

# **O futuro das tecnologias aditivas na medicina para o horizonte de 2030**

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Emanuel Santos Serrano

Leiria, abril de 2020

# **O futuro das tecnologias aditivas na medicina para o horizonte de 2030**

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Emanuel Santos Serrano

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação do Doutor Henrique Amorim Almeida, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação da Doutora Liliana Coutinho Vitorino, Professora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, abril de 2020

# Agradecimentos

Ao terminar esta árdua fase, quero primeiramente dirigir uma palavra de gratidão aos Professores Orientadores, nomeadamente a Professora Liliana Vitorino e o Professor Henrique Almeida, pelo apoio, disponibilidade e partilha de conhecimento relativos a esta temática, que contribuíram para o avanço do trabalho nesta dissertação.

Agradeço ainda a todos os participantes deste estudo, pela sua disponibilidade e pelo seu contributo, que foram fundamentais.

Finalmente, um profundo agradecimento à minha família, em especial mulher e filha, que estiveram sempre presentes e compreenderam que as horas que não foi possível passar com elas seriam compensadas no futuro. O seu apoio foi fundamental quando, em certos momentos, desistir era o mais fácil, pelo que o seu incentivo a continuar e a acreditar foi determinante.

# Resumo

A Fabricação Aditiva (FA) é, cada vez mais, um domínio recorrente nos dias de hoje, pelos efeitos que causa e poderá acarretar no futuro, não só a nível económico e social, mas também de estratégias políticas que possam daí advir.

Com este estudo, pretende-se, desta forma, desenvolver cenários futuros fiáveis para esta tecnologia, nomeadamente num setor muito específico e importante, que é o da medicina, considerando, neste caso em particular, a escassez de estudos académicos dedicados ao tema. Neste contexto, foi aplicado o método de Delphi junto de especialistas mundiais da área da FA aplicada à medicina, no sentido de os mesmos projetarem reflexões relativas a esta tecnologia para o horizonte de 2030, assente em quatro dimensões diferentes: política, económica, social e tecnológica.

Os resultados permitem obter projeções para a próxima década, revelando níveis satisfatórios de concordância entre os especialistas nas quatro dimensões que estão inseridas nesta análise, sendo que os valores mais elevados respeitam à dimensão tecnológica.

**Palavras-chave:** Fabricação aditiva; Medicina; Delphi; projeções; análise PEST

# Abstract

Additive Manufacturing (FA) is a more and more frequent topic of discussion nowadays, due to its effects and causes, not only at an economic level, but also in terms of political strategies that may result from them.

In this perspective, this study intends to develop reliable future scenarios for this technology, for a very specific and important sector, namely the medical field. Concerning this prediction, academic studies dedicated to additive manufacturing and the medical field are non-existent. In this context, the Delphi method was applied to world experts in the fields of additive manufacturing and medicine with the goal to presenting the impacts related to this technology for the horizon of 2030, concerning four different dimensions: political, economic, social and technological.

The results made it possible to obtain projections for the next decade, revealing satisfactory levels of agreement among the specialists in the four dimensions that are included in this analysis, with the highest values related towards the technological dimension.

Keywords: Additive manufacturing; Medicine; Delphi; projections; PEST analysis.

# Lista de siglas

3DP - Impressão 3D

ASTM - American Society for Testing and Materials

CAD - Computer Aided Design

DMD - Direct Metal Deposition

DMLS - Direct Metal Laser Sintering

EBM - Electron Beam Melting

FA - Fabricação Aditiva

FDA - Food and Drug Administration

FDM - Fused Deposition Modeling

LENS - Laser Engineered Net Shaping

SLA - Estereolitografia

SLM - Selective Laser Melting

PEST - Política, Económica, Social, Tecnológica

# Conferências e Publicações

Serrano, E., Vitorino, L., & Almeida, H. A. (2019, February). Impact of additive technologies in the health sector for 2030. In *2019 IEEE 6th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG)* (pp. 1-4). IEEE.

Serrano, E., Vitorino, L., & Almeida, H. A. (2019). Impacto das tecnologias aditivas no sector da saúde para o horizonte 2030. *8º Congresso Nacional de Biomecânica* (poster). Covilhã: Universidade de Aveiro, Universidade da Beira Interior e Sociedade Portuguesa de Biomecânica.

Serrano, E., Vitorino, L., & Almeida, H. A. (2019, October). Additive Technologies in the Medical Field for 2030. In *International Conference of Progress in Digital and Physical Manufacturing* (pp. 20-27). Springer, Cham.

# Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
Lista de siglas .....	iv
Conferências e Publicações.....	v
Lista de figuras .....	viii
Lista de tabelas .....	ix
1. Introdução .....	1
2. Revisão de Literatura.....	4
2.1. Tecnologias Aditivas – Origem e conceito.....	4
2.2. Tipologias de Fabricação Aditiva .....	8
2.2.1. Fotopolimerização em Câmara .....	9
2.2.2. Fusão em Camada de Pó .....	10
2.2.3. Impressão de Aglomerante .....	12
2.2.4. Impressão de Material .....	13
2.2.5. Material de Extrusão .....	14
2.2.6. Deposição Direcionada de Energia.....	15
2.3. Fabricação Aditiva aplicada à medicina.....	18
2.3.1. Planeamento e simulação de cirurgias complexas.....	19
2.3.2. Implantes e próteses personalizadas .....	21
2.3.3. Bioimpressão .....	22
2.3.4. Fabricação farmacêutica de medicamentos.....	22
2.3.5. Odontologia .....	24
2.4. Benefícios e Limitações da FA .....	25
2.5. Análise PEST às tecnologias aditivas na medicina.....	27
2.5.1. Implicações Políticas.....	29
2.5.2. Implicações económicas.....	30



2.5.3.	Implicações sociais .....	34
2.5.4.	Implicações tecnológicas.....	35
3.	Técnicas de Decisão em Grupo.....	40
3.1.	Método de Delphi.....	41
3.2.	Características Operacionais do Método de Delphi .....	43
4.	Metodologia .....	45
4.1.	Problema de Investigação e Objetivos .....	45
4.2.	Desenho da investigação .....	46
4.3.	Instrumentos de Recolha de Dados .....	47
4.3.1.	Primeiro Questionário Delphi.....	48
4.3.2.	Segundo Questionário Delphi.....	50
4.4.	Definição dos Participantes .....	53
4.4.1.	Participantes da 1ª Ronda.....	53
4.4.2.	Participantes da 2ª Ronda.....	54
4.5.	Procedimentos.....	54
5.	Análise e Discussão dos Resultados.....	56
5.1.	Caracterização da Amostra .....	56
5.1.1.	Participantes da 1ª Ronda.....	56
5.1.2.	Participantes da 2ª Ronda.....	57
5.2.	Resultados da 1ª Ronda Delphi.....	58
5.2.1.	Fiabilidade e validade dos resultados da 1ª Ronda Delphi.....	64
5.3.	Resultados da 2ª Ronda Delphi.....	65
5.3.1.	Fiabilidade e validade dos resultados da 2ª Ronda Delphi.....	71
5.4.	Discussão e relevância dos resultados obtidos .....	72
6.	Conclusões .....	81
7.	Referências Bibliográficas.....	89
8.	Apêndices .....	98

# Lista de figuras

Figura 1 - As quatro aéreas distintas da FA (fonte: Chua & Leong, 2016, p.5).....	7
Figura 2 - Princípio básico de produção por FA (fonte: Carreira, 2017).....	8
Figura 3 - Esquema representativo da tecnologia SLA (fonte: Carreira, 2017, p.37). ...	10
Figura 4 - Esquema representativo das tecnologias: a) DMLS, SLM e SLS; b) EBM (fonte: Carreira, 2017, p.38).....	11
Figura 5 - Esquema representativo da tecnologia 3DP (fonte: Carreira, 2017, p.39).....	12
Figura 6 - Esquema representativo da tecnologia IJP (fonte: Carreira, 2017, p.41).....	13
Figura 7 - Esquema representativo da tecnologia FDM (fonte: Carreira, 2017, p.44). ..	15
Figura 8 - Esquema representativo das tecnologias EBDM, DMD e LENS (fonte: Carreira, 2017, p.45). .....	16
Figura 9 - Exemplos de modelos criados para estudos de cirurgias complexas como tumores no cérebro (Adaptado de Gibson, 2015, p.458). .....	20
Figura 10 - Cinco benefícios-chave das tecnologias aditivas em relação à fabricação tradicional (adaptado de Attaran, 2017, p. 681). .....	25
Figura 11 - Modelo para a bioimpressão 3D (adaptado de Vijayavenkataraman et al., 2016, p. 13).....	27
Figura 12 - Quadro de investigação baseado no modelo PEST (adaptado de Jiang et al., 2017, p.88).....	28
Figura 13 – Processo de Fabricação Aditiva e Possíveis Vulnerabilidades (Bridges et al., 2015, p. 2).....	37
Figura 14 – Fases de Investigação do presente estudo.....	46

# Lista de tabelas

Tabela 1 - Categoria de matérias utilizadas FA (adaptado de Singh et al., 2017, p.187). .....	17
Tabela 2 - Resumo das tecnologias, processos e materiais aplicados à FA (adaptado: de Carreira, 2017). .....	17
Tabela 3 - Características dos métodos de impressão 3D usados na administração de medicamentos. (fonte: Norman et. al., 2017, p. 44). .....	23
Tabela 4 - Matriz de relações entre a economia circular, Indústria 4.0 e gestão de operações sustentáveis (adaptado de Jabbour et al., 2018, p. 279). .....	33
Tabela 5 - Dimensões e Projeções 1ª questionário. ....	49
Tabela 6 - Dimensões e Projeções 2ª questionário. ....	51
Tabela 7 – Caracterização dos Participantes da 1ª Ronda Delphi. ....	56
Tabela 8 - Caracterização dos Participantes da 2ª Ronda Delphi. .....	57
Tabela 9 – Códigos associados às dimensões da análise PEST. ....	58
Tabela 10 - Frequência (f) dos códigos da análise de conteúdo. .....	61
Tabela 11 - Dimensão Político-Legal. ....	66
Tabela 12 – Dimensão Económica. ....	67
Tabela 13 - Dimensão Social. .....	68
Tabela 14 - Dimensão Tecnológica. ....	68
Tabela 15 - Frequência das respostas relativas à importância das dimensões PEST. ....	70
Tabela 16 – Alpha de Cronbach dos itens da escala. ....	71
Tabela 17 – Comparação entre a Indústria de produção em massa e a Fabricação Aditiva (adaptado de Berman 2012, p. 157). .....	75
Tabela 18 – Resumo de projeção para o horizonte 2030. ....	80

# 1. Introdução

A FA, vulgarmente conhecida por impressão 3D, tem vindo progressivamente a ganhar importância, não só no mundo dos negócios, mas também em virtude de começar a fazer parte do dia a dia de cada pessoa.

Esta tecnologia permite criar objetos em 3D através da união de um ou vários materiais, com uma liberdade de execução de formas geométricas complexas que, até ao momento, não seria possível. O seu princípio de funcionamento na elaboração do objeto é executado pela fusão de materiais, num sistema camada sobre camada. As principais potencialidades desta tecnologia podem-se definir em duas características: a primeira consiste na produção direta de objetos físicos a partir de dados digitais, possibilitando, assim, uma maior personalização; já a segunda característica permite que qualquer pessoa possa comodamente produzir os seus próprios bens, no seu lar ou na própria indústria (Jiang et al., 2017)

Considerando o grande potencial desta tecnologia, com todas as oportunidades que lhe são associadas, importa também dar conta de outras implicações e especulações sobre o seu desenvolvimento, que muitas vezes são difíceis de antever. Partindo deste pressuposto, a escassez de estudos científicos em que se encontrem cenários de futuro da FA no setor da medicina até ao ano 2030, particularmente numa perspetiva política, económica, social e tecnológica, impulsionou a necessidade de se abordar esta questão central num trabalho de investigação. Neste contexto, o presente estudo, que se enquadra no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, especialização em Produção Industrial, do Instituto Politécnico de Leiria, procura dar resposta a esta questão, reconhecendo-se assim, a sua pertinência.

A partir de um estudo Delphi, desenvolvido em duas rondas, foram inquiridos diversos especialistas mundiais na área da FA aplicada à saúde, sendo que os critérios de seleção incluíram o número de patentes, publicações na área e projetos de investigação relacionados com a FA. O intuito desta recolha de dados foi obter um consenso entre os respondentes acerca do impacto global das tecnologias de FA, no setor da saúde, através das projeções que consideram ser mais verosímeis para o horizonte temporal de 2030, atendendo a quatro objetivos distintos: (i) prever as consequências políticas da FA mais relevantes no setor da saúde; (ii) antecipar o impacto económico da FA nas diferentes

aplicações médicas; (iii) perspetivar os efeitos sociais da FA na saúde; (iv) antecipar o impacto tecnológico da FA no setor médico, em 2030.

A contribuição deste estudo pode ter impacto a diferentes níveis, nomeadamente para a literatura da fabricação aditiva, em particular na medicina. Não obstante, também podem ser retiradas ilações a considerar noutros campos de aplicação.

Explicitados brevemente o contexto, a metodologia e os objetivos de investigação, descreve-se, agora a estrutura interna deste trabalho. Após esta introdução, o capítulo 2 consiste na revisão da literatura, em que são apresentados a origem e conceito da tecnologia FA, a partir da sua primeira comercialização nos Estados Unidos América, em 1987, pela empresa 3D Systems. Com a tecnologia no mercado, esta foi evoluindo ao longo dos anos e sofreu uma grande alteração no mercado, quando as patentes mais antigas deixaram de existir, o que aconteceu somente em 2009. É mostrado o seu princípio de funcionamento, assim como todas as tipologias de fabricação aditiva que até ao momento existem no mercado. Posteriormente, descreve-se a forma como esta tecnologia é aplicada à medicina, algumas das principais aplicações da FA neste setor, nomeadamente no planeamento e simulação de cirurgias complexas, implantes e próteses personalizadas, bioimpressão, fabricação farmacêutica de medicamentos e odontologia. Também são abordados os benefícios e as limitações da FA e, numa fase final, é feita uma análise PEST às tecnologias aditivas na medicina, considerando as suas implicações políticas, económicas, sociais e tecnológicas.

No terceiro capítulo, são descritos os vários métodos de decisão em grupo, em que se enquadra a metodologia escolhida como abordagem neste estudo, tendo em conta as características da problemática e a sua operacionalização.

Por sua vez, o capítulo 4 remete para as questões metodológicas, que incluem a definição do problema que serve de base ao presente estudo, bem como a formulação dos objetivos de investigação que lhe são subjacentes. Neste capítulo, descreve-se o modo como foi elaborado o processo de recolha e tratamento de dados, quais os participantes envolvidos, os instrumentos utilizados e a sua estrutura, assim como os procedimentos a que se recorreu, incluindo a análise de conteúdo. Destaca-se, neste ponto, um estudo que serviu de base a este trabalho, em que os autores desenvolveram projeções para a utilização da FA 2030, através de um consenso de especialistas e, especificamente a técnica de Delphi (Jiang, Kleer e Piller, 2017). Ao aplicar este método de decisão, incluindo especialistas na área da medicina a nível mundial pretende-se, como já referido, que consigam prever

o futuro desta tecnologia na próxima década. Os procedimentos consistiram, assim, na disponibilização online de uma 1ª ronda de questionário e posteriormente uma 2ª ronda de questionário, permitindo chegar igualmente a um consenso.

O quinto capítulo corresponde à apresentação, análise e discussão dos resultados obtidos pelo método de Delphi, tanto no 1ª ronda como na 2ª ronda. Procedeu-se a uma análise e discussão sobre os resultados obtidos, sintetizando a interpretação dos dados mais importantes e que permitiram identificar as projeções mais relevantes no âmbito das várias dimensões estudadas (político-legal, económica, social e tecnológica).

Finalmente, o capítulo 6 veicula, de forma reflexiva, as principais conclusões deste estudo, obtidas em relação aos resultados encontrados, que são, neste ponto do trabalho, discutidos teoricamente, a partir do confronto com outros resultados encontrados na literatura. Referem-se, em seguida, as limitações inerentes ao trabalho em causa, bem como algumas propostas de investigação futura que se considera pertinentes desenvolver e que emergem a partir das conclusões obtidas.

## 2. Revisão de Literatura

Nas últimas décadas, as tecnologias aditivas têm tido um desenvolvimento quase sem precedentes, dada a abrangência das suas potencialidades em várias áreas da sociedade. Berman (2012) afirma mesmo que a impressão 3D pode ser considerada a nova revolução industrial.

Este tipo de tecnologia reveste-se de imenso potencial, que se baseia em duas características principais: por um lado, em novas oportunidades para liberdade de design e, por outro, a possibilidade de utilizadores privados e industriais poderem produzir os seus próprios produtos (Jiang, Kleer e Piller, 2017).

Este capítulo é dedicado a apresentar as principais abordagens referentes à FA, começando pelo surgimento desta tecnologia e aquilo que a define. Em seguida, são referidos os vários tipos de tipologias associadas à FA, sendo exemplificados cada tipo e o seu processo de funcionamento. Por fim, são analisadas as várias aplicações e métodos da FA aplicados especificamente à medicina.

### 2.1. Tecnologias Aditivas – Origem e conceito

Segundo Chua e Leong (2016), a FA, termo correspondente à forma inglesa “*Additive Manufacturing*”, teve origem nos Estados Unidos da América, começando a ser comercializada em 1987 pela empresa 3D System. O princípio desta tecnologia estava funcionalmente associado à estereolitografia (SLA), sendo possível pela primeira vez gerar um objeto físico através de dados digitais. Foi um ano decisivo no que toca à tecnologia de FA, e foi possível, desde então, desenvolver novas tecnologias e expandi-las em todos os setores industriais.

Com a FA no mercado, foi possível que a tecnologia fosse evoluindo ao longo dos anos. Esta sofreu uma grande alteração no mercado quando caíram as patentes mais antigas no ano de 2009, nomeadamente as patentes relacionadas com a “*Fused Deposition Modeling*” (FDM), permitindo desenvolver uma imensa variedade de impressoras 3D e, conseqüentemente, baixando os custos das mesmas e potenciando o seu alcance a qualquer pessoa.

Para Gibson, Rosen e Stucker (2015), a FA é um termo que veio substituir o da “prototipagem rápida”, que por sua vez designa a expressão popular de “impressão 3D”. A substituição dos termos deve-se ao facto de a prototipagem rápida estar primordialmente associada à indústria de criação de um modelo rápido que serviria de protótipo. Com o passar dos anos, os utilizadores da tecnologia acharam que o termo estava desajustado à realidade, dada a evolução que ocorreu ao longo dos anos, em termos de materiais e processos. Muitas das vezes, o modelo produzido já sai muito fiel a um modelo final, para além de o termo “prototipagem rápida” não fazer jus ao seu princípio básico, que consiste na fabricação de peças com uma abordagem aditiva.

Segundo Carreira (2017), o termo FA é utilizado para agrupar diferentes processos de fabrico com técnicas igualmente distintas, permitindo produzir objetos com diversos tipos de material, como o metal, madeiras, biomateriais, polímeros e materiais cerâmicos, entre outros. Esta tecnologia tem como princípio de funcionamento a construção de objetos pela forma de adição de material em sucessivas camadas, sendo o contrário do processo das tecnologias tradicionais, que utilizam sobretudo técnicas de subtrair material ao objeto pretendido, como acontece por exemplo nos processos de maquinação.

Por forma a criar uma linguagem universal de terminologia e caracterização dos processos, a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), criou a norma ASTM F2792 – 12A (ASTM International, 2012), que define estas tecnologias como processos que juntam matérias que permitem formar objetos a partir de dados digitais provenientes de modelos 3D. Posteriormente, foi criado um comité que dá pelo nome de F42, dentro da ASTM, para desenvolver as normas, terminologia e métodos de caracterização mecânica de materiais e processos utilizados na FA.

Berman (2012) define a impressão 3D como “um processo de fabricação aditiva pelo qual os produtos são construídos camada por camada, por meio de uma série de secções transversais” (p. 155). Como referido, a FA define-se então como sendo a construção de peças, com o pormenor de serem elaboradas camada a camada, permitindo criar diversas formas, sendo estas por vezes difíceis de implementar ou mesmo, até há bem pouco tempo, impossíveis de efetuar com outras tecnologias convencionais existentes no mundo industrial.

Segundo Carreira (2017), apesar de a FA ter surgido nas últimas décadas, os seus princípios são remetidos para o ano de 1890, quando Blather criou um método que permitia criar um molde em cera para a elaboração de linhas de contorno topográficas.



Estas linhas eram impressas em cera e posteriormente seriam recortadas e empilhadas umas sobre as outras. Somente em 1979 é que surge uma primeira patente num processo de sinterização a laser em pó, em que as camadas seriam posteriormente solidificadas seletivamente.

Wohlers (2016) postula que “o uso comercial da fabricação aditiva surgiu pela primeira vez em 1987 com a estereolitografia da 3D Systems, um processo que solidifica camadas finas de polímero líquido sensível à luz ultravioleta com recurso a um laser” (p. 1). Após esta descoberta, diferentes tecnologias de FA foram desenvolvidas, não para a produção de moldes ou pré-formas, como descrito no parágrafo anterior, mas sim de peças, mesmo que sejam modelos conceptuais.

Segundo Gibson, Rosen e Stucker (2015), tecnologias como o *Laser Engineered Net Shaping* (LENS), o *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS), ou o já referido FDM, a Impressão 3D (3DP), são processos diferentes, desde a qualidade final do objeto até aos materiais que são utilizados. A evolução foi sendo feita a partir de melhorias a nível de processos que implicariam o aumento de velocidade de construção dos objetos e também, posteriormente, a diversidade de materiais a ser utilizados.

Carl Deckard foi quem patenteou o primeiro sistema FA para metal, com o processo SLS na década de 80, mas somente em 2000 surgiram no mercado as máquinas de FA com métodos de impressão a metal, sendo este o principal foco de desenvolvimento atualmente desta tecnologia (Wohlers, 2016).

A FA, como foi realçado anteriormente, foi evoluindo e permitindo desenvolver muitas técnicas nesta área tecnológica. Segundo Chua e Leong (2016), existem três fatores que são adotados em todas estas tecnologias. O primeiro é o facto de o modelo físico a produzir ser sempre modelado num sistema de ‘Computer Aided Design’ (CAD), ou seja, é elaborada uma peça tridimensional assistida por um computador. O segundo fator consiste na conversão desse ficheiro produzido por um sistema CAD, num ficheiro com extensão STL. O terceiro, e último fator, consiste numa análise ao desse mesmo ficheiro STL através do próprio software, permitindo verificar todas as incongruências que possam existir, passando ou não à sua produção.

Circunstancialmente, esta tecnologia, em termos de desenvolvimento, pode ser observada em quatro áreas distintas: a entrada, o método, o material e as aplicações. A figura 1 ilustra estas quatro áreas e onde são aplicadas.

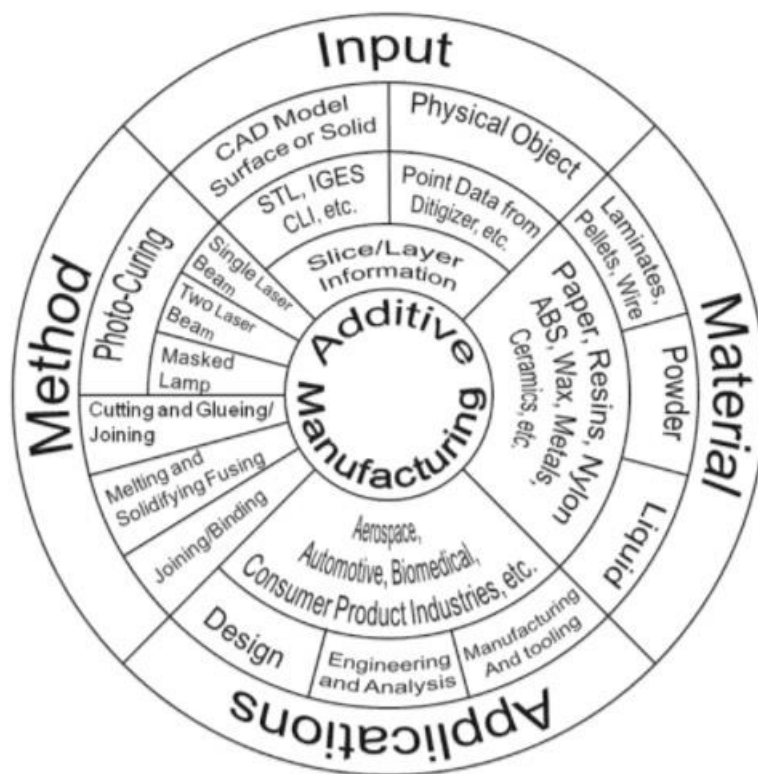


Figura 1 - As quatro aéreas distintas da FA (fonte: Chua & Leong, 2016, p.5).

A entrada caracteriza-se pela informação eletrónica que é necessária para obtenção do objeto a produzir em 3D, podendo ter dois pontos de partida: a existência de um modelo já elaborado pelo computador num sistema CAD ou um modelo 3D proveniente de um modelo físico já existente. O método a utilizar pode ser variado. Segundo Chua e Leong (2016), existem mais de 30 fornecedores de equipamentos para a FA, o que se pode classificar em quatro categorias: a fotopolimerização, o corte e colagem, a sinterização e/ou fusão e a união e/ou adesão.

Os materiais utilizados na FA podem ser divididos em três grandes estados: sólido, líquido e em pó. Por sua vez, as suas aplicações estão agrupadas em três grandes grupos: (i) design, (ii) análises e planeamento de engenharia, (iii) fabricação e ferramentas.

Após a inserção do modelo na máquina da FA, a elaboração do objeto é feita pela fusão de múltiplas camadas de secção fina, adicionando material camada por camada, sucessivamente, até replicar o modelo digital 3D (Jacobs, 1992). Na figura 2, é demonstrado o princípio de funcionamento da tecnologia.

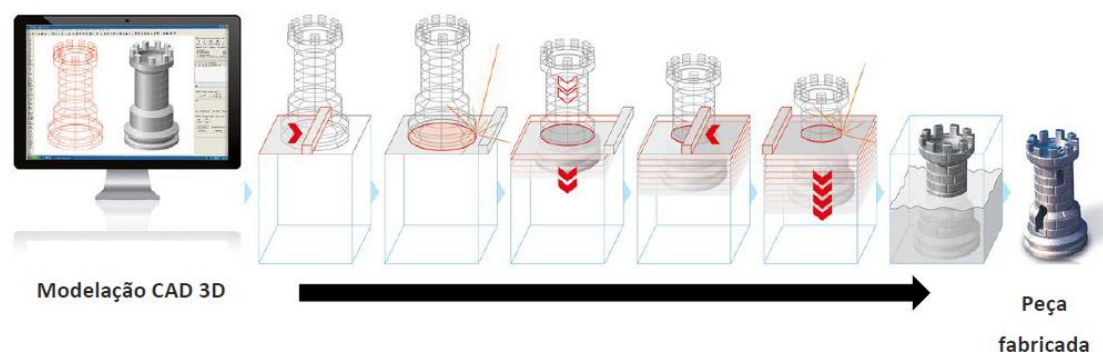


Figura 2 - Princípio básico de produção por FA (fonte: Carreira, 2017).

Como afirma Carreira (2017), a FA é uma tecnologia que permite produzir objetos predeterminados, potenciando uma liberdade de execução de geométricas complexas que até ao momento não seria possível produzir, com um baixo desperdício de material, ao contrário de outras tecnologias convencionais. O princípio de funcionamento da tecnologia parece simples, necessitando aparentemente de detalhes dimensionais e geométricos, mas na verdade também é necessário ter um grande conhecimento sobre o funcionamento da máquina de FA, assim como das matérias que são usados na mesma (Gibson et al., 2015).

Tendo como grande vantagem a liberdade de design e a capacidade de produzir formas como reentrâncias e saliências, existem também limitações, como a dimensão final do objeto a produzir. Para objetos de pequeno e médio porte, praticamente não existem limitações. Contudo, peças de grande dimensão exigem dificuldades acrescidas, fazendo com que a sua produção seja realizada por partes, o que leva a um aumento do tempo de produção. O processo de união também pode criar dificuldades e isto poderá encarecer o produto final (Levy, Schindel & Kruth, 2003).

## 2.2. Tipologias de Fabricação Aditiva

Como afirma Carreira (2017), o termo “Impressão 3D” é como um sinónimo para qualquer processo de FA, havendo diversos processos e tecnologias que são variantes de cada método de fabricação e material. Segundo a ASTM, estas tecnologias são agrupadas

em sete categorias e um conjunto de normas que classificam cada um dos processos de FA, sendo elas:

- Fotopolimerização em Câmara;
- Fusão em Camada de Pó;
- Impressão de Aglomerante;
- Impressão de Material;
- Extrusão de material;
- Laminação em Folhas;
- Deposição Direcionada de Energia.

Apesar da existência de sete categorias de processos, existe um conjunto de processos híbridos que combinam uma ou mais categorias, sendo as mesmas difíceis de classificar. Nas subsecções seguintes, será feita uma breve descrição dos processos e tecnologias apresentadas na classificação. Contudo, considerando a temática deste trabalho de investigação, sendo o foco para o setor médico, importa referir que o processo de Laminação em Folhas não tem aplicabilidade neste setor.

### **2.2.1. Fotopolimerização em Câmara**

Para a ASTM, este processo consiste na cura de uma resina fotossensível que se encontra dentro de uma cuba. A polimerização é feita usando uma luz UV que, ao ser projetada para a resina, com auxílio de espelhos, permite dessa forma efetuar a cura, convertendo a resina do estado líquido para o estado sólido. A cada nova camada curada, a plataforma onde o objeto é criado move-se para baixo, dando origem a uma nova camada.

Segundo Carreira (2017), a fotopolimerização em câmara, também conhecida como estereoliografia (SLA), foi a primeira tecnologia de FA a ser comercializada segundo o princípio deste processo.

Num outro contexto, de acordo com Almeida et al. (2019), que estudaram a aplicação destes processos ao setor da saúde, a fotopolimerização em câmara já conseguiu produzir modelos precisos de corações de pacientes com base em dados anatómicos dos mesmos, utilizado para fins de planeamento cirúrgico. De realçar que esta tecnologia também está

a ser empregue tanto para aplicações odontológicas como para estudos de engenharia de tecidos e/ou medicina regenerativa.

Na figura 3, encontra-se representado o esquema do processo SLA, em que se consegue verificar como é utilizado o material no estado líquido para elaborar o objeto.

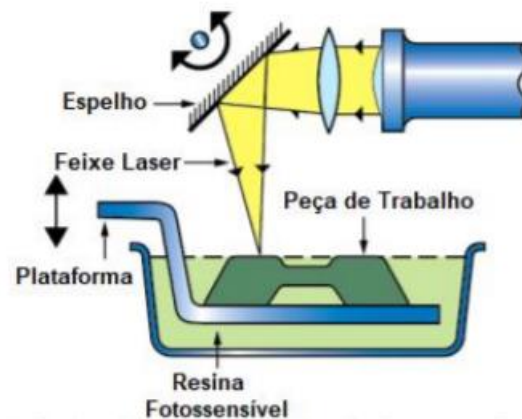


Figura 3 - Esquema representativo da tecnologia SLA (fonte: Carreira, 2017, p.37).

### 2.2.2. Fusão em Camada de Pó

Segundo a ASTM, este processo resulta da sinterização ou fusão seletiva de regiões de material em pó, sendo este atingido por uma energia térmica proveniente de um laser ou feixe de elétrons.

Neste processo, englobam-se várias técnicas de impressão, tais como: *Selective Laser Sintering* (SLS), *Selective Laser Melting* (SLM), DMLS e *Electron Beam Melting* (EBM). De entre as quatro tecnologias referidas anteriormente, somente a EBM utiliza feixe de elétrons para fundir o material.

Para Carreira (2017), todos os processos funcionam através da fusão de uma nova camada de material em pó sobre as camadas anteriores, adicionadas através de um rolo ou lâmina. A figura 4 ilustra as tecnologias mencionadas anteriormente.

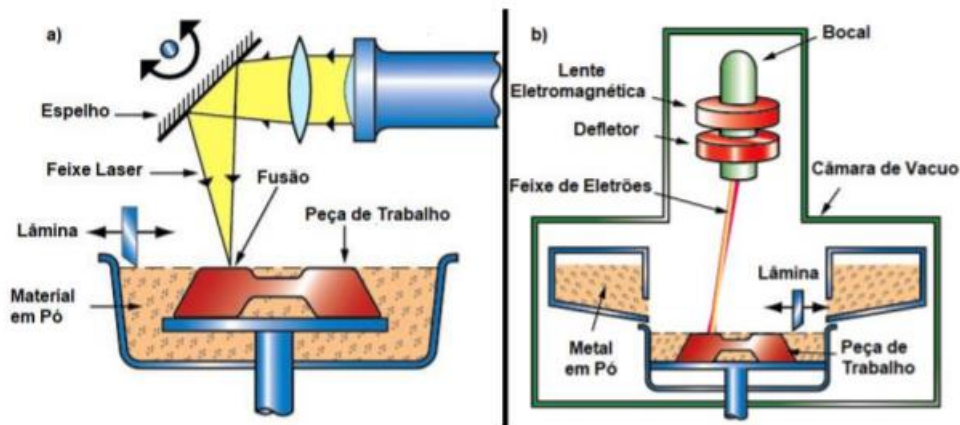


Figura 4 - Esquema representativo das tecnologias: a) DMLS, SLM e SLS; b) EBM (fonte: Carreira, 2017, p.38).

A tecnologia SLS, numa fase inicial, apenas fazia sinterização de plástico, passando depois a fazer pós metálicos e cerâmicos, tendo os seguintes elementos em comum: a fonte de energia térmica, um sistema de controlo da fonte de energia e uma plataforma onde será elaborado o objeto, camada a camada. A plataforma onde o objeto é construído encontra-se inserido numa câmara com temperatura controlada para reduzir a intensidade do laser e os empenos/distorções dimensionais, devido às contrações térmicas, sendo que, quando o objeto é concluído, este necessita de um tempo de arrefecimento lento. Uma das vantagens do processo é o facto de não necessitar de suportes adicionais para a criação de objetos.

O processo SLM, segundo Carreira (2017), é específico para metais sem recorrer a pós-processamentos de sinterização, e requer a utilização de gás inerte durante o processo. Acaba por atingir temperaturas mais elevadas influenciando diretamente as propriedades finais da peça.

A tecnologia DMLS também é semelhante à SLS, mas elabora objetos metálicos ou cerâmicos, sendo possível criar objetos totalmente densos devido à forma como compacta o material.

Para Gibson et al. (2015), o EBM é um processo que acaba por se diferenciar, como anteriormente foi dito, pelo uso de um feixe de elétrons de alta potência em vez de um laser. Esta tecnologia, para além de permitir a utilização de materiais de ligas de titânio, regista excelentes acabamentos, conseguindo características semelhantes aos de objetos fundidos, permitindo ter uma elevada qualidade.

No caso da aplicação à medicina, estes processos permitem produzir exosqueletos anatómicos, leves e personalizados, dispositivos médicos personalizados como ortóteses, como por exemplo para a mão/punho e o tornozelo/pé, implantes ortopédicos de titânio ou implantes dentários de cobalto, apresentando características ótimas em termos de material e geometria (Almeida et al., 2019).

### 2.2.3. Impressão de Aglomerante

Segundo Carreira (2017), o processo deriva de um agente líquido que irá aderir ao pó na plataforma de construção, promovendo a união do pó e formando, assim, a peça a construir. O pó é distribuído à superfície onde de seguida é depositado o agente líquido que faz com que o material seja consolidado quimicamente, sendo o processo repetido sucessivamente, camada a camada. Conclui-se que este processo utiliza dois materiais: um é o material base (o pó) e um segundo, o líquido ligante, como se poder verificar pela figura 5.

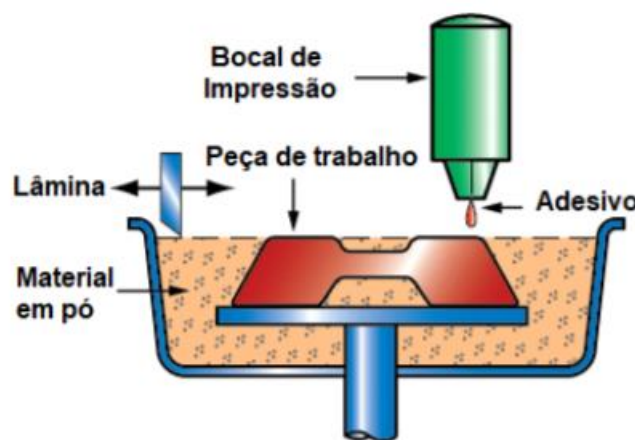


Figura 5 - Esquema representativo da tecnologia 3DP (fonte: Carreira, 2017, p.39).

Esta tecnologia é bastante abrangente, de acordo com o mesmo autor, permitindo a impressão de diversos materiais, nomeadamente peças com cores e em vários tipos de materiais, como os metálicos, cerâmicos e poliméricos. Uma das principais vantagens é a sua rapidez em relação a outras tecnologias e a possibilidade de mistura de dois materiais diferentes, conseguindo abranger um largo número de combinações, proporcionando uma diferenciação de propriedades mecânicas nos objetos construídos.

Apesar das suas vantagens, o produto final poderá necessitar, por vezes, de um pós-processamento, devido à falta de determinadas características pretendidas, o que prolonga o seu processo de conceção do objeto.

Segundo Ziaee e Crane (2019), existe um interesse muito grande na utilização deste processo no campo da medicina, no que toca a próteses, implantes cirúrgicos e produtos farmacêuticos.

## 2.2.4. Impressão de Material

A categorização da ASTM para a impressão de material é semelhante à de uma impressora convencional de jato de tinta, cujo processo também consiste em depositar seletivamente gotas de material, de forma sucessiva de camada a camada, até obter o formato do objeto desejado. Na figura 6, pode-se verificar um esquema representativo do mesmo. Por norma, o processo é constituído por duas cabeças de impressão: uma para a criação da estrutura de suporte e a outra para construir a peça.

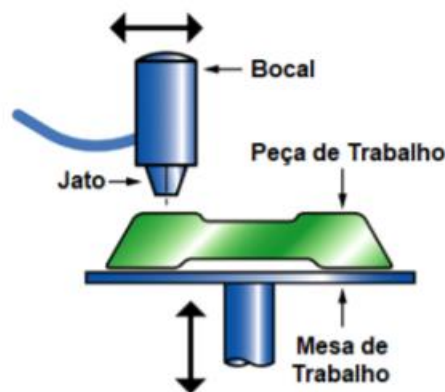


Figura 6 - Esquema representativo da tecnologia IJP (fonte: Carreira, 2017, p.41).

Também neste processo, como no anterior, é possível combinar vários materiais, sendo que os mais frequentes são os polímeros e os cerâmicos, devido à sua natureza viscosa e à capacidade de formar gotas.



Segundo Carreira (2017), este processo não produz um fluxo contínuo de matéria, sendo que este só é fornecido quando necessário e as gotas são libertadas por uma pressão bocal, devido aos atuadores térmicos ou piezoelétricos existentes. O método piezoelétrico traz vantagens como a rapidez e a possibilidade de ter uma vasta gama de materiais a serem utilizados. Para Gibson et al. (2015), esta tecnologia tem uma alta precisão, mas torna-se limitada nos pós-processamento, porque melhora algum fator somente na altura da impressão.

Este processo tem evoluído para um domínio específico de fabricação aditiva no setor da saúde, nomeadamente a bioimpressão. Segundo Almeida et al. (2019), a impressão a jato de material, contendo células e/ou fármacos, tem sido utilizada para produzir amostras de tecido vascular como outros tipos de construções de tecido para regeneração óssea, cartilaginosa e nervosa. Como exemplos, existem próteses de orelha e modelos anatómicos realistas.

## **2.2.5. Material de Extrusão**

Para a ASTM, o processo de extrusão seletiva de material é elaborado através de um material que é extrudido, ou seja, o material, ao passar pela cabeça extrusora, é aquecido e, em seguida, é extrudido seletivamente na plataforma de construção. Existem sistemas em que a cabeça de extrusão se movimenta nos planos X e Y e a mesa no plano Z, havendo outros em que a cabeça de extrusão executa os movimentos nos três planos. O processo é repetido sucessivamente, quantas vezes forem necessárias, sendo este também um processo camada a camada, até o objeto estar concluído.

O material utilizado para este processo consiste em bobines de filamento termoplástico, Este é o processo o mais comum nas ditas “impressoras domésticas”, sendo de baixo custo. A sua precisão e velocidade são baixas, comparadas com outros processos; no entanto se todos os parâmetros estiverem controlados, é possível obter um objeto de qualidade. A grande vantagem desta tecnologia é que poderá ter uma ou mais cabeças de extrusão, permitindo, assim, a junção de diferentes materiais.

Almeida et al. (2019) referem que, no setor da saúde, esta tecnologia é normalmente utilizada para aplicações de engenharia de tecidos e para processos de materiais

biológicos. A título de exemplo, o caso da BioScaffolder, da Gesim, consiste num sistema que processa biopolímeros sintéticos, biopolímeros cerâmicos e outros biomateriais macios como hidrogéis. Este processo tem sido amplamente utilizado no setor da medicina com biomodelos ósseos para ensaios pré-cirúrgicos, criando processos de cirurgia mais suaves e precisos na colocação de implantes ósseos no paciente e fabricação de exoesqueletos, pela possibilidade de materiais utilizados. Na figura 7, está representado o esquema da tecnologia FDM.

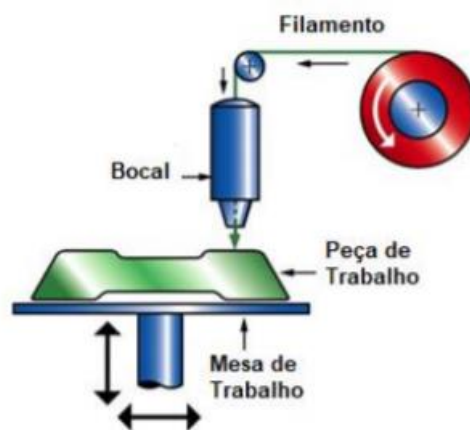


Figura 7 - Esquema representativo da tecnologia FDM (fonte: Carreira, 2017, p.44).

## 2.2.6. Deposição Direcionada de Energia

Para Gibson et al. (2015) este processo utiliza energia térmica para fundir materiais, abrangendo vários processos desta tecnologia, tais como LENS e Direct Metal Deposition (DMD), entre outras mais complexas. Este tipo de tecnologia é habitualmente utilizado para reparar ou adicionar material a objetos já existentes.

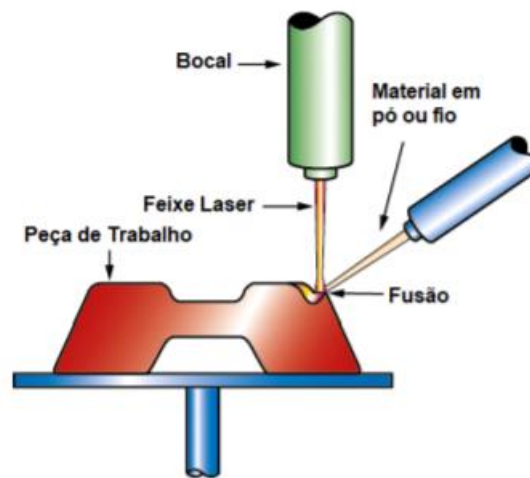
A deposição normalmente é efetuada através de um bocal fixado num braço mecânico de múltiplos eixos que, por sua vez, deposita o material sobre a superficial específica, acabando por ser fundida pela energia térmica (habitualmente laser). Este processo é semelhante ao do Material de Extrusão, mas neste caso o bocal é móvel, sendo possível o material ser depositado em qualquer ângulo, segundo a ASTM.

Para Carreira (2017), os materiais mais utilizados nesta tecnologia são os metais, mas também é permitido utilizar polímeros e cerâmicos. O estado do material poderá ser em pó metálico ou em fio, variando assim, não só o processo, como também a energia térmica

existente, que pode ser em laser (a mais comum), por feixe de elétrons ou até arco de plasma.

Esta tecnologia em específico não apresenta nenhuma aplicação direta no sector da saúde, mas é utilizada de forma indireta na produção e obtenção de ferramentas para a produção de dispositivos médicos.

Na figura 8, encontra-se representado o esquema de funcionamento destas tecnologias DMD e LENS.



*Figura 8 - Esquema representativo das tecnologias EBDM, DMD e LENS (fonte: Carreira, 2017, p.45).*

Segundo Singh, Ramakrishna e Singh (2017), a FA é uma tecnologia que cria objetos 3D em metal, cerâmica, plástico ou uma combinação de vários materiais chamados de compósitos, mas para uma maior utilização desta tecnologia é necessário o desenvolvimento de novos materiais que permitam o aumento dessa mesma versatilidade. A tabela 1 ilustra as categorias de materiais que se encontram alocadas às várias tecnologias de FA.

Tabela 1 - Categoria de matérias utilizadas FA (adaptado de Singh et al., 2017, p.187).

Additive Manufacturing (AM) Processes																
Process	Laser Based AM Processes						Extrusion Thermal	Material Jetting	Material Adhesion	Electron Beam						
	Laser Melting			Laser Polymerization												
Process Schematic																
Name	Material	SLS	■	DMD	■	SLA	■	FDM	■	3DP	■	LOM	■	EBM	■	
		SLM	■	LENS	■	SGC	■	Robocasting	■	IJP	■	SFP	■			
		DMLS	■	SLC	■	LTP	■			MJM	■					
				LPD	■	BIS	■			BPM	■					
						HIS	■			Thermojet	■					
Bulk Material Type		Powder	■	Liquid	■	Solid	■									

Na tabela 2, encontram-se as seis das tecnologias de FA mencionadas anteriormente, no pequeno resumo, onde é feita uma pequena descrição do funcionamento do processo como a tecnologia que esta associada e quais os matérias associadas e esse processo.

Tabela 2 - Resumo das tecnologias, processos e materiais aplicados à FA (adaptado: de Carreira, 2017).

Processo	Descrição	Tecnologia	Materiais
<b>Fotopolimerização em Câmara</b>	Foto-polímero líquido numa cuba é seletivamente curado por polimerização de luz UV	<i>Stereolithography Apparatus (SLA)</i>	Polímeros e Cerâmicos
		<i>Electron Beam Melting (EBM)</i>	
<b>Fusão em Camada de Pó</b>	Energia térmica funde seletivamente em regiões de uma cama de pó	<i>Direct Metal Laser Sintering (DMLS)</i>	Polímeros, Metais, Compósitos e Cerâmicos
		<i>Selective Laser Melting (SLM)</i>	
		<i>Selective Laser Sintering (SLS)</i>	
<b>Impressão de Aglomerante</b>	Agente adesivo líquido é depositado seletivamente para unir materiais em pó	<i>3D Printing (3DP)</i>	Polímeros, Metais, Cerâmicos

<b>Impressão de Material</b>	Gotas de material são depositadas seletivamente	<i>Inkjet Printing (IJP)</i>	Polímeros e Compósitos
<b>Extrusão de material</b>	Material é seletivamente depositado através de um bocal	<i>Fused Deposition Modelling (FDM)</i>	Polímeros
		<i>Direct Metal Deposition (DMD)</i>	
		<i>Electron Beam Direct Manufacturing (EBDM)</i>	Metais e Metais Híbridos
<b>Deposição Direcionada de Energia</b>	Concentra a energia térmica e funde materiais à medida que os deposita	<i>Laser Engineered Net Shaping (LENS)</i>	

### 2.3. Fabricação Aditiva aplicada à medicina

A FA começou a ser utilizada no setor da medicina para fins de diagnóstico (Gibson et al., 2015). Contudo, atualmente é utilizada em áreas tão díspares como a ortopedia, cirurgia da coluna vertebral, cirurgia maxilofacial, neurocirurgia e cirurgia cardíaca, entre outras (Tack, Victor, Gemmel & Annemans, 2016).

As tecnologias de FA permitem a produção de estruturas funcionais para o avanço de cuidados médicos e de uma medicina personalizada, bem como a produção de dispositivos médicos personalizados utilizados pelos profissionais de saúde (Neely, 2016; Wang, Ho, Zhang & Wang, 2017). De acordo com Chua e Leong (2016), algumas das principais aplicações da FA na Medicina são as seguintes:

- **Planeamento e simulação de cirurgias complexas;**
- **Implantes e próteses personalizadas;**
- **Bioimpressão;**
- **Fabricação farmacêutica de medicamentos;**
- **Odontologia.**

Nas próximas subsecções, irá proceder-se à descrição de cada uma das aplicações da fabricação aditiva aplicadas à medicina.

### **2.3.1. Planeamento e simulação de cirurgias complexas**

A medicina é um setor com imensas especialidades, tendo a área da cirurgia uma grande importância e complexidade, na qual a FA se pode constituir como uma mais-valia. A complexidade das grandes cirurgias requer um estudo prévio e, por vezes, muito minucioso, e é aqui que a aplicação da tecnologia FA pode ser bastante útil. A tecnologia permite a elaboração de modelos de estudo, fazendo, assim, com que a equipa de cirurgia consiga elaborar um estudo prévio, onde é possível observar pormenores importantes que permitirão que, no momento da cirurgia, ela se torne relativamente menos complexa e mais eficaz.

De acordo com Gibson et al. (2015), a criação de modelos próprios que permitam o estudo da cirurgia não só possibilita a realização de estudos por parte da equipa médica, mas também ajuda a melhorar a perceção do paciente, que assim poderá mais facilmente entender o que irá acontecer quando submetido à cirurgia. Os autores também defendem que estas tecnologias podem desenvolver ferramentas e/ou dispositivos médicos que os profissionais de saúde podem utilizar para facilitar e tornar o seu serviço mais cómodo e ergonómico.

De acordo com os mesmos autores, a maioria das aplicações referentes a cirurgias complexas utiliza FA na sua construção, como por exemplo o caso de modelos ósseos, como o apresentado na figura 9. Estes modelos surgem a partir de tomografias computadorizadas que criam imagens 3D que permitem a elaboração de modelos para estudo. Também são criados modelos que esboçam tecidos moles, mas estes acabam por ser menos precisos que os modelos ósseos.



*Figura 9 - Exemplos de modelos criados para estudos de cirurgias complexas como tumores no cérebro (Adaptado de Gibson, 2015, p.458).*

A figura 9 ilustra exemplos de modelos elaborados para cirurgias complexas, onde o pormenor é fundamental e, neste caso em particular, numa cirurgia cerebral é importante reter cada pormenor do que se pretende concretizar, como nos casos de tumores cerebrais ou pulmonares.

Outro exemplo em que o planeamento da precisão foi um sucesso teve a ver com o caso da separação de gémeos siameses, desenvolvido pela empresa Anatomics, contribuindo com a criação do modelo com o nome de BioModels (Hopkinson, Hague & Dickens, 2006). Este modelo foi desenvolvido a partir de uma tomografia computadorizada de alta resolução, que permitiu a toda a equipa de cirurgia planear com precisão a separação dos gémeos. Esta cirurgia complexa teve a duração de doze horas, sendo que modelo de estudo foi considerado crucial para o sucesso da mesma.

Hopkinson et al. (2006) sintetizam o tipo de vantagens a serem trazidas pela FA, aqui na designação antiga de “*Rapid Manufacturing*” (RM): “Pode-se observar que nessas aplicações a fabricação rápida facilita o aumento da velocidade e eficiência do tratamento.

As tendências apresentadas revelam que o uso da fabricação rápida no planejamento cirúrgico vai além das suas aplicações iniciais como uma ferramenta de visualização para cirurgiões, na direção de uma ferramenta de engenharia para produção de implantes e tratamentos reconstrutivos” (p. 179).

### **2.3.2. Implantes e próteses personalizadas**

Ao longo dos anos, a FA tem vindo a ser cada vez mais desenvolvida. Nos momentos iniciais, as resoluções dos modelos criados não eram tão perfeitas como nos dias de hoje. Tal desenvolvimento deve-se à evolução da tecnologia e reflete-se na sua implantação de modelos criados pela FA, em pacientes que necessitam por exemplo de próteses para o seu bem-estar diário.

De acordo com Gibson et al. (2015), muitos dos cirurgiões utilizam implantes “standard”, os quais são ajustáveis durante a cirurgia, implicando mais tempo para esse ajuste e ferramentas adequadas ao efeito. No final de todo o processo, por vezes o resultado não fica de acordo com o planeado, tendo o paciente algumas dificuldades com o pós-operatório e havendo, por vezes, necessidade de reabilitação ou, nos piores casos, uma outra cirurgia para correção.

Com o avanço da tecnologia FA, é possível fabricar próteses personalizadas, de acordo com a necessidade do paciente. Conforme afirmam Gibson et al. (2015), “é claro que os modelos resultantes, quando construídos adequadamente, podem ser suficientemente precisos para atender a muitas aplicações” (p.458). Como exemplo, Maricevich et al. (2019) têm publicado vários trabalhos onde as tecnologias de FA têm sido utilizadas para a produção personalizada de próteses ou moldes personalizados para a produção dos implantes, em que o tempo de cirurgia e adaptação dos implantes ao paciente foram otimizados.

São utilizados variadíssimos materiais, como titânio ou cobalto, pelo que é possível obter uma prótese adequada a cada tipo de necessidade, tendo os acabamentos com rugosidades mínimas, ideais para promover a osseointegração das próteses. Toda esta perfeição é obtida através das diversas tecnologias de FA, que permitem chegar a um produto final que se ajusta ao que o paciente necessita, sem agravamento de gastos e contrapartidas.



### **2.3.3. Bioimpressão**

De acordo com Gao et al. (2016), a FA avançou e permite imprimir matérias biocompatíveis com células vivas, com ou sem fármacos, em construções complexas de tecidos funcionais.

O Bioimpressão é, assim, segundo Mandrycky, Wang, Kim e Kim (2016), uma tecnologia de FA utilizada na construção de complexos tecidos vivos e funcionais, que não só possibilita a criação de tecidos artificiais como também pode ser uma técnica de medicina regenerativa, conseguindo substituir uma variedade de tecidos transplantáveis como a pele, cartilagem ou mesmo osso.

Para Li, Chen, Fan e Zhou (2016), as tecnologias de bioimpressão estão divididas em três categorias, sendo elas: o bioimpressão em jatos de tinta, o bioimpressão com pressão e o bioimpressão com laser. Apesar de a bioimpressão ter demonstrado nos últimos anos um grande avanço, que potencia ao máximo as vantagens que traz, ainda existem muitas barreiras a ser ultrapassadas. Alguns exemplos de barreiras a ultrapassar são a “*bioink*” e a sua complexidade de construção, as propriedades mecânicas dos “*scaffolds*”, as estruturas complexas para a criação de tecidos e órgãos e a seleção de polímeros para a preparação dos “*bioinks*” (Aljohani, Ullah, Zhang & Yang, 2018). Por outro lado, à medida que a tecnologia de bioimpressão se desenvolve, irá permitir que a lista de espera nos estabelecimentos hospitalares diminua nos transplantes, como por exemplo no caso de transplantes do pâncreas, que irão beneficiar milhões de diabéticos em todo o mundo. Esta tecnologia também tem sido utilizada para modificar, ao nível microscópico, as superfícies de implantes, por forma a otimizar a adesão e proliferação celular. Serão estes e muitos outros os benefícios desta tecnologia, segundo Li et al. (2016).

### **2.3.4. Fabricação farmacêutica de medicamentos**

De acordo com Hopkinson et al. (2006), os fármacos para administração oral são compostos por vários componentes e utilizam várias tecnologias que servem para solidificar o produto final, o que se enquadra no sistema de FA. Uma vez que a *Food and*

*Drug Administration* (FDA)<sup>1</sup> aprovou, em 2015, um medicamento impresso, abriu-se, desta forma, um novo capítulo na fabricação farmacêutica (Norman, Madurawe, Moore, Khan & Khairuzzaman, 2017).

A utilização da FA na elaboração de medicamentos traz inúmeros benefícios, sendo que um dos mais apontados é a dosagem personalizada para cada indivíduo, que poderá ser administrada numa única toma. Esse procedimento é realizado através da alteração de parâmetros durante a elaboração do medicamento, que somente será possível através da tecnologia de FA (Hopkinson et al., 2006).

Já de acordo com Norman et al. (2017), uma das outras grandes vantagens neste processo é a redução de custos porque, graças à FA, a produção é feita com base no que o mercado realmente necessita, fazendo assim baixar os custos de produção em massa. Na tabela 3, estão representados os vários tipos de métodos de FA utilizados nesta área.

*Tabela 3 - Características dos métodos de impressão 3D usados na administração de medicamentos. (fonte: Norman et. al., 2017, p. 44).*

		Inkjet printing		Extrusion		Electromagnetic radiation		
		Binder deposition	Material jetting	Fused filament fabrication	Other extrusion systems	Photopolymerization	Powder bed fusion	Use of 3D-printed molds
Printing substrates	Layering mechanisms							
Powder bed	Addition of unbound powder	✓					✓	✓
Freeform	Continual buildup of printed material		✓	✓	✓			✓
Vat of resin	Addition of uncured resin between product and light source					✓		✓
Materials that can be printed	Solidification mechanisms							
Binder solution	Wet granulation	✓						✓
Molten polymers and waxes	Freezing		✓	✓	✓			✓
Photo-curable resin	Photopolymerization		✓		✓	✓		✓
Drug solutions	Solvent evaporation				✓			✓
Drug suspensions	Solvent evaporation				✓			✓
Semisolids	Solvent evaporation				✓			✓
	Polymerization				✓			✓
Fine powder	Sintering							
	Freezing of a low-melting binder						✓	✓

Segundo Norman et al (2017), foram identificados três atributos nos quais a FA se diferencia na fabricação de medicamentos dos processos tradicionais de fabricação, designadamente a complexidade do produto final, a personalização e a necessidade do

<sup>1</sup> Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos

mercado no momento. Crê-se, portanto, que serão estes que irão impulsionar o desenvolvimento FA nesta área.

A personalização é, sem dúvida, uma das grandes vantagens da FA aplicada à indústria farmacêutica porque, com a personalização da dosagem, esta permite adaptar a quantidade de medicação necessária a cada paciente, com base na sua massa corporal e metabolismo.

Ainda de acordo com Norman et al. (2017), a impressão de acordo com as necessidades de cada paciente traz vantagens em ambientes com restrições de tempo ou de recursos, como em áreas de catástrofe, por exemplo, ou em salas de emergência ou salas de operações, casos em que a FA permite uma produção mais eficiente e otimizada de fármacos ou implantes contendo fármacos.

### **2.3.5. Odontologia**

A FA é utilizada cada vez mais na Odontologia devido aos seus benefícios, em particular na implantação oral. Segundo Hopkinson et al. (2006) os implantes dentários são fixos por parafusos à mandíbula do maxilar, pelo que a técnica necessita de ser muito precisa e por vezes podem ocorrer erros. Com a aplicação da FA neste campo, é possível simular um pré-operatório com a construção de modelos precisos do paciente em causa, através dos quais se permite prever onde serão colocados os implantes e qual a perfuração necessária de que o médico necessitará para a colocação do implante. Todo este processo necessita de modelos que são construídos com material transparente, demonstrando claramente o que é possível realizar, facilitando todo o processo de cirurgia e eventuais problemas que poderão surgir.

De acordo com o mesmo autor, um dos maiores sucessos da FA aplicada à odontologia pertence à empresa Align Technologies, Inc, que produz um sistema com o nome Invisalign, numa técnica para endireitar o alinhamento dos dentes. O processo recorre inteiramente à FA, elaborando uma imagem em 3D de cada paciente que permite produzir uma prótese totalmente transparente e personalizada, que é aplicada sem necessitar de nenhum procedimento cirúrgico, possibilitando, assim o alinhamento dos dentes. As tecnologias de FA também têm sido utilizadas para a produção personalizada de coroas

dentárias, permitindo uma produção mais acelerada e uma seleção da cor, para uma maior adaptação à dentição existente do paciente.

## 2.4. Benefícios e Limitações da FA

Já não existem dúvidas de que a FA é uma tecnologia que veio não só para beneficiar o dia-a-dia da humanidade como está inserida em diversos setores industriais tão díspares como a indústria da medicina. Algumas das vantagens que lhe podemos associar, de forma mais imediata, são a redução substancial dos tempos de produção, novos modelos levarem menos tempo a chegar ao mercado e a possibilidade de se atender mais rapidamente às exigências do mercado (Attaran, 2017). Também a flexibilidade da FA é um fator bastante proveitoso (Neely, 2016).

Outros benefícios prendem-se com a questão da sustentabilidade, nomeadamente: (i) maior eficiência de recursos; (ii) prolongamento da vida útil do produto, (iii) reconfiguração das cadeias de valor, (iv) redução de desperdício; e (v) redução de material e de consumo de energia (Ford & Despeisse, 2016). Alguns dos principais benefícios desta tecnologia são sintetizados por Attaran (2017), conforme ilustra a figura 10.



Figura 10 - Cinco benefícios-chave das tecnologias aditivas em relação à fabricação tradicional (adaptado de Attaran, 2017, p. 681).

No caso concreto da aplicação das tecnologias aditivas à medicina, Attaran (2017) enuncia um conjunto de vantagens, como a redução do tempo e custo de cirurgias, a diminuição do risco de complicações no pós-operatório e, finalmente, a redução no próprio tempo de produção.

No entanto, como em tudo, existem limitações. Na área da medicina, a FA acaba por estar limitada porque inicialmente não foi propriamente projetada para esse efeito (Gibson, 2015). As principais limitações dos processos de FA estão ainda relacionadas com a duração do processo de construção, dado que se encontram ainda a um ritmo lento, levando a um acréscimo de custos de produção (Almeida & Correia, 2016; Gibson et al. 2015). Outros desafios remetem para o desenvolvimento e padronização de novos materiais ou para a validação das propriedades mecânicas e térmicas dos materiais existentes e das tecnologias aditivas (Ford & Despeisse, 2016).

Vijayavenkataraman, Lu e Fuh (2016) abordam questões, de âmbito geral, associadas à bioimpressão, que se podem enquadrar em três grandes eixos: ético, legal e social. Uma vez que os principais desafios da bioimpressão se prendem com as necessidades de uma população em envelhecimento mas também dos mais jovens (considerando a utilidade de um tecido ou órgão impresso poder crescer com o paciente), há que acautelar todos estes princípios regulatórios e de nível ético, de modo a contribuir com uma chamada de atenção para os decisores, que deverão tomar medidas positivas para o futuro. A representação do modelo em causa encontra-se representado na figura 11.

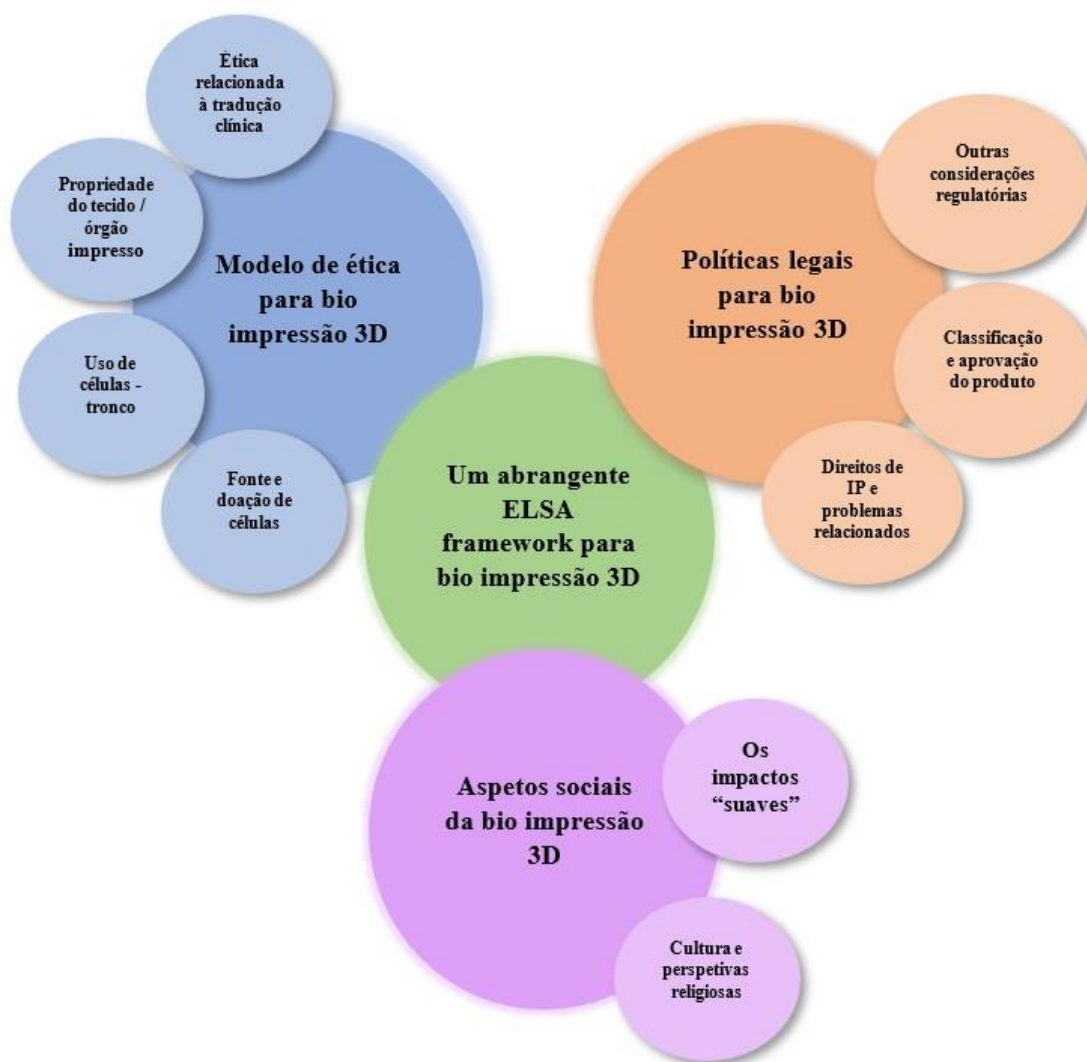


Figura 11 - Modelo para a bioimpressão 3D (adaptado de Vijayavenkataraman et al., 2016, p. 13).

## 2.5. Análise PEST às tecnologias aditivas na medicina

Por forma a avaliar as possíveis consequências que a fabricação aditiva poderá ter a curto e médio prazo, crê-se que uma análise multifatorial será vantajosa, por abordar várias áreas em simultâneo. Para este efeito, a análise PEST, que aborda os fatores Político-Legais, Económico-Financeiros, Socioculturais e Tecnológicos, surge como uma boa opção, na medida em que remete para um conjunto de fatores macroambientais (ameaças e oportunidades) e é um modelo baseado na assunção de que certas circunstâncias externas e indiretas que caracterizam uma indústria podem influenciar por um lado, a sua capacidade de produzir valor, mas também a competitividade (Ward & Rivani, 2005).

Analisa-se, agora, em detalhe, cada um dos quatro itens que fazem parte deste modelo, de acordo com a perspectiva de Wilson e Gilligan (2012). No âmbito da componente política, os autores referem a existência de leis, grupos de pressão e agências governamentais como exemplos de elementos que podem exercer influência nas organizações e nos indivíduos. No fator económico, consideram-se os conjuntos de mudanças que impactam nas empresas, como (i) o aumento do rendimento real; (ii), pressões inflacionárias; (iii) alterações no rácio de poupança/dívida; (iv) preocupações com os níveis de dívida do Terceiro Mundo e (v) diferentes padrões de gastos do consumidor. No contexto da componente social, os autores supracitados referem variáveis neste domínio como a influência do ambiente demográfico de uma determinada população, designadamente a sua dimensão, estrutura, composição e tendências da mesma. Finalmente, surge a componente tecnológica, que é frequentemente vista como a força que mais condiciona as nossas vidas: “O avanço tecnológico precisa de ser visto como uma força para a ‘destruição criativa’, pois o desenvolvimento de novos produtos ou conceitos tem frequentemente um efeito fatal num produto existente. A criação do processo de fotocópia xerográfica, por exemplo, destruiu o mercado de papel químico, enquanto o desenvolvimento de carros prejudicou a procura por ferrovias. As implicações para a indústria existente são muitas vezes diretas: mudar ou morrer” (Wilson & Gilligan, 2012, p. 147).

Jiang et al. (2017) consideram as variáveis da análise PEST como pontos-chave para ajudar a entender o futuro das tecnologias aditivas. No seu estudo, os autores apresentaram um quadro de investigação futuro baseado no modelo PEST.

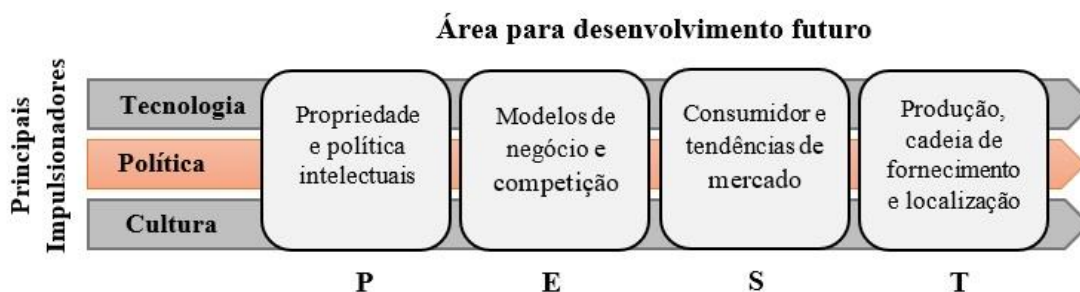


Figura 12 - Quadro de investigação baseado no modelo PEST (adaptado de Jiang et al., 2017, p.88).

Estes autores, com o intuito de desenvolver projeções diversas e abrangentes, utilizaram o modelo PEST, como referido anteriormente: “Em particular, consideramos fatores políticos e legais, como discussões sobre propriedade intelectual e elaboração de políticas, aspetos económicos, como implicações para modelos de negócios estabelecidos ou entrada de novos concorrentes, aspetos socioculturais, como mudança de comportamento do consumidor e procura de produtos, e fatores tecnológicos como novos métodos de produção, alterações inerentes à cadeia de abastecimento ou problemas de localização” (p. 88).

Sendo assim importa analisar, em maior detalhe cada uma das quatro dimensões e as suas principais consequências na aplicação das tecnologias aditivas.

### **2.5.1. Implicações Políticas**

A implementação das tecnologias aditivas é relativamente recente e carece ainda de alguma regulamentação, que é necessário desenvolver, uma vez que é uma área em atual expansão: “O crescimento e a adaptação à impressão 3D podem ter implicações sociais e comerciais colossais se não forem regulamentadas de maneira eficaz” (Attaran, 2017, p. 680). Assim, de acordo com o autor, à medida que se efetuam testes, surgem novas questões e novas leis são criadas. É a intervenção dos governos que pode restringir quem pode levar a cabo este tipo de tecnologia e o que pode, na realidade, ser impresso.

O desenvolvimento deste tipo de tecnologia num tão curto espaço de tempo tem, ainda, levantado algumas questões de ética. Neely (2016) aborda dois problemas principais, designadamente a segurança e a propriedade intelectual. O foco do estudo da autora incide sobre o caso particular dos Estados Unidos, mas o seu argumento pode ser alargado a outros contextos: “Relativamente a essas duas questões, acredito que a chave é o equilíbrio. A questão da segurança deve equilibrar autonomia e proteção do consumidor; a questão dos direitos deve equilibrar propriedade intelectual e inovação. Nenhum desses conflitos é novo (...). Argumentei que, no que respeita à segurança, talvez tenhamos de nos afastar da regulação de objetos, para ir na direção da certificação de planos específicos. A propriedade intelectual, no entanto, parece adequadamente protegida; os tempos estão a mudar e as empresas devem fazê-lo também” (Neely, 2016, p. 1296). Também Chua, Wong e Yeong (2017) abordam esta questão da propriedade intelectual, no sentido em que qualquer pessoa tem possibilidade de fazer um scan 3D a um produto



e reproduzi-lo a partir da FA. A consequente redução da produção em cadeia e o proporcional aumento de produção a nível privado e mesmo individual trazem, de acordo com estes autores, efeitos que devem ser antecipados e prevenidos.

Esta questão está associada aos problemas trazidos pela replicação dos produtos, a que Neely (2016) também alude, ao referir que a ameaça dos direitos de propriedade não consiste apenas na digitalização e recriação de um objeto, mas pelo facto de, em caso de não haver proteção através de uma patente, ainda não existir uma forma clara de proteção da propriedade intelectual na FA, sendo o que existe um pouco complexo. O problema reside, numa perspetiva legal, no facto de a tecnologia ser utilizada a nível comercial ou pessoal, já que, em cada país, a jurisdição difere.

Retomando a questão da ética subjacente a esta problemática, importa referir uma outra ameaça, que se prende com os riscos de fabricação de medicamentos falsificados. De acordo com Kietzmann, Pitt e Berthon (2015), “a bioimpressão de medicamentos e vacinas a alto nível, ou mesmo a impressão mais simples de alimentos - apesar do seu enorme potencial positivo - podem ter implicações assustadoras. Indivíduos desonestos já estão a vender medicamentos falsos para tratamentos médicos; em breve poderão vender instruções para fabricação de drogas falsas ou drogas recreativas ilegais online” (p. 213).

Uma outra problemática que é necessário antever e pensar, no contexto da FA, prende-se com as leis laborais, dada a previsão de que, a médio e longo prazo, a produção em larga escala possa sofrer algumas alterações com a produção personalizada que a FA potencia. Assim, é esperado que haja mudanças a nível da dinâmica de mercado, o que deverá resultar, igualmente, num conjunto de alterações das leis laborais (Kianian, Tavassoli & Larsson, 2015; Pereira, 2019).

## **2.5.2. Implicações económicas**

Uma das principais implicações económicas que a FA irá trazer consiste no desafio aos modelos de negócio já estabelecidos no mercado. Segundo Weller, Kleer e Piller (2015), é esperado que a competitividade seja estimulada, ao mesmo tempo que as barreiras à entrada no mercado diminuam e passe a ser possível servir vários mercados em simultâneo, o que resultará num decréscimo de preços para os consumidores. Este desafio

criado pela FA nos mercados já estabelecidos irá trazer vantagens competitivas, porque os produtos ficarão mais acessíveis aos clientes e também aos designers que criam os objetos, criando e desenvolvendo novos empregos (Jiang et al., 2017). O mesmo referem Kleer & Piller (2019) relativamente a mudanças esperadas no âmbito da competitividade, que se focam especificamente na baixa de preços que se antevê para o futuro.

Esta ideia tinha sido já afirmada por Gausemeier, Echterhoff, Kokoschka & Wall (2011), que apontavam para uma das principais mudanças no desenvolvimento de produtos, sendo que, com a tecnologia FA, a dinâmica do mercado será totalmente diferente, pois os produtos são personalizados e criados individualmente, ou seja, só é fabricado o que é pedido pelo consumidor final. Com todas estas mudanças referidas, a FA irá ter um impacto enorme a nível social, mas também económico, de forma a criar igualmente novas formas de negócio. Será necessário, ainda, lidar com questões de avaliação da qualidade dos produtos finais e das suas garantias.

O setor industrial é um daqueles em que se espera que ocorra um maior número de mudanças transformadoras, sobretudo ao nível da sustentabilidade. Assim, há uma expectativa de alteração para meios de produção que sejam mais eficientes em termos de recursos, o que levará a uma diminuição de intensidade de inputs e outputs por unidade de PIB, por forma a prevenir os impactos das mudanças climáticas, esgotamento dos recursos naturais e perturbações dos sistemas ecológicos (Gebler, Uiterkamp & Visser, 2014).

De acordo com Pereira (2019), a era em que vivemos caracteriza-se pela utilização de novas tecnologias, o que traz um conjunto de repercussões económicas a que é necessário aludir, sobretudo ao nível laboral. Segundo o mesmo autor, os estudos das últimas décadas indicam que, com a integração da robótica e dos computadores a produtividade aumenta na medida em que o trabalho se reduz, o que também conduzirá à descentralização da produção e ao enfraquecimento de algumas cadeias de valor. Contudo, o facto de haver cada vez mais máquinas a substituir a mão-de-obra humana (como a utilização de drones para entregas ou a inteligência artificial a ajudar médicos no diagnóstico de pacientes), faz com que seja difícil prever as reais consequências da integração de novas tecnologias, como o caso da FA, no mercado de trabalho.

Neste âmbito, apesar de facilmente se supor que a FA pode contribuir para uma diminuição da força laboral, até pelo facto de se deixar de necessitar de tanta mão-de-

obra para trabalho de montagem de peças e outras tarefas, que tendem a desaparecer, alguns autores defendem precisamente o oposto: “As tecnologias de FA contribuem para a criação de empregos, tanto no setor de manufatura como no setor de serviços. No setor de serviços, a criação de empregos ocorre principalmente através de efeitos multiplicadores” (Kianian et al., 2015, p. 97).

Daqui advém a necessidade de promover contextos formativos inovadores, que consistam na colaboração entre a universidade e a indústria, para contacto direto dos estudantes com as empresas, conforme postulam Huang e Leu (2014), sendo que atualmente ainda não existe um modelo definido para o ensino e formação em FA, apesar da necessidade premente de trabalhadores qualificados. Esta ideia é também desenvolvida por outros autores, como Schallock, Rybski, Jochem e Koh (2018), que procuraram investigar a forma como se pode promover a criação de competências além da formação técnica, no contexto da denominada Indústria 4.0. No programa de formação concebido para a chamada ‘learning factory’, procura-se capacitar o staff de produção para a gestão de mudanças, tomada de decisão e inovação.

Segundo Rifkin (2012), a FA enquadra-se, assim, nos pressupostos de uma nova Revolução Industrial, que assenta no conceito de sustentabilidade. Mais concretamente, o autor postula que a energia que se poupa em cada fase do processo de fabricação digital, desde a redução na utilização de materiais à igual diminuição de energia na construção do produto, quando aplicados à economia global, contribuem para um aumento qualitativo de eficiência energética, facto sem precedentes. Esta ideia da sustentabilidade associa-se à ideia de economia circular (Jabbour, Jabbour, Godinho Filho & Roubaud, 2018). Os autores propõem um modelo baseado em seis diferentes modelos de negócio que podem ter associação aos princípios da economia circular e que denominam por “ReSOLVE”. Trata-se de um acrónimo composto pelas iniciais de “REgenerate”; “Share”; “Optimise”; “Loop”; “Virtualise” e “Exchange”. Na tabela que se segue, os autores apresentam uma matriz em que relacionam decisões de gestão de operações sustentáveis com os seis modelos supracitados, bem como as tecnologias da Indústria 4.0 que poderiam ser aplicáveis a cada associação (tabela 4).

Tabela 4 - Matriz de relações entre a economia circular, Indústria 4.0 e gestão de operações sustentáveis (adaptado de Jabbour et al., 2018, p. 279).

<b>Modelos ReSOLVE</b>	<b>Design dos Produtos</b>	<b>Produção dos produtos</b>	<b>Logística / Logística Inversa</b>
<i>Re - Regenerar</i>	✓Internet das Coisas	✓Internet das Coisas	---
<i>S - Partilhar</i>	✓Fabricação 'Cloud' ✓Internet das Coisas	✓Fabricação 'Cloud' ✓Internet das Coisas	✓Internet das Coisas
<i>O - Otimizar</i>	---	✓Sistemas Ciber-Físicos ✓Internet das Coisas	✓Internet das Coisas
<i>L - Loop</i>	✓Internet das Coisas	✓Internet das Coisas ✓Sistemas Ciber-Físicos	✓Internet das Coisas ✓Fabricação 'Cloud'
<i>V - Virtualizar</i>	✓Fabricação 'Cloud' ✓Internet das Coisas	✓Fabricação 'Cloud' ✓Internet das Coisas ✓Fabricação Aditiva	✓Internet das Coisas
<i>E - Permutar</i>	✓Fabricação Aditiva	✓Fabricação Aditiva	

Sucintamente, de acordo com os autores, pode considerar-se que há vantagens na integração da fabricação aditiva, sobretudo nos modelos de negócio 'virtualizar' (em que o recurso à impressão 3D permite a fabricação de produtos personalizados) e 'permutar' (no sentido em que a FA potencia um uso reduzido de material e permite a reciclagem de pequenas quantidades de desperdício, em virtude da portabilidade deste tipo de impressoras).

Uma outra dimensão a reter a nível económico é a criação de incentivos à fabricação aditiva, sendo que alguns autores dão já conta do papel da FA na criação de emprego. Mais concretamente, Kianan et al. (2015), por exemplo, dão conta da situação atual na Suécia e referem que as tecnologias de FA ainda não conseguem criar empregos em países em desenvolvimento, atualmente. Daqui se depreende a necessidade de se produzirem incentivos económicos, que podem ter um contributo importante para a necessária criação de emprego.

Para Gebler et al., (2014), a massificação da FA poderá fazer com que países em desenvolvimento cresçam mais, sendo que o futuro também passará pela aposta na medicina, com a descoberta de materiais capazes de criar órgãos humanos sustentáveis, o que interessa especialmente no nosso estudo. Ainda dentro deste domínio, importa referir que, segundo Tack et al. (2016), a FA é bastante vantajosa economicamente, quando usada para lidar com casos de cirurgias complexas, por exemplo.

### **2.5.3. Implicações sociais**

Para Jiang et al. (2017) um dos aspetos principais da FA prende-se com as implicações socioculturais, porque dela decorre uma mudança comportamental no consumidor. Neste sentido, o consumidor final já consegue encontrar bases de dados contendo objetos bastante acessíveis, gratuitos e não gratuitos, onde é possível adquirir modelos para fins de impressão, fazendo o download e podendo fazer modificações, personalizando, de forma única, esses mesmos objetos (Subramani, 2004). Ainda a nível social, uma afirmação de Berman (2012) diz respeito à possibilidade de o consumidor final poder ter a sua própria impressora em casa, permitindo produzir os seus próprios objetos, o que se traduz em algo completamente novo e inacessível até há relativamente pouco tempo.

Daqui decorre a importância de se averiguar a forma como esta tecnologia é aceite e quais os elementos que determinam a sua adoção. Neste âmbito, no trabalho de Oettmeier e Hofmann (2017) são analisados os fatores que determinam a decisão de adoção da FA por parte das empresas na produção de peças industriais, sendo eles categorizados em quatro grupos diferentes: (i) fatores relacionados com a tecnologia; (ii) fatores relacionados com a empresa; (iii) fatores relacionados com a estrutura do mercado e, finalmente, (iv) fatores relacionados com a cadeia de abastecimento, que tem particular importância nas tomadas de decisão. As conclusões do estudo acerca dos principais elementos que influenciam os decisores apontam, por um lado, os benefícios relacionados com a procura e, por outro, a compatibilidade. No caso específico da aplicação da FA ao setor da medicina, Ramola, Yadav e Jain (2019) procederam a uma revisão da literatura para analisar as tendências de investigação no que respeita à integração da impressão 3D no setor da medicina, entre os anos de 2007 e 2018, tendo concluído que poucos trabalhos incidem sobre a questão do custo, o que pode claramente demonstrar a relação custo-benefício desta tecnologia.

Num âmbito mais geral, Huang, Lui, Mokasdar e Hou (2013) procederam a uma revisão da literatura que incidiu sobre os impactos sociais da FA, tendo concluído haver três áreas promissoras, designadamente (i) produtos de saúde personalizados, destinados a melhorar a saúde e qualidade de vida da população; (ii) impacto ambiental reduzido, garantindo a sustentabilidade da fabricação e (iii) redes de fornecimento simplificadas, com o objetivo de aumentar a eficiência e a resposta no atendimento à procura.

Mais recentemente, num artigo que se centra num estudo de caso relativo à realidade portuguesa e através do qual se procurou identificar os principais impactos e alterações sociais trazidas pela FA, os resultados são indicativos de uma perceção maioritariamente positiva, mas também de alguns pontos negativos que interessa analisar (Matos et al., 2019). Especificamente, os autores começam por identificar, na literatura, cinco áreas de impacto social na FA, designadamente (i) ‘mercados e modelos de negócio’, (ii) ‘educação e competências’, (iii) ‘trabalho’, (iv) ‘saúde, qualidade de vida e segurança’ e (v) ‘direitos de propriedade intelectual’. Os dados foram recolhidos junto de quatro organizações portuguesas ligadas à FA, sendo que os principais impactos positivos desta tecnologia foram sobretudo associados à saúde e segurança (relativamente a riscos físicos), expectativas para o futuro, lazer, baixa perturbação da economia local, prosperidade económica, status profissional e emprego inovador. Por outro lado, os impactos negativos identificados relacionam-se sobretudo com o mesmo ponto da saúde e segurança, mas neste caso em relação a substâncias perigosas. Os participantes assinalaram, ainda, aqueles que consideram ser os impactos sociais mais importantes na FA e/ou os fatores que estão na sua origem, de entre os quais destacamos um decréscimo no consumismo, uma maior durabilidade dos produtos/equipamento, redução de stock, qualidade de vida, educação (pelo facto de esta tecnologia poder ser usada para melhorar os processos de aprendizagem), questões culturais (pelo facto de se poder utilizar elementos 3D em museus e eventos culturais temáticos) e inclusão social (por potenciar experiências mais reais a pessoas com deficiência visual, por exemplo).

Um outro tema importante a reter, no âmbito das implicações sociais da integração da FA, prende-se com a responsabilidade social das empresas. Atualmente, há casos de empresas que têm financiado ensaios clínicos no âmbito da impressão 3D, como é o caso da iniciativa 3DHEART, por parte da empresa Stratasys, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida destes pacientes (Stratasys, 2017).

#### **2.5.4. Implicações tecnológicas**

Jiang et al. (2017) afirmam que existem quatro fatores tecnológicos que são favoráveis à FA, nomeadamente: (i) o facto de os objetos se poderem replicar com precisão; (ii) a obtenção de um bom desempenho em função do produto final; (iii) o facto de se poder personalizar cada objeto para aplicações específicas e (iv) o fator funcional, reduzindo, por vezes, a necessidade de montagens. Estas são vantagens genéricas desta tecnologia,

mas, no caso específico da área da saúde, há outras questões a considerar. Attaran (2017), por exemplo, enuncia um conjunto de possibilidades trazidas pelas tecnologias aditivas ao setor da saúde, mais concretamente a fabricação de implantes personalizados como aparelhos auditivos ou próteses, que podem ser feitos em apenas algumas horas. O autor refere, ainda, a possibilidade de impressão de órgãos e de transplantação de vários tipos de tecido, incluindo pele, osso, enxertos vasculares, entre outros. De entre as principais limitações ou barreiras tecnológicas elencadas, podemos destacar questões de qualidade das peças produzidas, a falta de ferramentas de design e diretrizes para explorar a fundo todas as possibilidades da FA.

De acordo com Dillow (2013), “qualquer regulamentação que possa ser aprovada provavelmente terá como finalidade uma aplicação (como imprimir armas de fogo, por exemplo), e não a própria tecnologia”, ou seja, a FA está a ter progressos em todos os setores na indústria, mas existem ainda muitas barreiras, como a impressão de armas de fogo, que devem ser tidas em conta e que, por vezes, podem retardar esse mesmo progresso, por necessidade de legislação.

Considerando a ligação que a FA tem ao mundo digital, dadas as suas características, há também um conjunto de riscos que lhe estão associados e que importa elencar, que se podem até enquadrar no âmbito da cibersegurança. Mais concretamente, Zeltmann et al. (2016) referem que a ligação permanente entre as máquinas de FA e a rede traz vulnerabilidades e potencia ataques de terceiros, sendo que alguns dos problemas referidos se prendem com a pirataria, contrafação e inserção de cavalos de Tróia que podem causar falhas ou acessos indevidos (‘bypass encryption’).

Por sua vez, também Bridges, Keiser, Sissom e Graves (2015) alertaram para este problema, ao referir a necessidade de o precaver: “existe uma preocupação substancial com a segurança do armazenamento, transferência e execução de modelos 3D em redes e sistemas digitais” (p.1). Os autores sintetizam estas possíveis vulnerabilidades no processo de FA através da figura que se segue (figura 13).

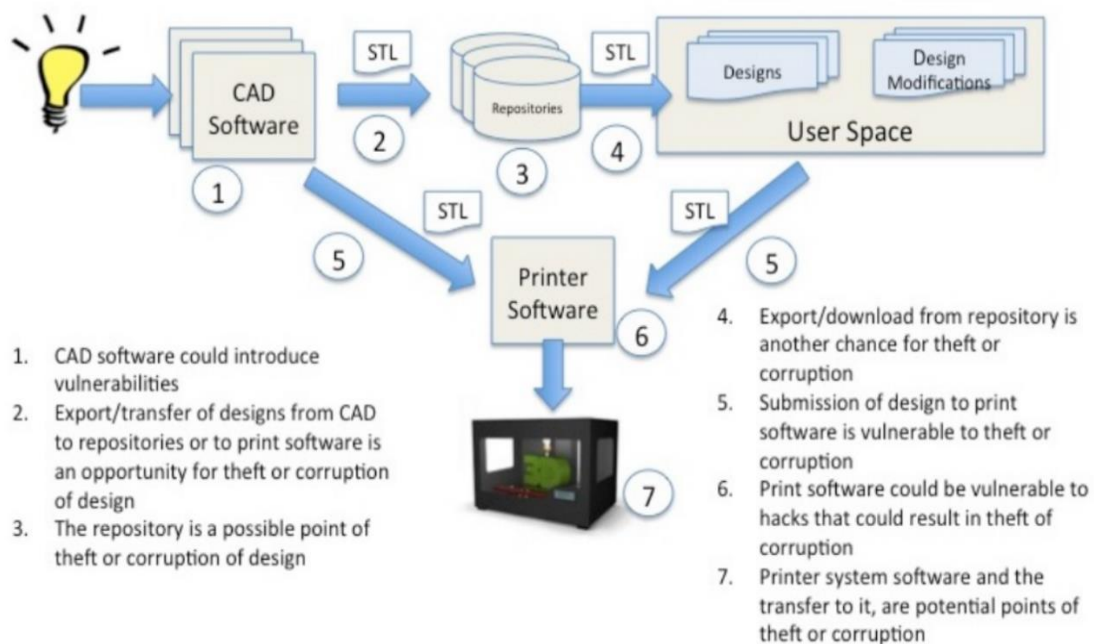


Figura 13 – Processo de Fabricação Aditiva e Possíveis Vulnerabilidades (Bridges et al., 2015, p. 2).

Relativamente ao setor farmacêutico, há novos desenvolvimentos de que importa dar conta. Num estudo de Norman et al. (2017), refere-se a possibilidade de produzir medicamentos a partir de um design digital, com características de personalização, no âmbito do conceito ‘*on demand*’, que potencia oportunidades para melhorar a segurança, a eficácia e a acessibilidade dos medicamentos, sendo estas tecnologias apoiadas pela FDA. Um exemplo concreto é a criação de “*printlets*” ou “*3D printed tablets*” com excipientes farmacêuticos, a partir da utilização da fabricação aditiva. Os resultados do estudo de Goyanes et al. (2017) dão conta das vantagens destes produtos, que permitem uma adaptação às características do paciente, personalizando as doses dos medicamentos.

Um dos fatores a ter em conta na dimensão tecnológica é, precisamente, a variedade de materiais que são atualmente utilizados na FA, bem como a investigação para o desenvolvimento de novos materiais, sendo que se espera que haja grande inovação nesta área (Singh et al., 2017). Neste contexto, considerando que ainda há necessidade de investigar as propriedades mecânicas de alguns materiais, os autores sugerem um conjunto de princípios que podem servir de base para enfrentar essas questões mais críticas, designadamente:



- **Exploração do campo real do problema;**
- **Criação de conhecimento relevante sobre os problemas;**
- **Estabelecimento de instalações de pesquisa;**
- **Formação de staff;**
- **Envolvimento de indivíduos provenientes das indústrias;**
- **Adoção de padrões industriais;**
- **Pesquisa e desenvolvimento de materiais;**
- **Estabelecimento de materiais e produtos;**
- **Partilha de resultados do projeto.**

Li et al. (2019) também se debruçam sobre esta temática dos novos materiais, afirmando que, no futuro, haverá maior variedade de materiais, que serão de alto desempenho e poderão abranger diversas ligas metálicas, que já estão a ser desenvolvidos. Os autores afirmam: “Os principais desafios para a FA no futuro incluem o design de matérias-primas, a fim de se obterem as propriedades desejadas para as componentes fabricadas aditivamente, o controlo das tensões e distorções durante o processo de moldagem, o entendimento profundo do processo de moldagem e o princípio de síntese, a reprodutibilidade das microestruturas e propriedades dos materiais fabricados, a necessidade de diminuir a extensão da anisotropia, a prevenção de defeitos nas componentes fabricadas, bem como os testes não destrutivos das componentes e o estabelecimento padrão para a preparação dos materiais fabricados aditivamente ou as componentes relevantes, fabricados aditivamente” (p. 267). Antevem-se, assim, vários problemas científicos, tecnológicos e de engenharia que ainda precisam de ser resolvidos no futuro e que constituem estímulos para o desenvolvimento da FA.

No caso específico da biomedicina, alguns dos materiais mais utilizados, e que dependem de uma total compatibilidade, são os polímeros sintéticos curáveis, géis sintéticos e hidrogéis naturais com maior biocompatibilidade com células, fármacos e/ou fatores de crescimento, que permitem que, no momento da colocação no paciente, o implante seja já um tecido funcional (Skardal & Atala 2014, citados por Gardan, 2016).

Uma outra temática que se enquadra na dimensão tecnológica relaciona-se com novas formas de design que emergem com os desenvolvimentos da FA e que são cada vez mais complexos. A capacidade de produção de formas geométricas complexas permite propor

soluções de design e fabricação cada vez mais eficazes, sendo que a concretização de geometrias complexas abre muitas possibilidades de novas funcionalidades ou métodos de fabricação que melhorem a nossa percepção do produto, componente ou projetos de ferramentas (Gardan, 2016).

Em suma, considerando o estado de arte da situação atual da FA, procurou-se fazer uma análise dos principais fatores políticos, económicos, sociais e tecnológicos que interferem nesta tecnologia, especificamente no campo da medicina. Considerando que se trata de uma área em rápida expansão, justifica-se a pertinência da investigação nesta temática, no sentido de procurar prever os principais impactos da FA na medicina e de que modo esta pode influenciar a qualidade de vida das pessoas.

### 3. Técnicas de Decisão em Grupo

Considerando as características da problemática em estudo e a sua operacionalização, decidiu-se recorrer a uma metodologia já utilizada em outros estudos com propósitos semelhantes, ligados especificamente à área da saúde (Haluzá & Jungwirth, 2015; Jiang et al., 2017; Santos, Vilela & Antunes, 2017; Sudore et al., 2017). Alguns autores desenvolveram projeções para a utilização da FA em 2030, através do consenso de especialistas, utilizando técnicas de tomada de decisão em grupo como a técnica de Delphi. Optou-se por esta técnica de Delphi por ser a que melhor se adequa para alcançar os objetivos de investigação propostos, embora existam outras técnicas, conforme se irá descrever.

Existem muitas outras abordagens metodológicas para além do método de Delphi, como o brainstorming, a técnica nominal, videoconferência e reuniões eletrónicas, cada uma com as suas vantagens e limitações.

Segundo Mações (2018), que analisa um conjunto de técnicas associadas à área da Gestão, o ‘brainstorming’ é uma dinâmica de grupo usada pelas empresas que serve para resolver problemas específicos, como criar ideias alternativas, estimulando o desenvolvimento de ideias até se conseguir uma solução para o problema e é muito usado em empresas de publicidade e marketing.

A técnica de grupo nominal ou técnica nominal é uma técnica de decisões em grupo e, basicamente, consiste numa reunião de grupo, em que os vários elementos apresentam as suas ideias de forma sistemática e independente. É um método que exige a presença física dos vários membros do grupo. O método de Delphi é semelhante ao de grupo nominal, mas não carece da presença física do membro do grupo, como menciona o autor supracitado.

No que diz respeito à técnica das reuniões eletrónicas, esta consiste numa abordagem recente, onde os membros de grupo estão sentados em frente a um monitor de computador e são apresentadas questões que posteriormente terão de ser respondidas individualmente. Posteriormente, serão apresentadas num ecrã gigante, na mesma sala onde estão a participar todos os membros, para que se possam discutir os temas em questão. Para Mações (2018), as principais vantagens na utilização do método das reuniões eletrónicas são o anonimato, honestidade e a rapidez. Este método tem sido bastante utilizado pelas

grandes empresas, por ser uma técnica rápida e bastante econômica em relação a outros métodos mais tradicionais. Por último, uma variante das reuniões eletrônicas é a videoconferência, metodologia que, como o próprio nome indica, é uma reunião feita através de vídeo, sendo que a sua principal vantagem é poder estar virtualmente frente a frente com pessoas situadas em diferentes locais do planeta.

Contudo, o método que melhor se enquadra no contexto do estudo é o método de Delphi, principalmente porque os participantes não necessitam de estar presentes fisicamente. Além disso, tendo em conta que o estudo em questão pretende que os pontos de vista sejam globalizados, este método vai ao encontro dos objetivos do estudo e é desenvolvido no próximo subcapítulo.

### **3.1. Método de Delphi**

Para Revorêdo, Maia, Torres e Maia (2015), a técnica deriva do nome do Oráculo de Delfos, um lugar procurado pelos gregos antigos para obtenção de conselhos e previsões futuras. O método de Delphi foi uma técnica desenvolvida por uma empresa norte americana, a RAND Corporation, para determinar fatores de impacto tecnológico sobre cenários de guerra. Segundo Scarparo et al. (2012), foi no ano de 1952 que foi efetuada a sua primeira utilização, num projeto que consistia em reunir a opinião de especialistas do ponto de vista estratégico soviético para estimar o número de bombas nucleares necessárias para reduzir a produção de munições. Foi-lhe dado o nome de Projeto Delphi, mas somente foi conhecido passados dez anos da sua realização.

O método de Delphi tem, assim, como objetivo, “uma estratégia metodológica de pesquisa, que visa obter um máximo de consenso de um grupo de especialistas sobre um determinado tema” (Revorêdo et al., 2015, p. 17). De acordo com Scarparo et al. (2012), este método, com o passar do tempo, ficou associado à área empresarial, social, da saúde e da implementação de novas tecnologias. Assim, “o governo utiliza esse método para definir tendências e eventos futuros, em busca de ideias e estratégias para a proposição de políticas organizacionais mais gerais” (Wright & Giovinazzo, 2000, citados por Santos et al., 2017, p. 1188).

Para Scarparo et al. (2012), a utilização desta metodologia reflete-se em situações onde existe escassez de dados ou uma necessidade de abordar um tema interdisciplinar,

validando conseqüentemente novas ideias e perspectivas futuras sobre o estudo em causa. Este método consiste na escolha de um grupo de especialistas de uma determinada área (normalmente designado por painel Delphi) que, de forma anónima, respondem a um conjunto de questionários, recebendo posteriormente os resultados comentados sob a forma de uma representação estatística. O processo é repetido o número de vezes que for necessário, até que se atinja um consenso. Este consenso entre o painel de Delphi é determinado quando os itens atingem um certo valor percentual desejado, sendo este o indicador mais fiável.

De acordo com Linstone e Turoff (2002), o método tem duas formas distintas. A mais comum dá-se pelo nome de Delphi convencional, cujo princípio consiste em papel e lápis, é composto por um monitor que projeta um inquérito que será enviado a um painel, posteriormente as repostas são devolvidas, os resultados são tratados e será feita uma nova ronda de inquéritos até existir o tal consenso. A forma mais recente dá pelo nome de "Delphi Conference," estando esta associada à inovação, integrando a internet como uma ferramenta que possibilita o tratamento de dados de forma mais célere, pois apresenta-os imediatamente, mas implica que estejam todas as características bem definidas antes da realização do método.

Esta metodologia será a mais adequada para este tipo de estudo, dado o seu cariz tecnológico e a perspectiva da sua preponderância no futuro: "a técnica Delphi tornou-se uma ferramenta fundamental na área de previsão tecnológica e é usada hoje em muitas empresas de orientação tecnológica" (Linstone & Turoff, 2002, p. 11).

Segundo Pinto (2016), para a realização de um estudo utilizando a metodologia Delphi, existem várias etapas na sua elaboração, sendo estas: a seleção dos participantes, a elaboração e aplicação do primeiro questionário aos participantes, o envio do primeiro questionário, a análise dos questionários recebidos, a elaboração e o envio do segundo questionário e assim sucessivamente, até que seja obtido um consenso.

Este método serve para estruturar o processo de comunicação de um grupo e, simultaneamente, permite responder e ter uma perspectiva global de saber lidar com problemas complexos (Martins, 2013). Após a constituição de todo o painel de participantes, será importante a elaboração de um questionário que contemple a caracterização do painel de participantes em termos de idade, sexo, formação, tempo de experiência e artigos publicados.

De acordo com Scarparo et al. (2012), as vantagens da utilização da técnica de Delphi consistem na eliminação de influências diretas, sendo feita uma reflexão individual. Além disso, este método torna possível o acesso a pessoas geograficamente distantes, através da contribuição de ideias de alta qualidade e especificidade, abrangendo várias zonas do globo e acabando por ser um processo de baixo custo de operacionalização. Por outro lado, as desvantagens que os autores identificam para a realização do método prendem-se com a dificuldade em encontrar especialistas do assunto em estudo, tornando árdua a constituição do painel. Para além disso, existe uma enorme dificuldade no retorno dos questionários, havendo perda de participantes. Também são abordadas como desvantagens a dificuldade na elaboração do questionário, que exige um enorme conhecimento sobre o tema, e outro fator importante, que é o tempo de resposta, que acaba por ser algo demorado devido à dificuldade na elaboração de respostas, que se tornam exigentes e muito particulares, contribuindo para um prazo para elaboração do método relativamente elevado.

### **3.2. Características Operacionais do Método de Delphi**

Segundo Scarparo et al. (2012), a técnica de Delphi é composta por distintas rondas, aplicadas a um painel de grupo de especialistas que estão integrados na área de estudo em causa.

Os autores referem que a ronda inicial é composta por um questionário referente ao tema que se pretende estudar, que será enviado ao painel. Com a obtenção das respostas, é efetuado um estudo de análise de conteúdo, que permitirá chegar a um consenso, sendo que esse mesmo estudo irá contribuir para a realização do novo questionário, permitindo, assim, chegar à segunda ronda do método de Delphi. Normalmente, num estudo de Delphi, são utilizadas entre duas a três rondas de questões até que se consiga obter um consenso desejado que esteja dentro dos objetivos. O número de rondas depende, portanto, do nível de convergência das respostas dadas.

O método de Delphi pode considerar-se como “um método sistematizado de julgamento de informações destinadas à obtenção de consenso de opiniões sobre um determinado tema de conhecimento de um grupo de peritos através de rondas de questionários” (Pinto,

(2016, p. 41). A seleção dos participantes é um fator decisivo sobre a área temática em questão, pois é de extrema importância o nível de elevado conhecimento que se obtém.

Scarparo et al. (2012) afirmam que a quantidade de participantes que venham a compor o painel não se consegue definir, visto este tipo de estudo dar relevo à qualificação dos participantes. Esta é uma questão que traz bastante dificuldade no recrutamento de elementos para compor o painel, para que se consigam obter respostas, tanto na primeira ronda como na segunda. Para a elaboração dos questionários, acaba por não existir uma regra prática, segundo os mesmos autores, sendo possível identificar questões de tipo estruturado, questões abertas ou até questões com escalas de valores.

É importante que se recorra a literatura científica atualizada para a elaboração dos questionários, promovendo, assim, o interesse em pontos fulcrais do estudo em questão. A divulgação dos questionários de forma acessível e rápida é efetuado normalmente por e-mail a cada participante que constitui o painel, facilitando assim todo o processo, e a recolha de dados fica toda interligada, permitindo uma melhor análise de conteúdo.

O prazo para a devolução do questionário por parte dos participantes normalmente não é definido, ou seja, não se impõe nenhuma data, mas, para Scarparo et al. (2012), o tempo de duas semanas é o suficiente para os participantes responderem. Após a recolha dos resultados, segue-se o tratamento estatístico. De acordo com os mesmos autores, os dados deverão ter um tratamento estatístico simples, como mediana, ou medidas de dispersão e distribuição de frequência. Em questões fechadas, normalmente é utilizada a distribuição de frequência absoluta; no entanto, em questões com escalas de valores, utilizam-se normalmente a mediana e quartis.

Em suma, o método Delphi pretende ser um excelente aliado à realização de um estudo específico, através de uma análise minuciosa dos resultados obtidos (Nworie, 2011).

## 4. Metodologia

### 4.1. Problema de Investigação e Objetivos

Nos últimos anos, as tecnologias aditivas têm vindo a desenvolver-se exponencialmente, sendo que as suas características se revelam potencialmente úteis na área da Medicina, seja na utilização de biomateriais e novos fármacos, seja na produção de implantes biomédicos, por exemplo. Possibilita-se, assim, uma total personalização de tratamentos médicos, que incluem: “bioimpressão e formulação de medicamentos; (ii) projeto de implantes e tecidos, (iii) planeamento cirúrgico, (iv) impressão 3D para modelos cirúrgicos e ferramentas de diagnóstico; (v) modelagem 3D em odontologia” (Patil & Kadam, 2017, pp. 3 e 4).

Uma vez que se trata de um tipo de tecnologia que está em constante evolução e que trará, inevitavelmente, implicações ao nível social, económico e até mesmo ético, é fundamental antecipar as consequências que terá no futuro. Deste modo, o problema de investigação concretiza-se na seguinte questão: “Qual o impacto global das tecnologias de fabricação aditiva no setor da saúde, para o horizonte do ano de 2030?”.

Daqui decorrem os objetivos de investigação deste trabalho, que remetem para uma análise multifatorial assente no modelo PEST, e que consistem em:

- (i) perspetivar as principais consequências políticas da fabricação aditiva no setor da saúde;
- (ii) prever o impacto económico da fabricação aditiva nas diferentes aplicações médicas;
- (iii) antecipar os efeitos da fabricação aditiva na saúde, a nível social;
- (iv) perspetivar o impacto tecnológico da fabricação aditiva no setor médico, em 2030.

Tenciona-se, assim, contribuir para a construção de diferentes cenários de futuro e para a discussão das diferentes implicações que estas projeções podem trazer a médio prazo não só ao nosso país, mas a nível global.



## 4.2. Desenho da investigação

Este trabalho de investigação iniciou-se com a definição do problema e clarificação dos objetivos de investigação. De seguida, procedeu-se à revisão da literatura para melhor conhecimento e aprofundamento do tema. Após esta etapa, iniciaram-se as fases correspondentes à técnica de Delphi, nomeadamente, a construção do primeiro questionário e a seleção dos participantes.

Posteriormente, procedeu-se ao envio do primeiro questionário aos participantes e, após esse procedimento, foi feito o respetivo tratamento de dados. Terminada esta fase, procedeu-se ao início da segunda ronda da técnica de Delphi, sendo elaborado o segundo questionário, respetivo envio e, por último, o tratamento de dados.

Por fim, a última etapa da investigação consiste na discussão dos dados obtidos junto dos participantes, comparando também os resultados com outros estudos sobre a mesma problemática. O esquema relativo às diferentes etapas de investigação encontra-se na figura 14.

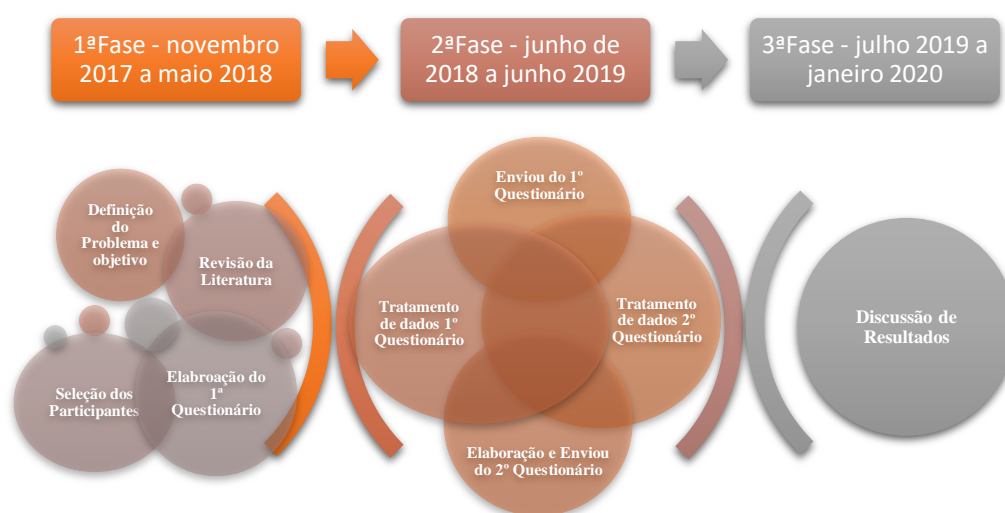


Figura 14 – Fases de Investigação do presente estudo.

### 4.3. Instrumentos de Recolha de Dados

Relativamente aos instrumentos de recolha a utilizar neste estudo, elegeu-se o questionário para operacionalizar o estudo em causa, no âmbito do método de Delphi, como já referido anteriormente, que se considera como o mais adequado para efetuar, com maior rigor, um estudo desta natureza. Segundo Martins (2013), é reconhecida a utilização de questionários como um instrumento de pesquisa, recolha de dados e de informações de um certo assunto. Acresce ainda que é um dos métodos mais simples de recolha de dados e que permite um fácil acesso aos participantes, provenientes das várias zonas do globo.

Este tipo de abordagem proporciona também um tratamento estatístico dos dados, uma metodologia adequada a este estudo, que consiste em duas rondas de recolha de dados para consulta de um painel de especialistas em investigação da utilização da FA no setor da saúde.

O painel de especialistas participou neste trabalho por meio de dois questionários disponibilizados online em rondas diferentes. Segundo Scarparo et al. (2012), como já referido, não existem regras rígidas para a elaboração das questões a incluir no inquérito, sendo que estas poderão ser do tipo abertas ou mesmo questões com escalas de valores, tentando fazer de forma a que a resposta possa ser dada de forma clara e simples. Neste sentido, os questionários foram pensados e construídos para serem aplicados de uma forma simples, eficaz, de fácil leitura e interpretação.

Graças às novas tecnologias, foi possível a criação de um questionário em formato online, o que, para além da facilidade de envio aos participantes, tem como vantagem conseguir compilar dados tanto de forma qualitativa como quantitativa (Bryman, 2004). Trata-se de um método de recolha de informação praticamente automático muito abrangente, acabando por ser bastante acessível no que toca a software, sendo que estão disponíveis imensas versões, tanto em modo freeware como outras pagas.

O painel de especialistas foi contactado via e-mail, tendo sido enviado o link que dava acesso ao respetivo questionário online, garantindo assim o anonimato e, simultaneamente, assegurando uma das premissas do método de Delphi, que consiste na troca de ideias entre especialistas.

### **4.3.1. Primeiro Questionário Delphi**

O primeiro questionário de Delphi foi aplicado na primeira ronda da recolha de dados. Os conteúdos que serviram de base às projeções incluídas no primeiro questionário tiveram por base a revisão de literatura efetuada, particularmente o estudo de Jiang et al. (2017), por se centrar num conjunto de projeções sobre a utilização da fabricação aditiva em 2030, mas numa perspetiva mais genérica e não especificamente aplicada à medicina.

Nesta primeira ronda de Delphi, a plataforma utilizada para a formulação do questionário foi o Google Forms e o mesmo foi disponibilizado ao painel de especialistas via endereço eletrónico, que se encontra no Apêndice A.

O questionário foi criado de forma a categorizar todo este estudo e foi dividido em cinco secções, designadamente (i) perfil (ii) projeções políticas, (iii) projeções económicas, (iv) projeções sociais e (v) projeções tecnológicas, estas quatro últimas por se ter considerado fazer uma análise PEST. Foi colocada uma questão final, de carácter totalmente aberto, para qualquer formalização de opinião ou para se referir algo que não tivesse sido enquadrado numa anterior questão, perfazendo assim um total de 37 questões.

A primeira página do questionário identifica não só o autor como os orientadores do estudo em causa, além da instituição de ensino superior em que se enquadrou este trabalho e os objetivos a que se propõe. No final, integrou-se o contacto de endereço eletrónico para apresentação de qualquer dúvida que surgisse relativamente ao processo, assumindo sempre o anonimato dos participantes e a sua confidencialidade na recolha e tratamento de dados. O tempo previsto para o preenchimento foi indicado, bem como o agradecimento pela disponibilidade e colaboração no estudo. O questionário é composto por oito páginas, estando estas identificadas e indicando a fase em que o respondente se situa, podendo o utilizador avançar ou recuar nas páginas, sem ter de responder na totalidade a todas as questões.

A organização dos itens e projeções sobre os quais se pretendeu recolher informação encontra-se estruturada na tabela 5.

Tabela 5 - Dimensões e Projeções 1ª questionário.

Dimensões	Itens / Projeções
<b>Político-legal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influência das tecnologias aditivas nas políticas de propriedade intelectual</li> <li>• Influência das tecnologias aditivas nas questões de responsabilidade e ética</li> <li>• Definição de barreiras entre produtos personalizados e replicados</li> <li>• Vantagens das tecnologias aditivas nas empresas de manufatura</li> <li>• Impacto das tecnologias aditivas nas leis laborais</li> <li>• Questões éticas relativamente à fabricação de tecidos e órgãos</li> </ul>
<b>Económica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importância do investimento no ensino das tecnologias aditivas, para desenvolvimento e criação de maior entusiasmo pelo setor</li> <li>• Impacto das tecnologias aditivas no desemprego ou recessão económica</li> <li>• Criação de estruturas para o crescimento das tecnologias aditivas nos países em desenvolvimento</li> <li>• Consequências da produção doméstica de tecnologias aditivas para o setor da saúde</li> <li>• Consequências do uso de tecnologias aditivas na saúde, ao nível do PIB/despesa governamental</li> <li>• Impressão 4D na medicina: áreas de aplicação e futuro no mercado global</li> </ul>
<b>Social</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alterações trazidas por influência das tecnologias aditivas a nível do comportamento e procura do consumidor</li> <li>• Alterações trazidas por influência das tecnologias aditivas a nível da oferta de novos produtos</li> <li>• Responsabilidade social das empresas de tecnologias aditivas no setor da saúde</li> <li>• Impacto das tecnologias aditivas a nível ecológico, no setor médico</li> </ul>

<b>Tecnológica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioimpressão e sua implementação no mercado</li> <li>• Falta de estruturas multimateriais ou gradientes funcionais como limitações da fabricação aditiva para efetivar uma revolução no mercado</li> <li>• Tempo de aprovação pela FDA para dispositivos e produtos médicos</li> <li>• Uso de tecnologias aditivas no processamento de materiais com ou sem produtos farmacêuticos, agentes bioativos e células para aplicações médicas</li> <li>• Falta de versatilidade e tempo de impressão como barreiras à fabricação aditiva</li> <li>• Potencial das tecnologias aditivas na produção de dispositivos e implantes médicos, bem como na produção de tecidos e órgãos</li> <li>• Estudos pré-cirúrgicos de operações completas e seu desenvolvimento</li> <li>• Potenciais ameaças às tecnologias aditivas no setor médico</li> <li>• Distribuição de produtos farmacêuticos personalizados nas farmácias: avanços e barreiras</li> </ul>
<b>Questão Final</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Questão aberta para recolher informação adicional</li> </ul>

### 4.3.2. Segundo Questionário Delphi

O segundo questionário de Delphi foi elaborado a partir das projeções fornecidas pelos especialistas da primeira ronda Delphi. Este segundo questionário é composto por cinquenta e uma questões, tendo-se conseguido que catorze especialistas respondessem ao inquérito. O questionário foi elaborado através do software Limesurvey, como se poderá verificar no Apêndice B.

A primeira página deste segundo questionário é composta por um enquadramento ao estudo, sendo que a instituição de ensino se encontra devidamente identificada, assim como o investigador e orientadores, à semelhança do que sucedeu na primeira ronda. O questionário desenvolveu-se, como já foi referido, tendo em conta os resultados na primeira ronda, e partiu da formulação de uma questão central:

- ‘Qual o seu nível de concordância com a ideia de que as Tecnologias de Fabricação Aditiva terão um forte impacto no setor médico em 2030?’.

Os vários itens em estudo derivaram das projeções feitas pelo painel de especialistas do questionário aplicado na primeira ronda e foram subdivididas novamente pelos itens que compõem a análise PEST, conforme se pode verificar na tabela 6. A análise recaiu, mais uma vez, numa subdivisão de acordo com a análise PEST, mas agora com as projeções mencionadas pelo painel de especialistas no primeiro questionário.

*Tabela 6 - Dimensões e Projeções 2ª questionário.*

<b>Dimensões</b>	<b>Itens / Projeções</b>
<b>Político-legais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nova legislação / regulamentação</li> <li>• Regulamentação farmacêutica</li> <li>• Responsabilidade e ética</li> <li>• Infrações</li> <li>• Procedimentos médicos padronizados e certificações de processo</li> <li>• Hora local de aprovação do FDA e respetivos/seus regulamentos internos</li> <li>• Proteção da informação do paciente</li> <li>• Sem impacto a nível político/legal/ético</li> </ul>
<b>Económicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concorrentes</li> <li>• Mercado</li> <li>• Parcerias</li> <li>• Produtos personalizados</li> <li>• Benefícios a nível empresarial</li> <li>• Impacto no PIB</li> <li>• Formação</li> <li>• Emprego</li> <li>• Incentivos</li> <li>• Impacto ecológico no setor da saúde</li> <li>• Impacto ecológico no setor farmacêutico</li> <li>• Sem impacto a nível económico</li> </ul>
<b>Sociais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literacia tecnológica</li> <li>• Questões culturais</li> <li>• Aceitação da tecnologia</li> <li>• Responsabilidade social das empresas</li> <li>• Sem impacto a nível social</li> </ul>

<b>Tecnológicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propriedade intelectual</li> <li>• Novo design de forma</li> <li>• Novos materiais</li> <li>• Materiais compósitos e/ou estruturas multimatérias</li> <li>• Produtos /dispositivos com gradientes funcionais</li> <li>• Redução da doação de órgãos</li> <li>• Engenharia e regeneração de tecidos</li> <li>• Sector farmacêutico</li> <li>• Dispositivos e produtos médicos</li> <li>• Desenvolvimento da tecnologia médica</li> <li>• Disponibilidade da fabricação aditiva</li> <li>• Sem impacto a nível tecnológico</li> <li>• A bioimpressão e o seu domínio de pesquisa para a industrialização dos cuidados de saúde para o ano 2030</li> <li>• Superação das barreiras tecnológicas da fabricação aditiva para o ano 2030</li> <li>• Falha no financiamento de ensaios clínicos para demonstrar resultados de melhoria</li> <li>• Falha no reconhecimento de resultados de melhoria com reembolso confiável</li> <li>• Questões de segurança</li> <li>• Falta de conhecimento sobre tecnologia de fabricação aditiva</li> <li>• Controlo regulatório e inércia do sistema atual</li> <li>• Falta de tempo para que os profissionais de saúde possam dominar estas tecnologias</li> <li>• Simplificação excessiva de dispositivos ou mau design, nos casos em que pessoas sem conhecimento profundo creem ter capacidade</li> <li>• Cibersegurança</li> <li>• Custo</li> <li>• Resistência do material</li> <li>• Problemas de toxicidade</li> </ul>
---------------------	---

Aos respondentes, foi pedido que avaliassem a importância das quatro áreas correspondentes ao estudo da FA. Cada item das projeções estava associado a uma escala de 7 pontos de Likert, em que 1 representa “pouco importante” e 7 “muito importante”.

## **4.4. Definição dos Participantes**

Conforme mencionado anteriormente, o método de Delphi é “uma técnica de previsão, projetada para conhecer com antecipação a probabilidade de eventos futuros, por meio da solicitação e coleta sistemática da opinião de especialistas em determinado assunto” (Oliveira, Costa e Willie, 2008, citados por Santos et al. 2017, p. 1189). Este trabalho de investigação incide na aplicação do método de Delphi a investigadores/profissionais que de alguma forma estejam ligados à FA no setor da saúde. Tendo em conta que o tema da dissertação é de interesse internacional e poderá ter impacto mundial, decidiu-se convidar investigadores de nível internacional para darem o seu contributo ao estudo. De acordo com Pinto (2016), para a realização do método de Delphi, não há um número específico de participantes, dando-se preferência à sua qualificação, valorizando com maior sucesso os resultados obtidos, ideia também reiterada por Jiang et al. (2017).

Os fatores de seleção para constituir o painel de Delphi foram:

- N° de publicações na área;
- N° de patentes;
- N° de projetos de investigação relacionados com FA.

Com os critérios definidos para a escolha dos participantes, idealizou-se escolher dois participantes de cada continente, a fim de promover a realidade global e atribuir maior impacto ao estudo. No entanto, não se conseguiu obter respostas oriundas de peritos de todos os continentes, como desejado.

### **4.4.1. Participantes da 1ª Ronda**

Na primeira ronda do método Delphi, tencionava-se incluir dez participantes: dois participantes do continente norte-americano, dois do sul-americano, dois do europeu, dois do continente asiático e, por fim, dois da Oceânia. No entanto esse objetivo acabou por não ser concretizado. No final, conseguiu-se obter resultados de vários continentes, perfazendo o total de 7 participantes de várias nacionalidades.



## **4.4.2. Participantes da 2ª Ronda**

Na segunda ronda do método Delphi, perspectivou-se incluir ainda mais participantes com os mesmos requisitos da primeira ronda. Desta forma, conseguiu-se um total de catorze participantes de vários países, reforçando ainda mais a amostra inicial.

## **4.5. Procedimentos**

Observam-se, agora, as fases inerentes à operacionalização deste estudo de investigação, pelo que importa recuperar algumas das principais características do método de Delphi. A técnica de Delphi, de acordo com Scarparo et al. (2012), consiste em obter um consenso de um grupo de especialistas pela aplicação de questionários estruturados em várias rondas que circulam entre participantes anonimamente, criando um conjunto de resultados estatísticos até que um consenso predomine. A utilização do método de Delphi tem como característica fundamental, segundo os mesmos autores, o anonimato dos participantes, ou seja, cada participante não sabe da participação de outro no inquérito e são realizadas no mínimo duas rondas de opiniões.

A primeira ronda foi realizada em junho de 2018 e exigiu vários procedimentos, designadamente o contacto prévio com alguns especialistas da área da FA no setor da medicina, através de um pedido de disponibilidade para colaborar no estudo. Os contactos foram inicialmente realizados via email (Apêndice C). Posteriormente, foi feito um reforço na segunda quinzena de setembro de 2018 (Apêndice D). Aos resultados da primeira ronda do método de Delphi foi efetuada uma análise de conteúdo.

A análise de conteúdo foi alicerçada numa análise categórica postulada por Bardin (2011), que afirma: “no conjunto das técnicas da análise de conteúdo, a análise de categorias é de citar em primeiro lugar: cronologicamente é a mais antiga; na prática é a mais utilizada. Funciona por operações de desmembramento do texto em unidades, em categorias segundo reagrupamentos analógicos. Entre as diferentes possibilidades de categorização, a investigação dos temas, ou análise temática, é rápida e eficaz na condição de se aplicar a discursos diretos e simples” (p. 153). A análise categórica, como referido pela autora, consiste na análise das respostas obtidas e na retirada de palavras-chave que podem categorizar um determinado elemento ou projeção, como neste caso pretendemos. Assim,

procedeu-se à codificação das respostas dos especialistas, verificando-se, em todo o questionário da primeira ronda, quais as projeções obtidas, ou seja, onde existia maior nível de concordância nas repostas dadas em todos os campos da análise PEST. A segunda ronda do método de Delphi foi iniciada na segunda quinzena do mês de janeiro de 2019, com o envio do segundo questionário via email (Apêndice E), sendo concluída esta fase com o tratamento de todos os dados na primeira quinzena de julho do mesmo ano (v. figura 14 atrás).

Foi essencial assegurar, ainda, o cumprimento de alguns requisitos de natureza ética, nomeadamente a garantia do anonimato, da confidencialidade e da preservação dos dados recolhidos. Por fim, o tratamento de dados quantitativos foi feito através do software SPSS (versão 25) e do Microsoft Excel.

## 5. Análise e Discussão dos Resultados

Os resultados que agora se apresentam decorrem da aplicação dos instrumentos de investigação supracitados, nomeadamente os dois questionários, cada um respeitante a uma das rondas do método de Delphi, com o objetivo de desenvolver um conjunto de projeções, como já mencionado.

### 5.1. Caracterização da Amostra

#### 5.1.1. Participantes da 1ª Ronda

Como foi referido anteriormente, obteve-se a participação de sete peritos de várias nacionalidades nesta ronda. Na tabela seguinte (tabela 7), pode-se observar a nacionalidade, os anos de trabalho na área e o número de publicações dos participantes cujas respostas foram obtidas na primeira ronda Delphi.

*Tabela 7 – Caracterização dos Participantes da 1ª Ronda Delphi.*

<b>Participante</b>	<b>Nacionalidade</b>	<b>Idade</b>	<b>Anos trabalho na área</b>	<b>Nº de publicações</b>
1	Estados Unidos da América	58	24	---
2	Brasil	55	20	Mais de 300
3	Eslovénia	52	---	26
4	Inglaterra	55	Mais de 25	Mais de 200
5	Brasil	54	18	13
6	Canadá	50	25	4
7	Índia	36	3	24

Pode-se verificar que a maior parte dos inquiridos detém bastantes anos de experiência na área, como também um razoável número de artigos publicados na especialidade, destacando-se o participante do Brasil, com maior relevo nesse sentido. Este painel de sete especialistas, que constitui a amostra do primeiro questionário, é constituído maioritariamente por homens (85,7%). Cerca de 71,4 % tem mais de 10 anos de experiência na área da FA no setor da medicina, a mesma percentagem para o nº de patentes registadas e cerca de 57,1% tem mais de 10 projetos de investigação na área.

### 5.1.2. Participantes da 2ª Ronda

Nesta ronda, conseguiu-se obter resposta junto de catorze peritos e a tabela 8 apresenta os principais indicadores que os caracterizam.

*Tabela 8 - Caracterização dos Participantes da 2ª Ronda Delphi.*

<b>Participante</b>	<b>Nacionalidade</b>	<b>Idade</b>	<b>Anos trabalho na área</b>	<b>Nº de publicações</b>
1	Estados Unidos da América	58	24	---
2	Brasil	55	20	Mais de 300
3	Eslovénia	52	---	26
4	Inglaterra	55	Mais de 25	Mais de 200
5	Brasil	54	18	13
6	Canadá	50	25	4
7	Índia	36	3	24
8	Portugal	---	---	69
9	Portugal	---	---	397
10	Portugal	---	6	604
11	Estados Unidos da América	---	5	166
12	Espanha	---	1	178
13	Portugal	---	6	224
14	Inglaterra	---	1	11

Pode-se verificar que grande parte dos inquiridos detém bastantes anos de experiência na área, o que revela a importância desta matéria, como também um razoável número de artigos publicados na especialidade. Curiosamente, o painel de especialistas que constitui a amostra do primeiro questionário e o segundo questionário do método de Delphi acaba por ser de igual forma composto por 85,7% de elementos do sexo masculino e os restantes 14,3% do sexo feminino.

## 5.2. Resultados da 1ª Ronda Delphi

Na sequência do questionário da primeira ronda, que incluía um conjunto de perguntas abertas, os participantes veicularam a sua perspectiva acerca da utilização da FA na área da medicina, para o ano 2030. As respostas obtidas foram, assim, objeto de análise de conteúdo e respetiva subcategorização dentro das várias áreas da análise PEST.

Como referido, a análise categorial consiste num desmembramento do texto em categorias segundo reagrupamentos analógicos (Bardin, 2011). O critério de categorização usado foi o semântico, ou seja, todas as expressões que representassem a dimensão Político-Legal, Económica, Sociocultural ou Tecnológica (análise PEST) eram codificadas nessa categoria.

A tabela 9 representa um resumo dos vários códigos associados às dimensões que compõem a análise PEST.

*Tabela 9 – Códigos associados às dimensões da análise PEST.*

<b>Dimensões</b>	<b>Código</b>
<b>Político - Legal</b>	Desenvolvimento de propriedade intelectual
	Replicação de produtos
	Falsificação de produtos
	Responsabilidade ética
	Redução de custos de produção
	Customização

	Proteção de dados
	Novas oportunidades de trabalho
	Bioimpressão irá ter um impacto importante no transplante de órgãos
	Bioimpressão poderá ser considerada como clonagem de órgãos
<b>Económica</b>	Necessidade de aquisição de conhecimento sobre a tecnologia FA para a saúde
	Parcerias entre escolas serão uma mais-valia para adquirir conhecimento e desenvolvimento da tecnologia
	Terá um grande impacto na criação de novos empregos
	Impacto da FA na saúde em países menos desenvolvidos
	A produção doméstica será uma ameaça ou um parceiro para a redução dos custos de produção
	A regulamentação será um passo importante na produção controlada
	FA será uma força económica
	A impressão 4D será uma evolução importante para o desenvolvimento da FA
	FA terá um papel fundamental na medicina, reduzindo o tempo de cirurgias e os seus custos
	Irá criar um novo sistema de saúde com o desenvolvimento das próteses personalizadas
Será importante a obtenção de bons resultados para que o PIB aumente	
<b>Social</b>	Quando for disponibilizada a FA em massa, esta permitirá que cada usuário personalize e adapte a seu gosto
	Será possível localmente criar produtos autênticos e personalizados
	Fará com que empresas imprimam a encomenda no momento, acelerando o processo
	Com a FA irá criar-se maior inovação e mais soluções
	Será mais seguro e menos dispendioso para o paciente
	A FA terá um grande impacto no setor da medicina
	A legislação terá um ponto importante para criar procedimentos e métodos de trabalho, implementando responsabilidades
	Quanto mais rápida for a globalização sobre esta tecnologia, maior será o seu desenvolvimento e acessibilidade
	FA irá criar maior sustentabilidade, reduzindo o desperdício e aumentando os seus valores

<b>Tecnológica</b>	Bioimpressão será uma promessa da FA
	Será uma revolução no setor médico no que toca à personalização de medicamentos
	A FA estará pronta para entrar no mercado em grande escala
	Processo ainda se encontra lento, mas a tendência será evoluir com o conhecimento cada vez maior da tecnologia
	Os materiais cerâmicos e metálicos serão os mais usados pela tecnologia
	Impressão 3D de silicone terá um desenvolvimento importante como as estruturas multimatérias
	Existirá uma grande importância ou benefício em desenvolver a FA no setor farmacêutico
	FA irá desenvolver quando se implementarem processos híbridos que incluem FA com outras tecnologias
	Existe ainda muita falta de conhecimento por parte dos médicos em relação à tecnologia
	Futuro da FA na medicina recai sobre os modelos anatómicos, implantes e cirurgia reconstrutiva
	Impressão de órgãos e tecidos terá um grande impacto neste setor
	Planeamento cirúrgico virtual será uma das mais-valias desta tecnologia
	A curto prazo será importante concentrar a FA na medicina tradicional
	Existem tecnologias que não permitem o diminuir o tempo devido às suas limitações intrínsecas; bioimpressão terá melhores resultados a nível social e económico

Como se pode verificar na tabela 10, que ilustra a frequência (f) dos códigos de análise de conteúdo, o painel de especialistas identificou várias subcategorizações dentro das áreas PEST. Posteriormente, uma análise categórica trouxe as projeções para a ronda seguinte de questionário do método Delphi.

Tabela 10 - Frequência (f) dos códigos da análise de conteúdo.

<b>Dimensões</b>	<b>Códigos</b>	<b>F</b>
<b>Político - Legal</b>	Desenvolvimento de propriedade intelectual	4
	Replicação de produtos	3
	Falsificação de produtos	1
	Responsabilidade ética	6
	Redução de custos de produção	2
	Customização	4
	Proteção de dados	2
	Novas oportunidades de trabalho	6
	Bioimpressão irá ter um impacto importante no transplante de órgãos	5
	Bioimpressão poderá ser considerada como clonagem de órgãos	4
<b>Económica</b>	Necessidade de aquisição de conhecimento sobre a tecnologia FA para a saúde	3
	Parcerias entre escolas serão uma mais-valia para adquirir conhecimento e desenvolvimento da tecnologia	2
	Terá um grande impacto na criação de novos empregos	2
	Impacto da FA na saúde em países menos desenvolvidos	4
	A produção doméstica será uma ameaça ou um parceiro para a redução dos custos de produção	1
	A regulamentação será um passo importante na produção controlada	3
	FA será uma força económica	2
	A impressão 4D será uma evolução importante para o desenvolvimento da FA	4
	FA terá um papel fundamental na medicina, reduzindo o tempo de cirurgias e os seus custos	3
	Irá criar um novo sistema de saúde com o desenvolvimento das próteses personalizadas	1
Será importante a obtenção de bons resultados para que o PIB aumente	1	
<b>Social</b>	Quando for disponibilizada a FA em massa, esta permitirá que cada usuário personalize e adapte a seu gosto	4
	Será possível localmente criar produtos autênticos e personalizados	3
	Fará com que empresas imprimam a encomenda no momento, acelerando o processo	3
	Com a FA irá criar-se maior inovação e mais soluções	1
	Será mais seguro e menos dispendioso para o paciente	1



	A FA terá um grande impacto no setor da medicina	2
	A legislação terá um ponto importante para criar procedimentos e métodos de trabalho, implementando responsabilidades	2
	Quanto mais rápida for a globalização sobre esta tecnologia, maior será o seu desenvolvimento e acessibilidade	2
	FA irá criar maior sustentabilidade, reduzindo o desperdício e aumentando os seus valores	1
<b>Tecnológica</b>	Bioimpressão será uma promessa da FA	3
	Será uma revolução no setor médico no que toca à personalização de medicamentos	1
	A FA estará pronta para entrar no mercado em grande escala	1
	Processo ainda se encontra lento, mas a tendência será evoluir com o conhecimento cada vez maior da tecnologia	4
	Os materiais cerâmicos e metálicos serão os mais usados pela tecnologia	3
	Impressão 3D de silicone terá um desenvolvimento importante como as estruturas multimatérias	3
	Existirá uma grande importância ou benefício em desenvolver a FA no setor farmacêutico	8
	FA irá desenvolver quando se implementarem processos híbridos que incluem FA com outras tecnologias	3
	Existe ainda muita falta de conhecimento por parte dos médicos em relação à tecnologia	4
	Futuro da FA na medicina recai sobre os modelos anatómicos, implantes e cirurgia reconstrutiva	3
	Impressão de órgãos e tecidos terá um grande impacto neste setor	1
	Planeamento cirúrgico virtual será uma das mais-valias desta tecnologia	3
	A curto prazo será importante concentrar a FA na medicina tradicional	2
	Existem tecnologias que não permitem o diminuir o tempo devido às suas limitações intrínsecas; bioimpressão terá melhores resultados a nível social e económico	13

Analisamos, agora, a partir da tabela de códigos de frequência, os itens que obtiveram maior e menor frequência de expressões em cada uma das quatro dimensões (político-legal, económica, social e tecnológica).

Na dimensão político-legal, as projeções com maior código de frequência foram a ‘responsabilidade ética’ e ‘novas oportunidades de trabalho’ com 6 peritos a referenciá-las, além de outra que destacamos, nomeadamente, ‘bioimpressão irá ter um impacto importante no transplante de órgãos’, com referência por parte de 5 peritos. Nesta mesma dimensão, a que obteve menor frequência foi a relativa a ‘Falsificação de produtos’, referida por apenas um perito.

Na dimensão económica, foram duas as projeções que obtiveram um maior consenso, designadamente ‘Impacto da FA na saúde em países menos desenvolvidos’ e ‘A impressão 4D será uma evolução importante para o desenvolvimento da FA’, tendo sido ambas nomeadas por 4 peritos. As projeções com menor frequência foram três: ‘A produção doméstica será uma ameaça ou um parceiro para a redução dos custos de produção’, ‘Irá criar um novo sistema de saúde com o desenvolvimento das próteses personalizadas’, ‘Será importante a obtenção de bons resultados para que o PIB aumente,’ com uma frequência de 1.

A dimensão social obteve o máximo de referências (4) para a projeção ‘Quando for disponibilizada a FA em massa, esta permitirá que cada usuário personalize e adapte a seu gosto’. As que obtiveram menor expressão foram, ‘Com a FA irá criar-se maior inovação e mais soluções’, ‘Será mais seguro e menos dispendioso para o paciente’ e ‘FA irá criar maior sustentabilidade, reduzindo o desperdício e aumentando os seus valores’, todas com frequência de 1.

Por fim, na dimensão tecnológica, verificou-se um aumento significativo no código de frequências, obtendo-se os valores de 13 e 8 dentro das projeções ‘existem tecnologias que não permitem o diminuir o tempo devido às suas limitações intrínsecas; bioimpressão terá melhores resultados a nível social e económico’ e ‘Existirá uma grande importância ou benefício em desenvolver FA no setor farmacêutico’, respetivamente. Por outro lado, com a frequência de 1 identificamos três projeções, que enunciamos agora: ‘Será uma revolução no setor médico no que toca à personalização de medicamentos, ‘a FA estará pronta para entrar no mercado em grande escala?’ e ‘impressão de órgãos e tecidos terão um grande impacto neste setor’.

## **5.2.1. Fiabilidade e validade dos resultados da 1ª Ronda Delphi**

A análise qualitativa é muitas das vezes criticada por autores, pela falta de rigor científico na justificação dos métodos adotados, pela falta de transparência nos procedimentos analíticos ou simplesmente porque os resultados são considerados uma coleção de opiniões pessoais, podendo conduzir a um viés do investigador (Noble & Smith, 2015; Rolfe, 2006; Sandelowski, 1993). Na verdade, demonstrar rigor nas análises qualitativas tem sido um grande desafio porque não há consenso aceite sobre os padrões a adotar (Rolfe, 2006). O trabalho de Noble e Smith (2015) compila algumas estratégias que os investigadores podem adotar nas metodologias qualitativas para garantir a credibilidade nos estudos. São elas: (i) ter em conta os erros pessoais que podem influenciar os resultados; (ii) conhecer os erros de amostragem e ter uma reflexão contínua dos métodos para garantir profundidade e relevância suficiente na recolha e análise dos dados; (iii) manter um registo metuculoso, demonstrando um trilho claro de decisão e garantindo que as interpretações dos dados são consistentes e transparentes; (iv) estabelecer um caso comparação/ procurando similaridades e diferenças para garantir que diferentes perspetivas são representadas; (v) incluir descrições completas e detalhadas dos participantes para sustentar resultados; (vi) demonstrar clareza em termos de pensamento durante a análise e interpretação dos dados; (vii) envolver com outros investigadores para minimizar o erro de pesquisa; (viii) validação dos correspondentes: inclui convidar os participantes a comentar a transcrição das entrevistas e se os conceitos criados refletem o fenómeno que está a ser investigados e (ix) triangulação dos dados, ou seja, usar diferentes métodos e perspetivas ajudam a produzir uma melhor compreensão do conjunto dos resultados. Assim, seguindo as estratégias apontadas por Noble e Smith (2015), no processo de codificação tentou-se comparar e envolver outros casos e investigadores que já tinham categorizados aqueles itens nas respetivas dimensões, tal como indicam as estratégias (iv) e (vii).

No entanto, há outros autores como Stenbacka (2001) que argumentam que questões de fiabilidade não têm relevância nas pesquisas qualitativas. Ainda a este propósito, Lincoln e Guba (1985) afirmam que não pode haver validade sem fiabilidade, pelo que a demonstração da validade é suficiente para estabelecer a fiabilidade. Assim, na 1ª ronda Delphi deste estudo, verificou-se a validade recorrendo ao método de consenso apresentado por Topf (1986):

$$\% \text{ concordância} = \frac{\text{número de avaliadores concordantes}}{\text{total de número de avaliadores}}$$

Os itens são considerados adequados quando há uma percentagem de concordância acima de 89%. Caso a percentagem se situar entre 70-88%, os itens são considerados questionáveis. Os itens são inaceitáveis com uma percentagem de acordo abaixo de 69%.

Aplicando a fórmula apresentada, conclui-se que o conjunto de itens representa a sua dimensão. Uma vez que houve acordo para os três observadores (o autor e os outros dois investigadores do estudo), obteve-se assim 100% de acordo, ou seja, uma fiabilidade de 1, garantindo, assim, a validade de conteúdo.

### **5.3. Resultados da 2ª Ronda Delphi**

Na análise de dados relativa à segunda ronda do estudo Delphi, os resultados são ordenados por ordem decrescente de média, uma medida de tendência central, sendo que se inclui ainda a informação relativa à mediana, à moda, ao desvio-padrão e à variância. Considerando que o objetivo do trabalho se prende com a reunião de consensos entre os especialistas, crê-se ser de extrema importância também aludir aos resultados do desvio-padrão, uma medida de dispersão. Tendo como pressuposto a escala de Likert de 7 valores, consideramos reduzidos os valores abaixo de 3,99; moderados os valores entre 4,00 e 4,90 e elevados os valores entre 5 e 7.

De recordar que os itens das várias tabelas se reportam à questão ‘Qual o seu nível de concordância com a ideia de que as Tecnologias de Fabricação Aditiva terão um forte impacto no setor médico em 2030?’

No âmbito da dimensão político-legal, pode-se constatar que praticamente todos os resultados são de nível elevado, sendo que se destacam as projeções ‘nova legislação e regulamentação e procedimentos médicos padronizados e certificações de processo’ (com uma média de 6,08) e em seguida ‘hora local de aprovação do FDA e regulamentos internos’ (média = 5,67). Curiosamente, o item ‘responsabilidade e ética’ ficou com uma

média de 5,58. Os resultados demonstram igualmente que os respondentes atribuíram alguma preponderância à questão dos tempos de aprovação dos medicamentos impressos e personalizados e da sua regulamentação, no futuro.

A projeção “sem impacto a nível político - legal” apresenta uma média cujo valor está dentro dos valores reduzidos (3,58). Acaba por ser um valor que se deve ter em conta, porque dele se depreende que poderá, no futuro, ter implicações. O facto de o desvio-padrão ser mais elevado que nos restantes itens (2,02) poderá significar maior variabilidade em volta da média, podendo indicar diferenças de resultados, não havendo consenso em relação a esta projeção. Os resultados estão patentes na tabela 11.

*Tabela 11 - Dimensão Político-Legal.*

<b>Dimensão Político-Legal</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Desvio-padrão</b>	<b>Variância</b>
<b>Nova legislação e regulamentação</b>	6,08	7,0	7,0	1,379	1,902
<b>Procedimentos médicos padronizados e certificações de processo</b>	6,08	7,0	7,0	1,38	1,90
<b>Tempo de aprovação da FDA e regulamentos internos</b>	5,67	6,50	7,0	1,72	2,297
<b>Responsabilidade e ética</b>	5,58	6,0	6,0	1,24	1,538
<b>Regulamentação farmacêutica</b>	5,33	5,50	7,0	1,67	2,78
<b>Proteção da informação do paciente</b>	5,33	6,0	7,0	1,97	3,879
<b>Infrações</b>	4,75	4,50	4,0	1,29	1,659
<b>Sem impacto a nível político - legal</b>	<b>3,58</b>	<b>3,50</b>	<b>2,0</b>	<b>2,02</b>	<b>4,08</b>
<b>Score Total Médio</b>	<b>5,55</b>	<b>6,07</b>	<b>6,42</b>	<b>1,52</b>	<b>2,38</b>

No que respeita à dimensão económica, há duas projeções que se destacam com uma média mais elevada, designadamente ‘produtos personalizados’ (média=6,83) e ‘mercado’ (média = 6,25).

A projeção ‘sem impacto a nível económico’ tem uma média de 2,42, um valor bastante reduzido que nos dá a indicação de que a utilização da FA na medicina irá ter uma enorme

preponderância neste setor e combinará com enormes progressos. Todos os resultados estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Dimensão Económica.

<b>Dimensão Económica</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Desvio-padrão</b>	<b>Variância</b>
<b>Produtos personalizados</b>	6,83	7,0	7,0	0,39	0,15
<b>Mercado</b>	6,25	6,0	6,0	0,75	0,568
<b>Concorrentes</b>	5,83	6,0	5,0	0,83	0,69
<b>Relação Fornecedor /Cliente</b>	5,75	6,0	7,0	1,29	1,659
<b>Parcerias</b>	5,67	6,0	6,0	1,15	1,33
<b>Formação</b>	5,67	5,0	6,0	1,5	2,24
<b>Emprego</b>	5,67	5,5	5,0	0,98	0,97
<b>Impacto no PIB</b>	5,58	5,0	5,0	0,9	0,8
<b>Benefícios a nível empresarial</b>	5,33	6,0	7,0	1,83	3,33
<b>Impacto Ecológico no setor da saúde</b>	5,33	5,0	5,0	1,3	1,697
<b>Impacto ecológico no setor farmacêutico</b>	5,25	5,5	6,0	1,06	1,14
<b>Incentivos</b>	5,08	5,0	4,0	1,44	2,08
<b>Sem impacto a nível económico</b>	<b>2,42</b>	<b>2,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,62</b>	<b>2,629</b>
<b>Score Total Médio</b>	<b>5,69</b>	<b>5,75</b>	<b>5,88</b>	<b>1,12</b>	<b>1,39</b>

Na dimensão social, as projeções que se destacam com valores mais elevados são ‘aceitação da tecnologia’, com uma média de 6,08, e ‘literacia tecnológica’ (média = 6,0). De entre as projeções indicadas na tabela, somente o item referente às ‘questões culturais’ não tem uma média elevada, sendo esta moderada.

A projeção ‘sem impacto a nível social’ contabiliza um resultado de nível reduzido (média = 2,4), o que nos poderá indicar que o impacto na sociedade será bastante presente e que

nos irá influenciar no nosso dia a dia. É possível confirmar os resultados em detalhe na tabela que se segue (tabela 13).

*Tabela 13 - Dimensão Social.*

<b>Dimensão Social</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Desvio-padrão</b>	<b>Variância</b>
<b>Aceitação da tecnologia</b>	6,08	6,0	6,0	1,16	1,356
<b>Literacia tecnológica</b>	6,0	6,0	6,0	0,95	0,909
<b>Responsabilidade social corporativa das empresas</b>	5,5	5,5	5	1,24	1,545
<b>Questões culturais</b>	4,5	4,5	4,0	0,8	0,636
<b>Sem impacto a nível social</b>	<b>2,4</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,16</b>	<b>1,356</b>
<b>Score Total Médio</b>	<b>5,52</b>	<b>5,5</b>	<b>5,5</b>	<b>1,04</b>	<b>1,1</b>

Na dimensão tecnológica, a projeção que se destaca com maior relevo é a ‘Dispositivos e produtos médicos’, com uma média de 6,83, um valor bastante elevado.

Todas as projeções com dimensão tecnológica estão com valores elevados, à exceção de cinco que estão dentro dos valores moderados, nomeadamente: ‘custo’; ‘questões de segurança’; ‘resistência do material’; ‘cibersegurança; problemas de toxicidade’.

De notar a projeção “sem impacto a nível tecnológico” com um valor médio bastante reduzido (média = 1,50), que aponta para uma clara indicação que a FA está fortemente implícita no setor da medicina, logo presente em todo o dia a dia da população. Os resultados estão patentes na tabela 14.

*Tabela 14 - Dimensão Tecnológica.*

<b>Dimensão Tecnológica</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Desvio-padrão</b>	<b>Variância</b>
<b>Dispositivos e produtos médicos</b>	6,83	7,0	7,0	0,39	0,152
<b>Disponibilidade da fabricação aditiva</b>	6,58	7,0	7,0	0,67	0,447
<b>Novos materiais</b>	6,50	7,0	7,0	0,8	0,636

<b>Produtos / Dispositivos com gradientes funcionais</b>	6,50	7,0	7,0	0,8	0,636
<b>Materiais compósitos e / ou estruturas multimatérias</b>	6,42	7,0	7,0	0,9	0,811
<b>Desenvolvimento da tecnologia médica</b>	6,42	7,0	7,0	0,9	0,811
<b>Novo Design de forma</b>	6,33	6,5	7,0	0,78	0,606
<b>Bioimpressão – superação do domínio de pesquisa para a industrialização dos cuidados de saúde em 2030</b>	6,25	6,0	6,0	0,62	0,386
<b>Propriedade intelectual</b>	6,17	6,0	7,0	0,83	0,697
<b>Engenharia e regeneração de tecidos</b>	6,08	6,0	6,0	0,9	0,811
<b>Controlo regulatório e inércia do sistema atual</b>	5,75	6,0	6,0	1,22	1,477
<b>Simplificação excessiva de dispositivos ou mau design</b>	5,75	6,0	6,0	1,29	1,659
<b>Superação das atuais barreiras tecnológicas em 2030</b>	5,75	6,0	6,0	0,97	0,932
<b>Redução da doação de órgãos</b>	5,67	6,0	7,0	1,23	1,515
<b>Sector farmacêutico</b>	5,42	5,5	4,0	1,24	1,538
<b>Falha no reconhecimento de resultados de melhoria com reembolso confiável</b>	5,25	5,0	4,0	1,48	2,205
<b>Tempo para que os profissionais de saúde possam dominar estas tecnologias</b>	5,25	5,0	5,0	1,22	1,477
<b>Falha no financiamento de ensaios clínicos</b>	5,17	5,0	4,0	1,53	2,33
<b>Falta de conhecimento sobre FA</b>	5,17	6,0	7,0	1,95	3,788
<b>Custos</b>	4,75	5,0	5,0	1,82	3,295
<b>Questões de Segurança</b>	4,33	4,0	4,0	1,72	2,97
<b>Resistência do material</b>	4,33	5,0	5,0	1,37	1,879
<b>Cibersegurança</b>	4,25	4,0	4,0	1,71	2,932
<b>Problemas de toxicidade</b>	4,25	4,5	5,0	1,22	1,477



<b>Sem impacto a nível tecnológico</b>	<b>1,50</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>0,818</b>
<b>Score Total Médio</b>	<b>5,69</b>	<b>5,75</b>	<b>5,88</b>	<b>1,12</b>	<b>1,39</b>

Na tabela 15, que se reporta à frequência das respostas relativas à importância das dimensões PEST, inclui-se um total de quatro dimensões e são apresentadas as frequências das respostas (N = 14), bem como o respetivo grau de importância atribuído, com as percentagens das frequências entre parêntesis.

*Tabela 15 - Frequência das respostas relativas à importância das dimensões PEST.*

<b>Dimensões</b>	<b>Escala de Importância *</b>							
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Político-Legal	0 (0.0)	3 (3.1)	5 (5.2)	8 (8.3)	14 (14.6)	14 (14.6)	18 (18.8)	34 (35.4)
Económica	0 (0.0)	5 (3.2)	6 (3.8)	3 (1.9)	20 (12.8)	36 (23.1)	40 (25.6)	46 (29.5)
Social	0 (0.0)	3 (5.0)	4 (6.7)	5 (8.3)	10 (16.7)	12 (20.0)	14 (23.3)	12 (20.0)
Tecnológica	0 (0.0)	11 (3.7)	12 (4.0)	7 (2.3)	45 (15.0)	50 (16.7)	71 (23.7)	104 (34.7)

\* Com base na escala de 1 (Discordo Totalmente) a 7 (Concordo Totalmente).

Tendo em conta as dimensões em questão, as escalas mencionadas com maior frequência foram: ‘de certo modo concordo’, ‘concordo maioritariamente’ e ‘concordo totalmente’ (respetivamente os níveis 5, 6 e 7, com base na escala de tipo Likert utilizada pelos especialistas). No que respeita às dimensões, destacam-se a económica, com cerca de 78,2%, e a dimensão tecnológica, com cerca de 75,1%. As restantes dimensões, a política e a social, de acordo com os especialistas, têm uma percentagem de frequência atribuída de 68,8% e 63,3%, respetivamente.

### 5.3.1. Fiabilidade e validade dos resultados da 2ª Ronda Delphi

Marôco e Garcia-Marques (2006) refere que “entre os diferentes métodos que nos fornecem estimativas do grau de consistência de uma medida salienta-se o índice de Cronbach, sobre o qual assenta a confiança da maioria dos investigadores” (p.65). Como o autor refere, quando utilizamos um instrumento de medida que a partir do qual se obtêm resultados consistentes aplicados a alvos estruturalmente iguais, conseguimos confiar no significado da medida, o que nos indica que a mesma é fiável. Pode-se afirmar que os dados observados são uma estimativa e não um dado, estando sempre sujeitos a erros; contudo, o cálculo do coeficiente Alpha de Cronbach confere a garantia da fiabilidade dos dados recolhidos. De acordo com Pestana e Gageiro (2014), o Alpha de Cronbach varia entre 0 e 1, considerando a consistência interna: muito boa se o valor for superior a 0,9; boa se o Alpha estiver entre 0,8 e 0,9; razoável se o valor se encontrar entre 0,7 e 0,8; fraca quando está entre 0,6 e 0,7 e inadmissível se  $\text{Alpha} < 0,6$ .

A tabela 16 apresenta os valores de Alpha de Cronbach das diferentes dimensões. De notar que, para o cálculo deste índice, foi excluído o último item de cada dimensão, por se considerar não ter impacto na caracterização da dimensão. A lembrar, o item refere-se a ‘Não tem impacto na dimensão’.

*Tabela 16 – Alpha de Cronbach dos itens da escala.*

	<b>Alpha de Cronbach</b>
<b>Valor global</b>	0,90
<b>Subcategoria Política</b>	0,922
<b>Subcategoria Económica</b>	0,676
<b>Subcategoria Social</b>	0,735
<b>Subcategoria Tecnológica</b>	0,766

De uma forma global, a escala tem boa consistência interna. Em específico, verifica-se que as dimensões política e tecnológica apresentam valores de Alpha satisfatórios.

Concluindo, procurou-se sempre seguir as recomendações da literatura que nos permitem efetuar um trabalho fiável e rigoroso, criando conhecimento que seja útil e com

implicações não só na esfera acadêmica, mas também em todas as vertentes práticas do mercado que estão ligadas à FA, em especial o setor da saúde.

## **5.4. Discussão e relevância dos resultados obtidos**

Os objetivos deste trabalho de investigação consistiram em detetar as projeções futuras da FA no setor da medicina para o ano de 2030, tendo em conta uma análise PEST.

Considerando o primeiro objetivo de investigação, que consistia em perspetivar as principais consequências políticas da FA no setor da saúde para 2030, podemos constatar que os primeiros quatro resultados obtidos na dimensão político-legal são muito semelhantes, sendo que o item ‘nova legislação e regulamentação’ obteve o valor de 6,08, o mesmo valor para ‘procedimentos médicos padronizados’. Já o item ‘tempo de aprovação da FDA e regulamentos internos’ alcançou o valor de 5,67 e a ‘responsabilidade e ética’ obteve o valor 5,58 de média.

Estas quatro projeções que alcançaram um maior valor de média mais elevado acabam por estar interligadas, porque, segundo Paganelli et al. (2017), tudo o que diz respeito a dispositivos médicos está sujeito, na maioria dos países, a um controlo segundo a sua legislação, não só em termos da qualidade de desempenho no que diz respeito à sua função, mas fundamentalmente à segurança do paciente e também ao especialista que manuseia o equipamento. De realçar que, nos países da Tríade (Estados Unidos, União Europeia e Japão), a legislação é muito semelhante no que toca a dispositivos de FA.

Esta ideia é, igualmente, corroborada por Gebler et al. (2014), que afirmam que o enquadramento legal e de regulamentação desta tecnologia tem de ser adaptado a novos ambientes tecnológicos, nos quais a digitalização de objetos e ideias é de grande importância. Isto inclui a definição de legislação e regulamentação clara relativamente à digitalização 3D, ‘blueprints’ digitais de objetos e distribuição online de ideias.

Para Paganelli et al. (2017), o tempo de aprovação e regulamentação de um dispositivo ou material médico é um processo complexo no pré-mercado e no pós-mercado. Como foi referido anteriormente, o material necessita de ser avaliado essencialmente quanto ao seu desempenho e segurança, independentemente das diferenças locais. Neste processo, os autores mostram seis pontos principais, que descrevemos no parágrafo seguinte.

O primeiro ponto refere-se ao facto de que, a cada material, é atribuída uma taxonomia de risco, sendo essa composta por uma escala de risco. Por exemplo, na Europa, existem quatro classes, que vão desde risco baixo até risco alto. Essa avaliação ou validação é elaborada através de uma auditoria que depende da taxonomia do material. Se for de classe 1, é autoavaliada pelo próprio fabricante; às restantes classes é exigida uma validação por terceiros. O segundo ponto corresponde aos requisitos de segurança e desempenho que são geridos por uma entidade reguladora que, no caso dos Estados Unidos da América, é a FDA. O processo de segurança e desempenho é enviado para a entidade reguladora pelo próprio fabricante. No terceiro ponto, a entidade reguladora analisa o processo fornecido pelo fabricante, a fim de poder ou não certificar. A quarta etapa refere-se já ao dispositivo certificado, sendo efetuado o registo nacional dos dispositivos médicos comercializados. O quinto ponto diz respeito à vigilância que o fabricante terá de efetuar durante o pós mercado, verificando se o dispositivo se encontra a corresponder ao esperado, e se se encontra em conformidade ou se existe alguma inconformidade. Caso exista, esta é transmitida à entidade reguladora. O sexto e último ponto refere-se às auditorias que são efetuadas aos fabricantes, a fim de garantir a conformidade dos dispositivos médicos através de gestão da qualidade e da constante atualização de documentação técnica. Pelo registo que é demonstrado, trata-se de um processo demorado e rigoroso que deve estar em conformidade e devidamente certificado, para que não possa causar transtorno ao paciente ou ao especialista em causa.

A projeção de responsabilidade e ética é um ponto fulcral na FA na medicina, por ser tão debatida. Gilbert, O'Connell, Mladenovska e Dodds (2018) referem que as questões éticas relacionadas com a FA na medicina são uma preocupação devido aos testes experimentais desta nova tecnologia em humanos e à falta de regulamentações internacionais atuais que possam orientar essas experiências. Toda esta preocupação vai ao encontro do que foi mencionado anteriormente sobre a regulamentação, que acaba por ser complexa e demorada. No entanto, os autores referidos mencionam que o potencial da tecnologia na impressão de órgãos, como rins, acaba por ser uma excelente inovação no que toca à saúde dos pacientes e que trará grandes benefícios individuais e de saúde pública.

Atualmente, a tecnologia encontra-se numa fase de experimentação e requer uma avaliação prévia, a fim de proteger o paciente e, no futuro, não trazer danos para o mesmo ou para a sociedade. Neste sentido, Gilbert et al. (2018) afirmam que é fundamental

desenvolver uma regulamentação específica adequada à finalidade, tendo em conta que, ainda que a mesma seja difícil de estabelecer, permitirá colmatar esta lacuna existencial nesta tecnologia.

Ainda no âmbito das questões éticas associadas à FA na área da medicina, importa referir que o potencial da impressão de medicamentos e vacinas ou mesmo de alimentos é bastante positivo mas pode trazer, por outro lado, consequências nefastas, no sentido em que há já iniciativas desonestas de venda de medicamentos falsos, que podem depois acarretar a venda de instruções para fabricação de fármacos falsos ou de drogas recreativas ilegais (Kietzmann et al., 2015).

O segundo objetivo de investigação remete para a previsão do impacto económico da FA nas diferentes aplicações médicas. Assim, na dimensão económica, os resultados com maior expressão obtidos são os itens ‘produtos personalizados’, o ‘mercado’ e os ‘concorrentes’, correspondendo aos valores de 6,83, 6,25 e 5,83 de média, respetivamente.

A personalização será, assim, um dos fatores mais importantes e uma das grandes vantagens da FA, nomeadamente a possibilidade de se personalizar os produtos de acordo com as necessidades, o que potencializa a rapidez do processo e faz a comercialização ser mais assertiva, como refere Berman (2012). O mesmo autor afirma que a FA é uma promessa que se baseia na produção feita por encomenda, com configurações únicas e em quantidades pequenas, tornando especial cada produto por este ser personalizado e adequado a cada propósito.

No que diz respeito à projeção dos mercados, Campbell, Williams, Ivanova e Garrett (2011) afirmam que a FA pode afetar profundamente a economia global, sendo que a sua produção deverá ser efetuada mais localmente, mais perto do consumidor, economizando despesas com transporte e também de fabricação, porque o produto somente é produzido consoante a sua necessidade. Torna-se, assim, a FA numa nova indústria, criando novas profissões que estarão implicitamente ligadas a esta nova tecnologia, especialmente no setor da medicina.

Para Lipson e Kurman (2010), países em desenvolvimento e comunidades desfavorecidas irão aproveitar a tecnologia para poder fabricar e colmatar as carências existentes, sempre num contexto humanitário e numa escala pessoal, aliviando um pouco a falta de suprimentos médicos. Desta forma, a FA permite baixos custos de produção porque

possibilita a elaboração de peças personalizadas localmente e a redução dos custos de transporte e de espera, permitindo maior qualidade aos pacientes.

A tabela 17 apresenta uma pequena comparação entre a fabricação industrial de produção em massa e a FA, a última com aspetos mais assertivos no que toca à personalização do produto final. Tendo em conta que uma das grandes vertentes da FA, como consta na tabela, será o setor da saúde, com os membros artificiais e coroas dentárias num futuro próximo, constata-se que não estão mencionados a fabricação de órgãos ou de tecidos humanos.

*Tabela 17 – Comparação entre a Indústria de produção em massa e a Fabricação Aditiva (adaptado de Berman 2012, p. 157; Matos et al, 2019).*

<b>Caraterísticas</b>	<b>Indústria de Produção em Massa</b>	<b>Fabricação Aditiva</b>
<b>Tecnologia de fabricação</b>	Baseado em peças modulares pré-montadas em combinações diferentes.	Fabricação automatizada baseada em Software CAD e fabricação aditiva.
<b>Requerimentos de integração na cadeia de abastecimento</b>	Necessidade de gestão de cadeia de abastecimento altamente integrada para garantir os bens certos, nos momentos certos, a partir de vários fornecedores.	Utiliza suprimentos disponíveis de vários fornecedores.
<b>Benefícios Económicos</b>	Capacidade de produzir produtos personalizados a preços relativamente baixos. Baixo risco de stock.	Capacidade de produzir produtos personalizados a preços relativamente baixos. Baixo risco de stock.
<b>Alcance de Produtos</b>	Computadores; relógios; janelas; sapatos; jeans, etc.	Protótipos; maquetes; peças de substituição; coroas dentárias; membros artificiais.

Para Jiang et al. (2017), a FA terá a capacidade de criar formas de negócio, bem como alterar as existentes, mas ainda assim coloca em questão a sua qualidade e garantias, já que ainda não estão bem definidas. Já de acordo com Weller et al. (2015), existem oportunidades e limitações numa economia onde a predominância seja a FA. Atualmente, as oportunidades são contrabalançadas por várias limitações, sendo a mais significativa os custos elevados da matéria prima em relação à tecnologia convencional.

No âmbito da projeção ‘concorrentes’, importa referir que a FA ainda é uma tecnologia em desenvolvimento e carece de investimento e tempo, sendo a economia um dos setores que é mais afetado, devido ao facto de ainda não existir uma economia em escala, bem como de os seus padrões de qualidade não serem ainda os mais adequados. No entanto, para Weller et al. (2015), a FA oferece uma ampla gama de oportunidades económicas, como a competitividade, uma das principais vantagens que irá existir no mercado, sendo este ponto um dos que obteve uma média mais significativa, com 5,83, pelo que se projeta que será um ponto fundamental no futuro da tecnologia.

O terceiro objetivo de investigação consistiu em antecipar os efeitos da FA na saúde, numa perspetiva social. Assim, os resultados com maior expressão obtidos na dimensão social são os dos itens ‘aceitação da tecnologia’ e ‘literacia tecnológica’, correspondendo aos valores de 6,08 e 6,00 de média, respetivamente. Segundo Matos et al. (2019), a FA é uma tecnologia que traz novos desafios a nível educacional, no sentido em que depende da estratégia de integração nos sistemas educativos, da maturidade e das lacunas desses mesmos sistemas. Neste sentido, o impacto da FA nas habilitações e na educação ainda não está estudado em profundidade, sendo que apresenta grande potencial, em particular na engenharia.

Os políticos deverão informar-se melhor com os especialistas a fim de criar relações positivas com a FA que são essenciais, visto que futuramente esta trará frutos e muitos benefícios para a sociedade, nomeadamente empregos que beneficiarão vários países. Será importante mudar mentalidades a nível político, para se poderem criar infraestruturas conjuntas com as instituições de ensino, a fim de formar novos alunos focados no potencial da FA (Gartner, Maresch & Fink 2015).

Huang et al. (2013) afirmam que a população está a envelhecer, considerando que, em 2016, cerca de 500 milhões de pessoas em todo o mundo tinha 65 anos ou mais e que, em 2030, o número irá aumentar para 1 bilião. Estes dados fazem uma enorme pressão sobre as instituições governamentais, verificando que este aumento da população envelhecida necessita também de um maior investimento orçamental para este setor. Mais concretamente, verifica-se um aumento significativo de gastos com a saúde da população, distribuídos essencialmente na assistência médica e no melhoramento na eficiência no setor da medicina em geral, tornando-se, assim, um dos principais desafios sociais da FA. Segundo os mesmos autores, a abordagem promissora de oferecer saúde eficiente e um atendimento personalizado, indo ao encontro das necessidades dos pacientes, é bastante

ampla, sendo possível produzir produtos personalizados que atendem às necessidades individuais, podendo desempenhar um papel significativo na assistência médica personalizada. Acredita-se que estes poderão ser critérios que influenciarão, de modo positivo, a aceitação da tecnologia no futuro.

A projeção ‘literacia tecnológica’ acaba por ser um fator importante no que diz respeito à educação desta tecnologia perante a sociedade e os desafios que daí advêm. Como foi referido anteriormente, a implementação de infraestruturas conjuntas entre empresas e universidades deve ser expandida e não limitada a estas; deve abranger também escolas secundárias e a criação de estágios, estendendo-se a várias áreas como as indústrias criativas, estudos económicos e medicina, conforme afirmam Gartner et al. (2015).

O quarto e último objetivo deste trabalho de investigação prendia-se com a previsão do impacto tecnológico da FA no setor médico para o ano de 2030. Nesta dimensão tecnológica, os resultados com maior expressão obtidos são os itens relativos a ‘dispositivos e produtos médicos’ com 6,83 de média, ‘disponibilidade da FA’ com 6,58, e, finalmente, ‘novos materiais e produtos e dispositivos com gradientes funcionais’, igualmente com 6,50 de média.

A projeção relativa a ‘dispositivos e produtos médicos’ destacou-se em relação às demais, pois é um dos produtos que demonstra ter um grande futuro usando esta tecnologia. Também os produtos farmacêuticos têm sido objeto de várias pesquisas, publicações e de registo de patentes ao longo de décadas, mas no contexto comercial, até 2015, ainda não tinha surgido no mercado nenhum produto farmacêutico no que diz respeito a aprovação de nenhum medicamento fabricado pela tecnologia FA, como afirmam West e Bradbury (2019). No ano de 2015, segundo Di Prima et al. (2016), foi aprovado pela FDA um medicamento com o nome Spritam®, que se dissolve imediatamente na boca em contacto com água e cuja principal prescrição é atribuída a pessoas com idade superior a 4 anos que têm convulsões epiléticas. Para West e Bradbury (2019), a aprovação do medicamento representa o culminar de vários anos de trabalho desenvolvido, constituindo um marco importante no setor farmacêutico que, de uma certa forma, abriu novas pesquisas e criou interesse, tanto na tecnologia, como no setor.

Segundo Miao et al. (2017), a impressão 4D é uma tecnologia que emerge com uma capacidade de fabricação de estruturas 3D complexas e sensíveis, sendo que há grande potencial para a engenharia de tecidos e órgãos. Para Gao et al. (2016), o conceito de



bioimpressão 4D surgiu recentemente, onde a constante ‘tempo’ é introduzida na bioimpressão 3D como a quarta dimensão, possibilitando, assim, aos objetos impressos, alterar a sua forma ou funcionalidades através de um estímulo externo. A bioimpressão 4D surgiu como uma ferramenta útil para aplicações biomédicas, como regeneração de tecidos e administração de medicamento. Di Prima et al. (2016) afirmam, contudo, que a FDA ainda não aprovou qualquer regulamentação relacionada com a bioimpressão, apesar de esta ser uma das grandes áreas de investigação desta tecnologia. Como referido no capítulo da revisão da literatura, a bioimpressão será um campo emergente com uma ampla variedade de aplicações como a construção de tecidos, cartilagens, ossos ou mesmo vasos sanguíneos. Outros fatores de estímulo utilizado na impressão 4D são a temperatura e variação de pH.

Conforme mencionado anteriormente, a impressão 4D terá uma grande aplicação futura, mas ainda se encontra numa fase inicial de investigação, dado que necessita de avanços tecnológicos a nível de software, modelação, mecânica e química. Somente uma pequena parcela foi estudada, mas, com o avanço de novos estudos, será certamente uma tecnologia que será aplicada não só à regeneração de tecidos e órgãos, como também em todas as áreas da medicina (Miao et al., 2017).

A projeção referente à disponibilidade da FA foi aquela que obteve o segundo resultado mais elevado. Segundo Ituarte et al. (2019), a FA é uma tecnologia que evolui de uma tecnologia marginal para uma ferramenta importante que resolve desafios da engenharia. Esta tecnologia requer uma integração nas indústrias convencionais, pelo que se crê ser essencial criar condições que fomentem a inovação e o crescimento desta tecnologia.

Por sua vez, a projeção que respeita a ‘novos materiais’ vai ao encontro de outros estudos que se debruçam sobre o mesmo tema. Para Bourell et al. (2017), os materiais são peças fundamentais e desempenham um papel basilar na FA. Atualmente, os fabricantes de FA estão focados em perceber a origem dos defeitos das peças criadas, a fim de os eliminar. Segundo Srivatsan e Sudarshan (2015), a pesquisa por novos materiais introduzirá novas classes de matérias e equipamentos associados, permitirá a impressão multimaterial de objetos 3D e a possibilidade de imprimir simultaneamente metais e polímeros combinados com células, promovendo não só a melhoria dos implantes como a sua longevidade. Durante a produção, para além da variação de material, também se tem verificado uma aplicação de gradientes funcionais, pelo que, mesmo que se mantenha o

mesmo material, é possível produzir componentes, variando as suas propriedades mecânicas.

A questão dos materiais utilizados na FA constitui uma das principais limitações que tendem a restringir as pesquisas, porque cada pesquisa está sujeita a uma técnica e um material. Com a inclusão de um novo material, será necessário modificar tanto software como equipamento e, para além desse processo, a peça produzida requer ainda um pós-tratamento para melhorar as suas características de superfície, especialmente nos casos de aplicações biomédicas. Por esse motivo, o desenvolvimento de novos materiais contribuirá para as próximas grandes inovações neste campo, como afirmam Singh et al. (2017). De acordo com Hutmacher (2000) o grande desafio no desenvolvimento de materiais a utilizar nas aplicações de implantes temporários para aplicações de engenharia de tecidos ou medicina regenerativa é a questão da biocompatibilidade e biodegradabilidade. Esta questão não se pode verificar somente no instante inicial, quando se colocam as células sobre o implante para proliferação celular, mas no instante “t”, onde já se verificou degradação do implante temporário. Em suma, a biocompatibilidade e biodegradabilidade têm de se verificar ao longo do tempo.

A projeção relativa a ‘produtos / dispositivos com gradientes funcionais’ acaba por estar interligada com a projeção de ‘novos materiais’, sendo que o desenvolvimento de novos biomateriais para aplicações médicas são um dos grandes desafios para o desenvolvimento da tecnologia FA no setor da medicina, porque existe uma grande necessidade de melhorar os implantes ou mesmo os tecidos artificiais, conforme afirmam Pompe et al. (2003).

Segundo Liu, Meyers, Zhang & Ritchie (2017), com o avanço das tecnologias modernas, os requisitos são cada vez mais rigorosos para o material, requerendo maior desempenho mecânico, tanto a nível de eficiência em termos de energia como no sentido de serem ‘amigos do ambiente’. Por esse mesmo motivo, existe uma procura por novos materiais e combinações de propriedades como a rigidez, resistência, ductilidade, o peso e custos mínimos.

Os gradientes funcionais são essencialmente caracterizados pela criação de propriedades específicas do local distribuídas dentro do material originário, em fatores como composição, microestruturas e geometria. A interligação de vários tipos de gradientes permitirá que células formadoras de cartilagem e osso cresçam em regiões específicas,

desenvolvendo assim uma junção, sendo um grande potencial futuro nas aplicações ortopédicas (Liu et al., 2017).

Na tabela 18, observa-se resumo das projeções que obtiveram maior média dentro de cada uma das dimensões (político-legal, económica, social e tecnológica).

*Tabela 18 – Resumo de projeção para o horizonte 2030.*

<b>Dimensão</b>	<b>Projeção</b>
<b>Político - Legal</b>	Nova legislação e regulamentação
	Procedimentos médicos padronizados e novas certificações de processo
	Tempo de aprovação da FDA e regulamentos internos demorados, para assegurar maior rigor
	Responsabilidade e ética acauteladas
<b>Económica</b>	Produtos personalizados
	Mercado global afetado, dando-se preponderância ao consumo local
	Maior competitividade
<b>Social</b>	Aceitação da tecnologia
	Literacia tecnológica desenvolvida
<b>Tecnológica</b>	Novos dispositivos e produtos médicos
	Maior disponibilidade da fabricação aditiva
	Novas combinações de materiais
	Produtos / Dispositivos com gradientes funcionais com maior potencial de aplicação

Procurou-se, assim, numa estreita articulação com o que a literatura tem revelado sobre estas várias temáticas, dar resposta ao problema de investigação. Fez-se esta análise, em particular, examinando os resultados à luz dos diferentes objetivos de investigação, cada um respeitante a uma das dimensões da análise PEST.

## 6. Conclusões

O presente estudo surge na sequência da necessidade de prever projeções futuras da FA no setor da medicina para o ano de 2030, tendo como base uma análise PEST. Espera-se, como tal, que os resultados obtidos a partir do consenso de especialistas na área possam servir como indicadores do que é expectável que possa acontecer num futuro a médio prazo. Assim, neste capítulo final, são analisados, de forma reflexiva, os resultados encontrados que se apresentam com maior relevância. Além disso, são identificadas as principais limitações do estudo em causa, bem como algumas recomendações para linhas de desenvolvimento de novos trabalhos, no contexto da problemática que sustenta todo o trabalho. Na sequência dos resultados encontrados, procurou-se extrair algumas contribuições deste trabalho nas quatro dimensões analisadas, designadamente a político-legal, a económica, a social e a tecnológica.

Na dimensão político-legal, as projeções mais reveladoras para o ano de 2030 foram ‘nova legislação e regulamentação’, sem dúvida alguns itens essenciais para que a tecnologia possa evoluir e, com isso, todos os processos estejam cimentados de forma que consigam estar implementados em todos os hospitais como um recurso para a ajuda dos profissionais no seu dia a dia, e não no contexto meramente académico ou somente de planeamento cirúrgico. Essa nova legislação também terá, de certa forma, de mudar a atual forma de regulamentação, porque, de acordo com os atuais procedimentos, estes são demorados e burocráticos, desgastando todo o processo em causa.

A projeção relativa à nova legislação e regulamentação vai ao encontro da segunda projeção com maior média obtida nesta dimensão e que se refere a ‘procedimentos médicos padronizados e certificados de processo’. São projeções que acabam por estar dependentes entre si porque, para que os procedimentos médicos estejam padronizados e certificados, é necessário que exista regulamentação sobre a tecnologia em causa, de forma a permitir que o objeto esteja em conformidade com a lei e que este não possa causar danos de maior ao paciente.

A terceira projeção refere o ‘tempo de aprovação da FDA e regulamentação internos’. Como foi referido anteriormente, são processos que requerem uma entidade que aprove se o objeto com causa está de acordo com os procedimentos e tudo isto leva o seu tempo. Em causa, encontra-se uma tecnologia que se encontra constantemente a inovar e a

qualquer momento poderá mudar o contexto mundial de qualquer setor. Neste sentido, os processos são demorados e requerem muitos testes e avaliações que são essenciais para que tudo esteja de acordo com o regulamento, mas, para inovar, temos de mudar e criar novas dinâmicas que acelerem todos estes conceitos, que são fundamentais para que a tecnologia possa evoluir e vingar, não só no setor da medicina como em todos os outros setores.

A quarta e última projeção dentro da dimensão político-legal diz respeito à responsabilidade e ética, uma projeção também bastante importante porque é, sem dúvida, um dos temas que mais ensombram a tecnologia, visto que, dentro do setor da medicina, quando se fala em fabricar um órgão, muitos discutem se poderá ser uma forma de clonagem ou de se caminhar nesse sentido. Também noutros setores existe o receio da fabricação de armamento por parte da sociedade civil, o que poderá também, neste sentido, criar um novo negócio alternativo e ilegal. Como tal, é importante que todo o processo seja clarificado sempre de acordo com o que está legislado, apesar de ser inevitável a existência de maus procedimentos por parte de indivíduos que agem à margem da lei. No entanto, esta dualidade está inserida em tudo que nos rodeia, pelo que cabe a cada um nós selecionar e agir de acordo com o que é permitido legalmente.

Na dimensão económica, obtiveram-se três grandes projeções. A primeira é relativa aos produtos personalizados, um dos pontos fortes da tecnologia FA nomeadamente na medicina. É um facto que esta tecnologia permite que próteses ortopédicas sejam totalmente personalizadas, indo ao encontro das necessidades do paciente e também possibilita, por exemplo, a adequação da medicação àquilo que o paciente precisa, sendo que já foi aprovado o primeiro medicamento para epilepsia fabricado através de FA. Trata-se de um fármaco que, de acordo com a empresa, é fabricado com a dosagem de que cada paciente necessita, o que constitui um avanço em termos de evolução na indústria farmacêutica que, sem dúvida alguma, será uma das grandes premissas no futuro desta indústria. Prevê-se, assim, que as farmácias sejam equipadas com impressoras de FA e que consigam produzir os medicamentos de acordo com a dosagem que cada paciente necessita, como referido, indo ao encontro da prescrição do médico.

A projeção ‘mercado’ remete para um elemento que a FA irá afetar profundamente na economia global, se não está já a fazê-lo no momento. Além disso, a literatura indica que esta tecnologia terá maiores repercussões mesmo a nível local, nomeadamente nos países em desenvolvimento, possivelmente os que serão afetados de forma mais expressiva

devido à escassez de produtos e à grande carência dos mesmos. Espera-se, assim, que sejam criados novos empregos, formados novos profissionais e estabelecidas novas indústrias. Todas estas novas inovações irão fazer com que as tecnologias existentes tenham também de se reinventar e tenham de ser alteradas. Um fator que contribui para o grande impasse que se verifica atualmente e que faz com que a tecnologia ainda não tenha vingado é que, até ao momento, a matéria prima tem um custo ainda bastante elevado em relação à tecnologia convencional.

A projeção ‘concorrentes’ indica que é uma tecnologia que carece de investimento e tempo para adaptação e que está sempre dependente de nova legislação. No entanto, irá existir uma ampla gama de oportunidades económicas, trazendo atrás a competitividade que existirá e que será uma das principais vantagens no mercado e um dos grandes fatores para que exista um grande avanço desta tecnologia.

Na dimensão social, obtiveram-se duas grandes projeções para o ano de 2030, designadamente a ‘aceitação da tecnologia’ e a ‘literacia tecnológica’. Também as projeções mencionadas acabam por estar interligadas, sendo que, para que exista uma aceitação da tecnologia, haverá um conjunto de condições a assegurar. Mais concretamente, a população terá de estar instruída e acreditar na mesma e, para que esse processo consiga ser implementado, todos os sistemas educativos terão de estar em sintonia com os governos e com as empresas, para colmatar as lacunas que possam existir, apesar de ser escasso o estudo do impacto da FA na educação. Esta dimensão é também de grande importância, visto que no futuro irá criar empregos, tanto a nível local como também mundial, mas, até que esse impacto seja visível, terá de existir a criação de infraestruturas próprias nas instituições de ensino, para formar potenciais profissionais na área.

Tendo com conta o panorama atual devido ao COVID-19, a FA tornou-se uma das grandes aliadas no combate à prevenção da pandemia. Há relatos que chegam de todos os países onde elementos da sociedade civil, através de muitas empresas, começaram a produzir viseiras que permitem que todos os que trabalham no setor da medicina estejam, de certa forma, mais seguros e confortáveis, utilizando os acessórios que foram criados, praticamente, sem nenhuma legislação. Simplesmente, foram pessoas que começaram a produzir e entregar os produtos nas instituições para serem testados e se verificar se serviriam para a ocasião. Alguns exemplos consistem em viseiras de proteção, óculos personalizados para cada pessoa, válvulas para respiradores, os próprios respiradores de

alta qualidade, ou ainda enfermarias impressas na China (que permitiram acolher pacientes com a doença). Estas iniciativas acabam por ser, sem dúvida, uma grande ajuda nesta altura de crise mundial, em que todos os dias se fala de escassez destes produtos que são essenciais e a que qualquer um poderá atender caso tenha uma impressora 3D em casa. Também as plataformas de modelos 3D e outras empresas ligadas à componente digital da saúde disponibilizaram modelos 3D de máscaras e viseiras para quem quiser produzir e auxiliar no combate e prevenção. Apresentam-se, agora, alguns exemplos de iniciativas que têm tido lugar recentemente.

Um exemplo corresponde a um caso da China onde foram produzidos produtos por uma empresa de fardamento e acessórios militares, que projetou óculos médicos, levando apenas 7 dias desde a conceção até à produção e uso. Atualmente, a empresa tem 50 impressoras 3D a trabalhar continuamente para conseguir produção diária de 300 pares. A empresa Creality apresentou uma máscara facilmente reutilizável que é impressa em 3D, podendo ser personalizada com contorno facial, tornando-se, assim, uma alternativa às máscaras convencionais, que de momento se entram em permanente rutura. A empresa Materialise decidiu atuar a dois níveis, ao nível do sector da saúde e ao nível da prevenção (Materialise, 2020). No setor médico, desenvolveram ventiladores para serem produzidos por impressoras 3D para combater a escassez dos mesmos durante o tratamento. Em relação ao nível da prevenção, a empresa desenvolveu vários modelos 3D de viseiras e pegas para portas e carrinhos para serem impressos e aplicados para evitarem a contacto das mãos para ajudar na prevenção.

Além disso, outros exemplos têm sido veiculados na imprensa. De acordo com o jornal Expresso (2020), um jovem engenheiro italiano começou a imprimir em 3D pequenas válvulas que ligam os ventiladores às reservas de oxigénio. Em Portugal, a empresa FAN3D, entregou 30 viseiras ao Hospital de Setúbal, surgindo posteriormente pedidos de outras entidades. Neste contexto, a empresa disponibilizou o ficheiro para quem pretender imprimir em sua casa, podendo assim também ajudar estas entidades. Na Catalunha, uma parceria público-privada resultou na descoberta de um protótipo já validado pelos médicos, designadamente uns respiradores impressos em 3D. Foram concebidos de forma a ser de montagem e utilização fácil, nesta altura em que os ventiladores são escassos e são chamados de “respirador de campanha”, servindo para ajudar numa fase mais imediata. Segundo o fabricante, será possível produzir entre 50 a 100 unidades por dia deste respirador. Novamente em Itália, um engenheiro da cidade de Brescia produziu

válvulas para respiradores. Em apenas um dia, conseguiu produzir 100 unidades, colmatando assim a falta de resposta que o fabricante tinha.

Na República Checa, uma equipa de investigadores do Instituto Checo de Ciência da Computação desenvolveu um respirador de alta qualidade que pode ser impresso em 3D. Este protótipo surgiu num espaço de uma semana e atende a vários critérios importantes: pode ser impresso por qualquer impressora, desde a doméstica à industrial, sendo este respirador também reutilizável após um procedimento simples de desinfeção e substituição de filtro.

Segundo o Jornal Região de Leiria (2020), um projeto nascido em Leiria por um licenciado em Engenharia Informática, pela Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria, fundou o movimento Maker Portugal, colocando Portugal a produzir viseiras de proteção para quem combate a pandemia. É possível qualquer pessoa criar este produto, bastando ter uma impressora 3D em casa e descarregar o ficheiro do site. Neste projeto, até à data da notícia, dava-se conta de 800 “makers” que produzem, em média, 10 a 15 viseiras por dia e entregam numa fonte próxima que necessite dos equipamentos.

Ao nível da construção civil, as tecnologias de fabricação aditiva também têm tido o seu desenvolvimento, sendo o seguinte caso um deles. Segundo o Pplware (2020), uma empresa tecnológica doou 15 enfermarias de isolamento impressas em 3D ao Hospital Central Hubei Xiannming. Estas enfermarias têm uma área de 10 m<sup>2</sup> quadrados e uma altura de 2,8m<sup>2</sup>, podendo acomodar 2 pacientes. Foram construídas com um composto de cimento, que é reciclado a partir da demolição urbana de resíduos de construção. De acordo com a empresa, uma enfermaria demora cerca de 2 horas no seu processo de FA. Este exemplo não está diretamente ligado com os dispositivos médicos na saúde, mas demonstra como podem recorrer à mesma tecnologia nos sectores para auxiliar os serviços de saúde.

Por fim, analisamos a dimensão tecnológica deste trabalho, aquela que cria mais expectativas em redor, porque há sempre alguma incerteza sobre o que irá aparecer que possa permita revolucionar de vez a FA. A projeção com maior relevância foi a relativa aos ‘dispositivos e produtos médicos’, de que se destacou como exemplos os medicamentos, próteses, tecidos e órgãos personalizados. Como já referido anteriormente, os produtos farmacêuticos estão a ser objeto de várias pesquisas e de



registro de várias patentes, como o surgimento de medicamentos produzido através da FA, que será o caminho e o resultado de vários anos de estudo desenvolvido. Esta tecnologia tem um grande potencial na medicina, nomeadamente no que toca a próteses personalizadas e também, dentro em breve, na medicina regenerativa, concretamente no desenvolvimento de tecidos humanos e órgãos. A bioimpressão é uma das grandes apostas neste setor, com a promessa de revolucionar tanto a regeneração de tecidos como a reprodução de órgãos. Até ao momento, ainda não foi aprovada, apesar de muitos avanços e estudos estarem a ser feitos nesse sentido.

No que se refere à projeção da ‘disponibilidade da FA’, será uma adaptação das empresas que, no estado atual, estão canalizadas para a tecnologia convencional. Será, por isso, muito importante fazer a integração gradual desta tecnologia, visto que, mais cedo do que se avizinha, será uma ferramenta fundamental de inovação para as empresas.

A projeção de ‘novos materiais’ referentes a esta tecnologia é uma peça fundamental, visto ser a matéria-prima que fará com que a produção flua e em que se poderá tornar cada vez mais inovadora. Será importante a criação de novos materiais e equipamentos associados que possibilitem a impressão de objetos com multimatérias e, simultaneamente, metais com polímeros combinados com células, criando dessa forma novas inovações. Mas esta é também uma das grandes limitações da tecnologia, visto cada material estar interligado com uma determinada técnica e com a inovação; assim, com a descoberta de novos materiais, existirão novos desafios no que toca às modificações a implementar, sendo o setor da medicina um setor muito sensível que requer cuidados extremos.

Relativamente à projeção de ‘produtos / dispositivos com gradientes funcionais’ é uma projeção que está interligada com os novos materiais e, neste sentido, o setor da medicina necessita que a inovação contribua para uma melhoria dos implantes ou dos tecidos artificiais, sendo esse um dos grandes fatores que terá de ser rigoroso com os materiais em questão e com o seu desempenho mecânico. Será muito relevante a criação de propriedades específicas, pelo que os gradientes funcionais são essenciais e irão trazer esse contributo, em particular para as células formadoras de cartilagem e osso que se consigam desenvolver em determinadas regiões, criando dessa forma uma junção e potenciando, dessa forma, a ortopedia com uma inovação que, decerto, irá revolucionar a sociedade, por exemplo.

Após a explicitação das principais implicações que as projeções para a FA podem trazer na próxima década, enunciam-se agora algumas limitações inerentes a este trabalho de investigação. Mais concretamente, importa referir que houve alguma dificuldade em motivar os respondentes para a participação no estudo ou, pelo menos, em obter respostas de forma mais rápida e eficaz, o que acabou por resultar em algumas não respostas. Também o número da amostra não é o mais significativo, visto querer-se ter uma ideia a nível mundial acerca do tema e não nos restringirmos localmente ou meramente a nível continental. Uma outra dificuldade prendeu-se com a confrontação dos dados obtidos com outros estudos semelhantes, visto não se encontrarem outros estudos PEST aplicados especificamente ao uso da FA na área da saúde. Apesar das limitações supramencionadas, considera-se que os objetivos delineados no presente trabalho foram atingidos.

Pode-se ainda dar indicação de algumas recomendações que consideramos necessárias para definir novas linhas de desenvolvimento dentro do estudo da FA. Numa perspetiva geral, crê-se que seria interessante avaliar o impacto desta tecnologia nas empresas portuguesas, no âmbito das quatro dimensões analisadas e associadas à análise PEST, mas sobretudo na sequência das transformações operadas nesta época de pandemia que levaram não só empresas, como também instituições de ensino superior a mobilizarem-se para dar resposta a um problema num curto período de tempo.

Uma outra análise interessante, fora do âmbito da saúde, seria estudar o impacto da FA noutras indústrias à luz de uma análise PEST, como por exemplo no setor dos transportes, educação ou mesmo da construção, cuja indústria representa 6% do PIB mundial, de acordo com Craveiro et al. (2019). Levanta-se, ainda, a questão da sustentabilidade, que também poderia ser estudada. Apesar de vários autores considerarem que este tipo de tecnologia é mais ecológico por reduzir o desperdício, não há estudos suficientes relativos a esta problemática: “A FA ainda não foi suficientemente explorada numa perspetiva de sustentabilidade” (Ford & Despeisse, 2016, p.1573).

Existem, assim, inúmeras possibilidades para a prossecução de trabalhos de investigação nesta área, pelo que importa referir que também já estamos a elaborar um artigo para uma possível publicação, tendo como base o estudo em causa. Também seria interessante verificar se, no ano de 2030, este estudo estará de acordo com algumas das projeções obtidas e que, assim, se encoraje a elaboração de mais um estudo para uma nova década, procurando eventuais soluções para problemas futuros, a partir da opinião de especialistas da área em questão.

Concluindo, acredita-se ter-se contribuído positivamente para a construção de conhecimento dentro desta área, que se encontra em tão rápida expansão. Apesar de sujeitas a grande mutação em virtude dos desenvolvimentos tecnológicos, mas também de condições de saúde a nível global que são imprevisíveis nesta fase, espera-se que as nossas projeções inspirem mais estudos no âmbito deste campo fascinante, que certamente afetará a vida de todos nós - e provavelmente até mesmo antes de 2030.

## Referências Bibliográficas

- Aljohani, W., Ullah, M. W., Zhang, X., & Yang, G. (2018). Bioimpressão and its applications in tissue engineering and regenerative medicine. *International journal of biological macromolecules*, 107, 261-275.
- Almeida, H. A., & Correia, M. S. (2016). Sustainable impact evaluation of support structures in the production of extrusion-based parts. In *Handbook of sustainability in additive manufacturing* (pp. 7-30). Springer, Singapore.
- Almeida, H. A., Costa, A. F., Ramos, C., Torres, C., Minondo, M., Bártolo, P. J., ... & da Silva, J. V. L. (2019). Additive manufacturing systems for medical applications: case studies. In *Additive Manufacturing—Developments in Training and Education* (pp. 187-209). Springer, Cham.
- ASTM International (2012). *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies No. F2792-12a*.
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677-688.
- Bardin, L. (2011). *Análise de Conteúdo* (5ª edição). Lisboa: Edições 70.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business horizons*, 55(2), 155-162.
- Bourell, D., Kruth, J. P., Leu, M., Levy, G., Rosen, D., Beese, A. M., & Clare, A. (2017). Materials for additive manufacturing. *CIRP Annals*, 66(2), 659-681.
- Bridges, S. M., Keiser, K., Sissom, N., & Graves, S. J. (2015). Cyber security for additive manufacturing. In *Proceedings of the 10th Annual Cyber and Information Security Research Conference* (pp. 1-3).
- Bryman, A. (2004). Qualitative research on leadership: A critical but appreciative review. *The leadership quarterly*, 15(6), 729-769.
- Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011). Could 3D printing change the world. *Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council, Washington, DC, 3.

- Carreira, J. A. A. (2017). *Design e otimização de peças estruturais metálicas para processos de fabricação aditiva* (Tese de Doutoramento). Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Chua, C. K., & Leong, K. F. (2016). *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications of Rapid Prototyping* (Fifth Edition). Singapore: World Scientific Publishing Company.
- Chua, C. K., Wong, C. H., & Yeong, W. Y. (2017). *Standards, quality control, and measurement sciences in 3D printing and additive manufacturing*. London: Academic Press.
- Craveiro, F., Duarte, J. P., Bártolo, H., & Bártolo, P. J. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Sustainable Development*, 4, 6.
- Di Prima, M., Coburn, J., Hwang, D., Kelly, J., Khairuzzaman, A., & Ricles, L. (2016). Additively manufactured medical products—the FDA perspective. *3D printing in medicine*, 2(1), 1-6.
- Dillow, C., (2013). *5 reasons 3-D printing isn't quite ready for prime time*. Retirado de <https://fortune.com/2013/09/03/5-reasons-3-d-printing-isnt-quite-ready-for-prime-time/>
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573-1587.
- Gao, B., Yang, Q., Zhao, X., Jin, G., Ma, Y., & Xu, F. (2016). 4D bioprinting for biomedical applications. *Trends in biotechnology*, 34(9), 746-756.
- Gardan, J. (2016). Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. *International Journal of Production Research*, 54(10), 3118-3132.
- Gartner, J., Maresch, D., & Fink, M. (2015). The potential of additive manufacturing for technology entrepreneurship: an integrative technology assessment. *Creativity and Innovation Management*, 24(4), 585-600.

- Gausemeier, J., Echterhoff, N., Kokoschka, M., & Wall, M. (2011). *Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing - Future Applications*. Paderborn: Heinz Nixdorf Institute.
- Gebler, M., Uiterkamp, A. J. S., & Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158-167.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014). *Additive manufacturing technologies (Vol. 17)*. New York: Springer.
- Gilbert, F., O'Connell, C. D., Mladenovska, T., & Dodds, S. (2018). Print me an organ? Ethical and regulatory issues emerging from 3D bioprinting in medicine. *Science and engineering ethics*, 24(1), 73-91.
- Goyanes, A., Fina, F., Martorana, A., Sedough, D., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2017). Development of modified release 3D printed tablets (printlets) with pharmaceutical excipients using additive manufacturing. *International journal of pharmaceutics*, 527(1-2), 21-30.
- Haluza, D., & Jungwirth, D. (2015). ICT and the future of health care: aspects of health promotion. *International journal of medical informatics*, 84(1), 48-57.
- Hopkinson, N., Hague, R., & Dickens, P. (Eds.). (2006). *Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age*. John Wiley & Sons.
- Huang, S. H., Liu, P., Mokasdar, A., & Hou, L. (2013). Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5-8), 1191-1203.
- Huang, Y., & Leu, M. (2014). *Frontiers of additive manufacturing research and education*. Gainesville: University of Florida.
- Hutmacher, D.W. (2000) Scaffolds in tissue engineering bone and cartilage. *Biomaterials*, 21(24), 2529-2543.
- Ituarte, I. F., Kretschmar, N., Chekurov, S., Partanen, J., & Tuomi, J. (2019). Additive manufacturing validation methods, technology transfer based on case studies. In *Additive Manufacturing—Developments in Training and Education* (pp. 99-112). Springer, Cham.

- Jabbour, A. B. L. de S., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1-2), 273-286.
- Jacobs, P. F. (1992). *Rapid prototyping & manufacturing: fundamentals of stereolithography*. Society of Manufacturing Engineers.
- Jiang, R., Kleer, R., & Piller, F. T. (2017). Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 84-97.
- Jornal Expresso (2020). *Impressão 3D no ataque ao vírus: viseiras, máscaras, ventiladores estão a ser fabricados em todo o mundo (em Portugal também)*. Disponível em: <https://expresso.pt/coronavirus/2020-03-23-Impressao-3D-no-ataque-ao-virus-viseiras-mascaras-ventiladores-estao-a-ser-fabricados-em-todo-o-mundo--em-Portugal-tambem->
- Jornal Região de Leiria (2020). *Covid-19. Projeto nascido em Leiria pôs Portugal a fazer viseiras de proteção*. Disponível em: <https://www.regiaodeleiria.pt/2020/03/covid-19-projeto-nascido-em-leiria-pos-portugal-a-fazer-viseiras-de-protecao/>
- Kianian, B., Tavassoli, S., & Larsson, T. C. (2015). The Role of Additive Manufacturing Technology in job creation: an exploratory case study of suppliers of Additive Manufacturing in Sweden. *Procedia CIRP*, 26, 93-98.
- Kietzmann, J., Pitt, L., & Berthon, P. (2015). Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. *Business Horizons*, 58(2), 209-215.
- Kleer, R., & Piller, F. T. (2019). Local manufacturing and structural shifts in competition: Market dynamics of additive manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 216, 23-34.
- Levy, G. N., Schindel, R., & Kruth, J. P. (2003). Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives. *CIRP annals*, 52(2), 589-609.

- Li, J., Chen, M., Fan, X., & Zhou, H. (2016). Recent advances in bioprinting techniques: approaches, applications and future prospects. *Journal of translational medicine*, 14(1), 271.
- Li, N., Huang, S., Zhang, G., Qin, R., Liu, W., Xiong, H., Shi, G. & Blackburn, J. (2019). Progress in additive manufacturing on new materials: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, 35(2), 242-269.
- Linstone, H. A. & Turoff, M. (2002). *The Delphi method-techniques and applications*. s.l.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2010). *Factory@ home: The emerging economy of personal fabrication*. A report commissioned by the US Office of Science and Technology Policy.
- Liu, Z., Meyers, M. A., Zhang, Z., & Ritchie, R. O. (2017). Functional gradients and heterogeneities in biological materials: Design principles, functions, and bioinspired applications. *Progress in Materials Science*, 88, 467-498.
- Mações, M. A. R. (2018). *Manual de Gestão Moderna. Teoria e Prática*. Leya.
- Mandrycky, C., Wang, Z., Kim, K., & Kim, D. H. (2016). 3D bioimpressão for engineering complex tissues. *Biotechnology advances*, 34(4), 422-434.
- Maricevich, J. P. B. R., Cezar-Junior, A. B., de Oliveira-Junior, E. X., e Silva, J. A. M. V., da Silva, J. V. L., Nunes, A. A., ... & Azevedo-Filho, H. R. C. (2019). Functional and aesthetic evaluation after cranial reconstruction with polymethyl methacrylate prostheses using low-cost 3D printing templates in patients with cranial defects secondary to decompressive craniectomies: A prospective study. *Surgical neurology international*, 10
- Marôco, J., & Garcia-Marques, T. (2006). Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas?. *Laboratório de psicologia*, 65-90.
- Martins, D. M. D. S. (2013). *Um estudo para a identificação das áreas de investigação em ensino a distância consideradas prioritárias em Portugal* (Tese de Doutoramento). Lisboa: Universidade de Lisboa.



- Materialise (2020). *Materialise Develops 3D Printed Oxygen PEEP Mask to Address Shortage of Ventilators*. Disponível em: <https://www.materialise.com/en/press-releases/materialise-develops-3d-printed-oxygen-peep-mask-to-address-shortage-of-ventilators>
- Matos, F., Godina, R., Jacinto, C., Carvalho, H., Ribeiro, I., & Peças, P. (2019). Additive Manufacturing: Exploring the Social Changes and Impacts. *Sustainability*, *11*(14), 3757.
- Miao, S., Castro, N., Nowicki, M., Xia, L., Cui, H., Zhou, X., ... & Tabata, Y. (2017). 4D printing of polymeric materials for tissue and organ regeneration. *Materials Today*, *20*(10), 577-591.
- Neely, E. L. (2016). The risks of revolution: Ethical dilemmas in 3D printing from a US perspective. *Science and engineering ethics*, *22*(5), 1285-1297.
- Noble, H., & Smith, J. (2015). Issues of validity and reliability in qualitative research. *Evidence-based nursing*, *18*(2), 34-35
- Norman, J., Madurawe, R. D., Moore, C. M., Khan, M. A., & Khairuzzaman, A. (2017). A new chapter in pharmaceutical manufacturing: 3D-printed drug products. *Advanced drug delivery reviews*, *108*, 39-50.
- Nworie, J. (2011). Using the Delphi technique in educational technology research. *TechTrends*, *55*(5), 24.
- Oettmeier, K., & Hofmann, E. (2017). Additive manufacturing technology adoption: an empirical analysis of general and supply chain-related determinants. *Journal of Business Economics*, *87*(1), 97-124.
- Paganelli, C., Bindi, M., Laffranchi, L., Dalessandri, D., Salgarello, S., Fiorentino, A., ... & Hensten, A. (2017). Certification for Medical Devices. *Biomedical Devices*, *1*, 161-182. In Özel, T., Bártolo, P. J., Ceretti, E., Gay, J. D. C., Rodriguez, C. A., & Da Silva, J. V. L. (Eds.). *Biomedical devices: design, prototyping, and manufacturing*. Hoboken: John Wiley & Sons.

- Patil, M. O. P., & Kadam, M. M. S. (2017). A Review: Applications of 3D Printing in Medical Field. In *International conference on Advances in Thermal Systems, Materials and Design Engineering* (pp. 1-6).
- Pereira, L. S. (2019). *A quarta revolução industrial e as possíveis consequências no mundo do trabalho*. Palhoça: Universidade do Sul de Santa Catarina.
- Pestana, M. H. & Gageiro, J. N. (2014). *Análise de dados para ciências sociais: A complementaridade do SPSS* (6ª edição). Lisboa: Edições Sílabo.
- Pinto, C. J. C. (2016). *Ventilação não invasiva: desenvolvimento de linhas orientadoras recorrendo à metodologia Delphi* (Dissertação de Mestrado). Leiria: Instituto Politécnico de Leiria.
- Pompe, W., Worch, H., Epple, M., Friess, W., Gelinsky, M., Greil, P., ... & Schulte, K. (2003). Functionally graded materials for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: A*, 362(1-2), 40-60.
- Pplware (2020). *Como a Impressão 3D ajuda a China a sair da epidemia do Coronavírus*. Disponível em: <https://pplware.sapo.pt/informacao/como-a-impressao-3d-ajuda-a-china-a-sair-da-epidemia-do-coronavirus/>
- Revorêdo, L. S., Maia, R. S., Torres, G. V., & Maia, E. M. C. (2015). O uso da técnica Delphi em saúde: uma revisão integrativa de estudos brasileiros. *Arquivos de Ciências da Saúde*, 22(2), 16-21.
- Rifkin, J. (2012). The third industrial revolution: How the internet, green electricity, and 3-d printing are ushering in a sustainable era of distributed capitalism. *World Financial Review*, 1(1), 4052-4057.
- Rolfe, G. (2006). Validity, trustworthiness and rigour: quality and the idea of qualitative research. *Journal of advanced nursing*, 53(3), 304-310.
- Sandelowski, M. (1993). Rigor or rigor mortis: the problem of rigor in qualitative research. *Advances in nursing science*, 16(2), 1-8.
- Santos, I. M., Vilela, R. B., & Antunes, D. (2017). Competências para o farmacêutico atuante na gestão em saúde: um estudo Delphi. *CIAIQ 2017*, 2.

- Scarparo, A. F., Laus, A. M., Azevedo, A. L. D. C. S., de Freitas, M. R. I., Gabriel, C. S., & Chaves, L. D. P. (2012). Reflexões sobre o uso da técnica Delphi em pesquisas na enfermagem. *Revista da Rede de Enfermagem do Nordeste*, 13(1), 242-251.
- Schallock, B., Rybski, C., Jochem, R., & Kohl, H. (2018). Learning Factory for Industry 4.0 to provide future skills beyond technical training. *Procedia Manufacturing*, 23, 27-32.
- Singh, S., Ramakrishna, S., & Singh, R. (2017). Material issues in additive manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Processes*, 25, 185-200.
- Srivatsan, T. S., & Sudarshan, T. S. (2015). *Additive manufacturing: innovations, advances, and applications*. CRC Press.
- Stenbacka, C. (2001). Qualitative research requires quality concepts of its own. *Management Decision*, 39(7), 551–556.
- Stratasys (2017). *Stratasys Opens Enrollment for 3DHEART Clinical Study*. Disponível em: <https://www.itnonline.com/content/stratasys-opens-enrollment-3dheart-clinical-study>
- Subramani. (2004). How Do Suppliers Benefit from Information Technology Use in Supply Chain Relationships? *MIS Quarterly*, 28(1), 45.
- Sudore, R. L., Lum, H. D., You, J. J., Hanson, L. C., Meier, D. E., Pantilat, S. Z., ... & Kutner, J. S. (2017). Defining advance care planning for adults: a consensus definition from a multidisciplinary Delphi panel. *Journal of pain and symptom management*, 53(5), 821-832.
- Tack, P., Victor, J., Gemmel, P., & Annemans, L. (2016). 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomedical engineering online*, 15(1), 115.
- Topf, M. (1986). Three Estimates of Interrater Reliability for Nominal Data. *Nursing Research*, 35(4), 253.
- Vijayavenkataraman, S., Lu, W. F., & Fuh, J. Y. H. (2016). 3D bioprinting—an ethical, legal and social aspects (ELSA) framework. *Bioprinting*, 1, 11-21.

- Ward, D. & Rivani, E. (2005). An overview of strategy development models and the Ward-Rivani model. *Economics Working Papers, June*, 1-24.
- Weller, C., Kleer, R., & Piller, F. T. (2015). Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. *International Journal of Production Economics, 164*, 43–56.
- West, T. G., & Bradbury, T. J. (2019). 3D Printing: A Case of ZipDose® Technology—World's First 3D Printing Platform to Obtain FDA Approval for a Pharmaceutical Product. *3D and 4D Printing in Biomedical Applications: Process Engineering and Additive Manufacturing*, 53-79.
- Wilson, R. M., & Gilligan, C. (2012). *Strategic marketing management – planning, implementation and control*. (3ª Edição). Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Wohlers, T., & Gornet, T. (2014). History of additive manufacturing. *Wohlers report, 24*(2014), 118.
- Zeltmann, S. E., Gupta, N., Tsoutsos, N. G., Maniatakos, M., Rajendran, J., & Karri, R. (2016). Manufacturing and security challenges in 3D printing. *Jom, 68*(7), 1872-1881.
- Ziaee, M., & Crane, N. B. (2019). Binder jetting: A review of process, materials, and methods. *Additive Manufacturing, 28*, 781–801.

# Apêndices

## Lista de Apêndices:

**Apêndice A:** Primeiro Questionário Delphi *online* disponibilizado ao painel de especialistas

**Apêndice B:** Segundo Questionário Delphi *online* disponibilizado ao painel de especialistas

**Apêndice C:** Primeiro *e-mail* pedindo a participação dos especialistas na primeira ronda Delphi.

**Apêndice D:** Segundo *e-mail* reforçando a participação dos especialistas na primeira ronda Delphi.

**Apêndice E:** Mensagem de *e-mail* pedindo a participação dos especialistas na segunda ronda Delphi.

## Apêndice A

Primeiro Questionário Delphi *online* disponibilizado no seguinte endereço eletrônico:

<https://goo.gl/forms/JMXiWMiSvjaTiNX42>

### Future of additive manufacturing in medicine

The objective of this study is to predict the impact of additive manufacturing technologies in the medical sector for 2030. In order to undergo this research work, the Delphi Method is applied which is based on a short questionnaire. Besides a profile section, the questions are also divided into four sections according to the PEST methodology, namely political, economic, social and technological. Considering the methodology, we need to invite individuals that have a significant impact on both the additive manufacturing industry and the medical field. Also, considering that this issue is of worldwide concern, we have decided to have two/three representatives per continent.

We also inform you that the data from the questionnaire will be processed anonymously.

Student: Emanuel Serrano / Supervisors: Henrique Almeida and Liliana Vitorino

Email: [2162093@my.ipliria.pt](mailto:2162093@my.ipliria.pt)

#### Profile

1. 1. Name

---

---

---

---

---

2. 2. Age

---

3. 3. Nationality

---

4. 4. Affiliation

---

---

---

---

---

5. 5. What is your profession?

---

---

---

---

---

6. 6. What is your connection with additive manufacturing?

---

---

---

---

---

7. 7. What is your link with the health sector?

---

---

---

---

---

8. 8. Years of work in the area?

---

---

---

---

---

9. 9. Number of publications?

---

---

---

---

10. 10. Number of patents?

---

---

---

---

11. 11. Number of research projects and total value of projects?

---

---

---

---

Political Issues

12. 1. How will additive technologies influence intellectual property policies?

---

---

---

---

13. 2. How will additive technologies influence the issues of accountability and ethics?

---

---

---

---



14. 3. How do you define the barrier between customized and replicated products?

---

---

---

---

---

15. 4. What advantages do you think additive technologies can bring to manufacturing companies?

---

---

---

---

---

16. 5. Will additive technologies impact labour laws in countries?

---

---

---

---

---

17. 6. With the development of bio-printing increasingly focused on the printing of tissues and organs, what are the major discussions on ethical issues, considering stem cells? Is this process considered as organ cloning? Or is it a more and more demanding need because of the shortage of organs?

---

---

---

---

---

Economic issues

18. 1. Will it be increasingly important to invest in technology teaching, creating further development and progress in additive manufacturing? How can one create more enthusiasm for this sector?

---

---

---

---

---

19. 2. Will additive manufacturing have an impact on unemployment or economic recessions?

---

---

---

---

---

20. 3. Developed countries are expected to have enormous economic potential with the growth of additive manufacturing, but developing countries may find it difficult to keep up with this progress. What type of structures can one create for developing countries?

---

---

---

---

---

21. 4. Homemade additive manufacturing already has many successful cases. Will it add value to the development of this technology or present danger to its future that is approaching? Can this home-grown production contribute or harm additive technologies in the health sector? How can you guard against all the dangers that may arise?

---

---

---

---

---

22. 5. Do you consider that there will be an increase in GDP with the use of additive manufacturing in health or will it just be an additional expense for governments?

---

---

---

---

---

23. 6. Do you think 4D printing will be a major breakthrough for additive manufacturing in medicine? What are the fields where they are applied and what will be the forecast for their application in the global market?

---

---

---

---

---

Social Issues

24. 1. What kind of changes will additive technologies influence consumer behaviour and demand?

---

---

---

---

---

25. 2. What kind of changes will additive technologies influence the behaviour of new product offerings?

---

---

---

---

---

26. 3. What is your opinion on the corporate social responsibility of companies with additive manufacturing technologies in the health sector?

---

---

---

---

---

27. 4. Additive technologies have also shown a positive impact in ecological terms. Do you consider this a critical topic for applications of additive manufacturing technologies in the medical sector?

---

---

---

---

---

Technological Issues

28. 1. Additive manufacturing in medicine is very much focused on bioprinting. What are the most promising developments that are to be implemented in the market and how should they be implemented?

---

---

---

---

---

29. 2. One of the limitations in additive manufacturing is the lack of multi-material structures or functional gradients that will make a breakthrough for the technology. Which ones will revolutionize the market and where is there more lack of these advances?

---

---

---

---

---

30. 3. How do you consider the time of approval by the FDA with the development of technologies and materials for medical devices and products?

---

---

---

---

---

31. 4. Do you consider that additive manufacturing technologies can already process any material with or without pharmaceuticals, bioactive agents and cells for medical applications?

---

---

---

---

---

32. 5. It is well known that additive manufacturing will be the next industrial revolution, but one of its limitations is the lack of versatility and printing time. Why has this technology failed to overcome these barriers?

---

---

---

---

---

33. 6. Do you think that additive manufacturing technologies will have their potential in the production of medical devices and implants or in the production of tissues and organs? Which will be the area with the most promising results social and economically?

---

---

---

---

---

34. 7. Additive manufacturing already has great work developed for pre-surgical studies of complex operations. What will be the next step of this technology in surgery?

---

---

---

---

---

35. 8. What are the potential threats of additive manufacturing in the medical sector?

---

---

---

---

---

36. 9. One of the next advances of additive manufacturing will be the production distribution of personalized pharmaceuticals in pharmacies. Do you consider this a critical step that should be taken for additive manufacturing? If so, how is it justified that this progress has not yet taken hold and what are the barriers to overcome?

---

---

---

---

---

Final question

37. If you have any other comments, please list them below.

---

---

---

---

---

Conclusion

Once again, we thank you very much for participating in this study. Once we have processed the data, you will be notified with a summary of the results.

# Apêndice B

Segundo Questionário Delphi online disponibilizado no seguinte endereço eletrônico:

<http://ued2.ipleiria.pt/inqueritos/index.php/875761/lang-en>

13/04/2020

Inquéritos Online - Politécnico de Leiria - Future of Additive Manufacturing in Medicine - Delphi 2nd round

## Future of Additive Manufacturing in Medicine - Delphi 2nd round

Dear participants,

As you may recall, the objective of this study is to predict the impact of additive manufacturing technologies in the medical sector for the year 2030.

The first Delphi round has already been completed and now you are again invited to participate in the second round, which consists on classifying the significance of certain topics that were identified in the first round.

Once again, we thank you for your collaboration.

Emanuel Serrano  
Henrique Almeida  
Liliana Vitorino

There are 7 questions in this survey

### Political Issues

#### 1 What level do you agree or disagree that Additive Manufacturing Technologies will have a high impact in the medical sector in 2030? \*

Please choose the appropriate response for each item:

	Entirely Disagree	Mostly Disagree	Somewhat Disagree	Neither Agree nor Disagree	Somewhat Agree	Mostly Agree	Entirely Agree
New legislations/regulations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
New pharmaceutical legislations/regulations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Accountability and ethics	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infringements	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Standardized medical procedures and process certifications	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Local FDA approval time and its internal regulations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Protecting patient information	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
No effects on political/legal/ethical issues	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Economical Issues

#### 2 What level do you agree or disagree that Additive Manufacturing Technologies will have a high impact in the medical sector in the year 2030? \*

Please choose the appropriate response for each item:

	Entirely Disagree	Mostly Disagree	Somewhat Disagree	Neither Agree nor Disagree	Somewhat Agree	Mostly Agree	Entirely Agree
Competitors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Market	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Provider/Customer Relationship	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Partnerships	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Customized products	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Company Benefits	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Impact on GDP	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Training	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Employment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Incentives	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ecological impact in the health sector	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Economic impact in the pharmaceutical sector	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
No effects on economic issues	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Social Issues

**3 What level do you agree or disagree that Additive Manufacturing Technologies will have a high impact in the medical sector in the year 2030? \***

Please choose the appropriate response for each item:

	Entirely Disagree	Mostly Disagree	Somewhat Disagree	Neither Agree nor Disagree	Somewhat Agree	Mostly Agree	Entirely Agree
Technological literacy	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cultural issues	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Technology acceptance	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Corporate social responsibility of companies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
No effects on social issues	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Technological Issues

**4 What level do you agree or disagree that Additive Manufacturing Technologies will have a high impact in the medical sector in the year 2030? \***

Please choose the appropriate response for each item:

	Entirely Disagree	Mostly Disagree	Somewhat Disagree	Neither Agree nor Disagree	Somewhat Agree	Mostly Agree	Entirely Agree
Intellectual property	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
New shape design	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
New materials	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Composite materials and/or multi-material structures	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Products/Devices with functional gradients	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Donor organ reduction	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tissue engineering and regeneration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pharmaceutical sector	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Medical devices and products	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Medical Technology Development	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Availability of Additive Manufacturing	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
No effects on technological issues	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**5 Regarding Bioprinting, do you agree or disagree that it will overcome its research domain towards its industrialization in healthcare for the year 2030? \***

Please choose the appropriate response for each item:

	Entirely Disagree	Mostly Disagree	Somewhat Disagree	Neither Agree nor Disagree	Somewhat Agree	Mostly Agree	Entirely Agree
Your opinion:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**6 Regarding the technological barriers of additive manufacturing, do you agree or disagree that it will overcome its current technological barriers for the year 2030? \***

Please choose the appropriate response for each item:

	Entirely Disagree	Mostly Disagree	Somewhat Disagree	Neither Agree nor Disagree	Somewhat Agree	Mostly Agree	Entirely Agree
Your opinion:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



**Other issues**

**7 What level do you agree or disagree that are the potential threats of additive manufacturing in the medical sector?**

\*

Please choose the appropriate response for each item:

	Entirely Disagree	Mostly Disagree	Somewhat Disagree	Neither Agree nor Disagree	Somewhat Agree	Mostly Agree	Entirely Agree
Failure to fund clinical trials to demonstrate improved outcomes.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Failure to acknowledge improved outcomes with reliable reimbursement.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Safety issues	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lack of knowledge about the additive manufacturing technologies.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Regulatory control and inertia of the current system.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lack of time for health professionals to master these technologies.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Oversimplification of devices or the mis-design because people without an in-depth knowledge feel they have the capacity.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cybersecurity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Material Strength	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Toxicity issues	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Thanks a lot for your collaboration!

Emanuel Serrano

Henrique Almeida

Liliana Vitorino

Submit your survey.

Thank you for completing this survey.

## **Apêndice C**

Primeiro *e-mail* pedindo a participação dos especialistas na primeira ronda Delphi.

Dear Prof. \_\_\_\_\_,

My name is Emanuel Serrano and I'm a Master's student in Mechanical Engineering - Industrial Production at the Polytechnic Institute of Leiria. I'm doing a research on the future of additive manufacturing in medicine for the year 2030. My supervisors are Prof. Henrique Almeida and Prof. Liliana Vitorino and they have already contacted you regarding this study since we believe your level of expertise in the area is essential for developing this research.

As mentioned before, the goal of this study is to estimate the main political, economic, social and technological factors that will influence the use of additive manufacturing in the medical sector for the year 2030. In order to undergo this study, we have decided to use the Delphi method.

Bearing in mind your previous acceptance to our invitation, please visit the following google form in order to take part in the questionnaire:  
<https://goo.gl/forms/JMXiWMiSvjaTiNX42>

Once again, we greatly appreciate your cooperation.

Yours faithfully,

Emanuel Serrano.

## **Apêndice D**

E-mail de reforço pedindo a participação dos especialistas na primeira ronda Delphi.

Dear Prof. \_\_\_\_\_,

Some time ago, you accepted an invitation to answer a questionnaire regarding the influence and impact of additive manufacturing in the medical field for the year 2030.

Considering that you are a relevant researcher in the field and the timeline for me to submit my thesis is coming near, I would appreciate it very much that you answer the questionnaire as soon as possible, namely during next week.

I enclose the link for the questionnaire: <https://goo.gl/forms/JMXiWMiSyjaTiNX42>

On behalf of myself and my supervisors,

Emanuel Serrano,

Liliana Vitorino,

Henrique Almeida

## **Apêndice E**

Mensagem de *e-mail* pedindo a participação dos especialistas na segunda ronda Delphi.

Dear Prof. \_\_\_\_\_,

Following the first stage of our Delphi study regarding the use of 3D printing in the health sector, we now invite you to participate in this final stage, which consists in a survey based on the previous responses from experts. It will take less than 5min of your time.

From the first round, several topics were selected and now you are required to classify them according to a 7-point Likert scale classification.

<http://ued2.ipleiria.pt/inqueritos/index.php/875761/lang-en>

We very much appreciate your collaboration.

Best regards,

Emanuel Serrano