrassom (VAM). Este tipo de impressão permite a impressão a cores e é considerado relativamente barato, fácil de manusear e o material que sobra pode ser facilmente reciclado (evitando o desperdício). No LOM, o procedimento começa com as folhas a serem coladas a substratos e de seguida (através por exemplo, de laser) as camadas seguintes são cortadas com precisão e coladas uma após a outra e posteriormente moldadas (ou vice-versa). A plataforma com as camadas acabadas desce, a folha seguinte é enrolada e a plataforma regressa à sua posição inicial para receber a camada seguinte, até que o protótipo esteja terminado. No VAM as camadas são unidas por ultrassons (pressão e vibração ultrassónica) a frio. Os materiais utilizados no LOM são mais baratos e comuns como papel, polímeros ou compósitos e os materiais utilizados no UAM são por norma metálicos, sendo este considerado um processo mais avançado e dispendioso (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

A técnica de Modelação por Deposição Fundida (MDF) ou extrusão de material é a técnica de principal foco deste projeto, consiste num dos métodos mais utilizados e promissores da impressão 3D e é caracterizada, tal como o nome indica, pela extrusão de filamento de material termoplástico que é depositado camada a camada de maneira a formar um objeto tridimensional. É um processo que envolve o aquecimento de um filamento de um termoplástico até que o mesmo se torne maleável e em seguida é feita a extrusão desse material através de um bico de impressão e depositado sobre uma plataforma de construção. Esta é uma técnica bastante utilizada devido à sua simplicidade, custo relativamente baixo e capacidade de construir peças com geometrias complexas (Rajan et al., 2022).

A MDF é uma das técnicas de impressão 3D mais acessíveis, quer em termos de custo de equipamentos, quer em materiais e o processo de impressão é geralmente simples e intuitivo, tornando-se acessível para utilizadores com pouca experiência. Pode utilizar

uma variada gama de polímeros e compósitos (permitindo a personalização das propriedades mecânicas e térmicas) e permite a criação de estruturas complexas que seriam difíceis ou impossíveis de fabricar através de métodos convencionais (Rajan et al., 2022).

No entanto, as peças impressas por este tipo de técnica normalmente apresentam uma qualidade de superfície inferior quando comparadas a peças produzidas por FC e as suas propriedades mecânicas podem variar dependendo da direção da impressão, podendo resultar numa resistência mecânica reduzida. Para geometrias complexas, pode ser necessário imprimir estruturas de suporte (que devem ser removidas após a impressão) que por vezes podem resultar em imperfeições na peça (Rajan et al., 2022).

Na Engenharia Biomédica, a Modelação por Deposição Fundida, MDF (Fused Deposition Modeling) é uma das técnicas que recebe maior destaque e que se revela mais promissora, representando 11% do mercado da MA. Estas aplicações passam pela produção de próteses personalizadas, implantes, modelos anatómicos e até mesmo *scaffolds* para engenharia de tecidos. A capacidade de permitir criar estruturas complexas e adaptada às necessidades específicas de cada paciente é um dos principais fatores que impulsiona o seu frequente uso na área da Biomédica. Por exemplo, a possibilidade de imprimir *scaffolds* de polímeros biocompatíveis permite a regeneração de tecidos, onde a sua arquitetura 3D pode ser adaptada de forma a promover a adesão celular e a formação de matriz extracelular, mostrando-se um processo bastante promissor para a substituição óssea (Rajan et al., 2022).

No que toca aos materiais, os mais comumente utilizados na MDF incluem polímeros como o PLA, ABS e poliésteres como o PCL, que apresentam propriedades específicas que os tornam adequados a diferentes tipos de aplicações. O PLA é biocompatível e fácil de imprimir, mas apresenta uma baixa resistência térmica, o ABS oferece uma maior resistência e durabilidade, mas é menos biocompatível, o PCL é biocompatível e apresenta uma taxa de degradação controlada. A adição de fibras (como fibras de carbono ou vidro) pode melhorar significativamente as propriedades mecânicas, mas pode também levar ao entupimento do bico de impressão (Rajan et al., 2022).

As propriedades mais importantes no material a utilizar são a resistência mecânica, a biocompatibilidade, a resistência térmica e a capacidade de impressão e, portanto, a

escolha do material a utilizar vai depender da aplicação pretendida e das necessidades específicas dessa mesma aplicação.

Os parâmetros dos processos de impressão 3D podem dividir-se em três grupos: baseados na geometria (tamanho do bico, tamanho do filamento); baseados no processo (ponto de fusão, velocidade de impressão) e baseados na estrutura (espessura da camada, densidade, número de camadas, ângulo, intervalo e largura de raster). Estes parâmetros vão determinar as características, a qualidade e a precisão dos produtos desenvolvidos (Rajan et al., 2022).

As pesquisas recentes procuram maioritariamente focar-se na otimização dos parâmetros do processo para melhorar a qualidade do produto final. Isso inclui a investigação de variáveis como a espessura da camada, o padrão de preenchimento e o ângulo de raster (determina a direção em que o material é extrudido em cada camada e afeta a resistência à tração e à flexão do produto final), que afetam diretamente a resistência e a qualidade superficial das peças impressas (por exemplo, estudos mostraram que a impressão em padrões concêntricos e com espessura de camada reduzida pode aumentar a resistência à tração e melhorar o acabamento superficial). A.W. Fatimatuzahraa et al. (2011), utilizaram duas orientações de ângulo de raster e descobriram que as orientações cruzadas (45° e -45°) proporcionam uma melhor resistência do material (A. W. Fatimatuzahraa et al., 2011). Ning et al. (2025), descobriram que a resistência à tração diminui com o aumento da velocidade de preenchimento, espessura das camadas e temperatura do bico (Guo & Leu, 2013; Ning et al., 2015).

A introdução de novos materiais, como compósitos avançados, está a expandir as possibilidades da MDF e encontra-se também a ser explorada a utilização de microesferas termicamente expansíveis para reduzir a formação de espaços vazios e melhorar a resistência mecânica das peças. Outro dos grandes desafios é o entupimento do bico de impressão, que pode ser resolvido através da seleção cuidadosa de materiais e da otimização do processo de impressão (Rajan et al., 2022).

Em suma, a MDF revela ser uma técnica versátil e em constante evolução, com aplicações significativas na área da Biomédica e em outras diversas indústrias e através da combinação das suas vantagens (como custo e facilidade de uso), com a capacidade de personalização, torna-a uma escolha cada vez mais frequente para a produção de produtos

complexos e personalizados e com os avanços tecnológicos promete ser uma ferramenta poderosa no futuro da MA (Rajan et al., 2022).

Cada uma das técnicas tem as suas aplicações específicas e todas estão a ser utilizadas cada vez mais para fabricar uma enorme variedade de produtos, mas é possível destacar vantagens e desvantagens das mesmas, como se pode verificar na Tabela 2.3 (Guo & Leu, 2013).

*Tabela 2.3: Vantagens e desvantagens dos métodos de Impressão 3D (Shahrubudin et al., 2019)*

MÉTODO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Extrusão de Material	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo;</li> <li>• Facilidade em criar formas complexas e grandes;</li> <li>• Grande variedade de materiais;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo lento;</li> <li>• Necessidade de suportes;</li> <li>• Menor qualidade superficial;</li> </ul>
Fotopolimerização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peças complexas conseguem ser produzidas com facilidade;</li> <li>• Boa precisão e qualidade superficial;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo lento;</li> <li>• Custos elevados, nomeadamente em termos de material;</li> <li>• Sensibilidade à luz e ao ambiente;</li> <li>• Fragilidade mecânica;</li> </ul>
Jato de Material	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta precisão e detalhe;</li> <li>• Boa qualidade superficial;</li> <li>• Capacidade de multimaterial;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo;</li> <li>• Limitação mecânica;</li> <li>• Fragilidade;</li> </ul>
Jato de Tinta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boa qualidade de superfície;</li> <li>• Não precisa de suportes;</li> <li>• Pode imprimir mais do que uma peça ao mesmo tempo;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor resolução e detalhe;</li> <li>• Necessidade de pós processamento;</li> </ul>
Fusão em leito de Pó	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande variedade de materiais;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requer pós processamento;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não necessita de suportes;</li> <li>• Bom desempenho mecânico;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo lento;</li> </ul>
Deposição Direta de Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boas propriedades mecânicas;</li> <li>• Capacidade de multimaterial;</li> <li>• Grande variedade de metais;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada complexidade;</li> <li>• Baixa precisão e qualidade de superfície;</li> </ul>
Laminação de Folhas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo;</li> <li>• Processo rápido;</li> <li>• Produção de peças grandes;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requer pós processamento;</li> <li>• Mau acabamento superficial;</li> <li>• Díficil de criar peças complexas;</li> </ul>

### 2.1.2. Materiais Utilizados

A impressão 3D necessita de materiais capazes de atingir certas especificações e conseqüentemente, construir dispositivos de alta qualidade, sendo obrigatório que os mesmos cumpram determinados requisitos. Este tipo de tecnologias conta com uma ampla gama de materiais (uns mais adequados para umas técnicas, do que para outras), como cerâmicos, metais, polímeros, compósitos a até mesmo, materiais inteligentes (Mughir, 2022.; Shahrubudin et al., 2019).

Os metais têm vindo a tornar-se peças fundamentais na indústria aeroespacial, automóvel e médica, devido às suas excelentes propriedades físicas passando da produção de peças aeroespaciais à impressão de órgãos. Um grande exemplo deste tipo de materiais são ligas de titânio (devido à sua alta resistência à corrosão, biocompatibilidade e baixa rigidez), aços inoxidáveis (devido à sua ductilidade e boa resistência à corrosão). A matéria-prima metálica é frequentemente fundida através de um laser ou um feixe de elétrons, sendo os materiais fundidos, alterados camada por camada. As técnicas PBF e DED são os dois métodos mais utilizados para a impressão de metais e em geral, peças metálicas resistentes fabricadas com Manufatura Aditiva apresentam qualidade comparável, se não

melhor, às peças fabricadas convencionalmente. No entanto, de maneira que estas qualidades sejam alcançadas, é necessário que a porosidade e as microestruturas estejam sob controle dado que, a porosidade é a principal falha (devido à propagação da fratura) (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

Os materiais poliméricos são amplamente utilizados nesta indústria devido à sua versatilidade e adaptabilidade, sendo conhecidos por desempenharem um papel crucial em biomateriais e dispositivos biomédicos, contribuindo para a sua eficiência, devido ao seu baixo custo, peso e flexibilidade de processamento fornecendo, por exemplo, um ótimo suporte mecânico em implantes ortopédicos. Filamentos poliméricos como o ácido polilático (PLA), a acrilonitrila butadieno estireno (ABS), o polipropileno (PP) e o polietileno (PE), são bastante utilizados na técnica de MDF (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

Os cerâmicos podem ser utilizados em diversas geometrias e formas, devido à sua durabilidade e resistência, (úteis por exemplo, em aplicações dentárias) como é o caso da alumina (óxido cerâmico), dos vidros bioativos e da zircônia, sendo atualmente possível produzir cerâmicas sólidas com altas densidades, microestrutura muito homogênea, alta resistência à compressão e flexão. O aumento da resistência mecânica destes materiais abre o potencial para a sua aplicação em estruturas clínicas relevantes, tais como ossos (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

Os materiais compósitos têm vindo a revolucionar as indústrias de alto desempenho devido à sua elevada versatilidade, baixo peso e propriedades personalizáveis. Exemplo disso são os compósitos polímeros reforçados com fibra de carbono (com elevada rigidez específica, resistência, resistência à corrosão e bom desempenho em termos de fadiga) e os compósitos poliméricos reforçados com fibras de vidro (devido à sua relação custo-benefício, alta condutividade térmica e à impossibilidade de queimar, não sendo, portanto, afetada pelas temperaturas de cura utilizadas nos processos de fabricação) (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

Os materiais inteligentes definem-se como materiais que têm o potencial de alterar a geometria e a forma de um objeto através da influência por condições externas, como é o caso do calor e da água. Ligas com memória de forma (ligas como níquel-titânio que podem ser utilizadas em implantes biomédicos) são um tipo de material funcional que responde a estímulos (como luz, eletricidade, calor) e através da impressão 3D a sua

forma complexa pode ser produzida de maneira fácil e conveniente, sendo a avaliação da sua qualidade feita com base na precisão dimensional, rugosidade da superfície e densidade da peça (Mughir, 2022; Shahrubudin et al., 2019).

Na Tabela 2.4 é possível encontrar de forma breve, exemplos de materiais mais utilizados agrupados de acordo com cada um dos métodos de impressão 3D previamente mencionados (Mughir, 2022).

*Tabela 2.4: Materiais utilizados de acordo com o método de fabrico (Mughir, 2022)*

MÉTODO DE IMPRESSÃO 3D	MATERIAIS UTILIZADOS
Extrusão de Material	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polímeros Termoplásticos (PLA, ABS);</li> <li>• Cerâmicos (alumina, zircónia);</li> <li>• Metais (aço inoxidável, titânio);</li> </ul>
Fotopolimerização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resinas Líquidas;</li> </ul>
Jato de Tinta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aço Inoxidável;</li> <li>• Ferro;</li> </ul>
Jato de Material	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ceras;</li> <li>• Resinas Líquidas Fotopolimerizáveis;</li> </ul>
Fusão em leito de Pó	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Titânio;</li> <li>• Aço Inoxidável;</li> <li>• Alumínio;</li> </ul>
Laminação de Folhas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polímeros;</li> <li>• Compósitos;</li> <li>• Papéis;</li> </ul>
Deposição Direta de Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alumínio;</li> <li>• Titânio;</li> <li>• Cobre;</li> </ul>

### **2.1.3. Aplicações da Impressão 3D na Engenharia Biomédica**

No decorrer das últimas décadas, a impressão 3D levou ao desenvolvimento da construção de uma ampla gama de tecidos e órgãos (incluindo pele, corações, vasos e

rins) e estas mesmas criações começaram a estabelecer bases para a substituição de órgãos in vivo e para pesquisas adicionais na criação de modelos de tecido precisos, verificando-se uma peça fundamental na área da engenharia de tecidos (Gu et al., 2020; Kumar et al., 2021).

A necessidade global de transplantes de tecidos continua a aumentar devido a defeitos no tecido natural de uma pessoa causados por degeneração, trauma, neoplasia e doenças congénitas e a falta de órgãos disponíveis para transplante, a necessidade de reabilitação de tecidos perdidos ou danificados levou à necessidade de procurar e desenvolver novas formas de combater este problema recorrente. Posto isto, a impressão 3D revelou-se uma ferramenta poderosa no desenvolvimento de objetos biológicos específicos, incluindo células, ácidos nucleicos, proteínas, entre outros (Gu et al., 2020; Kumar et al., 2021).

Uma das maiores e mais bem-sucedidas aplicações da impressão 3D é o fabrico de ortóteses. As ortóteses são dispositivos médicos utilizados para suportar, alinhar, prevenir ou corrigir deformidade e melhorar a função de partes do corpo, especialmente em casos de lesões ou condições musculoesqueléticas e podem ser aplicadas em diversas partes do corpo, como membros superiores, inferiores e coluna vertebral. As ortóteses são projetadas com o intuito de fornecer suporte mecânico, aliviar a dor, estabilizar articulações e facilitar a reabilitação de maneira a permitir que os pacientes recuperem a mobilidade e a funcionalidade (Alrasheedi et al., 2025).

Estes dispositivos médicos podem servir: de suporte e estabilização ajudando a estabilizar articulações e estruturas musculares (especialmente após cirurgias ou lesões); como correção de deformidades podendo ser usados para corrigir deformidades posturais ou funcionais como escoliose ou pé chato; no alívio da dor, proporcionando alívio em condições dolorosas como artrite ao redistribuir a carga e reduzir a pressão sobre áreas sensíveis; como meio de reabilitação, ajudando na recuperação de lesões e permitindo aos pacientes que realizem atividades diárias com mais conforto e segurança (Alrasheedi et al., 2025).

As ortóteses eram tradicionalmente produzidas de forma artesanal (através de moldes de gesso para captar a morfologia do paciente) o que exigia habilidades especiais de ortopedistas uma vez que a qualidade final do produto dependia da experiência e destreza do profissional em questão. A fabricação manual muitas vezes resultava em desconforto

para o paciente (como o desenvolvimento de bolhas e úlceras), devido à adaptação inadequadas das ortóteses no corpo em condições estáticas (Alrasheedi et al., 2025).

A evolução das técnicas adotadas foi impulsionada por questões como: o conforto do paciente (necessidade de dispositivos que se adaptassem melhor à anatomia do paciente de maneira a evitar desconfortos e lesões), a eficiência e tempo de produção (a fabricação tradicional era demorada e dependia da habilidade do especialista), a personalização (design mais preciso e adaptável) e a qualidade do produto (minimizando erros de fabricação e melhorando a qualidade geral dos dispositivos) (Alrasheedi et al., 2025).

A produção de ortóteses por impressão 3D envolve várias etapas como: aquisição de dados onde a anatomia do paciente é capturada através do uso de tecnologias que criam um modelo digital preciso da parte do corpo que irá receber a ortótese; a reconstrução 3D onde o modelo digital é processado e ajustado em software de design assistido por computador (CAD), permitindo a personalização da ortótese de acordo com as necessidades específicas do paciente, como tamanho, forma e características funcionais; a especificação de design, onde são selecionados materiais adequados (tendo em consideração fatores como resistência, flexibilidade e biocompatibilidade) e é feita a otimização do design de maneira a garantir que a ortótese seja leve e funcional; a impressão 3D, onde (após finalização do modelo) é feita a impressão 3D; por fim o acabamento e os ajustes, onde a ortótese pode passar por processos de acabamento (lixar, pintar) e ajustes finais para garantir que se encaixa confortavelmente no paciente (Alrasheedi et al., 2025).

Os principais benefícios do uso de ortóteses impressas em 3D (Figura 2.3) focam-se então no seu conforto e facilidade de ajuste (a sua personalização vai resultar num melhor ajuste e conforto para os pacientes, o que se verificar ser algo crucial para a adesão ao uso do dispositivo), na inovação e estética (a liberdade de design proporcionada permite a criação de ortóteses que para além de funcionais, são também esteticamente agradáveis, levando a uma maior aceitação por parte do paciente), na eficiência de produção (a capacidade de produzir em grande quantidade pode melhorar a eficiência do atendimento ao paciente, especialmente em ambientes clínicos onde o tempo é essencial) e na acessibilidade (com a redução dos custos de produção (devido à elevada produção, há menos desperdício de material) e a possibilidade de fabricação local, as ortóteses impressas em 3D podem tornar-se mais acessíveis a uma gama mais ampla de pacientes) (Alrasheedi et al., 2025; Barrios-Muriel et al., 2020).



*Figura 2.3: Exemplos de ortóteses produzidas por impressão 3D (V., 2022)*

Embora o elevado número de vantagens, a integração de ortóteses impressas em 3D na prática clínica enfrenta desafios como o custo e a acessibilidade (embora os custos de impressão 3D tenham diminuído, o investimento inicial em equipamento e software ainda pode ser elevado, sendo a sua acessibilidade uma limitação em algumas instituições de saúde), a falta de pessoal qualificado (o design de ortóteses personalizadas exige habilidades técnicas específicas e a escassez de profissionais treinados em impressão 3D e design biomédico pode dificultar a implementação), a qualidade do produto (a qualidade das ortóteses impressas pode variar e podem surgir problemas como acabamento superficial inadequado ou resistência insuficiente dos materiais, o que pode afetar a eficácia e segurança do dispositivo) e o tempo de produção (embora a impressão 3D possa acelerar o processo de prototipagem, o tempo total de produção pode ser um obstáculo em situações clínicas que exigem soluções rápidas) (Alrasheedi et al., 2025; Barrios-Muriel et al., 2020).

Este tipo de avanços na tecnologia e criação de novas técnicas traz melhorias significativas para o design e a produção de ortóteses, uma vez que oferece soluções personalizadas e eficientes no tratamento de diversas condições e apesar dos desafios que apresenta, os benefícios potenciais são promissores e podem transformar a forma como as ortóteses são projetadas e utilizadas na prática clínica (Alrasheedi et al., 2025; Barrios-Muriel et al., 2020).

No que toca aos materiais utilizados, é importante realçar que a escolha dos materiais deve não apenas atender aos requisitos mecânicos, mas também ao facto de apresentarem um desempenho consistente independentemente da direção de impressão (uma vez que a

anisotropia dos materiais impressos pode afetar a eficácia e a durabilidade do dispositivo). Os autores do artigo Trindade et al. (2024), combinam testes experimentais com análise de elementos finitos para simular o comportamento mecânico da ortótese sob condições de carga estática. Inicialmente são realizados testes de compressão, flexão e tração de cada material (de maneira a fornecer dados quantitativos sobre a resistência e a rigidez dos materiais). Posteriormente é criado um modelo tridimensional da ortótese através de software de modelagem que é importado para outro software (Ansys Workbench) onde a análise de elementos finitos é realizada. Essa abordagem vai permitir simular a deformação, o stress e os campos de tensão de ortótese em condições de uso diário, proporcionando uma compreensão mais profunda de como os materiais se comportam em situações reais (Trindade et al., 2024).

Os resultados sugeriram que materiais como policarbonato (PC) e ácido polilático (PLA) se destacam pelas suas propriedades mecânicas superiores e por apresentarem mínimas ou nenhuma diferença de desempenho entre as direções de impressão. Portanto, são considerados materiais promissores para a fabricação de ortóteses personalizadas, oferecendo uma combinação ideal de resistência, flexibilidade e facilidade de processamento, o que pode levar a melhores resultados clínicos para os pacientes que utilizam os dispositivos em questão (Trindade et al., 2024).

Na Tabela 2.5 podemos verificar os tipos de materiais mais utilizados na impressão 3D na área da Biomédica e alguns exemplos dos mesmos, bem como as vantagens e desvantagens do seu uso e quais as suas aplicações mais frequentes neste ramo.

*Tabela 2.5: Materiais e as suas aplicações na área da Biomédica (Trindade et al., 2024)*

TIPO DE MATERIAL	EXEMPLOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS	APLICAÇÕES
Metais e Ligas	Titânio, Aço, Crómio, Ouro, Cobalto	Resistência elevada, fácil de fabricar	Corrosivo, elevado módulo de elasticidade	Implantes ortopédicos, parafusos, pinos, placas
	Vidro, Oxido de Alumínio/Titânio		Módulos elevados	Implantes dentários, Aparelhos

Cerâmicas e Compostos de Carbono		Biocompatível, resistência corrosiva		auditivos artificiais
Polímeros	PMMA, PCL, PLA, Policarbonatos	Biodegradável, Biocompatível, Boas propriedades mecânicas	Difícil de esterilizar	Implantes dentários e ortopédicos, Próteses, Distribuição de fármacos, Engenharia dos tecidos
Compósitos	Cimento cônico de metacrilato de metilo reforçado com fibra de carbono, Polietileno de peso molecular ultraelevado	Resistência corrosiva	Fabricação trabalhosa	Preenchimento dentário, cateteres, luvas
Biomateriais Naturais	Colagénio, Gelatina, Quitosano, Ácido hialorónico	Atividade biológica similar, Suporta migração celular, proliferação e diferenciação	Baixo rendimento, Preparação complexa	Bioimpressão de pele, Estruturas complexas de multicamada de pele

Uma vez que o processo de impressão 3D é capaz de produzir componentes biológicos adequados para uso humano, a sua produção requer a aprovação de órgãos reguladores e uma revisão das práticas éticas da área. Existe um conjunto de considerações éticas fundamentais a ter em conta e, portanto, é aplicada a ética da ciência e tecnologias novas e emergentes (New & Emerging Science and Technology, NEST) que organiza a discussão sobre alguns padrões típicos de argumentação moral e é revista em dois níveis (Swierstra & Rip, 2007).

O primeiro nível é composto por quatro áreas: (i) questões meta éticas sobre utilidade coletiva ou utilitarismo ou consequencialismo e deontologia, (ii) deontologia dos direitos, (iii) os princípios e direitos fundamentais das pessoas, teorias da justiça ou a distribuição de custos e benefícios e (iv) concepções do que é uma boa vida. A regra máxima diz que a tecnologia em análise só deve promover a justiça se a tecnologia em desenvolvimento ajudar aqueles que estão em pior situação. Os argumentos a favor da consideração da “boa vida” giram em torno da questão: “que tipo de vida pode ser alcançada com esta tecnologia?” e sem dúvida que a capacidade de produzir órgãos funcionais com tecnologias será um enorme benefício tendo em conta que a lista de transplantes conta com tempo de espera de anos e a capacidade de produzir órgãos personalizados poderia fornecer uma solução necessária para a sobrevivência de muitos. A distribuição de custos e benefícios é feita considerando o esforço, o mérito, a necessidade e a igualdade (Swierstra & Rip, 2007; Vijayavenkataraman et al., 2016)

O segundo nível trata da relação entre tecnologia e mudança moral procurando analisar os argumentos dos deterministas e voluntaristas tecnológicos (pessimistas e otimistas) e a mudança induzida pela tecnologia onde foram estabelecidos os termos “impacto forte” (referente à consequência do bem-estar das vidas e das novas tecnologias) e “impacto suave” (para analisar os tópicos de experiências, hábitos e percepções, envolvendo os aspetos éticos, legais e sociais (Ethical, Legal and Social Aspects, ELSA). A ética procura lidar com questões morais relativas a praticas específicas contestadas (como a ética da engenharia, a ética médica, a bioética e a ética ambiental), mas dado o crescimento da impressão 3D é necessário ter em conta aspetos legais incluindo patentes e problemas relacionados, políticas regulatórias, intervenções e decisões governamentais. A falta de compreensão desta tecnologia por parte das autoridades reguladoras é o primeiro problema a ser abordado. No campo social, uma nova tecnologia só pode ter sucesso se for aceite pelo público em geral e é importante que seja levada em consideração (Harding et al., 2023; Swierstra & Rip, 2007; Vijayavenkataraman et al., 2016).

Posto isto, é importante reconhecer o potencial da impressão 3D e o seu impacto na sociedade, bem como reconhecer a necessidade de um foco especial nesta tecnologia (capaz de salvar vidas) e no estabelecimento de regras e normas que abranjam todos os aspetos, facilitando a compreensão geral da mesma (Harding et al., 2023).

## **2.2. Modelos de Negócios na Área da Saúde**

O setor da saúde tem vindo a adotar novos modelos de negócios que procuram equilibrar a inovação tecnológica com a sustentabilidade económica e operacional e surgem como resposta à crescente pressão sobre os sistemas de saúde. Entre os mais relevantes destacam-se as Parcerias Público-Privadas (PPP) que promovem a cooperação entre o setor público e privado, as Start-Ups e empresas de base tecnológica (HealthTechs) focadas na criação de soluções digitais e biomédicas, as Spin-Offs académicas e hospitalares que transferem conhecimento científico para o mercado, os clusters e ecossistemas de inovação que fomentam a colaboração entre diferentes entidades e as incubadoras e aceleradoras de Start-Ups que apoiam o desenvolvimento de novos projetos empreendedores (Tabela 2.6). Em conjunto, estes modelos impulsionam a modernização, a competitividade e a sustentabilidade do ecossistema de saúde (Lokman & Chahine, 2020; Sodiq Odetunde Babatunde, 2024).

*Tabela 2.6: Principais tipos de modelos de negócio e em que consiste cada um deles (Lokman & Chahine, 2020; Sodiq Odetunde Babatunde, 2024)*

MODELO DE NEGÓCIO	DESCRIÇÃO	FUNÇÃO	IMPACTO NO SETOR DA SAÚDE
PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS	Colaboração entre o Estado e empresas privadas para financiar, construir ou gerir infraestruturas e serviços de saúde.	Partilhar custos e riscos e aumentar a eficiência e capacidade hospitalar.	Melhora o acesso e moderniza infraestruturas de saúde.
START-UPS E HEALTHTECHS	Pequenas empresas tecnológicas que desenvolvem soluções inovadoras, como apps, dispositivos médicos ou impressão 3D.	Criar soluções digitais e biomédicas disruptivas (responder a novas necessidades de saúde).	Aceleram a inovação e a digitalização dos cuidados médicos.
SPIN-OFFS ACADÉMICAS/HOSPITALARES	Empresas criadas a partir de universidades ou hospitais, baseadas em investigação científica.	Transferir conhecimento científico para o mercado.	Promovem inovação biomédica e valorizam a investigação nacional.
		Partilhar conhecimento e recursos e fomentar inovação colaborativa.	

CLUSTERS E ECOSSISTEMAS DE INOVAÇÃO	Redes de cooperação entre empresas, hospitais, universidades e governo.		Fortalece o setor e atrai investimento internacional.
INCUBADORAS E ACELERADORAS DE START-UPS	Entidades que apoiam a criação e crescimento de novas empresas de saúde.	Oferecer mentoria, financiamento e infraestruturas de apoio.	Aumentam a taxa de sucesso e a maturidade das Start- Ups.

Entre os modelos de negócio apresentados, as Start-Ups destacam-se como um dos motores mais dinâmicos de transformação do setor de saúde e devido à sua capacidade de inovação rápida e de adaptação às novas necessidades do mercado, tem impulsionado o crescimento do empreendedorismo na área da saúde, tanto a nível nacional como internacional (Chaanine & Khoury, 2023).

Vários são os fatores que constantemente pressionam o sistema de saúde e, conseqüentemente, a necessidade de encontrar resposta a questões como o envelhecimento da população, a frequência de doenças crónicas, a necessidade de tratamento personalizado e a falta de meios e recursos humanos que possam auxiliar nesse mesmo sentido tem vindo a fomentar o aumento do empreendedorismo na saúde, tanto em Portugal como a nível Europeu, de modo a não só, aumentar o nível de vida saudável da população, mas também, gerir melhor a pressão sobre o setor da saúde (Caldeira, 2022).

Neste sentido, têm vindo a surgir negócios que desenvolvem produtos e serviços que contribuem para o progresso nos cuidados de saúde prestados em todo o mundo, com soluções para todas as fases da doença (do diagnóstico ao tratamento, passando também pela prevenção), com foco não só nos pacientes, mas também nos profissionais e instituições do setor.

Portugal não é exceção neste movimento de crescimento do empreendedorismo na saúde, dado que, na pandemia, a tecnologia portuguesa esteve na linha da frente, com trabalho desenvolvido tanto por Start-Ups, ou por projetos em instituições de saúde e universidades, de forma independente. Portugal foi o país mais representado em termos do número de projetos na área da inovação em saúde na edição do programa europeu EIT Health do ano de 2022. Como refere Caldeira (2022), o EIT Health RIS Innovation Call é um programa de inovação que procura acelerar ideias inovadoras no setor da saúde em

regiões europeias com ecossistemas de inovação considerados menos desenvolvidos suportados por fundos da União Europeia (Caldeira, 2022).

Conforme referido na literatura, a pandemia do COVID-19 alterou a forma como são vistas as Start-Ups destinadas ao setor da saúde, passando de um negócio arriscado e pouco rentável, a projetos que despertam o crescente interesse dos investidores. É importante realçar que o aumento da esperança média de vida e do consequente crescimento populacional global, amplia significativamente o número de pessoas a necessitar de cuidados médicos continuados. O rápido avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de soluções que melhoram a prevenção, o diagnóstico e a recuperação dos pacientes, oferecendo maior conforto e eficiência. Neste contexto, surge a oportunidade para as Start-Ups do setor da saúde, capazes de criar tecnologias inovadoras – desde dispositivos médicos personalizados até plataformas digitais - que contribuem para reduzir os tempos de internamento, aumentar a autonomia dos pacientes e aliviar a pressão sobre os serviços hospitalares e os profissionais de saúde (Caldeira, 2022).

O setor da saúde em Portugal tem, portanto, revelado uma trajetória de crescimento notável sendo considerado uma peça fundamental e imprescindível no que toca à economia do país e é visto como um vetor de inovação no cenário global (AICEP, 2025; Invest in Portugal, 2024).

Neste sentido regista-se que o crescimento das exportações ultrapassa o índice médio do país, sendo que o setor conseguiu reforçar a sua presença internacional (em segmentos como farmácia, biotecnologia e dispositivos médicos), atingindo 2.5 bilhões em exportações em 2022 e reforçou uma taxa de crescimento anual de 16.6% desde 2018 (AICEP, 2025; Invest in Portugal, 2024).

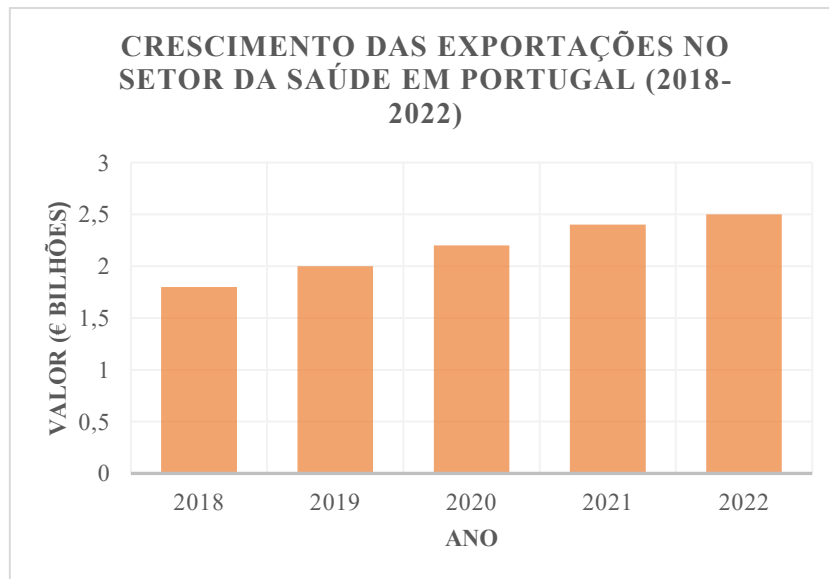
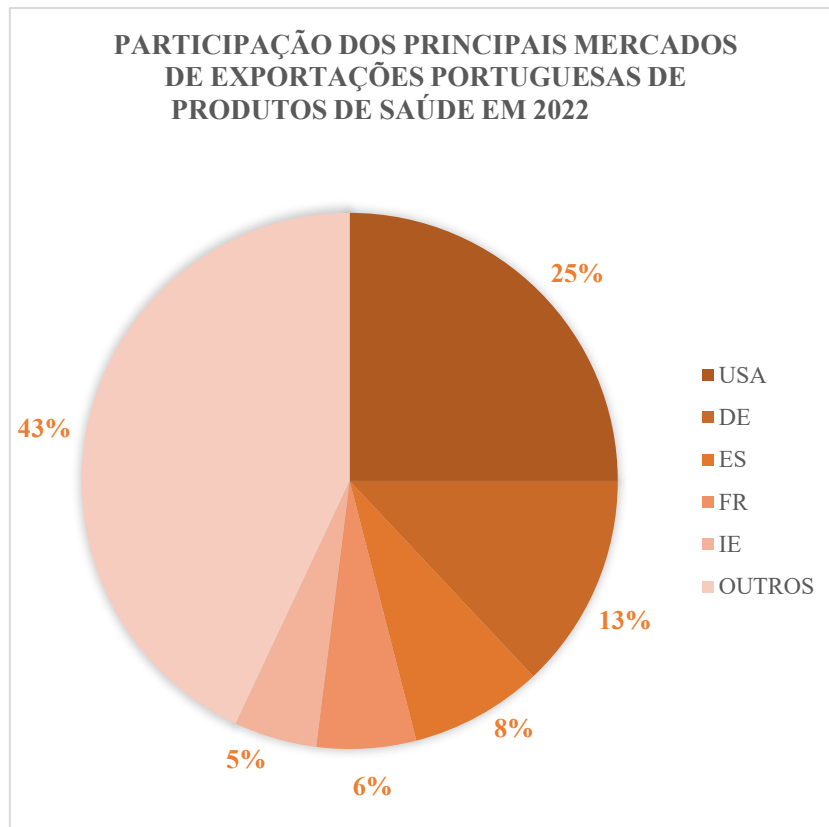


Figura 2.4: Crescimento das exportações no setor da saúde em Portugal (Invest in Portugal, 2024)

A Figura 2.4 mostra o aumento contínuo das exportações de produtos de saúde em Portugal, refletindo a estabilidade e expansão do setor da saúde no decorrer dos anos, com uma taxa de crescimento composta de 16.6%, demonstrando a tendência de crescimento do mesmo (Invest in Portugal, 2024).

Esta tendência é o resultado de uma base de talentos altamente qualificada, infraestrutura de ponta, um ambiente de negócios favorável e uma cultura focada em inovar, incluindo um robusto ecossistema de Start-Ups. A alta tecnologia e qualidade de serviços e produtos portugueses, são bastante fulcrais de maneira a aumentar a importância do setor, não só como vetor económico, mas também como incentivo a avanços tecnológicos em saúde. A Figura 2.5 representa os principais países que causam impacto no aumento das exportações e portanto, o aumento do investimento estrangeiro e internacionalização crescente (Invest in Portugal, 2024).



*Figura 2.5: Participação dos principais mercados de exportações portuguesas de produtos de saúde (Invest in Portugal, 2024)*

No que diz respeito ao cenário mundial, a expansão do mercado do setor de saúde nacional proporciona a criação de soluções inovadoras que beneficiam uma população global cada vez mais envelhecida e com necessidade crescente de cuidados personalizados, sendo, portanto, necessário continuar a estimular esse crescimento de modo a manter Portugal na vanguarda da inovação, gerar empregos qualificados, captar investimentos estratégicos e expandir a sua participação em mercados internacionais (AICEP, 2025; Invest in Portugal, 2024).

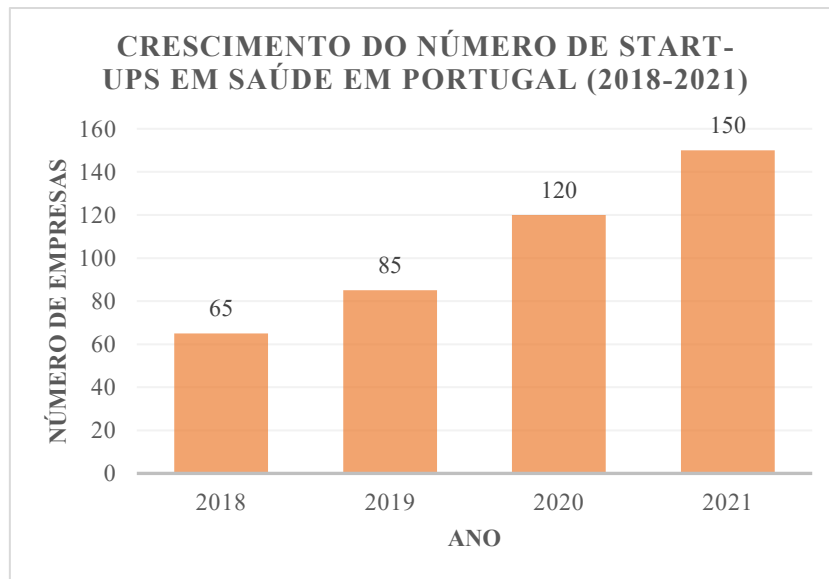


Figura 2.6: Crescimento do número de Start-Ups em saúde em Portugal (Invest in Portugal, 2024)

A Figura 2.6 demonstra o crescimento das Start-Ups entre os anos 2018 e 2021, onde se verificou um aumento de 30% em 2018 face ao ano anterior, 30.8% em 2019, 41.2% em 2020 e 25% em 2021, sendo, portanto, de realçar a importância da criação de empresas neste setor e revelando um impacto significativo do aumento da inovação após a pandemia COVID-19 (Invest in Portugal, 2024).

Tendo como base os dados previamente analisados, é de esperar que o setor da saúde continue a evoluir, consolidando a sua relevância tanto a nível nacional como global e continuando assim, a promover o aumento da qualidade de vida por todo o mundo (AICEP, 2025).

O setor da saúde em Portugal é regulado por uma série de regulamentos e decretos de lei que visam garantir a qualidade, segurança e acesso aos cuidados de saúde, pelo que, todos os estabelecimentos prestadores de cuidados de saúde devem seguir um regulamento criado pela Entidade Reguladora da Saúde (ERS) que é uma entidade independente responsável por definir os requisitos necessários para o exercício da atividade e garantir os direitos dos utentes e a promoção da concorrência no setor. Esta entidade tem como função supervisionar os estabelecimentos prestadores de cuidados de saúde e certificar-se de que os mesmos seguem e cumprem as normas e regulamento em vigor.

Neste capítulo salienta-se, a Lei de Bases da Saúde (Lei n.º95/2019) que define os princípios gerais do sistema de saúde, a organização e funcionamento dos estabelecimentos prestadores de cuidados de saúde e os direitos dos utentes, o Estatuto

do Serviço Nacional de Saúde (Decreto-Lei n.º52/2022) que estabelece as regras específicas para o funcionamento do SNS incluindo estrutura, mecanismos, direitos e deveres, tanto dos profissionais como dos utentes e a Lei de Regulamentação dos Estabelecimentos Prestadores de Cuidados de Saúde (Lei n.º139/2006) que define os requisitos necessários para abertura e funcionamento dos estabelecimentos prestadores de cuidados de saúde (Assembleia da República, 2025; Entidade Reguladora da Saúde, 2021).

### **3. Plano de Negócios**

#### **3.1. Análise de Mercado**

Segundo a bibliografia, um plano de negócios é usado para descrever o projeto e o modelo de negócio que sustenta a empresa, documentando a sua ideia, identificando riscos, estratégias e fazendo projeções financeiras (Nakajima & Sekiguchi, 2025). Num plano de negócios a análise de mercado é determinante para mitigar os riscos inerentes ao projeto a desenvolver. Assim, neste ponto é desenvolvida uma análise de mercado tendo por base a revisão da literatura.

Neste sentido foram elaborados dois tipos mercado já existente a nível de venda e fabrico de ortóteses – com o intuito de analisar a opinião dos mesmos aquando da necessidade da criação de uma start-up que fornecesse aos utentes, ortóteses personalizadas (fabricadas por impressão 3D). Nos subcapítulos seguintes vão ser apresentados os dados recolhidos e os dados já existentes no mercado de maneira que, o modelo de negócios criado vá de encontro ao mais favorável e que, para além de ajudar tanto profissionais de saúde como utentes, seja também uma fonte de rendimento capaz de gerar lucro.

##### **3.1.1. Dados Primários**

No questionário efetuado ao mercado existente, foram contactadas cerca de vinte lojas e empresas existentes na área da produção e comercialização de ortóteses pertencentes à área metropolitana de Lisboa. Foram colocadas 10 perguntas via entrevista, onde foi possível selecionar a(s) resposta(s) mais adequada(s) no ponto de vista do inquirido. A adesão ao presente questionário consistiu em apenas seis dessas lojas, o que pode ser considerada uma amostra muito pequena, mas apesar disso, é possível retirar algumas

conclusões pertinentes à análise do mercado em questão. A primeira pergunta consistiu em perceber qual o papel do respetivo inquirido na loja pela qual estava a responder.

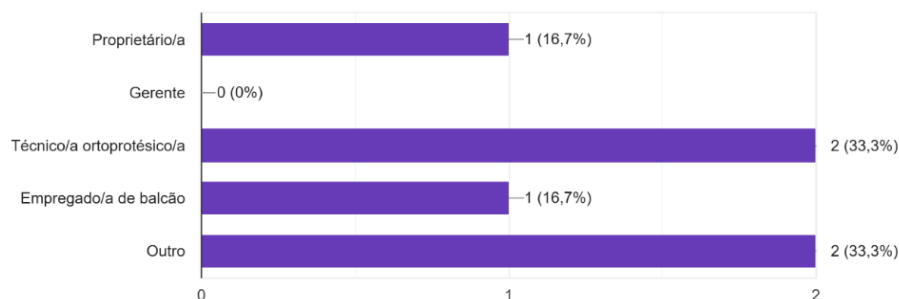


Figura 3.1: Qual o seu papel na loja?

Como se pode verificar através da Figura 3.1, foram obtidas respostas tanto por parte de proprietários de loja, como de técnicos ortopédicos, como de empregados de balcão e houve até inquiridos que não se encaixavam em nenhuma das categorias anteriormente apresentadas, mostrando uma grande variedade de opiniões que se revelaram bastante úteis no decorrer deste estudo.

A segunda pergunta questionava há quanto tempo o estabelecimento onde os mesmos trabalham, se encontrava aberto e, tal como se pode verificar pela Figura 3.2, as respostas obtidas variaram no intervalo de 6 a mais de 10 anos, o que demonstra a estabilidade e a procura por pelos dispositivos médicos em questão.

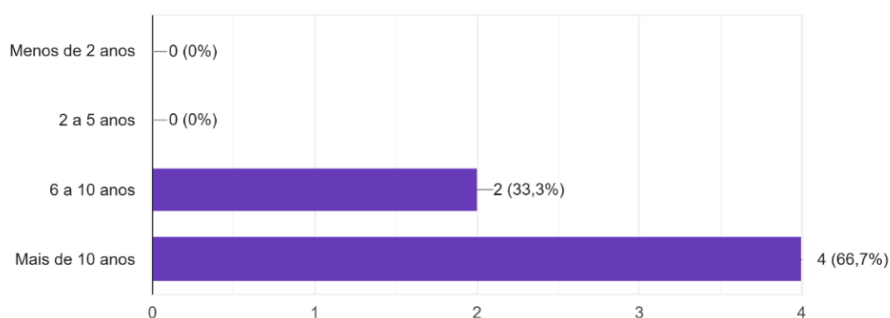


Figura 3.2: Quantos anos tem o estabelecimento?

A questão seguinte foca-se na frequência com que são vendidas ortóteses nos respetivos estabelecimentos sendo que, tal como é visível na Figura 3.3, a grande maioria vende ortóteses diariamente e uma pequena percentagem vende semanalmente, o que mostra um bom fluxo de vendas e indica uma grande procura por parte destes mesmos dispositivos médicos.

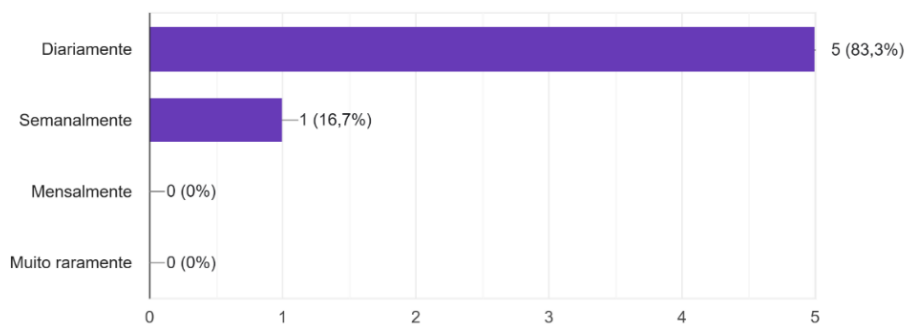


Figura 3.3: Com que frequência vende ortóteses?

Numa fase seguinte, foi necessário perceber que tipos de ortóteses são mais compradas, com o intuito de perceber quais por norma, têm maior necessidade de produção e comercialização. Posto isto, foi possível verificar (conforme demonstrativo na Figura 3.4), que as ortóteses de punho/mão são as mais frequentemente requisitadas, seguidas das ortóteses de joelho, das ortóteses de tornozelo/pé e como menor frequência, as ortóteses infantis.

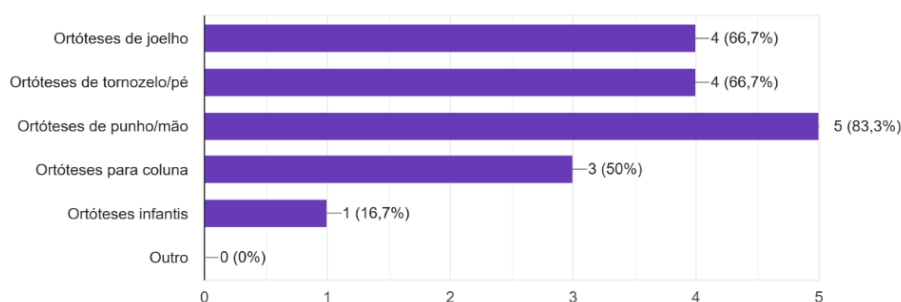


Figura 3.4: Que tipo de ortóteses são mais procuradas pelos seus clientes?

De seguida, sendo necessário começar a direcionar o questionário para o projeto a desenvolver, foi questionada a procura dos clientes por produtos personalizados (feitos à medida). Na Figura 3.5 é possível verificar que, embora a procura não seja muito elevada, a maioria relata uma procura moderada revelando, portanto, que há algum interesse neste sentido por parte de portadores de ortóteses.

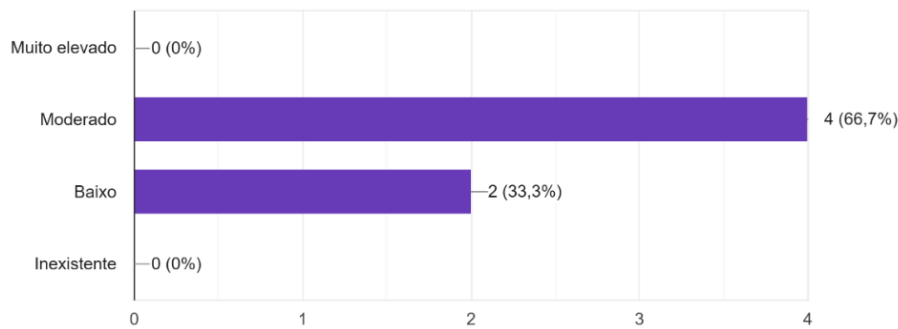


Figura 3.5: Como classifica o interesse dos seus clientes por produtos personalizados?

Entrando cada vez mais no foco principal, a pergunta 6 procura perceber se os inquiridos se encontram a par da existência de ortóteses produzidas por impressão 3D e caso sim, se vendem, já venderam ou nunca comercializaram. Tendo por base a Figura 3.6 pode afirmar-se que a sua existência é de conhecimento geral, mas a grande maioria nunca as comercializou.

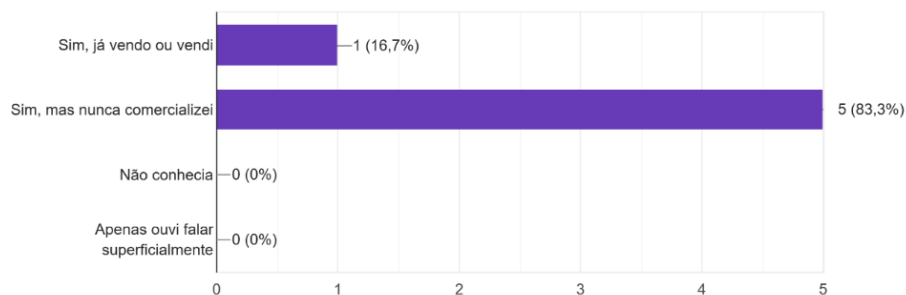


Figura 3.6: Já ouviu falar de ortóteses produzidas por impressão 3D?

Posteriormente, de forma a averiguar o que os inquiridos pensam a respeito deste tipo de fabrico de ortóteses e a seu ver quais são as principais vantagens e receios que veem nas mesmas, foram colocadas as questões 7 e 8, “Que vantagens vê em ortóteses feitas por impressão 3D?” e “Que preocupações teria ao introduzir ortóteses por impressão 3D na sua loja?”, respetivamente. Na Figura 3.7 podemos verificar que todos os inquiridos consideram várias vantagens neste tipo de fabrico e na Figura 3.8 podemos afirmar que há quem nem considere que haja alguma desvantagem na adoção do mesmo, embora a falta de procura e os custos iniciais sejam principais preocupações dos inquiridos sendo que, a falta de procura pode dever-se à falta de empresas na área que utilizem este tipo de produtos e conseqüentemente, à falta de conhecimento da existência e possibilidade de fabrico dos mesmos por parte da população.

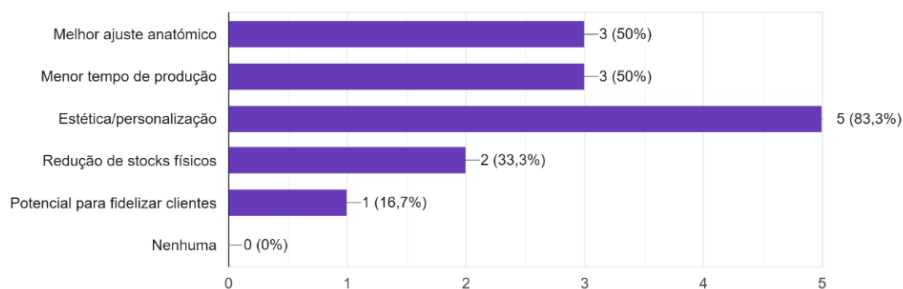


Figura 3.7: Que vantagens vê em ortóteses feitas por impressão 3D?

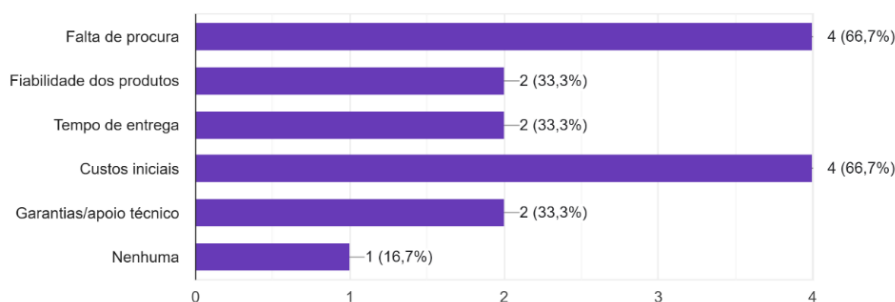


Figura 3.8: Que preocupação teria ao introduzir ortóteses por impressão 3D na sua loja?

Na penúltima questão (“Estaria interessado em vender ortóteses feitas por impressão 3D se fossem fabricadas por uma empresa nacional com certificação?”), as respostas (Figura 3.9) foram um pouco dispersas, demonstrando que embora haja empresas que poderiam apresentar-se como potenciais parceiros, os custos demonstram alguma preocupação por parte dos inquiridos.

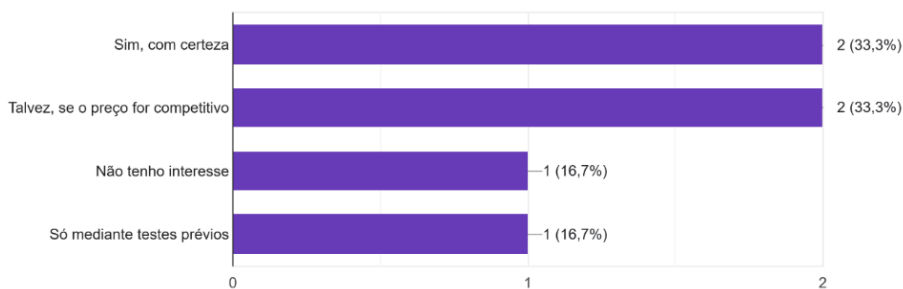


Figura 3.9: Estaria interessado em vender ortóteses feitas por impressão 3D se fossem fabricadas por uma empresa nacional com certificação?

A última questão procura perceber mais concretamente quais dos inquiridos estariam dispostos a tornar-se parceiros neste projeto que pretende ser capaz de trazer aos pacientes, ortóteses fabricadas por impressão 3D (e consequentemente, personalizáveis). Apenas um dos inquiridos se mostrou indisponível para tal (Figura 3.10), os restantes revelaram maioritariamente que necessitam de mais informações antes de tomar uma decisão, sendo que é necessário ter uma noção de custos de mercado, do modelo de

negócio que se procura implementar e do desenvolvimento do produto (etapas a ser abordadas nos capítulos seguintes).

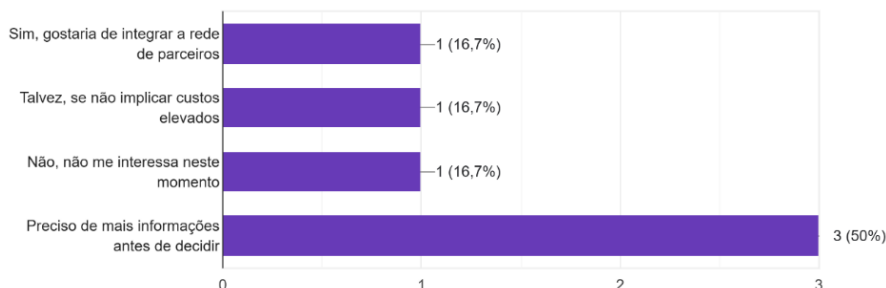


Figura 3.10: Estaria interessado em participar num projeto de inovação com acesso a ortóteses fabricadas por impressão 3D

No questionário seguinte, foram entrevistados via videoconferência 3 profissionais de saúde e colocadas 10 perguntas, mas desta vez, de resposta aberta. A primeira, tinha como intenção identificar quais as necessidades não satisfeitas nas ortóteses convencionais que pudessem ser colmatadas com a impressão 3D questionando, quais (no ponto de vista dos inquiridos) as principais limitações das mesmas.

Nas respostas foram referidas variáveis como preço, úlceras de pressão, higienização e o facto de não serem adaptadas a cada paciente. De modo a avaliar a perceção de valor acrescentado para o paciente, foi questionado se o inquirido considera que as ortóteses produzidas por impressão 3D poderiam melhorar o conforto ou a adaptação ao paciente e as respostas foram unânimes (referindo que sim, uma vez que ficariam com os contornos originais das proeminências ósseas iriam conseqüentemente, gerar maior conforto e menor dor). Na terceira questão pretendia apenas perceber-se se existia algum grau de familiaridade por parte dos mesmos com este tipo de tecnologia, mas todos referiram apenas ter conhecimento, mas nunca contacto directo.

De forma a recolher argumentos clínicos relevantes para o modelo de negócio foi questionado quais seriam, na sua opinião, as vantagens clínicas mais significativas de usar ortóteses personalizadas produzidas por MDF e as respostas centraram-se na adaptação a cada doente e à sua respetiva morfologia, melhor adesão terapêutica, melhor tolerabilidade e conseqüente conforto. Tentando entrar um pouco na área de mercados promissores, a questão 5 focou-se em que patologias ou condições se vê maior benefício no uso deste tipo de dispositivos médicos personalizados e foram referidas respostas como fraturas, reabilitação, escoliose e até mesmo, cirurgias plásticas.

Na questão 6, o custo foi por todos referido como um desafio na adoção deste tipo de dispositivos médicos produzidos por MDF por parte dos serviços de saúde, tendo também sido referido como uma possível barreira, o tempo de espera. Mesmo sem saber quais seriam as respostas à pergunta anterior, a pergunta seguinte procurou avaliar a viabilidade económica do negócio, procurando perceber se os profissionais de saúde em questão consideravam que o preço das ortóteses por MDF poderia ser competitivo em comparação com os métodos convencionais e as respostas revelaram (em conformidade com as respostas anteriores) que este é um ponto que causa bastante dúvida nos mesmos, tendo em conta que as ortóteses convencionais já apresentam um preço de mercado que nem todos os utentes conseguem adquirir, seria necessário que, mesmo sendo personalizadas e mais confortáveis, os preços não fossem muito superiores aos já existentes no mercado. A questão 8 aborda o fator motivacional dos pacientes e questiona se acreditam que a possibilidade de personalização estética (cor, design) pode aumentar a adesão dos pacientes. As respostas revelaram que sim e mencionaram que ortóteses à prova de água poderiam também ser uma boa aposta. Na penúltima pergunta, é questionado se o inquirido vê potencial para integrar este tipo de ortóteses no sistema público ou privado de saúde e as respostas foram todas afirmativas devido à facilidade de aplicar e assim, menor recorrência a serviços de saúde por utentes com problemas como imobilizações convencionais (gessadas) ou outras, que podem facilmente ser auxiliadas com a aquisição destes dispositivos. Por último, foi avaliada a predisposição à colaboração e potencial de mercado: “Se existisse uma empresa nacional especializada na produção de ortóteses produzidas por MDF e por medidas, recomendaria aos seus pacientes?”. As respostas obtidas foram todas “sim”, uma vez que apresentam uma maior qualidade de vida para qualquer paciente, menor desconforto, menor calor, prurido, peso, e maior facilidade de higienização.

Os profissionais de saúde reconhecem limitações nas ortóteses convencionais e veem nas ortóteses personalizadas por impressão 3D uma solução com possível valor clínico tanto a nível de conforto, como adaptação, adesão e alto potencial de mercado, mesmo que existam barreiras críticas ligadas ao custo e tempo de produção que podem ser resolvidas de maneira a garantir viabilidade económica.

Posto isto, é possível concluir que tanto por parte de empresas na área das ortóteses, como por profissionais de saúde, surge algum entusiasmo e interesse nesta potencial criação, o

que demonstra um reconhecimento neste negócio e abre a mão a mercados promissores que podem mesmo vir a colaborar com o projeto.

### **3.1.2. Dados Secundários**

Os dados secundários procuram recolher os dados já existentes sobre a influência da impressão 3D no aumento do mercado, destacando os países mais importantes para o seu crescimento. Tal como demonstrado anteriormente, o setor da saúde encontra-se em constante crescimento. As tecnologias de Manufatura Aditiva, são consideradas adequadas em diferentes aplicações industriais, desde o setor aeroespacial até ao setor biomédico. Estes tipos de tecnologias têm vindo a revelar um papel bastante promissor na fabricação de produtos nestes setores, nomeadamente após a pandemia COVID-19, com a intenção não só de fabricar novos produtos, mas também, de reduzir o consumo de energia e as emissões nocivas de carbono em produtos produzidos de forma aditiva, com o intuito de desenvolver uma produção sustentável e ambientalmente responsável (Rehman et al., 2023; Y. Wang et al., 2021).

A crescente procura de ortóteses tem sido evidente devido não só ao facto de proporcionarem uma maior funcionalidade, mas também, gerarem uma maior qualidade de vida aos seus portadores, tendo surgido a necessidade crescente da produção de implantes de qualidade específicos para cada paciente de modo a evitar a repetição de cirurgias, dor e substituição de tecidos disfuncionais. As tecnologias de MA são consideradas uma boa opção para auxiliar estes casos, fabricando dispositivos médicos personalizados e assim, reduzindo a repetibilidade cirúrgica, melhorando a fixação do implante, a recuperação do funcionamento natural da cinética articular, a assistência no crescimento ósseo e a proliferação celular (Y. Wang et al., 2021).

Devido ao aumento do fluxo de pacientes infetados aquando da pandemia, os hospitais sofreram interrupções em inúmeras das suas cadeias devido à escassez de produtos de saúde primária, o que representou uma ameaça significativa para pacientes e médicos, tendo-se verificado necessário aumentar o fornecimento de equipamentos e trabalhadores treinados para atender à rápida procura de suprimentos médicos (Rehman et al., 2023).

O principal desafio consistiu em aliviar as dificuldades e aumentar a capacidade global de produção de oferta e procura e, portanto, várias empresas por todo o mundo instalaram equipamentos de Manufatura Aditiva com a intenção de produzir diferentes produtos

biomédicos que pudessem auxiliar hospitais e profissionais de saúde. Estas produções foram desenvolvidas de acordo com normas internacionais de segurança e qualidade, como a ISO 13485 (que regula os sistemas de gestão da qualidade para dispositivos médicos), a ISO 14971 (que define os requisitos de gestão de risco ao longo do ciclo de vida do produto e a ISO/ASTM 52900 e ISO/ASTM 52920 (que orientam a padronização dos processos e qualificação de produção), conforme anteriormente sintetizado na Tabela 2.2. Desta forma, foi possível garantir uma maior confiança nos componentes produzidos e reduzir a carga sobre as tecnologias de FC, que apresentavam maior limitação de resposta.

Perante isto, criou-se oportunidade para as tecnologias de MA produzirem produtos biomédicos (como por exemplo, equipamentos de proteção individual que por norma possuem máscaras faciais, válvulas, óculos de segurança, ventiladores, entre outros) de forma a lidar com a escassez de suprimentos e a procura elevada, assim, esta tecnologia possui um papel fundamental na produção destes dispositivos e neste setor, devido à facilidade de resposta perante emergências.

Na Figura 3.11 é possível verificar que vários são os países a apresentar um papel crucial no avanço da impressão 3D, onde os EUA representam cerca de 39% do aumento global da indústria neste ramo, seguidos pela China, com 11% (Rehman et al., 2023).

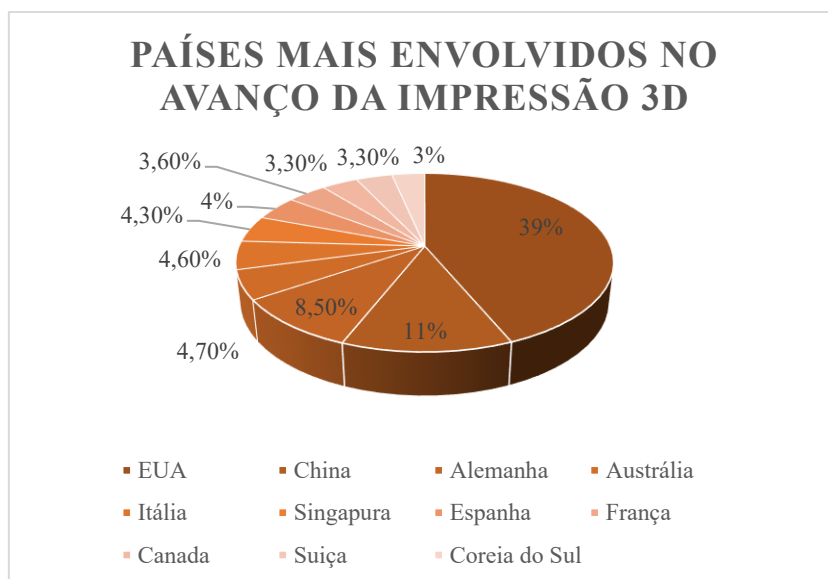


Figura 3.11: Países mais envolvidos no avanço da Impressão 3D (Rehman et al., 2023)

Na Figura 3.12 pode observar-se o progresso anual do mercado global de impressão 3D que, embora a taxa de crescimento seja mais elevada nuns anos do que noutros, em todos eles se verificou um crescimento significativo e, portanto, é correto afirmar que o mesmo se irá verificar nos próximos anos (Rehman et al., 2023).

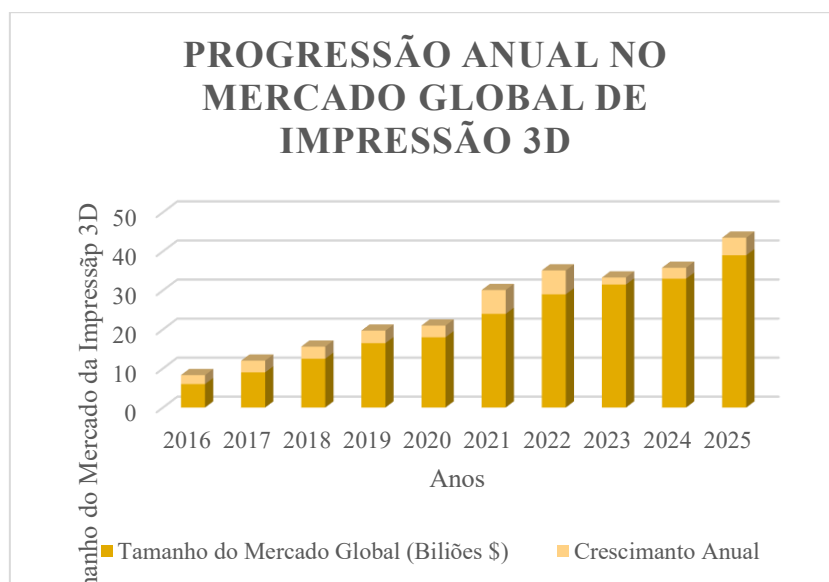


Figura 3.12: Progressão anual no mercado global de Impressão 3D (Rehman et al., 2023)

A disponibilidade de produtos e serviços é necessária para que se atinga um melhor estilo de vida, mas a energia também é algo fundamental. Segundo as estimativas, é de prever que o consumo global de energia primária aumente 11,6 vezes em 2050 quando em comparação com 1950, sendo os processos de fabricação e fontes de energia não renováveis, as principais causas de efeitos ambientais perigosos (com a libertação de CO<sub>2</sub> e gases de efeito de estufa) e representando assim, ameaças à saúde humana. Os processos industriais como fabricação convencional, produção em massa, manutenção e descarte de resíduos, são responsáveis pelo consumo de 22% da energia total e pela produção de aproximadamente 20% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, demonstrando-se necessário optar por técnicas de produção e utilização sustentáveis e exigindo uma mudança para estratégias eficientes de produção que resultem no mínimo desperdício de material, emissão de gases, exploração de recursos naturais e perturbações nos ecossistemas. A MA contribui para a sustentabilidade visto que elimina significativamente as desvantagens trazidas pelo fabrico convencional (nomeadamente no que toca às emissões de carbono e ao desperdício de material) e o seu crescente uso, deve-se também a esta

necessidade em captar energia renovável e sustentável para uma melhor qualidade de vida global (Rehman et al., 2023; Y. Wang et al., 2021).

### 3.2. Modelo de Negócio

Antes de definir o modelo de negócio mais adequado para uma Start-Up na área da impressão 3D médica, é importante compreender em que segmentos do setor da saúde esta tecnologia apresenta maior potencial de crescimento e retorno. As aplicações da impressão 3D encontram-se em etapas distintas de maturidade tecnológica e regulatória, e o risco de investimento varia significativamente entre elas, assim, na Tabela 3.1 são identificadas as áreas com maior urgência, viabilidade e atratividade económica, servindo de base para a definição estratégica do modelo de negócio a adotar (Javaid et al., 2022).

*Tabela 3.1: Potencial e risco de investimento da impressão 3D em áreas médicas (Álvarez-Chimal et al., 2025; Javaid et al., 2022; Jun et al., 2025; Kermavnar et al., 2021; Prządka et al., 2025)*

ÁREA MÉDICA	MATURIDADE TECNOLÓGICA/REGULAMENTAR	POTENCIAL DE MERCADO	RISCO DE INVESTIMENTO
ODONTOLOGIA E MAXILOFACIAL	Alta: amplamente certificada e integrada clinicamente	Muito alto: crescimento anual >20%	Baixo
ORTOPEDIA E REABILITAÇÃO	Média/Alta: exigência clínica controlável	Alto: forte procura por personalização e conforto	Médio-Baixo
BIOIMPRESSÃO E ENGENHARIA DOS TECIDOS	Baixa: ainda em fase de investigação e ensaio pré-clínico	Muito alto (potencial futuro)	Alto
CIRURGIA E PLANEAMENTO PRÉ-OPERATÓRIO	Média: depende da integração hospitalar	Médio/Alto: adoção crescente em hospitais e ensino médico	Médio
PRÓTESES E IMPLANTES BIOMÉDICOS	Média: forte controlo regulatório	Alto: mercado em expansão global	Médio-Alto

A análise das áreas com maior potencial de aplicação da impressão 3D no setor da saúde demonstra que as oportunidades de investimento estão diretamente ligadas à maturidade tecnológica, ao enquadramento regulatório e ao impacto clínico das soluções

desenvolvidas e a identificação destas áreas permite direcionar o foco estratégico da Start-Up para segmentos de mercado com maior viabilidade e retorno, servindo de base à definição do modelo de negócio mais adequado ao contexto identificado (Murray & Scuotto, 2016).

Um modelo de negócio tem como principais funções descrever a lógica como uma empresa cria, proporciona e obtém valor (Osterwalder, 2010). No setor da saúde, a lógica apresenta características próprias, uma vez que, para além da sustentabilidade económica, é crucial gerar impacto clínico, segurança e bem-estar para o paciente. Assim, o modelo de negócio proposto neste trabalho baseia-se na estrutura do Business Model Canvas, adaptado às especificidades da área médica e da MA de dispositivos personalizados (Murray & Scuotto, 2016).

Neste contexto, o modelo procura responder a desafios do setor como a necessidade de soluções personalizadas, a redução de custos e tempos de produção e a integração com instituições de saúde e foi desenvolvido por Alexander Osterwalder e Yves Pigneur. Cada bloco foi definido de maneira a refletir as particularidades da produção de ortóteses por impressão 3D, desde a proposta de valor centrada no conforto e adequação ao paciente, até à rede de parceiros composta por hospitais, clínicas e profissionais de reabilitação (Figura 3.13).

A Proposta de Valor, procura responder a questões como, “que valor entregamos ao cliente?”, “de entre os problemas dos nossos clientes, qual é o que estamos a ajudar a resolver?”, “que necessidade dos clientes estamos a satisfazer?” e “que pacote de produtos e serviços, estamos a oferecer a cada segmento?”, sendo vista como o conjunto de benefícios que uma empresa oferece aos clientes, neste caso, a produção rápida de protótipos e produtos finais leves, confortáveis e adequados a cada tipo de paciente, de maneira a atender às suas necessidades específicas (Murray & Scuotto, 2016).

Segmentos de Clientes, procura responder a duas principais questões, “para quem estamos a criar valor?” e “quem são os nossos clientes mais importantes?” e tem como objetivo identificar os diferentes grupos de pessoas ou organizações que uma empresa pretende alcançar e servir. No caso do presente negócio foram identificados dois grandes tipos de segmentos de clientes, entres os quais se encontram os hospitais (que possam ajudar a desenvolver o produto e passar a palavra aos pacientes) e as clínicas (com as quais seja possível fazer parcerias); Canais, procura responder a questões como, “através

de que canais é que os nossos segmentos de clientes querem ser contactados?”, “quais são os mais eficientes do ponto de vista dos custos?”, “quais são os que funcionam melhor?” sendo vista como a forma com que uma empresa comunica e alcança os seus segmentos de clientes, ampliando o conhecimento dos clientes sobre os produtos e serviços da empresa e auxiliando os mesmos a avaliar a proposta de valor dessa mesma empresa e até mesmo, a adquirir esses produtos ou serviços específicos (as propostas de valor são levadas aos clientes por canais de comunicação, distribuição e vendas). Neste caso, um bom marketing é sempre importante, mas as parcerias com hospitais e clínicas são cruciais, uma vez que são a forma mais fácil de conseguir tanto espalhar a palavras aos seus pacientes, como torná-la ainda mais credível e confiante (dado que parte de um profissional de saúde, com conhecimentos na área em questão) No contexto da Relação com o Cliente, é importante que se responda a questões como, “que tipo de relação é que cada um dos nossos segmentos de clientes espera que estabeleçamos e mantenhamos com eles?” e, portanto, centra-se na forma como a empresa interage com um segmento de clientes e que tipo de relação quer estabelecer, sendo que no caso, a internet (via email ou até mesmo site) é sempre uma opção, mas o fundamental será o contacto telefónico uma vez que será fulcral que se mantenha constante contacto com os mesmos (Murray & Scuotto, 2016).

Parceiros-Chave responde a questões como, “quem são os nossos fornecedores-chave?”, “que recursos-chave estamos a adquirir aos nossos parceiros?”, sendo considerados entidades ou pessoas que vão contribuir para o sucesso do negócio, mas que não são funcionários nem fornecedores como, neste caso, é o exemplo dos hospitais, das clínicas de saúde e reabilitação e até mesmo dos profissionais de saúde (que não são funcionários mas sim, parceiros importantes para a divulgação do projeto) As Atividades-Chave, focam-se em perceber, “quais os fluxos de rendimento?”, “que atividades-chave são exigidas pela nossa proposta de valor?”, de maneira a definir as atividades essenciais para que o modelo de negócio da empresa funcione corretamente e baseando-se nas atividades que são realizadas de forma constante, garantem o funcionamento dos recursos e desenvolvem o produto em si. Nesta proposta, as principais atividades-chave passam pelo desenvolvimento de ortóteses personalizadas por impressão 3D e a utilização de técnicas sustentáveis para atender à procura crescente do mercado (sem esquecer a sua posterior distribuição para os nossos segmentos de clientes) e os Recursos-Chave, em questões como, “de que recursos-chave é que as nossas propostas de valor necessitam?”, “quais os

canais de distribuição?”, permitindo descrever os ativos mais importantes para fazer o modelo de negócio funcionar como no caso, patentes e distribuidoras (que consigam fazer chegar as encomendas aos segmentos de clientes) não esquecendo que será sempre necessário o acesso a um edifício com as máquinas e os materiais necessários (que acabarão por ser um investimento) (Murray & Scuotto, 2016).

Por fim, a Estrutura de Custos procura responder a questões como, “quais os custos mais importantes inerentes ao nosso modelo de negócio?”, “quais são os recursos-chave mais caros?” e “quais são as atividades-chave mais caras?” de modo a criar e entregar valor, manter relacionamento com os clientes sendo neste caso de salientar, os custos de desenvolvimento/fabricação (matérias primas, materiais, mão de obra), custos de distribuição, gestão de procura e vendas, gestão de reclamações e marketing e os Fluxos de Rendimento abordam questões como, “que valor estão dispostos a pagar os nossos clientes?”, “quanto pagam atualmente?”, “como gostariam de pagar?”, onde é necessário (após pensarmos nos custos que vamos ter, pensarmos também onde vamos conseguir receber, de forma a entender qual a viabilidade do lucro do projeto em questão) compreender quais são os pontos fundamentais para gerar mais valias ao projeto em termos económicos, que será, a aquisição dos dispositivos médicos em si e onde o preço dos mesmos será dependente do produto em questão. O desenvolvimento de um novo projeto requer que haja debate sobre as questões mencionadas, de maneira a definir os principais pilares do mesmo (Murray & Scuotto, 2016).

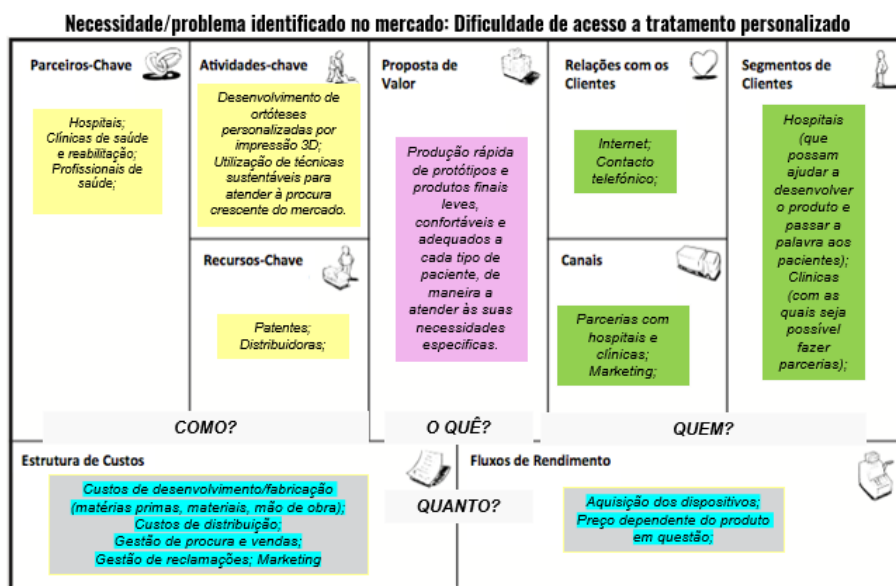


Figura 3.13: Modelo Canva aplicado ao presente projeto

### 3.3. Desenvolvimento do Produto

A produção de uma ortótese personalizada por impressão 3D, envolve uma sequência de etapas digitais e físicas integradas anteriormente referidas. A empresa a ser desenvolvida, procura seguir os mesmos moldes (Figura 3.14), começando com a receção do pedido e terminando na entrega do produto final. Inicialmente será feita a aquisição de dados onde a anatomia do paciente é recolhida através de tecnologias de digitalização 3D ou medições clínicas. Segue-se a fase de modelação digital, onde, com recurso a software CAD, iremos criar o modelo tridimensional da ortótese adaptada à morfologia e necessidades específicas do utilizador em questão. Posteriormente recorrem-se a ferramentas de simulação (CAE, Engenharia Assistida por Computador) que irão permitir realizar testes virtuais de resistência, flexibilidade e conforto, reduzindo a necessidade de múltiplas iterações físicas. Numa fase seguinte, será produzida uma primeira versão prototípica em impressora MDF de menor custo, de maneira a permitir validar o encaixe, o conforto e a funcionalidade. Após a verificação e eventuais ajustes, procede-se à produção final numa impressora certificada para uso médico utilizando materiais e parâmetros de qualidade controlados. O processo termina com o acabamento e o pós-processamento, que incluem limpeza, polimento, verificação dimensional e, se aplicável, esterilização, antes da entrega ao paciente ou instituição de saúde (Alrasheedi et al., 2025; Barrios-Muriel et al., 2020).

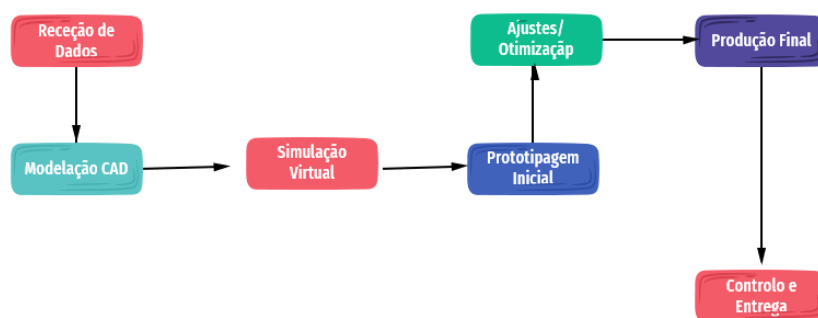


Figura 3.14: Fluxograma representativo das etapas de desenvolvimento de uma ortótese personalizada por MA (Alrasheedi et al., 2025)

Os materiais mais comuns para este tipo de aplicação são o PLA, o PETG e o TPU, devido à sua leveza, resistência e adequação ao contacto com o corpo humano. O controlo de qualidade será sempre necessário neste tipo de empresas, sendo considerado uma etapa crucial e inclui teste mecânicos e de flexão, inspeção dimensional e validação funcional, de modo a assegurar a conformidade com as normas internacionais como a ISO 13485

(gestão da qualidade em dispositivos médicos) e a ISO 10993 (avaliação da biocompatibilidade de materiais), mencionadas anteriormente em maior detalhe. O processo produtivo será estruturado de forma gradual, sendo que os primeiros testes se realizam em equipamentos de custo reduzido (com a intenção de garantir a eficiência e o baixo risco de desperdício) e apenas após validação positiva, se avança para a produção final certificada (Michalec et al., 2024; Vlăsceanu et al., 2024).

Sendo que o design digital permite ajustar características como o formato, a espessura e até mesmo a estética da ortótese, garantindo funcionalidades superiores, a personalização constitui o principal fator diferenciador deste tipo de produto. Posto isto, a proposta de valor deste projeto baseia-se na rapidez de resposta, na redução de custos e na melhoria significativa da experiência do utilizador, oferecendo dispositivos médicos de elevada precisão e adaptabilidade (Figura 3.15). Além disso, os dados anatómicos e os modelos digitais podem ser arquivados, contribuindo para a facilidade de reproduções futuras sem necessidade de recolher novamente as medidas do paciente e consequentemente, resultando numa resposta com maior rapidez (Vlăsceanu et al., 2024).

Em suma, a MA aplicada à produção de ortóteses representa uma abordagem inovadora e eficiente, que responde de forma direta às limitações dos processos convencionais. A integração de todas as fases mencionadas (desde a modelação ao controlo de qualidade) garante precisão e conformidade normativa, tornando possível entregar produtos personalizados de elevadas fiabilidade e competitividade no mercado da tecnologia médica (Choo et al., 2020).



*Figura 3.15: Exemplo de ortótese personalizada para membro inferior (Lavigne, 2021)*

## 4. Divulgação do Produto

A divulgação do produto vai desempenhar um dos papéis mais importantes e cruciais para o sucesso de qualquer Start-Up, nomeadamente quando se trata de introduzir uma solução inovadora num setor tão complexo e regulado como o setor da saúde. O principal objetivo desta fase consiste, tal como o nome indica, em promover as vantagens que este tipo de produto pode trazer ao mercado global, sensibilizando o público-alvo (profissionais de saúde, clínicas, hospitais e pacientes) e criar uma rede de parcerias estratégicas que assegurem a sustentabilidade do projeto a longo prazo. Esta divulgação passa não só pelo marketing, mas também, por um papel educativo, sendo importante demonstrar como a impressão 3D pode transformar o fabrico de dispositivos médicos, tornando-os mais confortáveis, precisos e economicamente acessíveis (Beaulieu & Lehoux, 2018; Berliana Oktavia Setyawati & Ernawaty, 2024; Hashimoto et al., 2024).

A estratégia de comunicação proposta centra-se em dois principais eixos entre os quais se encontram: a comunicação digital, que se foca na construção de uma identidade profissional sólida e na expansão da visibilidade online, e a comunicação presencial, que se foca no contacto direto com os *stakeholders* da área da saúde, com a intenção de consolidar a credibilidade científica e técnica do produto em questão (Figura 4.1) (Berliana Oktavia Setyawati & Ernawaty, 2024).

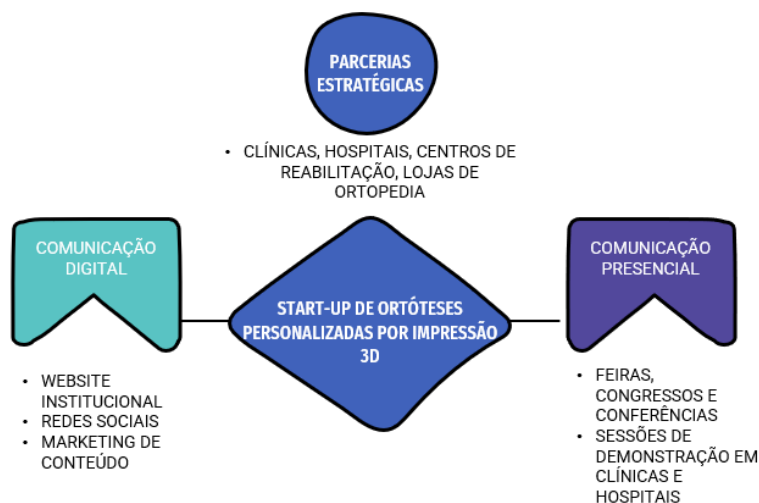


Figura 4.1: Estratégia de divulgação do produto em três eixos complementares (Beaulieu & Lehoux, 2018)

A primeira etapa passa pela criação de uma presença digital forte e coerente, capaz de transmitir confiança e profissionalismo. O *website* institucional será a principal

plataforma de comunicação e irá funcionar como um portefólio digital e um ponto de contacto entre a empresa, os profissionais de saúde e o público em geral. Deverá apresentar de forma clara os serviços oferecidos, o processo de desenvolvimento das ortóteses em si, as certificações e normas cumpridas, bem como testemunhos de profissionais e pacientes que comprovem a eficácia e conforto dos dispositivos e deve também incluir uma área interativa para pedidos personalizados, permitindo aos clientes submeter dados clínicos e acompanhar o estado de desenvolvimento da sua ortótese (Beaulieu & Lehoux, 2018; Berliana Oktavia Setyawati & Ernawaty, 2024).

Complementarmente, as redes sociais desempenham um papel estratégico na divulgação contínua da marca, sendo uma das formas mais fáceis de chegar a um maior número de gente. O *LinkedIn* será a plataforma principal para comunicação B2B (business-to-business), permitindo alcançar clínicas, hospitais e potenciais parceiros institucionais. O *Instagram* e o *Facebook* podem também ser úteis para chegar a um maior número de pessoa, uma vez que nos dias de hoje a maior parte das pessoas é aderente a pelo menos uma destas duas redes sociais, as mesmas podem consistir numa boa forma de divulgar o processo de fabrico e apresentar modelos de personalização já desenvolvidos ou em desenvolvimento. O *YouTube* e o *TikTok* podem ser explorados para apresentar vídeos ou até pequenos clips educativos e demonstrações técnicas, dando a conhecer de forma visual os processos de digitalização, modelação e impressão 3D das ortóteses (Beaulieu & Lehoux, 2018).

A presente estratégia de marketing de conteúdo será orientada para a criação e partilha de informação relevante, com publicações periódicas de artigos, estudos de caso, resultados de testes e inovações tecnológicas, reforçando a credibilidade científica da Start-Up, posicionando-a assim, como uma referência no domínio da impressão 3D médica e da reabilitação personalizada (Berliana Oktavia Setyawati & Ernawaty, 2024).

Apesar da crescente importância do marketing digital, o contacto direto continua a ser determinante para a credibilização de um novo produto médico e nesse sentido, a empresa deverá participar em feiras, congressos e eventos científicos relacionados com tecnologia médica, ortopedia, reabilitação e empreendedorismo, sendo estes os principais focos da mesma. Eventos como o Portugal Health Summit, Medical Fair Iberia ou o EIT Health Summit, representam oportunidades únicas de *networking*, permitindo apresentar protótipos, recolher feedback e estabelecer contactos com distribuidores e instituições de saúde (Beaulieu & Lehoux, 2018).

É também importante que sejam organizadas sessões de demonstração em clínicas e hospitais, nas quais a equipa técnica possa apresentar o processo de digitalização anatómica, modelação CAD e impressão MDF, destacando as vantagens da personalização, da leveza e da redução de custos e tempo face ao fabrico convencional, com o intuito de recolher dados clínicos e perceções dos utilizadores, de modo a conseguir aperfeiçoar o produto e aumentar a sua aceitação no mercado (Beaulieu & Lehoux, 2018; Chaanine & Khoury, 2023)

É crucial que se criem parcerias estratégicas como colaboração com lojas de ortopedia, centros de reabilitação, universidades e associações de fisioterapeutas, permitindo expandir o alcance da marca e garantindo o acesso mais fácil de produtos junto do público-alvo, funcionando como representantes ou mediadores e facilitando o contacto entre a Start-Up e os pacientes que necessitam de soluções personalizadas (Chaanine & Khoury, 2023).

A cooperação com instituições académicas e centros de investigação poderá também reforçar a credibilidade científica do projeto e abrir portas a financiamentos, ensaios clínicos e desenvolvimento de novos produtos (Beaulieu & Lehoux, 2018).

A implementação da estratégia de divulgação deverá seguir um plano estruturado e progressivo, que poderá eventualmente sofrer alguns ajustes, mas cuja base inicial é apresentada na Tabela 4.1 (Beaulieu & Lehoux, 2018).

*Tabela 4.1: Plano estruturado da implementação da estratégia de divulgação (Beaulieu & Lehoux, 2018)*

AÇÃO	OBJETIVO	PERIODICIDADE
Criação de website e redes sociais	Divulgação institucional e contacto direto com clientes	1º trimestre
Participação em feiras e congressos	Divulgação e recolha de feedback	2/3 eventos por ano
Sessões de demonstração em clínicas e hospitais	Testar e promover os produtos	Semestral
Estabelecimento de parcerias estratégicas	Expansão da rede de distribuição e validação clínica	Contínuo

Publicação de estudos de caso e resultados online	Reforço da credibilidade técnica e científica	Trimestral
---	---	------------

Mais do que vender um produto, o objetivo central da empresa consiste em transmitir uma nova forma de ver a reabilitação, através da demonstração que a personalização, a eficiência e a inovação tecnológica podem coexistir de forma sustentável e acessível, sendo necessário que a sua estratégia de divulgação a posicione como um agente inovador no setor da saúde. Através da combinação entre presença digital, comunicação presencial e parcerias estratégicas, procura-se garantir uma visibilidade crescente, aumentar a confiança e promover a aceitação das ortóteses impressas por MDF tanto no mercado nacional como no mercado europeu (Beaulieu & Lehoux, 2018; Chaanine & Houry, 2023)

## 5. Custos e Rentabilidade

Com a intenção de avaliar a viabilidade económica do projeto foi elaborado um estudo estimativo de custos e rentabilidade, onde foram recolhidos valores de mercado tendo como base o desenvolvimento de uma Start-Up dedicada à produção de ortóteses personalizadas por impressão 3D, utilizando tecnologia MDF.

O objetivo deste estudo centra-se em compreender as necessidades de investimento inicial, os custos operacionais e a projeção de receitas, de maneira a avaliar a sustentabilidade e o potencial de crescimento do negócio e, portanto, os valores apresentados resultam de médias de mercado obtidas em fornecedores nacionais e internacionais e refletem um cenário de pequena empresa em fase inicial de operação.

A Tabela 5.1 apresenta uma estimativa dos custos de investimento inicial, necessários para a implementação de presente empresa, desde equipamentos, a mobiliário, software e despesas legais de certificação.

*Tabela 5.1: Estimativa de custos iniciais*

CATEGORIA	EXEMPLOS	CUSTO ESTIMADO (€/ANO)	OBSERVAÇÕES
-----------	----------	------------------------	-------------

MATÉRIA-PRIMA	1000 ortóteses/ano	12.000€	Filamento PLA / PETG / TPU, material de suporte, material de limpeza
EQUIPAMENTOS E MANUTENÇÃO	2 impressoras + 1 scanner	8.000€	2 Impressoras MDF, scanner 3D, manutenção
MÃO DE OBRA DIRETA	1 técnico + 1 designer	14.000€	Técnicos, controlo de qualidade
CUSTOS FIXOS GERAIS	FSEs + licenças anuais	6.000€	Água, luz, internet, aluguer, software (CAD) e simulação, seguros, marketing
CERTIFICAÇÃO E REGISTO	Essencial para mercado médico	8.000€	Certificação ISO 13485, marcação CE, certificação ISO 10993, auditorias
CUSTOS INICIAIS	2 computadores, 1 secretária, 4 cadeiras	7.000€	Computadores, secretárias, cadeiras, estantes para armazenamento
TOTAL ESTIMADO DE INVESTIMENTO INICIAL	55000€		

A estrutura de custos apresentada evidencia a necessidade de investimentos iniciais e operacionais alinhados com as exigências técnicas e regulamentares do setor dos dispositivos médicos personalizados. Os valores atribuídos às matérias-primas e aos equipamentos, justificam-se pelo facto de a impressão 3D em ortopedia requerer

filamentos de elevada resistência mecânica e biocompatíveis, verificando-se os seus custos, mais elevados do que os materiais comuns. Estudos recentes sobre produção aditiva na saúde demonstram que os materiais específicos para dispositivos médicos representam uma fração significativa do orçamento anual, devido à necessidade de garantir qualidade e segurança e, portanto, foi efetuada uma estimativa com base nos valores apresentados no mercado (Atallah et al., 2025; Chang & Choo, 2025). Da mesma forma, o investimento em impressoras MDF de nível profissional, scanners 3D e serviços de manutenção é crucial para assegurar aspetos identificados na literatura como determinantes para a eficácia clínica das ortóteses produzidas por MA: precisão anatómica e repetibilidade dos resultados (Pelczarski et al., 2025).

Para além dos custos técnicos, são necessárias certificações, auditorias e cumprimento regulamentar, uma vez que a conformidade com normas como a ISO 13485 e a marcação CE são obrigatórias aquando da comercialização de dispositivos médicos na União Europeia. Estes processos implicam, portanto, auditorias periódicas, implementação de sistemas de gestão da qualidade validação de processos, constituindo um investimento contínuo reconhecido como uma das principais barreiras de entrada para novas empresas no setor (Alexander et al., 2021). Os custos operacionais gerais – como software CAD, energia, aluguer de espaço, seguros e marketing – são consistentes com as necessidades de uma Start-Up tecnológica orientada para soluções clínicas personalizadas, sendo regularmente mencionados na literatura como indispensáveis para garantir a sustentabilidade, eficiência de produção e capacidade competitiva no mercado. Não esquecendo os custos iniciais, calculados com base nos valores atuais do mercado - como secretárias, cadeiras, computadores e material de armazenamento – necessários para o arranque do projeto e cruciais para que o trabalho seja desenvolvido num local com condições para tal (Silva et al., 2021).

O conjunto de investimentos apresentados reflete não apenas os requisitos técnicos e operacionais necessários para garantir a produção de ortóteses personalizadas de elevada qualidade, mas também o enquadramento regulamentar que caracteriza o setor da saúde. Através das estimativas é possível observar que uma empresa baseada em MA depende da aquisição de equipamentos e de um ecossistema completo que assegure segurança e desempenho clínico dos produtos, sendo necessário articular a tecnologia, a certificação e os recursos humanos especializados. Desta forma, os valores estimados não só se encontram alinhados com o que é descrito na literatura, como demonstram a importância

de uma estrutura financeira sólida para garantir a sustentabilidade e crescimento de uma Start-Up inovadora no setor da saúde (Silva et al., 2021; Sodiq Odetunde Babatunde, 2024).

De maneira a ter uma melhor noção do valor possível de alcançar através das vendas, foi necessário estipular quais os custos médios de produção dos dispositivos e quais os preços de venda atribuídos, tendo como base a necessidade de lucro em cada um deles. Posto isto, os preços foram divididos em três gamas, que variam entre si, consoante a complexidade, a qualidade do material, o tamanho (ou seja, a quantidade de material gasto) e a customização (Tabela 5.2) (Khai Tran & Carolyn Spry, 2019).

*Tabela 5.2: Custo dos produtos vendidos*

PREÇOS	PC	PV
GAMA SIMPLES	20€	75€
GAMA MÉDIA	90€	250€
GAMA ALTA	250€	450€

Tendo em conta os preços definidos, foi calculada a taxa de crescimento do projeto ao longo dos 5 anos, e calculado o respetivo rendimento (Tabela 5.3). A taxa de crescimento relativa ao ano de 2026 foi estimada com base no ano de 2025 e tendo em conta a taxa de inflação. As taxas de crescimento dos anos seguintes foram estimadas com base na fase da taxa de crescimento da teoria do ciclo de vida (Corbey et al., 2019).

*Tabela 5.3: Rendimento*

	2026	2027	2028	2029	2030
TAXA CRESCIMENTO	3,00%	10%	20%	10%	10%
VENDAS	66.000€	79.200€	95.040€	104.544€	114.998€
SERVIÇOS					
TOTAL RENDIMENTO	66.000€	79.200€	95.040€	104.544€	114.998€

Após definir uma estimativa de custos iniciais, custos de produto e rendimento estimado, procedeu-se à elaboração da demonstração de resultados previsional (Tabela 5.4), que tem como finalidade analisar a viabilidade económica do projeto no decorrer de 5 anos. A presente projeção procura refletir a estrutura de gastos definida anteriormente, bem como as depreciações associadas ao investimento em equipamentos e infraestruturas,

permitindo avaliar a evolução esperada do desempenho financeiro da empresa e dando destaque à relação entre o investimento inicial e a criação de resultados e fluxos de caixa futuros, fundamentais para comprovar a sustentabilidade e rentabilidade do projeto (Abdullah, 2020; Gabriel et al., 2024).

Tabela 5.4: Demonstração de resultados previstos

	2026	2027	2028	2029	2030
INVESTIMENTO	55.000€				
CMVMC	25.978€	30.771€	31.694€	32.645€	33.624€
GASTOS DE PESSOAL	26.180€	27.018€	27.882€	28.775€	26.695€
FSE					
DESPESAS CORRENTES	2.880€	2.949€	3.020€	3.093€	3.167€
RENDAS	5.400€	5.530€	5.662€	5.798€	5.937€
DESPESAS DE REPRESENTAÇÃO	500€	512€	524€	537€	550€
MARKETING E DIVULGAÇÃO	500€	512€	524€	537€	550€
OUTROS FSE	1.750€	1.792€	1.835€	1.879€	1.924€
DEPRECIACÕES	1.000€	1.000€	1.000€	1.000€	1000€
GASTOS FINANCEIROS	1.760€	1.760€	1.760€	1.760€	1.760€
TOTAL CUSTOS/GASTOS	66.108€	71.843€	73.902€	76.023€	78.207€

Tendo como base os resultados estimados na tabela anterior, foram estimados os fluxos de caixa associados ao projeto (Tabela 5.5).

É importante que seja feita uma projeção dos fluxos de caixa (*cash flows*), uma vez que os métodos de avaliação financeira se baseiam na disponibilidade real de fundos e não apenas em resultados meramente contabilísticos, sendo necessário avaliar a capacidade efetiva do projeto gerar liquidez ao longo do tempo e perceber o impacto económico real dos resultados operacionais e do investimento inicial (Brouwer, 2012; Seretidou et al., 2025).

O *cash flow* operacional representa o montante de liquidez gerado pelas operações correntes da empresa e dá a conhecer quanto dinheiro o negócio é capaz de gerar apenas com a sua atividade operacional (excluindo efeitos de financiamento ou de investimento),

permitindo perceber se o mesmo tem capacidade de gerar lucro (Brouwer, 2012; Seretidou et al., 2025).

O *cash flow* atualizado incorpora o conceito de valor temporal do dinheiro, ajustando o fluxo de caixa de cada ano a uma taxa de desconto, neste caso, de 10% e traduz todo o fluxo gerado pelo projeto para valores atuais, comparativamente ao investimento inicial. É necessário atualizar os fluxos para que as decisões de investimento não sejam distorcidas, visto que, um euro hoje, vale mais do que um euro no futuro (Brouwer, 2012; Seretidou et al., 2025).

O *cash flow* acumulado é a base para calcular o Período de Recuperação do Investimento (PRI): quanto mais cedo se tornar positivo, mais rapidamente o projeto cobre o capital investido e menor é o risco financeiro associado. Consiste na soma progressiva dos *cash flows* atualizados, desde o investimento inicial até ao último ano de análise e permite identificar o momento exato em que o investimento é recuperado, assumindo o valor temporal do dinheiro (Brouwer, 2012; Seretidou et al., 2025).

Tabela 5.5: *Cash flow estimado*

	2026	2027	2028	2029	2030
CASH FLOW OPERACIONAL	892,22€	8.356,8€	22.138,1€	29.521,45€	34.992,12€
CASH FLOW ATUALIZADO (10%)	826,13€	7.737,8€	20.498,2€	27.334,68€	43.712,29€
CASH FLOW ACUMULADO	826,13€	8.563,9€	29.062,2€	56.396,85€	91.388,97

Para calcular a taxa de atualização dos *cash flows* foram considerados três cenários onde: o cenário conservador se encontra entre 5-8% ao ano de retorno sobre o capital investido, o cenário médio (utilizado) entre 10-15% e o cenário otimista, +20%.

Após efetuar os cálculos dos fluxos de caixa, torna-se possível avaliar a sua viabilidade financeira através de indicadores que têm como função sintetizar a rentabilidade, o risco e a eficiência económica do investimento (Tabela 5.6).

O Valor Atual Líquido (VAL) mede quanto valor o projeto adiciona hoje, descontando os fluxos de caixa futuros, à taxa de remuneração exigida (10%). A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) consiste na taxa de retorno anual do projeto, isto é, a taxa a partir da

qual o VAL se torna zero e quanto maior for a TIR e mais acima estiver da taxa de desconto, mais atrativo se torna o investimento. O Período de Recuperação do Investimento (PRI) calcula quanto tempo é necessário para recuperar o investimento inicial e quanto mais baixo for, menor se revela o risco e maior a liquidez (Abdullah, 2020; Brouwer, 2012).

*Tabela 5.6: Avaliação económica do projeto*

TAXA DE REMUNERAÇÃO EXIGIDA	10%
VAL	11.799,41€
TIR	16,25%
PRI	2,79 ANOS

Verifica-se que o VAL é positivo, confirmando que o projeto gera mais valor do que o custo de oportunidade do capital, isto é, o investimento é considerado economicamente viável e com capacidade para compensar o risco associado com uma remuneração adequada. A TIR é superior à taxa de desconto utilizada (10%), o que significa que o projeto oferece uma rentabilidade anual superior à exigida pelos investidores, ou seja, para cada euro investido, a taxa de retorno é suficientemente elevada para justificar o investimento. O PRI encontra-se dentro do período de análise (5 anos), demonstrando que o projeto recupera rapidamente o capital investido, o que indica uma boa capacidade de gerar liquidez em fases iniciais, reduzindo a exposição ao risco. O Índice de Rentabilidade (IR) não se encontra presente na Tabela 5.6, mas obtendo um VAL positivo, é possível deduzir que o IR vai ser superior a 1 (por cada euro investido, o valor presente dos retornos é superior a esse montante), indicando uma boa capacidade de gerar liquidez e traduzindo o projeto, como um projeto capaz de criar valor (Abdullah, 2020; Gabriel et al., 2024; Mason & Stark, 2004; Seretidou et al., 2025).

Os indicadores financeiros convergem todos para a mesma conclusão: o presente projeto revela-se financeiramente viável devido à sua capacidade de gerar valor num período de recuperação adequado, reforçando a sustentabilidade económica da iniciativa e justificando a sua implementação.

## 6. Conclusão

Através da análise do mercado atual do empreendedorismo na área da saúde, da identificação das áreas com maior potencial de desenvolvimento e da definição de um modelo de negócio adaptado ao contexto médico, foi estruturada uma proposta capaz de trazer ao mercado, viabilidade técnica, eficiência económica e valor acrescentado tanto para o paciente, como para os profissionais de saúde (Atallah et al., 2025; Silva et al., 2021).

É possível afirmar que a impressão 3D na área da ortopedia apresenta um elevado potencial de crescimento, tanto pela sua capacidade de produzir dispositivos personalizáveis e anatomicamente adequados, como pela possibilidade de reduzir fortemente o tempo de produção, os custos associados e o desperdício, o que faz com que o modelo proposto se diferencie dos métodos convencionais de fabrico, tradicionalmente dispendiosos, lentos e pouco sustentáveis. A integração de processos digitais e de prototipagem rápida, permite que o produto seja testado virtualmente antes de avançar para a sua produção, diminuindo esse desperdício, aumentando a precisão e garantindo uma melhor adaptação às necessidades específicas de cada paciente (Atallah et al., 2025; Chang & Choo, 2025).

A proposta de valor do presente projeto foca-se assim, na personalização e na eficiência, sendo estes fatores cruciais num setor onde a satisfação e o bem-estar do paciente são determinantes. Através do uso da MA, é possível responder às limitações do FC, melhorar o conforto e a funcionalidade dos dispositivos e, em simultâneo, contribuir para a redução da pressão sobre os serviços de saúde, trazendo soluções rápidas, seguras e acessíveis (K. Wang et al., 2020).

Apesar dos resultados obtidos, o número reduzido de respostas aos questionários, acaba por limitar a representatividade das perceções recolhidas e a ausência de uma comparação económica direta com ortóteses tradicionais (que permitiria reforçar a robustez da análise financeira), podem ser apontadas como limitações do presente estudo. É possível reconhecer também, que a implementação deste projeto enfrenta desafios, verificando-se o maior deles, o cumprimento de normas regulamentares rigorosas aplicáveis a dispositivos médicos, custos iniciais de certificação e processos de validação clínica, sendo, portanto, necessário planeamento e parcerias estratégicas que possam auxiliar neste sentido (Atallah et al., 2025; Chang & Choo, 2025; K. Wang et al., 2020).

A aceitação por parte dos profissionais de saúde e dos utilizadores finais, vai depender da sua confiança no produto, da qualidade demonstrada e da evidencia científica dos resultados obtidos, sendo importante que se realizem testes experimentais e de validação clínica das ortóteses produzidas, de maneira a comprovar o seu desempenho funcional, a resistência mecânica e o conforto do utilizador, Em paralelo, deverá ser explorada a criação de parcerias com instituições hospitalares, clínicas de reabilitação e universidades, potenciando o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias associadas à MA aplicado e a presença em eventos científicos e feiras de inovação é igualmente fundamental para reforçar a visibilidade e credibilidade do projeto (Pelczarski et al., 2025; K. Wang et al., 2020).

O ritmo acelerado do desenvolvimento tecnológico sugere que o setor da saúde irá continuar a transformar-se e acompanhá-lo, passa a ser não só uma vantagem competitiva, como também uma necessidade. O presente trabalho mostra que a integração da impressão 3D no setor da saúde representa uma oportunidade para a promoção de soluções personalizadas, acessíveis e sustentáveis, capazes de responder às novas exigências clínicas e sociais (Ozbolat & Hospodiuk, 2016; Pelczarski et al., 2025).

O empreendedorismo tecnológico pode assumir um papel central na modernização dos cuidados de saúde, contribuindo para um futuro mais eficiente e orientado para o bem-estar do paciente, e a capacidade de atualização contínua da Start-Up proposta, é o exemplo disso, permitindo que a mesma se mantenha alinhada com as exigências futuras do mercado. A análise económico-financeira apresentada confirma a viabilidade e sustentabilidade do projeto proposto, o que reforça os argumentos desenvolvidos no decorrer do documento, uma vez que, os indicadores financeiros funcionam como um complemento às evidências teóricas e praticas discutidas, permitindo que o estudo se encerre com uma visão integrada da importância e exequibilidade da proposta, devido à sua capacidade de gerar retorno e criar valor a longo prazo (Pelczarski et al., 2025; K. Wang et al., 2020).

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação do estudo a uma amostra maior e mais diversificada, bem como a realização de análises comparativas entre diferentes métodos de fabrico, incluindo estudos de custo-benefício e avaliações clínicas que permitam validar e aprofundar o impacto das ortóteses produzidas por impressão 3D.

## 7. Referências Bibliográficas

- A. W. Fatimatuzahraa, B. Farahaina, & Wan Ahmad Yusmawiza Wan Yusoff. (2011). *The effect of employing different raster orientations on the mechanical properties and microstructure of Fused Deposition Modeling parts.*
- Abdullah, R. (2020). Importance And Contents Of Business Plan: A Case-Based Approach. *Jurnal Manajemen Indonesia*, 20(2), 164–176. <https://doi.org/10.25124/jmi.v20i2.3204>
- AICEP. (2025). *Health industry.* <https://www.portugalglobal.pt/en/investment/key-industries/health-industry/>
- Alexander, A. E., Wake, N., Chepelev, L., Brantner, P., Ryan, J., & Wang, K. C. (2021). A guideline for 3D printing terminology in biomedical research utilizing ISO/ASTM standards. In *3D Printing in Medicine* (Vol. 7, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s41205-021-00098-5>
- Alrasheedi, N. H., Tlija, M., Elloumi, N., & Louhichi, B. (2025). A critical review of 3D printed orthoses towards workflow implementation in the clinical practice. In *Journal of Engineering Research (Kuwait)* (Vol. 13, Issue 2, pp. 1038–1051). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.01.024>
- Álvarez-Chimal, R., Vázquez-Vázquez, F. C., Serrano-Bello, J., López-Barrios, K., Marichi-Rodríguez, F. J., & Álvarez-Pérez, M. A. (2025). A Review of 3D Printing by Robocasting and Stereolithography for Cartilage and Ocular Tissue Regeneration. In *Biomedical Materials and Devices* (Vol. 3, Issue 2, pp. 1087–1103). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s44174-024-00254-5>
- Assembleia da República. (2025). *Legislação na área da Saúde.* [https://www.parlamento.pt/Legislacao/Paginas/Leis\\_area\\_saude.aspx](https://www.parlamento.pt/Legislacao/Paginas/Leis_area_saude.aspx)
- Atallah, H., Qufabz, T., Bakhsh, H. R., & Ferriero, G. (2025). The current state of 3D-printed orthoses clinical outcomes: a systematic review. In *BMC Musculoskeletal Disorders* (Vol. 26, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12891-025-09070-4>

- Barrios-Muriel, J., Romero-Sánchez, F., Alonso-Sánchez, F. J., & Salgado, D. R. (2020). Advances in orthotic and prosthetic manufacturing: A technology review. *Materials*, *13*(2). <https://doi.org/10.3390/ma13020295>
- Beaulieu, M., & Lehoux, P. (2018). Emerging health technology firms' strategies and their impact on economic and healthcare system actors: a qualitative study. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, *7*(1). <https://doi.org/10.1186/s13731-018-0092-5>
- Berliana Oktavia Setyawati, & Ernawaty. (2024). Digital marketing strategies in healthcare services: literature review. *International Journal of Health Science and Technology*, *6*(2), 89–99. <https://doi.org/10.31101/ijhst.v6i3.3690>
- Brouwer, N. (2012). CASH FLOW RELATED INDICATORS OF BUSINESS SUSTAINABILITY. In *Journal of Economic and Financial Sciences | JEF* (Vol. 5, Issue 1).
- Caldeira. (2022). *Empreendedorismo no setor da saúde em Portugal*. <https://www.sage.com/pt-pt/blog/empreendedorismo-no-setor-da-saude-em-portugal/>
- V. (2022). *Top 3D Printed Orthoses*. <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-orthoses-110620194/#!>
- Chaanine, J., & Khoury, L. (2023). Empowering Medtech Startups: Unveiling the Path to Commercial Triumph Within the European Union. *International Journal of Professional Business Review*, *8*(9), e03683. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i9.3683>
- Chang, M. C., & Choo, Y. J. (2025). Comparative Efficacy of 3D-Printed Insoles in Managing Common Foot Conditions: A Review. In *Medical Science Monitor* (Vol. 31). International Scientific Information, Inc. <https://doi.org/10.12659/MSM.947252>
- Choo, Y. J., Boudier-Revéret, M., & Chang, M. C. (2020). 3D printing technology applied to orthosis manufacturing: Narrative review. In *Annals of Palliative Medicine* (Vol. 9, Issue 6, pp. 4262–4270). AME Publishing Company. <https://doi.org/10.21037/apm-20-1185>

- Corbey, M., de Roon, F., & Hinfelaar, S. (2019). Company life cycle models and business valuation. *Maandblad Voor Accountancy En Bedrijfseconomie*, 93(9/10), 285–296. <https://doi.org/10.5117/mab.93.37561>
- Entidade Reguladora da Saúde. (2021). *Direitos e Deveres dos Utentes dos Serviços de Saúde*. [https://www.ers.pt/media/sfbd4x2h/publica%C3%A7%C3%A3o-ers\\_direitos-e-deveres.pdf](https://www.ers.pt/media/sfbd4x2h/publica%C3%A7%C3%A3o-ers_direitos-e-deveres.pdf)
- Gabriel, J., Ramírez, C., Gabriel, J., & Ramirez, C. (2024). The Power of Planning: How Business Plans Drive Effective Management Strategies The Power of Planning: How Business Plans Drive Effective Management Strategies under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed>. In *en*) (Vol. 1). <https://www.researchgate.net/publication/379179006>
- Gu, Z., Fu, J., Lin, H., & He, Y. (2020). Development of 3D bioprinting: From printing methods to biomedical applications. In *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences* (Vol. 15, Issue 5, pp. 529–557). Shenyang Pharmaceutical University. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2019.11.003>
- Guo, N., & Leu, M. C. (2013). Additive manufacturing: Technology, applications and research needs. In *Frontiers of Mechanical Engineering* (Vol. 8, Issue 3, pp. 215–243). <https://doi.org/10.1007/s11465-013-0248-8>
- Harding, A., Pramanik, A., Basak, A. K., Prakash, C., & Shankar, S. (2023). Application of additive manufacturing in the biomedical field- A review. In *Annals of 3D Printed Medicine* (Vol. 10). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2023.100110>
- Hashimoto, S., Motozawa, Y., & Mano, T. (2024). Digital marketing innovation: New business models for pharmaceutical and medical device product marketing. *Digital Health*, 10. <https://doi.org/10.1177/20552076241279186>
- INFARMED. (2008). Dispositivos Médicos. In [https://www.infarmed.pt/documents/15786/1228470/Dispositivos\\_Medicos.pdf/](https://www.infarmed.pt/documents/15786/1228470/Dispositivos_Medicos.pdf/). INFARMED - Autoridade Nacional do Medicamento e Produtos de Saúde, I.P.
- Invest in Portugal. (2024). *Health Industry Report*. <https://www.portugalglobal.pt/media/umxnlu5f/health-industry-report.pdf>

- ISO 10993-1. (2018). <https://www.iso.org/standard/68936.html>
- ISO: *Global standards for trusted goods and services*. (2025). <https://www.iso.org/home.html>
- ISO/ASTM 52900. (2015). <https://www.iso.org/standard/69669.html>
- Lavigne. (2021). *How AI and 3D Printing Enhance Crafting Custom Orthotics and Prosthetics*. <https://3dheals.com/how-ai-and-3d-printing-enhance-crafting-custom-orthotics-and-prosthetics/>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). 3D printing applications for healthcare research and development. In *Global Health Journal* (Vol. 6, Issue 4, pp. 217–226). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2022.11.001>
- Jun, M. K., Kim, J. W., & Ku, H. M. (2025). Three-Dimensional Printing in Dentistry: A Scoping Review of Clinical Applications, Advantages, and Current Limitations. In *Oral* (Vol. 5, Issue 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/oral5020024>
- Kermavnar, T., Shannon, A., O’Sullivan, K. J., McCarthy, C., Dunne, C. P., & O’Sullivan, L. W. (2021). Three-Dimensional Printing of Medical Devices Used Directly to Treat Patients: A Systematic Review. In *3D Printing and Additive Manufacturing* (Vol. 8, Issue 6, pp. 366–408). Mary Ann Liebert Inc. <https://doi.org/10.1089/3dp.2020.0324>
- Khai Tran, & Carolyn Spry. (2019). Custom-Made Foot Orthoses versus Prefabricated foot Orthoses: A Review of Clinical Effectiveness and Cost-Effectiveness [Internet]. *Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health*.
- Kumar, R., Kumar, M., & Chohan, J. S. (2021). The role of additive manufacturing for biomedical applications: A critical review. In *Journal of Manufacturing Processes* (Vol. 64, pp. 828–850). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.02.022>
- Kunkel, M. E. (2020). *Manufatura Aditiva do Tipo FDM na Engenharia Biomédica*. <https://www.researchgate.net/publication/350801302>
- Lokman, L., & Chahine, T. (2020). *Business models for primary health care delivery in low and middle income countries: a scoping study of nine social entrepreneurs*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-35167/v3>

- Madison Duensing. (2025). *Biocompatibility and Sterilization in 3D Printed Medical Devices*.
- Mason, C., & Stark, M. (2004). What do investors look for in a business plan? A comparison of the investment criteria of bankers, venture capitalists and business angels. *International Small Business Journal*, 22(3), 227–248. <https://doi.org/10.1177/0266242604042377>
- Michalec, P., Schusser, M., Weidner, R., & Brandstötter, M. (2024). Designing Hand Orthoses: Advances and Challenges in Material Extrusion. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/app14209543>
- Mughir, W. A. (2022). *A Review in 3D Printing Technique: Types, Applications and Process Parameters*. [www.journalofbabylon.com](http://www.journalofbabylon.com)
- Murray, A., & Scuotto, V. (2016). The Business Model Canvas. *Symphonya. Emerging Issues in Management*, 94–109. <https://doi.org/10.4468/2015.3.13murray.scuotto>
- Nakajima, H., & Sekiguchi, T. (2025). Is Business Planning Useful for Entrepreneurs? A Review and Recommendations. *Businesses*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.3390/businesses5010010>
- Ning, F., Cong, W., Qiu, J., Wei, J., & Wang, S. (2015). Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling. *Composites Part B: Engineering*, 80, 369–378. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.06.013>
- Ozbolat, I. T., & Hospodiuk, M. (2016). Current advances and future perspectives in extrusion-based bioprinting. In *Biomaterials* (Vol. 76, pp. 321–343). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2015.10.076>
- Patel, R., Patel, S., Shah, N., Shah, S., Momin, I., & Shah, S. (2024). 3D printing chronicles in medical devices and pharmaceuticals: tracing the evolution and historical milestones. In *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition* (Vol. 35, Issue 17, pp. 2723–2766). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/09205063.2024.2386222>
- Pelczarski, M., Kazimierczuk, K., Mydlikowska, M., Sadowski, J., Klaudel, T., Zaborska, M., & Wąsik, M. (2025). 3D Printing in the Creation of Orthopedic Prostheses and

- Orthoses. In *Journal of Medical and Biological Engineering*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40846-025-00984-x>
- Peron, M., Agnusdei, L., Miglietta, P. P., Agnusdei, G. P., Finco, S., & Del Prete, A. (2024). Additive vs conventional manufacturing for producing complex systems: A decision support system and the impact of electricity prices and raw materials availability. *Computers and Industrial Engineering*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110406>
- Prządka, M., Pająk, W., Kleinrok, J., Pec, J., Michno, K., Karpiński, R., & Baj, J. (2025). Advances in 3D Printing Applications for Personalized Orthopedic Surgery: From Anatomical Modeling to Patient-Specific Implants. In *Journal of Clinical Medicine* (Vol. 14, Issue 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/jcm14113989>
- Rajan, K., Samykano, M., Kadirgama, K., Harun, W. S. W., & Rahman, M. M. (2022). Fused deposition modeling: process, materials, parameters, properties, and applications. In *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Vol. 120, Issues 3–4, pp. 1531–1570). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08860-7>
- Rehman, M., Yanen, W., Mushtaq, R. T., Ishfaq, K., Zahoor, S., Ahmed, A., Kumar, M. S., Gueyee, T., Rahman, M. M., & Sultana, J. (2023). Additive manufacturing for biomedical applications: a review on classification, energy consumption, and its appreciable role since COVID-19 pandemic. In *Progress in Additive Manufacturing* (Vol. 8, Issue 5, pp. 1007–1041). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40964-022-00373-9>
- Rong, K., Patton, D., & Chen, W. (2018). Business models dynamics and business ecosystems in the emerging 3D printing industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 134, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.06.015>
- Seretidou, D., Billios, D., & Stavropoulos, A. (2025). Integrative Analysis of Traditional and Cash Flow Financial Ratios: Insights from a Systematic Comparative Review. In *Risks* (Vol. 13, Issue 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/risks13040062>

- Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286–1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
- Silva, L. R. R., Sales, W. F., Campos, F. dos A. R., de Sousa, J. A. G., Davis, R., Singh, A., Coelho, R. T., & Borgohain, B. (2021). A comprehensive review on additive manufacturing of medical devices. In *Progress in Additive Manufacturing* (Vol. 6, Issue 3, pp. 517–553). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40964-021-00188-0>
- Soares do Nascimento, R., Nasser Fraxe Marinho Soares, A., Lima Biase, G., & Melo Gonçalves, D. (2025). Uso da impressão 3D na produção de próteses com materiais biodegradáveis para populações ribeirinhas da região amazônica, Manaus. *INTERFERENCE: A JOURNAL OF AUDIO CULTURE*, 11(2), 3732–3744. <https://doi.org/10.36557/2009-3578.2025v11n2p3732-3744>
- Sodiq Odetunde Babatunde. (2024). Business model innovation in healthcare: A theoretical review of entrepreneurial strategies in the medical sector. *International Journal of Biological and Pharmaceutical Sciences Archive*, 7(1), 148–157. <https://doi.org/10.53771/ijbpsa.2024.7.1.0032>
- Swierstra, T., & Rip, A. (2007). Nano-ethics as NEST-ethics: Patterns of moral argumentation about new and emerging science and technology. *NanoEthics*, 1(1), 3–20. <https://doi.org/10.1007/s11569-007-0005-8>
- Tatiana Jabor Botura. (2025). *Additive Manufacturing in Medical Devices: Innovation, Challenges, and Paths to Compliance*. <https://testlabsuk.com/blog/additive-manufacturing-in-medical-devices-innovation-challenges-and-paths-to-compliance/>
- Trindade, D., Habiba, R., Fernandes, C., Costa, A. A., Silva, R., Alves, N., Martins, R., Malça, C., Branco, R., & Moura, C. (2024). Material Performance Evaluation for Customized Orthoses: Compression, Flexural, and Tensile Tests Combined with Finite Element Analysis. *Polymers*, 16(18), 2553. <https://doi.org/10.3390/polym16182553>

- Vijayavenkataraman, S., Lu, W. F., & Fuh, J. Y. H. (2016). 3D bioprinting – An Ethical, Legal and Social Aspects (ELSA) framework. In *Bioprinting* (Vols. 1–2, pp. 11–21). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2016.08.001>
- Vlăsceanu, D., Popescu, D., Baciuc, F., & Stochioiu, C. (2024). Examining the Flexural Behavior of Thermoformed 3D-Printed Wrist–Hand Orthoses: Role of Material, Infill Density, and Wear Conditions. *Polymers*, *16*(16). <https://doi.org/10.3390/polym16162359>
- Wang, K., Lu, C., Ye, R., He, W., Wei, X., Li, Y., Pan, X., Zhao, C., & Yu, X. (2020). Research and development of 3D printing orthotic insoles and preliminary treatment of leg length discrepancy patients. *Technology and Health Care*, *28*(6), 615–624. <https://doi.org/10.3233/THC-202170>
- Wang, Y., Ahmed, A., Azam, A., Bing, D., Shan, Z., Zhang, Z., Tariq, M. K., Sultana, J., Mushtaq, R. T., Mehboob, A., Xiaohu, C., & Rehman, M. (2021). Applications of additive manufacturing (AM) in sustainable energy generation and battle against COVID-19 pandemic: The knowledge evolution of 3D printing. In *Journal of Manufacturing Systems* (Vol. 60, pp. 709–733). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.023>