

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS,
DAS TÉCNICAS E EPISTEMOLOGIA**

ANTONIO TADEU ZANOTELLI

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA IMPRESSÃO 3D
NO BRASIL (2008 - 2018)**

DISSERTAÇÃO

**RIO DE JANEIRO
2020**

ANTONIO TADEU ZANOTELLI

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA IMPRESSÃO 3D
NO BRASIL (2008 - 2018)**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
História das Ciências, das Técnicas e
Epistemologia, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do
título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Pinguelli Rosa

Rio de Janeiro

2020

CIP - Catalogação na Publicação

ZZ33c Zanutelli, Antonio Tadeu
CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA IMPRESSÃO 3D NO BRASIL
(2008 - 2018) / Antonio Tadeu Zanutelli. -- Rio de
Janeiro, 2020.
172 f.

Orientador: Luiz Pinguelli Rosa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Decania do Centro de Ciências
Matemáticas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação
em História das Ciências e das Técnicas e
Epistemologia, 2020.

1. Impressão 3D. 2. Manufatura Aditiva. 3.
Indústria 4.0. 4. Bioimpressão 3D. I. Rosa, Luiz
Pinguelli, orient. II. Título.

ANTONIO TADEU ZANOTELLI

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA IMPRESSÃO 3D NO BRASIL

(2008 - 2018)

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia (HCTE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em História das Ciências, das Técnicas e Epistemologia.

Aprovada em: 18 de dezembro de 2020

Prof. Dr. Luiz Pinguelli Rosa
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. José Carlos de Oliveira
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Ricardo Cunha Michel
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. José Antonio dos Santos Borges
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Agradecimentos

Ao professor Luiz Pinguelli Rosa pela orientação, confiança depositada, exemplo profissional e humano, sem o qual esta pesquisa não seria possível.

À minha esposa, Maria Luiza Zanotelli, e as minhas filhas Paula e Isabel, pelo incentivo constante, todo meu o amor e carinho.

Às minhas irmãs (Zanô, Adelaide, Rita e Rosa) e ao meu irmão Marcos (*in memoriam*) pelas preces constantes.

Aos Professores e alunos do HCTE que conviveram e compartilharam comigo todo este universo maravilhoso do conhecimento em constante construção e de muita produtividade.

Ao CTI Renato Archer, em nome de todos os profissionais que me acolheram e, desde o início desta pesquisa, me indicaram artigos e materiais para a consulta, além de sanarem muitas dúvidas. Muito obrigado ao Dr. Jorge Lopes da Silva, à Amanda Amorim Nunes, ao Paulo Henrique Junqueira Amorim e a todos os colaboradores do CTI.

À professora da UNIFESP e coordenadora do projeto MAO3D, PHD Dra. Elizete Kunkel, agradeço também pelas dúvidas sanadas.

Ao Prof. Ricardo Cunha Michel agradeço imensamente pelas informações e pela generosidade no início da minha pesquisa me apresentando os principais conceitos e me indicando os principais pesquisadores desta Tecnologia no Brasil.

Gostaria também de agradecer o trabalho intenso e meticuloso feito pela revisora Renata César de Oliveira, aluna de doutorado do HCTE.

Epígrafe:

“Isso de querer ser exatamente aquilo que a gente é
ainda vai nos levar além”

Paulo Leminski

RESUMO

Esta pesquisa aborda as definições, aplicações, vantagens e resultados socioeconômicos e históricos, no Brasil e em outros países, da impressão 3D, também chamada, na indústria, de manufatura aditiva. Seu processo produtivo, no qual um objeto é construído com um ou mais materiais por meio da deposição camada por camada desse material, até a obtenção de um objeto tridimensional, pode ser aplicado para construção de peças geométricas complexas, ferramentas, gabaritos, biomodelos, peças personalizadas, protótipos e para pequenos lotes de produtos. A manufatura aditiva pode ser uma vantagem competitiva sobre um produto já existente da fabricação convencional a partir de novo design, tendo impacto positivo na cadeia de suprimentos. É uma tecnologia habilitadora na indústria 4.0 e tem sido aplicada em áreas estratégicas, como os setores da saúde, aeronáutica e automobilístico.

Palavras-chave: Impressão 3D, Manufatura Aditiva, Indústria 4.0

ABSTRACT

This research addresses the definitions, applications, advantages, socioeconomic and historical results, in Brazil and other countries, of 3D printing, also called, in the industry, additive manufacturing. Its production process, in which an object is constructed with one or more materials by depositing layer by layer of this material, until obtaining a three-dimensional object, can be applied for the construction of complex geometric pieces, tools, jigs, biomodels, parts prototypes and for small batches of products. Additive manufacturing can be a competitive advantage over an existing conventional manufactured product using machining, drilling or milling, from a new design, having a positive impact on the supply chain. It is an enabling technology in industry 4.0 and has been applied in strategic areas, such as the healthcare, aeronautics and automobile sectors

Keywords: 3D Printing, Additive Manufacturing, Industry 4.0

Lista de Abreviações e Siglas

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABS	<i>Acrlonitrila Butadieno Estireno</i>
AM	Manufatura Aditiva (<i>Additive Manufacturing</i>)
ASMT	Sociedade Americana para Testes de Materiais
ASEAN	Associação das Nações do Sudeste Asiático
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ASTM	Sociedade Americana para Testes e Materiais
BIOCAD	Companhia de Biotecnologia
BIOPRINTER	Bioimpressão tridimensional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAD	Design Auxiliado por Computador (<i>Computer Aided Design</i>)
CAGR	Taxa de Crescimento Anual Composta
CBA	<i>Centro de Bits e Átomos (Centre and Bits and Atoms)</i>
CCT	Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática
CNC	Controle de Computação Numérica (<i>Computer Numeric Control</i>)
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CTI	Centro Tecnológico Renato Archer
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DARPA	Agência de Projeto de Pesquisa Avançada de Defesa dos Estados Unidos
DFAM	Design para a Manufatura Aditiva
EBM	Fusão por Feixe de Elétron
EC	Comissão Europeia
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ET	Engenharia Tecidual
EUA	Estados Unidos da América
EY	Ernst & Young Global
FAA	Administração Federal de Aviação (<i>Federal Aviation Administration</i>)

FABLAB	Laboratório de Fabricação
FDM	Modelagem por Filamento Fundido ou Modelagem por Fusão e Deposição
FFF	Fabricação por Filamento Fundido
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GAO	Escritório de Contabilidade do Governo dos Estados Unidos
IEDI	Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
ISBF	Sociedade Internacional de Biofabricação
ITS	Instituto de Tecnologia Social
LENS	Fabricação de Forma Final a Laser (<i>Laser Engineered Net Shaping</i>)
LIFT	Transferência direta induzida a laser (<i>Laser induced forward transfer</i>)
LOM	Fabricação de Objetos Laminados (<i>Laminated Object Manufacturing</i>)
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e Serviços
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts (<i>Massachusetts Institute of Technology</i>)
MR	Medicina Regenerativa(*)
NAMIC	Grupo Nacional de Inovação de Fabricação
NSTC	<i>National Science and Technology Council (EUA)</i>
NT3D	Núcleo de Tecnologias Tridimensionais
OECD	<i>Organization for Economic Cooperation and Development</i>
OEM	Fabricante Original do Equipamento*
PBM	Plano Brasil Maior (2010-2014)
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDP	Política de Desenvolvimento Produtivo, 2008-2010
PIE	Programa Inova Empresa
PINTEC	Pesquisa de Inovação Tecnológica
PITCE	Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior

PLA	Poli (<i>Ácido láctico</i>)
PROEXP	Programa de PD&I em aplicações de Tecnologias 3D em Experimentos Científicos
PROIND	Programa PD&I em Aplicações de Tecnologias 3D na Indústria
PROMED	Programa PD&I em Aplicações de Tecnologias 3D, na Área Médica
REPRAP	Prototipador Replicante Rápido
RP	Prototipagem rápida
RU	Reino Unido
SMLC	<i>Smart Manufacturing Leadership Coalition (EUA)</i>
STL	<i>Estereolitografia*</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação.
TS	Tecnologia Social
UV	Ultra Violeta
3D	Tridimensional
(*)	Este símbolo foi usado para indicar que a palavra ou termo consta no Glossário, nos anexos desta dissertação

Lista de Figuras

Figura 1 - Etapas da Manufatura Aditiva	02
Figura 2 - Taxa de Crescimento do Mercado de Impressão 3D	07
Figura 3 e 4 - Foto e Escultura de Willême	14
Figura 5 - Mapa de Curvas de Nível	15
Figura 6 - Patente do Método de Swainson	16
Figura 7 - Chuck Hull, Inventor da Primeira Impressora 3D	17
Figura 8 - Sistema 3D	18
Figura 9 - Impressora SLA1	19
Figura 10 - Patente original FDM	20
Figura 11 e 12 - Projeto de Prototipagem Rápida para Medicina	28
Figura 13 - Procedimentos e Etapas de Prototipagem para Cranioplastia	29
Figura 14 - Evolução Anual do Nº de Pacientes do PROMED	32
Figura 15 - Modelo do CTI Renato Acher	33
Figura 16 – Pilares da Indústria 4.0	36
Figura 17 - Processo SLA	39
Figura 18 - Impressora 3D SLA	40
Figura 19 - Processo DLP	41
Figura 20 - Impressão Processo DMLS	42
Figura 21 - Impressão Processo 3D SLM	43
Figura 22 - Impressão Processo 3D SLS	44
Figura 23 - Impressão EBM	45
Figura 24 - Impressão Processo 3D LOM	46
Figura 25 - Processo de impressão 3D <i>Inkjet</i>	47
Figura 26 - Processo FDM	49
Figura 27 - Nível de Empenho do MCT (2005 - 2017)	59
Figura 28 - Ativação pelo Movimento de Punho	65
Figura 29 - Ativação pelo Movimento do Cotovelo	66
Figura 30 - Mão Phoenix-V2	66
Figura 31 - Próteses de Mãos Mecânicas Infantis	67
Figura 32 - Amputação Acima do Cotovelo	67
Figura 33 - Próteses de Mão Mecânica MAO3D	69
Figura 34 - Processo de Biofabricação	71
Figura 35 - Biofabricação com Esferóides Teciduais	74
Figura 36 - Implante Virtual a Partir de <i>Scaffolds</i>	77
Figura 37 - Sistemas Industriais nas Empresas por Países	85
Figura 38 - Mercado 3D no Mundo	91
Figura 39 - Total de impressoras industriais nos Países do Sudeste Asiático	93
Figura 40 - Absorvedor 3D	95
Figura 41 - Impressora Prusa Mendel	103
Figura 42 - Tecnologia AM, por Setor Industrial (%)	109
Figura 43 - Benefícios da aplicação AM	110
Figura 44 - Vendas de Impressoras 3D no Mundo, em 2015	113
Figura 45 - Vendas de sistemas AM (2000 – 2017)	114
Figura 46 – Materiais mais vendidos	115

Figura 47 – Distribuição do Uso da AM na indústria global, em 2016	116
Figura 48 - Principal Uso da Impressora 3D	117
Figura 49 - Sculpteo, Desafios do Uso da Impressora 3D	118
Figura 50 - Áreas que Gastam Mais Tempo	119
Figura 51 - Benefícios da Impressão 3D (2019)	119
Figura 52 - Bocal de Combustível do motor a jato	122
Figura 53 - Estrutura em Treliça	123

Lista de Quadro e Tabela

Quadro 1 - Principais Publicações Consultadas, por Ano	11/12
Tabela 1 - Distribuição do Software Livre InVesalius (2020)	26/27

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
1.1. Objeto e Problema da Pesquisa	6
1.2. Objetivos da Pesquisa	9
1.3. Justificativa	10
1.4. Metodologia	10
2. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D - REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. A Representação Tridimensional: As primeiras Técnicas e a primeiras invenções (Impressoras 3D).....	13
2.2. Impressão 3D/Manufatura Aditiva: Conceitos Gerais	20
2.3. A História da Impressão 3D no Brasil – CTI Renato Archer.....	24
2.4. O Conceito de Indústria 4.0	33
2.5. Impressão 3D – Tipos de Tecnologia.....	37
2.5.1. <i>VAT Photopolymerization</i>	38
2.5.1.1. <i>SLA (Stereolithography)</i>	38
2.5.1.2. Processamento de Luz Direta DLP (<i>Digital Light Processing</i>).....	40
2.5.2. Fusão de pó metálico (<i>powder bed fusion</i>)	41
2.5.2.1. <i>Direct Metal Laser Sintering - DMLS</i>	42
2.5.2.2. <i>Selective Laser Melting - SLM</i>	42
2.5.2.3. Sinterização Seletiva a Laser (SLS).....	43
2.5.2.4. Derretimento por feixe de elétrons (<i>Electron Beam Melting - EBM</i>)	45
2.5.3. Adição de Lâminas (<i>Sheet Lamination</i>)	45
2.5.3.1. Fabricação de objetos laminados (<i>Laminated Object Manufacturing - LOM</i>)	45
2.5.4. Jateamento de Material (<i>material jetting</i>).....	47
2.5.4.1. Jato de tinta (<i>Inkjet</i>).....	47
2.5.4.2. PolyJet.....	48
2.5.5. Extrusão de material (<i>material extrusion</i>).....	48
2.5.5.1. Modelagem por Deposição de Fundido (<i>Fused Deposition Modeling - FDM</i>) ou Fabricação por Filamento Fundido (<i>Fused Filament Fabrication - FFF</i>)	48
3. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D: O DESENVOLVIMENTO NO BRASIL	51
3.1. NA INDÚSTRIA.....	51
3.1.1. A Impressão 3D/Manufatura Aditiva – Iniciativas nas Indústrias.....	51
3.1.2. Planos de Governo – Indústria 4.0.....	54
3.1.3. Fábricas do Futuro - <i>Testbeds</i>	60
3.2. NA SAÚDE.....	61
3.2.1. Projetos e Perspectivas – Usando a Impressão 3D	61
3.2.2. Próteses: Tecnologia Assistiva e ONGS.....	63
3.2.2.1. E-Nable Brasil e o Programa MAO3D (UNIFESP)	64

3.2.3. Bioimpressão 3D.....	70
3.2.3.1. Conceitos de Biofabricação, Biomateriais, e Bioimpressão.....	70
3.2.3.2. Bioimpressão 3D – A Técnica	75
3.2.3.3. Bioimpressão 3D – A Pesquisa	75
3.2.3.4. Bioimpressão 3D – Em outros países	79
3.2.3.5. Bioimpressão 3D – As pesquisas no Brasil	81
4. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D EM OUTROS PAÍSES.....	83
4.1. INICIATIVAS GOVERNAMENTAIS	83
4.1.1. ESTADOS UNIDOS E EUROPA.....	83
4.1.2. ÁSIA-PACÍFICO.....	88
4.2. OS AVANÇOS PRODUZIDOS NA SAÚDE	94
4.3. EXEMPLOS DE AVANÇOS PRODUZIDOS NA INDÚSTRIA.....	96
5. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D: ÁREAS DE CONVERGÊNCIA	99
5.1. COMUNIDADE MAKER.....	99
5.2. FABLABS.....	100
5.3. REPRAP	102
5.4. NORMAS PARA O USO DA IMPRESSÃO 3D OU MANUFATURA ADITIVA	104
.....	104
5.5. PROPRIEDADE INTELECTUAL.....	106
6. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D: ESTATÍSTICAS E O MERCADO	108
GLOBAL	108
6.1. RELATÓRIO GLOBAL ERNST & YOUNG (EY)	108
6.2. RELATÓRIO <i>WOHLERS ASSOCIATES</i> , INC (2015 a 2018)	110
6.3. TENDÊNCIAS SCULPEO (2018 a 2019).....	116
6.4. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D – OPORTUNIDADES E	120
DESAFIOS	120
7. CONCLUSÕES.....	127
BIBLIOGRAFIA	133
GLOSSÁRIO.....	159

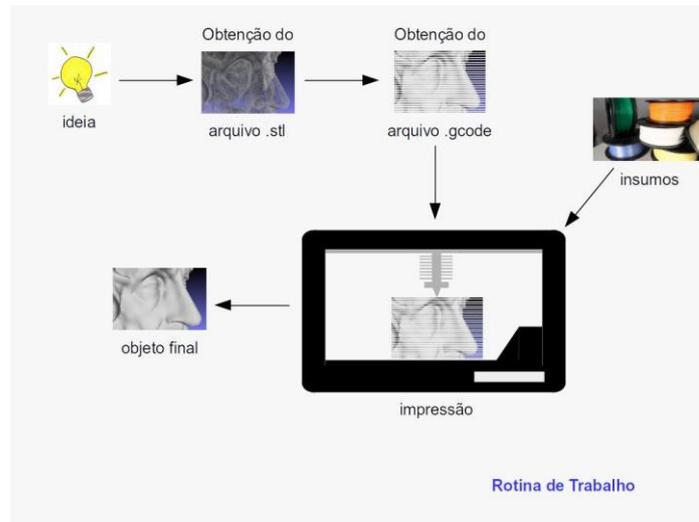
1- INTRODUÇÃO

A impressão 3D é o nome popular dado ao processo de manufatura aditiva. A terminologia mais usual no âmbito técnico e adotada pela *American Society for Testing and Materials (ASTM)* é manufatura aditiva (*additive manufacturing* ou *AM*) ao invés de impressão 3D. O termo impressão 3D é mais comumente usado em *blogs* e *sites* especializados. Já o comitê técnico ASTM F42 define a manufatura aditiva como um processo que combina materiais para produzir objetos a partir de um modelo de dados 3D, geralmente adicionando camada após camada, em oposição à metodologia de fabricação convencional*. De forma geral, o processo consiste na utilização de equipamentos (impressoras) capazes de fabricar artefatos por meio da deposição (adição) de camadas por empilhamento até a finalização do modelo.

A impressão 3D sempre se inicia através de um modelo 3D podendo ser obtido através de um *software* modelador *Computer Aided Design (CAD)* ou até mesmo através de um *scanner* 3D. Este modelo é seccionado em camadas horizontais e encaminhado à impressora 3D iniciando-se assim o processo de impressão. Portanto, o conceito de produção de artefatos, usando-se a manufatura aditiva como um processo que adiciona materiais, contrasta com o conceito de produção industrial por métodos substrativos de materiais, por exemplo, na usinagem,* perfuração e fresagem* (PEARSON, 2015).

A manufatura aditiva está estruturada, basicamente, em cinco etapas, quais sejam: a) modelagem computacional, b) geração de modelo de malha ("*stereolithography format*" ou "STL"), com outras variações de formato, c) programa fatiador ou geração do Gcode, d) impressão por camada, e) pós-processamento e acabamento (CUNICO, 2015, p.2). A Figura 1, a seguir, ilustra este processo.

Figura 1: Etapas da Manufatura Aditiva



Fonte: Elaborada pelo Prof. Ricardo Cunha Michel

Segundo Berman (2012), as raízes das tecnologias atuais de impressão 3D evoluíram a partir da Topografia e da Fotoescultura, assunto que será explorado no Capítulo 2.

Em 1986, surge a primeira impressora 3D. Ela foi desenvolvida e patenteada por Charlie “Chuck” Hull, utilizando um método conhecido como a estereolitografia* (SLA) e tinha como objetivo produzir protótipos* tridimensionais de produtos. Estes primeiros equipamentos ficaram conhecidos como máquinas de prototipagem rápida. Este foi o primeiro dispositivo a imprimir uma parte física real de um arquivo digital, gerado por computador (RODRIGUES *et al.*, 2017).

A prototipagem serve como meio para que os designers e projetistas produzam artefatos iniciais (protótipos*) de seus projetos, melhorando a comunicação com o cliente e reduzindo a possibilidade de falhas, sendo essencial no entendimento rápido dos requisitos do produto, contribuindo na melhoria da qualidade do produto, e viabilizando uma apresentação de maneira mais rápida e eficiente aos colaboradores ou aos clientes demandadores dos produtos (CUNICO, 2015).

Na indústria, a aplicabilidade da manufatura aditiva está relacionada a três tipos de soluções:

a) de entrada para modelagem de conceito e prototipagem rápida (design de produtos, ergonomia);

b) intermediária mais profissional usando uma variedade de materiais por aplicações; sendo, portanto, uma prototipagem dita funcional (ferramentas, gabaritos);

c) de produção, onde as tecnologias de impressão 3D têm o objetivo de oferecer soluções finais na criação de peças e/ou produtos.

Atualmente, as impressoras 3D não se limitam apenas a produção de protótipos*. Em algumas áreas, tais como na indústria aeronáutica, na saúde e na indústria automobilística, elas participam na produção final de produtos usando-se vários tipos de materiais, tais como: plásticos, cerâmicas e ligas metálicas. Já existe consenso de que a manufatura aditiva não substituirá a produção em massa na indústria, seu uso estará limitado à produção de peças personalizadas, de reposição, ferramentas, gabaritos, e acessórios industriais. Isto evidencia um interesse maior na produção de pequenos lotes de produtos personalizados ou customizados, promovendo vantagens competitivas e o aumento no nível de serviço em relação ao cliente, tendo em vista que possibilitará a construção de peças e componentes com arquiteturas complexas e com materiais mais leves, resistentes e com baixo desperdício na fabricação (EXPEDITO, 2019; ZAWADZKI & ŻYWICKI, 2016; SILVA, Jorge; LOPES, Vicente, 2018).

Para muitos, a manufatura aditiva favorece a localização da produção, tornando mais rentável produzir bens em instalações nos países de origem. É um conceito que se opõe ao que prega a globalização que tornou frequente o deslocamento da produção para países de mão de obra mais barata como a Índia e a China para melhorar a competitividade do produto em razão da mão de obra mais barata (COTTELEER, 2014).

Outra vantagem é a possibilidade de encurtar o ciclo de desenvolvimento do produto, resultando em processos mais eficientes, além de disponibilizar novas funcionalidades na fabricação de pequenos lotes de produtos complexos, com alto grau de personalização (COTTELEER, 2014; GUO; LEU, 2013).

Em 2015, a Deloitte citou alguns dos desafios técnicos que a tecnologia 3D precisava enfrentar no decorrer dos anos para se consolidar na indústria, um destes desafios estava na necessidade de disponibilizar mais materiais para a impressão 3D, pois o que estava disponível ainda era considerado bastante limitado. O custo elevado para a produção em massa e a imprecisão na produção das peças bem como a limitação no tamanho dos componentes estavam entre os fatores que ainda

colocavam a impressão 3D em desvantagem quando comparada a fabricação convencional* (DELOITTE, 2015a). Com relação aos desafios acima, o que tem se observado, de 2016 a 2020, foi um aumento substancial de novos materiais disponíveis e melhorias na precisão das peças impressas.

Outra situação de desvantagem quando comparada à fabricação convencional*, por exemplo, são as limitações inerentes ao tempo de construção que ainda são considerados muito longos. Por exemplo, processos de manufatura aditiva são capazes de criar um cubo de quatro centímetros por hora, em média, enquanto uma máquina de moldagem por injeção pode produzir várias partes similares em menos de um minuto. Outra restrição está relacionada aos materiais plásticos usados na manufatura aditiva, o preço pode ser de 10 a 15 vezes mais caros que os materiais plásticos para moldagem por injeção (FORD, 2014).

Em 2016, nos Emirados Árabes Unidos, foi impresso o primeiro escritório 3D do mundo. Esse projeto foi concebido como um estudo de caso para as agências reguladoras e centros de pesquisas tanto nos níveis regionais como internacionais em relação à utilização da impressão 3D. O escritório impresso em 3D foi construído usando uma mistura especial de cimento e um conjunto de materiais de construção projetados e fabricados nos Emirados Árabes Unidos e nos Estados Unidos. Esses materiais passaram por uma série de testes na China e no Reino Unido para garantir sua confiabilidade. Uma impressora 3D medindo seis metros de altura, 36 metros de comprimento e 12 metros de largura foi utilizada para imprimir o escritório. A impressora possui um braço robótico automatizado para implementar o processo de impressão.¹

A impressão 3D também poderá ser usada de forma híbrida, como máquinas que integram as funções aditivas e de usinagem*. Como exemplo, pode-se citar a máquina de impressão e fresagem* híbrida 3D *Orlas Creator*, da *O.R. Lasertechnologie*, lançada em 2017, na Alemanha, que combina as vantagens da impressão 3D de componentes metálicos complexos utilizando o processo direto de derretimento de pó, com capacidades avançadas de fresagem* para a produção de acabamentos de alta exatidão. Esta impressora permite operações de fresagem e usinagem de estruturas que, normalmente, não são acessíveis, como contornos internos, cortes inferiores ou canais de resfriamento ocultos.

¹ Disponível em: <https://www.emirates247.com/news/emirates/mohammed-inaugurates-world-s-first-3d-printed-office-in-dubai-2016-05-24-1.630882>. Acessado em: 24 de maio de 2016.

A manufatura aditiva faz parte de um grupo de tecnologias intituladas como habilitadoras e, nesse universo tecnológico, fazem parte também a robótica, internet das coisas, *big data*, sistemas *cyber-físicos*,* *cloud computing* e inteligência artificial que juntos compõem o conceito da indústria 4.0 (termo cunhado inicialmente, na Alemanha, em 2012). Essas tecnologias, conjuntamente ou mesmo parte delas, são chamadas de novas estruturas de produção, dotadas de dispositivos inteligentes ligados à rede, onde os produtos e os sistemas de produção são capazes de se comunicarem. Estas novas estruturas são consideradas chave para alcançar o grau de flexibilidade e o controle necessário para atender às exigências dos mercados atuais. Estas exigências surgem de solicitações como expectativas crescentes de produtividade, aumento do número de variantes de produtos, redução de tamanhos de lotes, redução do consumo de energia, redução de estoques e outros (CHENG *et al.*, 2015).

Considerada uma tecnologia emergente, a impressão 3D tem alcançado avanços importantes em um espaço de tempo relativamente curto, nos últimos 35 anos. No Brasil, o CTI Renato Archer tem sido um dos principais fomentadores relacionados à impressão 3D em três áreas distintas: a) médica com a produção de protótipos de próteses e órteses, b) industrial, apoiando com consultorias as empresas e c) universitária, dando o suporte e a infraestrutura necessária para o aprimoramento e o conhecimento desta tecnologia. Protótipos impressos em 3D têm sido amplamente utilizados como guias de procedimentos cirúrgicos em vários hospitais públicos no Brasil.

Em uma pesquisa efetuada no “*Google Trends*”, em 2020, usando-se a expressão “impressão 3D” verificou-se que o interesse pelo assunto na *Web** só apareceu a partir de 2004, com uma média diária de 15 consultas, em contrapartida, a expressão “robótica” tinha uma média de 63 consultas; logo, o interesse para a impressão 3D, no Brasil, ainda continua incipiente e moderado.

Em outra pesquisa, efetuada na base de periódicos do Capes, em 06/05/2020, pelos assuntos “*Additive Manufacturing*” e “*3D Printing*” houve o retorno de um total de 9.029 artigos, com números crescentes de publicações a partir de 2010. Com os termos “manufatura aditiva” e “impressão 3D” ocorreu um retorno de 119 artigos. Tanto na primeira quanto na segunda consulta, a grande maioria dos textos avaliados (usando-se o resumo como referência) referem-se às questões de cunho tecnológico relacionados ao aprimoramento dos processos, testes com impressoras, testes com

materiais, uso da tecnologia em temas específicos como na moda, na construção de artefatos para a medicina e outros, com poucos artigos envolvendo temas que abrangessem uma visão geral das áreas correlacionadas à tecnologia de impressão 3D, e foi, dentro desta perspectiva, na qual os artigos ainda são escassos que esta pesquisa foi orientada.

Em sinergia com as pesquisas acima, GUO e LEU (2013) já indicavam que a impressão 3D, por se tratar de um tema emergente e pouco pesquisado, necessitava de novas dissertações, artigos, teses e ensaios para servir de complementação a uma análise que indicasse as restrições e as potencialidades de forma a tornar colaborativa a difusão do alcance da tecnologia, além de prover novas indicações de linhas de pesquisa. Dentro desta proposta, e com o intuito de contribuir para um melhor entendimento sobre o tema, esta dissertação se desenvolveu, trazendo uma visão holística sobre a impressão 3D abordando, inicialmente o histórico de sua criação e a chegada da tecnologia ao Brasil através de pesquisadores do Instituto Renato Archer e outros assuntos pertinentes ao tema, tais como: a bioimpressão, os biomodelos, as próteses, a indústria 4.0 no Brasil e em outros países.

Em razão da abordagem empregada ter relações com vários assuntos e áreas diversas, a metodologia utilizada visou reuni-los numa compilação atualizada de informações, da literatura especializada e de artigos críticos, além de outras fontes tais como sites e blogs. Muitos temas tratados aqui poderão ser desenvolvidos em pesquisas mais abrangentes e específicas.

1.1. Objeto e Problema da Pesquisa

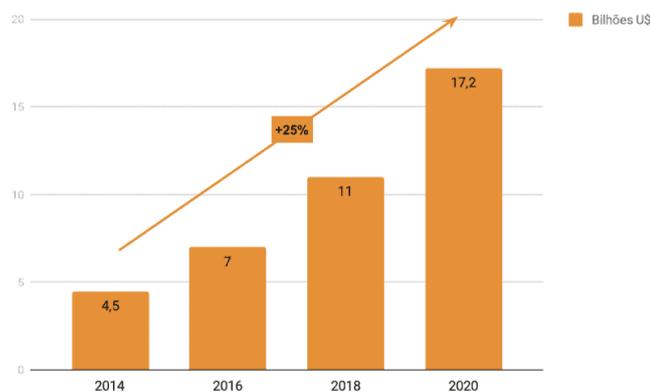
Os artigos sobre a manufatura aditiva normalmente abordam as seguintes correntes: a) conceitos e utilização da prototipagem rápida tanto na indústria como nas universidades na confecção de produtos para marketing ou teste; b) aplicações da manufatura aditiva na área médica, na indústria aeroespacial, na odontologia e outros; c) estudos específicos sobre os materiais utilizados, ou a respeito de um tipo de processo da tecnologia de impressão 3D (SLA, SLM, SLS e outras), ou abordando análises em grupos de impressoras usando técnicas distintas com um determinado material e d) uma corrente mais nova tem contemplado em suas pesquisas os impactos da manufatura aditiva nos processos produtivos abordando

os critérios competitivos (custo, tempo, qualidade e outros), para a utilização desta tecnologia.

Em 2014, a *Wohlers Associates*, previu que o mercado global de produtos e serviços de manufatura aditiva atingiria US\$10,8 bilhões de dólares em todo o mundo até 2020, sem incluir nesta previsão o investimento em P&D; levando em consideração as previsões cíclicas, e sem considerar outra recessão global, como foi a de 2008 ou outros desastres naturais imprevistos. Em contrapartida, no relatório da *Wohlers Associates*, de 2019, com dados de 2018, o mercado global de fabricação de aditivos foi estimado em US\$9,3 bilhões. Este valor (que inclui *hardware, software, materiais e serviços*) representou um crescimento de 18% em relação ao ano de 2017 (AMFG, 2019). Portanto, o valor estimado para 2020 já se encontra no patamar de US\$ 17,2 bilhões. Isto denota que o mercado de manufatura aditiva tem crescido além do esperado nos últimos cinco anos.

A Figura 2, a seguir, apresenta o gráfico das previsões relativas à impressão 3D, de 2014 a 2020 (WOHLERS Associates, 2020).

Figura 2 - Taxa de Crescimento da Impressão 3D



Fonte: *Wohlers Report*, 2020

Um dos desafios do uso da manufatura aditiva na indústria tem sido a dificuldade em se obter mão de obra qualificada. Neste contexto, se insere a importância do ensino e da pesquisa nas universidades e nos centros técnicos, visando a formação de profissionais especializados que venham não só serem colaboradores proativos, resolvendo as atuais limitações tecnológicas existentes, assim como criando um corpo técnico capaz de suprir esta demanda no mercado.

Com o objetivo de colaborar de forma proativa com o universo de conhecimento produzido a respeito da tecnologia de impressão 3D, esta dissertação proporciona ao leitor leigo no assunto uma visão geral sobre as relações entre a tecnologia de impressão 3D e várias áreas distintas do conhecimento.

A motivação inicial foi buscar referências históricas da chegada da tecnologia de impressão 3D, no Brasil, e a partir daí construir um arcabouço teórico deste assunto tão fascinante e complexo.

Nas várias publicações e artigos lidos sobre o tema em questão, verificou-se que, se por um lado é verificado um crescimento lento e gradual da utilização das tecnologias da manufatura aditiva em nichos de mercado; por outro lado, é perceptível que se tem encontrado muitas barreiras, tais como, o custo elevado das impressoras industriais, a garantia da qualidade e segurança do produto como nas fabricações convencionais e a necessidade de melhorias na infraestrutura para que a tecnologia seja assimilada de forma unânime em uma linha de produção.

A estruturação desta dissertação segue a seguinte organização, a saber:

No Capítulo 2, apresenta-se um referencial teórico sobre algumas das primeiras invenções cujo conceito está associado à produção ou à visualização de objetos tridimensionais. Aborda-se também o conceito de impressão 3D, a história da impressão 3D no Brasil e no mundo, os primeiros projetos relacionados ao tema, o conceito de indústria 4.0 e os tipos de tecnologia de impressão 3D.

No Capítulo 3, trata-se da impressão 3D/manufatura aditiva no Brasil englobando, as iniciativas governamentais relacionadas à inovação, os planos de governo associados ao conceito de indústria 4.0, o software InVesalius, os avanços da impressão 3D na saúde, o desenvolvimento de próteses infantis e o desenvolvimento da pesquisa em bioimpressão 3D.

No Capítulo 4, trata-se da impressão 3D/manufatura aditiva em outros países (Estados Unidos, Países da Europa, da Ásia e do Pacífico), as iniciativas governamentais e os avanços produzidos nestes países no uso da tecnologia 3D/manufatura aditiva.

O Capítulo 5 traz conceitos fundamentais, intimamente relacionados com o objeto de estudo, tais como: *maker*, FABLABS, REPRAP, normas e propriedade intelectual.

O Capítulo 6 apresenta estudos estatísticos tanto em relação ao mercado de impressoras 3D, quanto às pesquisas efetuadas com dirigentes de empresas sobre

o uso desta tecnologia nas corporações, além das expectativas em relação aos novos desenvolvimentos, segundo autores e consultorias especializadas. Neste capítulo, também serão abordados os principais desafios e oportunidades da impressão 3D, algumas aplicabilidades e limitações da técnica.

1.2. Objetivos da Pesquisa

O objetivo desta dissertação é fornecer uma visão das principais tecnologias de impressão 3D; seu uso potencial; suas vantagens em comparação com outras tecnologias de fabricação convencional (por exemplo, máquinas de injeção para moldagem e corte) e suas limitações; além do intuito de intensificar o debate sobre o tema fornecendo uma visão geral da impressão 3D ou manufatura aditiva, no Brasil, e em outros países considerados como os principais formuladores e usuários desta tecnologia no mundo.

Os objetivos específicos são listados, a seguir:

- contextualizar a história da impressão 3D no mundo, as diferentes tecnologias de impressão tridimensional, suas origens e processos;
- prover à luz da História o início da impressão 3D no Brasil;
- exemplificar os principais projetos desenvolvidos no Brasil na área de prótese e bioimpressão;
- identificar na área federal os principais planos de governo que tratam da inovação na indústria e da manufatura aditiva como uma das principais tecnologias habilitadoras relacionadas ao conceito de indústria 4.0;
- identificar as principais iniciativas governamentais nos Estados Unidos, Alemanha, China e Coreia do Sul relacionados à manufatura aditiva e indústria 4.0;
- identificar os principais desafios e oportunidades relacionadas ao uso e da manufatura aditiva na indústria;
- contextualizar as informações estatísticas relativas ao mercado de impressão 3D no mundo e a visão das principais empresas sobre as dificuldades e os ganhos percebidos no uso desta tecnologia.

1.3. Justificativa

Em pesquisa inicial sobre o tema e diversos subtemas (impressão 3D, manufatura aditiva, indústria 4.0, manufatura avançada, Fablabs, Movimento *Maker*), foram identificadas teses, dissertações, artigos e publicações abordando em sua maioria aspectos técnicos a respeito do desenvolvimento de novos materiais, estudos sobre aplicação da impressão 3D nas áreas médicas e odontológicas e informações sobre tipo e usabilidade de cada impressora. A escassa informação sobre o estado da arte da impressão 3D e sua aplicabilidade no desenvolvimento socioeconômico e suas consequências na indústria avançada comprovam que esta indústria está em um estágio inicial e seus impactos na produtividade são embrionários e, na maior parte das vezes, ela é inclusa como uma das tecnologias habilitadoras, não assumindo, portanto, um papel estratégico na economia do Brasil.

1.4. Metodologia

Segundo Cordeiro *et al.* (2016),

“a revisão da literatura narrativa apresenta uma temática mais aberta; dificilmente parte de uma questão específica bem definida, não exigindo um protocolo rígido para sua confecção; a busca das fontes não é pré-determinada e específica, sendo frequentemente menos abrangente. A seleção dos artigos é arbitrária, provendo o autor de informações sujeitas ao viés de seleção, com grande interferência da percepção subjetiva”.

Conclui-se então, que o autor que usa a revisão da literatura narrativa como viés metodológico na sua pesquisa sobre um determinado tema tem a liberdade de incluir documentos, não havendo, portanto, uma preocupação em esgotar as fontes de informação. Primeiramente, delimitou-se um recorte temporal de 2008 a 2018, embora possam ocorrer citações anteriores ou posteriores ao período, quando o assunto se mostrar pertinente para a exploração e explanação do objeto de estudo pesquisado.

Na primeira fase da pesquisa foram usados os termos “manufatura aditiva”, “impressão 3D”, “*additive manufacturing*” e “*3D printing*” em busca de publicações científicas, livros, artigos, anais de congressos e periódicos. Os *sites* mais

importantes pesquisados foram: Google Scholar, Portal Capes, *Scielo*, *Researchgate*, *Science Direct* e *Directory of Open Access Journals*.

Neste contexto, foram selecionadas 30 publicações sobre o tema tendo como prioridade as que continham maior número de citações e a relevância do resumo para o tema proposto. Deste universo, foram selecionadas 13 publicações citadas abaixo. A seguir, seguem as principais publicações consideradas como guias para esta dissertação:

Quadro 1 - Principais Publicações Utilizadas na Dissertação

Título da Publicação	Autor(es)	Ano
<i>Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan</i>	BEAMAN, J.J.	1997
<i>The New Industrial Revolution</i>	ANDERSON, Cris. Makers	2012
<i>Recommendations for implementing the strategic initiative for industries 4.0</i>	KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J.	2013
<i>Additive manufacturing: technology, applications and research needs</i>	GUO, N.; LEU, M. C	2013
<i>Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness</i>	FORD, Sharon. L. N.	2014
<i>Intellectual property and 3D printing: A case study on 3D chocolate printing</i>	LI, PHOEBE & MELLOR; STEPHEN & GRIFFIN, J. & Waelde, C.; HAO, L. & EVERSON, R.	2014
<i>Challenges, and Policy Implications of Additive Manufacturing</i>	PEARSONS, T. M.	2015
Impressoras 3D: o novo meio produtivo	CUNICO, M. W	2015
Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações	RODRIGUES, Vinícius e ZANCUL; Eduardo; MANÇANARES, Cauê e GIORDANO, Caio; SALERNO, Mário Sergio	2017
Política industrial: avanços, equívocos e instabilidade, políticas de inovação no Brasil	ARBIX, Glauco e SALERMO, Mário <i>et al.</i>	2017
Políticas de inovação em nova chave	ARBIX, G. e MIRANDA, Z.	2017

Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações.	RODRIGUES, Vinicius <i>et al.</i>	2017
Indústria 4.0: Desafios e oportunidades	SANTOS, B. P. , ALBERTO, A., T.D.F.M.; LIMA, F.M.B. CHARRUA, Santos.	2018

Além dos sites informados acima referentes às publicações científicas foram consultados também os sites governamentais a seguir: CTI – Renato Archer (principal divulgador da impressão 3D no Brasil), Instituto de Estudos para o Desenvolvimento da Indústria (IED), Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Confederação Nacional da Indústria (CNI), Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Ministério da Ciência e Desenvolvimento Industrial (MCDI) para obter informações sobre os planos do governo federal que tratassem da inovação na indústria, informações sobre a indústria 4.0 e outros assuntos considerados pertinentes relacionados ao tema Impressão 3D/Manufatura aditiva no Brasil..

Como o interesse da dissertação foi trazer informações sobre a tecnologia de impressão 3D em sua forma mais global em vez de centralizar o estudo em apenas um objeto relacionado a esta tecnologia os termos a seguir também fizeram parte da pesquisa na Web: “Planos de Governo”, “REPRAP”, “Movimento *Maker*”, “Bioimpressão”, “Fabricação de próteses”, “dados estatísticos” e “normas e padrões”. Nesses casos, a busca foi direcionada para sites corporativos, tais como: 3D Systems (<https://br.3dsystems.com>), Stratasys, 3D Printing (www.3dprinting.com.br), Industryweek, América Makes, AMFG e especialistas no assunto tais como, Glauco Arbix, Janaina Dernowsek, Jorge Lopes Silva, John Hitch, Terry Wohlers, Sarah Goehrke, Sara Töyssy, Michael Molitch-Hou e Louis Columbus.

2. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D - REFERENCIAL TEÓRICO

Nos subitens deste capítulo serão abordados :

- Um breve histórico sobre as primeiras técnicas e ferramentas desenvolvidas na construção de objetos tridimensionais que deram origem ao conceito da impressão 3D.
- Um breve histórico sobre o desenvolvimento da tecnologia de impressão 3D.
- Os principais conceitos sobre a impressão 3D.
- A história da impressão 3D no Brasil e os projetos criados para dar suporte a esta nova tecnologia no CTI Renato Archer.
- O conceito de indústria 4.0 e a inserção da impressão 3D neste novo arranjo das tecnologias habilitadoras na produção manufatureira.
- Uma descrição sucinta sobre os principais tipos de tecnologias de impressão 3D.

2.1. A Representação Tridimensional: As primeiras Técnicas e a primeiras invenções (Impressoras 3D)

A representação tridimensional por meio de equipamentos tem sua origem em conceitos proveniente da foto-escultura e da topografia (VIEIRA, 2017).

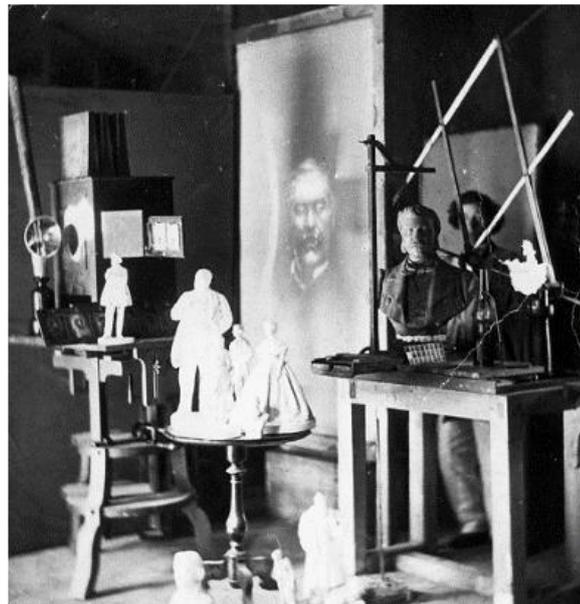
A técnica da foto-escultura nasceu no século XIX em 1860, com o intuito de criar réplicas exatas de peças tridimensionais (formas humanas ou objetos). O processo proposto por “*Frenchman Francois Willème*” posicionava 24 câmeras fotográficas igualmente distribuídas em torno de um objeto, colocado no centro de uma sala circular. No início, as câmeras eram acionadas, simultaneamente, e depois, com a silhueta de cada foto um artista esculpia uma porção cilíndrica do objeto (1/24). Depois como forma de reduzir o tempo na elaboração de uma escultura, desenvolveu-se uma nova técnica que utilizava uma luz graduada para expor uma gelatina fotossensível, que se expande proporcionalmente ao contato com a água. Anéis são, então, fixados sobre um suporte para fazer a réplica do objeto (BEAMAN, 1997; VIEIRA, 2017; BOURELL, *et al.*, 2009).

Figura 3 - Foto de Willéme



Fonte: BOURELL, *et al.*, 2009

Figura 4 - Escultura de Willéme

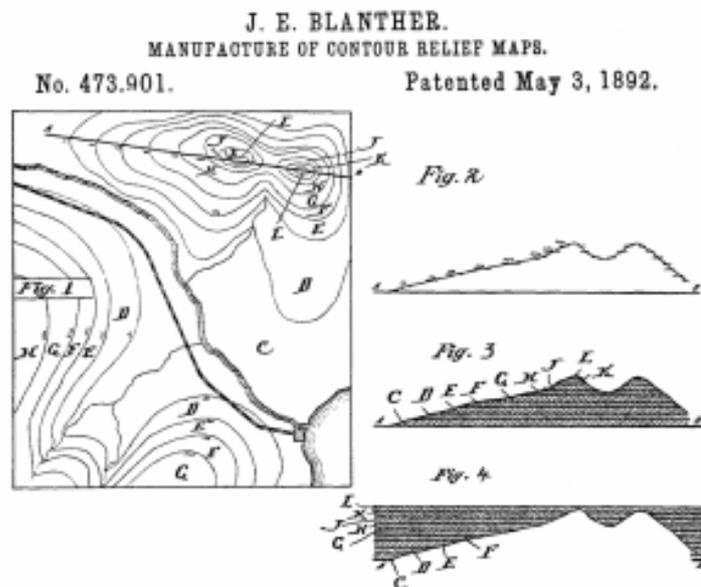


Fonte: BOURELL, *et al.*, 2009

A Figura 3, na página anterior, mostra uma pessoa que foi fotografada (24 fotos em circunferência) para a criação de uma pequena estátua. A Figura 4 mostra um dos fotogramas (uma parte das 1/24 fotografadas) e alguns objetos construídos usando esta técnica. Uma patente de número 43822 dos Estados Unidos foi concedida em 9 de agosto de 1864 (3DPMUSEUM).

Em 1892, Blanter propõe um método em camadas para fazer um molde para mapas de relevos topográficos. A técnica consistia em desenhar os contornos topográficos (curvas de nível), um por um, em placas de cera que, depois de cortadas pelo perímetro, eram sobrepostas umas às outras. Deste processo resultavam dois moldes tridimensionais: um negativo e outro positivo correspondente ao terreno. Entre estes era prensado o mapa em papel que, por sua vez, criava o relevo no mapa final das cartas topográficas, que informam a inclinação do terreno, ou seja, a variação planialtimétrica, conforme Figura 5 (BEAMAN, 1997).

Figura 5 - Mapa de Curvas de Nível



Fonte: Blanter (1892)

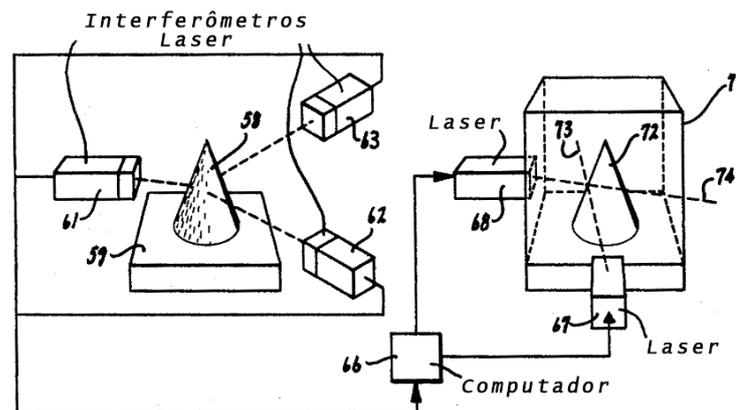
Após o método de Blanter outros métodos para a fabricação de mapas topográficos foram propostos durante todo século XX. Perara, em 1940, cortando as linhas de relevo a partir de papelão; Zag, em 1964 utilizando pratos transparentes com detalhes topográficos escritos e Gaskin, em 1973, que descreveu um aparato de ensino topográfico em três dimensões. Em meados de 1950 surgiu uma tecnologia muito similar às técnicas de SLA existentes. Munz (1956) patenteou um sistema de manufatura por camadas onde uma emulsão fotossensível era exposta e o sistema formava as camadas a partir de um pistão que abaixava e recebia mais emulsão fotossensível juntamente com o agente fixador (BEAMAN, 1997).

No início da década de 1970, Matsubara (da Mitsubishi Motors) propôs um processo fotográfico no qual regiões de uma camada de fotopolímero* recoberta por

pó de grafite ou areia eram endurecidas após a exposição à luz, e mais tarde as outras partes eram retiradas com a utilização de um solvente (Idem, Ibidem).

Em 1975, foi concedida a primeira patente com características similares à tecnologia de impressão 3D a “Wyn Kelly Swainson”. A patente recebeu o número US 4078229. Tal invenção foi direcionada a meios aprimorados para uso na produção de verdadeiros objetos sensíveis tridimensionais em aparelhos que utilizam o efeito combinado de pelo menos dois feixes de radiação que se cruzam para formar uma região ativa dentro do volume do meio, cuja região ativa é manipulada para moldar o objeto sensível tridimensional desejado. Ver Figura 6 abaixo. (3DPMUSEUM).

Figura 6 - Ilustração da patente do método de Swainson



Fonte: SWAINSON, 1971

Em novembro de 1981, Hideo Kodama do Instituto Municipal de Pesquisa Industrial de Nagoya publica um artigo (*'Automatic Method for Fabricating a Three-Dimensional Plastic Model with Photo Hardening'*) de um novo sistema rápido e funcional que utilizava fotopolímeros*. Ele inventou dois métodos aditivos para fabricar modelos tridimensionais de plástico com polímero foto-endurecedor onde a área de exposição UV (Ultravioleta) é controlada por um padrão de máscara ou um transmissor de fibra de varredura (Wikipédia; PECTER, 2018; SIGMA Protótipos, 2019).

Kodoma solicitou uma patente para seu sistema de prototipagem rápida no Japão, em 1980 e descreveu seu sistema da seguinte forma: “Uma cuba de material de fotopolímero* é exposta a uma luz ultravioleta que endurece a peça e constrói o

modelo em camadas". Infelizmente, devido a um problema de financiamento, a especificação completa da patente não foi preenchida dentro do prazo de um ano após a solicitação, por conseguinte ela não foi concedida (SIGMA Protótipos, 2019).

Na década de 1980, o engenheiro Charles Hull, trabalhava com o desenvolvimento de lâmpadas para a solidificação de resinas. Este recurso era usado para colocar finas camadas de plástico sobre mesas e móveis usando a luz ultravioleta (UV) e gastava-se demasiado tempo para produzir pequenas peças de plástico. Esta dificuldade o inspirou a desenvolver um processo que ele chamou de Estereolitografia.* Este processo consistia de um sistema no qual a luz incidia sobre um tanque de material conhecido como fotopolímero (material que muda de líquido para sólido quando a luz incide sobre ele) e traça a forma de um nível do objeto a ser construído (WISHBOX, 2020). Na Figura 7, abaixo, o inventor Charles "Chuck" Hull.

Figura 7 – Charles "Chuck" Hull, inventor da primeira impressora 3D



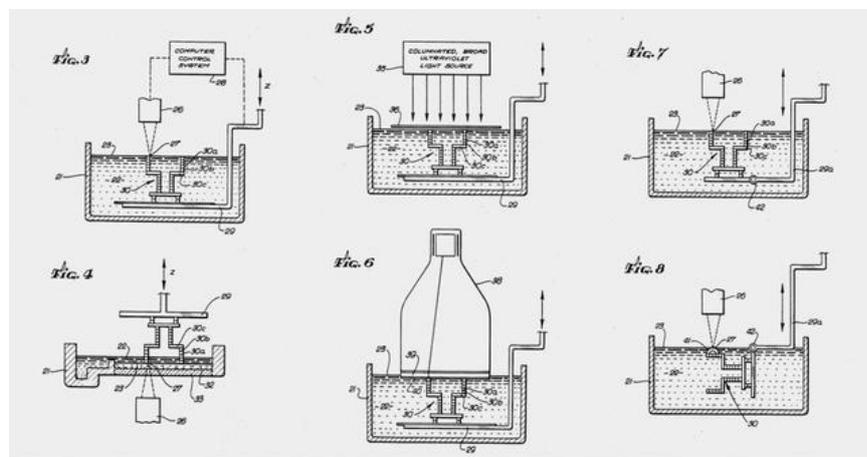
Fonte: Industryweek

Em 1984, Charles "Chuck" Hull patenteia o seu processo de estereolitografia* e através desta técnica; no qual as camadas são adicionadas por fotopolímeros* de cura com lasers de luz ultravioleta; desenvolve a primeira impressora 3D com o nome de SLA-1. Hull definiu o processo como um "sistema para gerar objetos tridimensionais criando um padrão de seção transversal do objeto a ser formado". Os modelos 3D eram produzidos utilizando-se arquivos digitais desenvolvidos por designers em um sistema CAD e eram impressos usando-se como materiais os fotopolímeros. A incidência do laser UV sobre o polímero líquido o solidifica, moldando-o no formato do design que foi feito em 3D (CAD). Um dos problemas iniciais foi custo elevado das impressoras, de cerca de um milhão de

dólares (MAGATTI, NATALIA, 2018). Portanto, em razão de ser o primeiro a comercializar esta Tecnologia, Hull passou a ser conhecido como o pai da impressora 3D. Em 1987 a empresa que ele cofundou é hoje uma das gigantes do mercado, a 3D Systems (Bradshaw *et al.*, 2010; HITCH, J., 2019; 3DPRINTING, 2018; LI *et al.*, 2014).

Na Figura 8, abaixo, uma foto da patente da tecnologia de impressão 3D SLA-1, usando a estereolitografia, de Charles Hull, em 1984 (BR3DSSTEMS).

Figura 8 - Sistema 3D



Fonte: BR3DSSTEMS²

Este método desenvolvido por Hull passou a ser conhecido como prototipagem rápida. Esta designação ocorreu em parte porque os protótipos (modelos) podiam ser feitos com muito mais facilidade e rapidez do que usando o processo por usinagem* da fabricação convencional. Foi chamado de “prototipagem” porque era muito lento e caro para ser usado diretamente na produção industrial; ele não poderia competir com moldagem por injeção para fazer muitas cópias de um único item (BRADSHAW *et al.*, 2010; PECTER, David, 2018).

Em 1987, a “3D Systems” comercializou a sua primeira impressora 3D, a impressora de estereolitografia* com o nome de SLA-1, conforme a Figura 9, a seguir.

² Para mais informações, consultar site: <https://br.3dsystems.com/our-story>

Figura 9 - Impressora SLA1

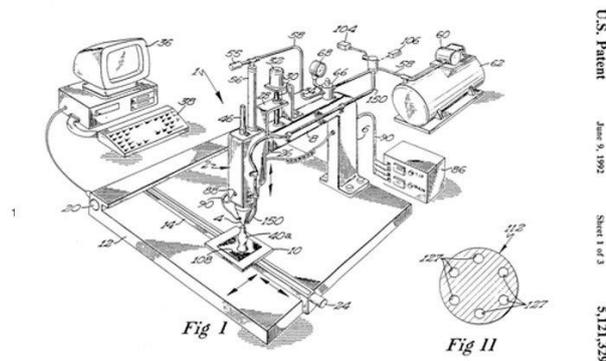


Fonte: BR.3DSYSTEMS

Outro importante pesquisador na História da impressão 3D foi Carl Dekard, graduado em engenharia mecânica na Universidade do Texas, ele foi o criador do processo de Tecnologia 3D chamado “Sinterização Seletiva a Laser” (SLS)*, seu objetivo era que uma máquina pudesse ser capaz de produzir peças sem a necessidade de fundição. Um dos materiais usados por esta Tecnologia é o pó de metal. A patente para o SLS foi encaminhada em 1987 e emitida em 1989 e foi posteriormente licenciada para a DTM Inc., que foi adquirida pela *3D Systems*, em 2001, com uma avaliação de US\$45 milhões (SIGMA PROTÓTIPOS, 2019).

Outro cientista que teve um papel fundamental na história na impressão 3D foi Scott Crump com sua esposa Lisa Crump, e cofundadora da *Stratasys*, eles inventaram, em 1988, um processo denominado modelagem de filamento fundido (FDM) orientado ao consumidor doméstico e comercial usando a extrusão de plástico para criar peças 3D. Em 1992, Scott desenvolve a primeira impressora 3D FDM operacional. Foi cofundador da empresa *Stratasys*, considerada junto a *3D Systems* as maiores empresas desenvolvedoras de produtos e serviços em Tecnologia 3D. Na Figura 10, a seguir, o desenho da patente da tecnologia FDM.

Figura 10 - A patente original FDM (1987)



Fonte: Sigma Protótipos, 2019

2.2. Impressão 3D/Manufatura Aditiva: Conceitos Gerais

A impressão 3D é o nome popular dado ao processo conhecido como manufatura aditiva. A impressão 3D/manufatura aditiva inicia-se a partir da elaboração de um modelo tridimensional em um software de modelagem CAD 3D (*Computer Aided Design*). A geometria virtual é enviada a um sistema CAM (*Computer Aided Manufacturing*) que interpreta o modelo 3D e o divide em seções muito finas (programa fatiador) determinando parâmetros numéricos para a fabricação da peça. A impressora 3D recebe os comandos numéricos e executa a fabricação automaticamente adicionando camadas sucessivas até finalizar a peça. As camadas, medidas em micron, são adicionadas às centenas ou milhares até que um objeto tridimensional emerge. As matérias-primas podem estar na forma de um líquido, pó ou folha e são tipicamente plásticos e outros polímeros,* metais ou cerâmicas (LOW *et al.*, 2017).

Ford (2014) conceitua a manufatura aditiva (*Additive Manufacturing - AM*) ou impressão tridimensional 3D como um conjunto de tecnologias emergentes - *Stereolithography (SLA)*, *Selective Laser Sintering (SLS)*, *Laminated Object Manufacturing (LOM)*, entre outras - que fabrica objetos tridimensionais diretamente de modelos digitais por meio de um processo de adição de material, depositando e “tratando” camadas sucessivas de polímeros, cerâmicas, metais e outros.

Desde os primórdios da impressão 3D, na década de 1980, foram desenvolvidos vários tipos de tecnologias AM: extrusão de material, deposição de

energia direcionada e fusão de leito de pó, sinterização seletiva a laser, estereolitografia* e outras. Cada processo é diferenciado pelo material utilizado e como as camadas são depositadas na impressão do artefato (MAXWELL, JACK; 2019).

A impressão 3D foi definida pelo comitê F42 da Sociedade Americana para Testes e Materiais (*ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies*, formado em 2009) como um processo que combina materiais para produzir objetos a partir de modelos de dados 3D, geralmente camada após camada. Nos primeiros anos da impressão 3D, o termo mais comumente usado para descrever o processo de impressão 3D era chamado de Prototipagem Rápida (RP, em Inglês), refletindo seu principal uso na época como uma maneira mais fácil e de fabricação mais rápida em produzir protótipos do que os meios de fabricação convencional em diferentes tipos de usinagem (fresamento e torneamento*) e moldagem (moldagem por injeção, fundição), mas que não eram competitivos para a produção industrial final (em função do custo das impressoras, dos materiais utilizados, do tempo de impressão e outros (LI *et al.*, 2014).

O primeiro padrão adotado e aprovado pela ASTM foi o F2792 (publicado em 2012), tendo sido retirado devido ao surgimento de uma norma ISO / ASTM a 52900 em 2015. Esse padrão deu o passo de unir os órgãos de padrões do mundo em torno da fabricação aditiva e coordenar o desenvolvimento de padrões entre as fronteiras e as indústrias, e teve como objetivo padronizar a terminologia e classificar cada um dos diferentes tipos de tecnologia de impressão 3D (3DLAB).

Segundo Pearsons (2015), há mais de 30 anos, a tecnologia vem evoluindo como uma ferramenta de design e prototipagem. Um dos objetivos do uso da Prototipagem é usar os modelos produzidos como ferramentas de comunicação e inspeção, onde a produção de vários modelos físicos em um curto espaço de tempo colabora encurtando os passos de desenvolvimento da produção. Ainda hoje estas terminologias, ainda são objeto de discussão. No campo da pesquisa técnica, a manufatura aditiva, em Inglês "*Additive Manufacturing*" – AM tem sido o termo mais comumente usado, bem como por comitês padrões como pela Organização Internacional para Padronização (ISO) e ASTM. Em contraste, na imprensa, normalmente, o termo mais usado é impressão 3D (LI *et al.*, 2014) .

Segundo Berman (2012), as tecnologias AM passaram por três fases evolutivas nos últimos anos. Na primeira fase, os projetistas e designers de produtos usam a

tecnologia AM para criarem protótipos ou modelos de novos projetos como “prova de conceito”, isto é, o artefato produzido seria usado como principal ferramenta de teste de adequação do protótipo ao conjunto de requisitos que se desejava atender. Ou seja: o objeto prototipado é esteticamente adequado? Suas dimensões se encaixam nos requisitos acordados? É ergonômico? Será bem aceito pelo público-alvo? É possível sua fabricação dentro das condições estabelecidas? A impressão de protótipos ou maquetes pela indústria ainda continua em alta pela em função do custo baixo. Atualmente grande parte dos produtos impressos utilizando-se a impressão 3D ainda gira em torno da fabricação de maquetes e protótipos em função do baixo custo, e das considerações de segurança dos produtos.

A segunda fase evolutiva inclui a aplicação de AM na criação de peças acabadas; essa etapa é chamada de "manufatura digital direta" ou "ferramental rápido". Uma aplicação popular da segunda fase é a fabricação de produtos a serem usadas no marketing de teste. Uma das aplicações significativas para a manufatura aditiva tem sido a produção de ferramentas e moldes para fabricação convencional. Os custos mais baixos da ferramenta de manufatura permitiram que os fabricantes produzissem em volumes menores que, anteriormente, poderiam não ter sido rentáveis (PEARSONS, 2015).

A terceira fase envolve os consumidores proprietários de impressoras 3D. Produtos rápidos, personalizados e de baixo custo, a impressão 3D tem a perspectiva de um alcance considerável. Para que esse estágio seja alcançado, o preço de compra das impressoras 3D terá que diminuir significativamente (BERMAN, 2012).

A tecnologia permite fabricar produtos personalizados sem incorrer em penalidades de custo na fabricação, pois não há mais a necessidade de moldes como na fabricação convencional e nem sempre são necessárias ferramentas para o próximo processo designado como pós-processamento (normalmente usado quando o material usado é o metal em pó). Além disso, a AM permite a produção de projetos funcionais complexos e integrados em um processo de uma etapa, reduzindo potencialmente a necessidade de trabalhos de montagem (WELLER *et al.*, 2015).

Diferentemente dos processos de fabricação convencional envolvendo subtração (por exemplo, corte) e moldagem (por exemplo, estampagem, dobra e moldagem), a manufatura aditiva adiciona os materiais para construir produtos.

A manufatura aditiva não é um tipo único de tecnologia ou processo. Todos os sistemas de manufatura aditiva empregam em sua maioria uma abordagem camada a camada embora existem algumas tecnologias que já permitem produzir a peça inteira de uma só vez, projetando um holograma dentro da resina fotossensível, mas usam uma ampla variedade de tecnologias (luz ultravioleta, calor, sinterização e outros), materiais e processos (PEARSONS, 2015) (NREF1) (NFRE2).

Uma das condições que vem sendo avaliadas para o uso da AM industrial em relação à fabricação convencional é a necessidade de criação de um novo design para o produto para que com isto haja uma vantagem econômica, além de uma economia de suprimentos em razão do menor número de peças necessárias na concepção do produto final. Outros fatores considerados que devem ser avaliados é a modificação dos processos de negócios existentes para integrar equipamentos de manufatura aditiva em seu processo de desenvolvimento de produtos. Estes refinamentos devem ser considerados na avaliação do custo-benefício na utilização dos sistemas AM. Como acontece com outras tecnologias de fabricação, o sucesso comercial da AM será baseado na capacidade dos fabricantes de produzirem peças e produtos de alta qualidade em tempo hábil, com custos vantajosos (Idem, Ibidem).

Além disso, como a manufatura aditiva possibilita o design e a fabricação de produtos personalizados, ela pode impulsionar a transição da produção em massa para a customização em massa, no qual cada item produzido é personalizado para o consumidor com pouco ou nenhum custo de produção adicional (Idem, Ibidem).

Niaki e Nonino (2016) salientam que a utilização da AM tem conseguido mudar drasticamente os modelos de negócios e inovação, encolhendo as cadeias de suprimento e alterando a economia global. Como exemplo, citam que a impressão 3D desloca os locais de produção para mais perto dos clientes e conduzem o design de produtos para uma forma livre com uma proposta de manufatura sustentável reduzindo o desperdício, embora sustentem que mesmo com aumento das pesquisas sobre a tecnologia, quando o assunto trata da questão relativa à gestão da Tecnologia AM ainda carece de mais desenvolvimento, com estudos dispersos em revistas de diferentes áreas.

Neste artigo, Niaki e Nonino apresentam alguns requisitos que devem ser levados em conta na escolha de uma das tecnologias AM disponíveis para que seja a mais eficaz. As características e critérios de seleção elencados foram: precisão dimensional, qualidade da superfície, custo da peça, tempo de construção e

propriedades do material, embora considerem que na literatura atual ainda há uma carência de uma maior diversidade na seleção de diferentes tipos de Sistemas AM combinando-as com uma variedade de características das indústrias. Portanto é necessário que as pesquisas tenham uma abrangência e uma cobertura maior das tecnologias AM de interesse prático, bem como de categorias bem definidas dos produtos e das indústrias. Veremos, no decorrer desta dissertação que, em 2018, começaram a surgir *softwares* e banco de dados que possibilitaram alguns ganhos de escala e confiabilidade na escolha da tecnologia.

2.3. A História da Impressão 3D no Brasil – CTI Renato Archer

Neste capítulo será abordado uma das principais iniciativas na área de Tecnologia e Inovação no Brasil tendo como principal agente deste marco histórico o Centro de Tecnologia e Informação Renato Archer (CTI), representado por sua equipe de pesquisadores e especialistas, principais disseminadores da Tecnologia de Impressão 3D no país instrumentalizado por vários programas de apoio criados a partir da chegada da primeira impressora 3D ao país.

O CTI é um centro de pesquisa, desenvolvimento e inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), anteriormente denominado Fundação Centro Tecnológico para Informática, foi inaugurado em 1982. Localizado na cidade de Campinas, estado de São Paulo, sua finalidade primordial é atuar na pesquisa e no desenvolvimento de áreas correlatas à tecnologia da informação, por exemplo, a microeletrônica, componentes eletrônicos, sistemas mostradores de informação, software, aplicações de TI, robótica, visão computacional, tecnologias de impressão 3D para a indústria e a medicina, e softwares de suporte à decisão. Um dos seus objetivos é a interação com o setor acadêmico (parcerias em pesquisa), e com o setor industrial através de consultorias (FERNANDES, Marcelo; 2016).

Em 1996, o CTI cria a sua divisão de tecnologias tridimensionais, e em 1997 recebe sua primeira impressora 3D, uma SLS (sinterização seletiva a laser 2000, de grande porte). Ela foi fabricada pela extinta empresa americana *DTM Corporation*, comprada pela também americana *3D Systems*. Assim, a instituição passa a ser o principal divulgador da Impressão 3D no Brasil desenvolvendo produtos e protótipos,

e atuando como referencial em projetos de pesquisas nas Universidades, escolas técnicas e empresas; difundido a tecnologia 3D como suporte ao desenvolvimento industrial, econômico e social (MCTIC, 2017).

A impressora SL 2000, citada acima, possui uma tecnologia que se baseia na aglutinação de partículas de pó (processo conhecido por sinterização, resultante do aquecimento produzido pela interação dessas partículas com um feixe de laser infravermelho). Até maio de 2017, ela já havia contabilizado duas mil impressões (Idem, *Ibidem*).

Em 2008, é inaugurada a segunda impressora com tecnologia SLS financiada pela Secretaria de Inclusão Social (SECIS) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MAIA, I. , 2017).

Em 2016, o CTI recebe uma nova impressora: a Arcam Q10 industrial que funciona com o sistema EBM® (Fusão por Feixe de Elétrons ou *Electron Beam Melting*), seu custo foi de um milhão de euros, sendo a única no Brasil e a primeira impressora desse porte a ser adquirida na América do Sul. De número 160, no mundo, ela foi projetada para a fabricação de peças em materiais metálicos. É usada em várias aplicações, em especial para a área da saúde, por meio da liga metálica de Ti-6Al-4V (as ligas de titânio têm alta resistência a corrosão e bioinércia evitando assim, reações alérgicas ou inflamatórias na pele de contato) com a produção de implantes e prótese. O preço desta liga gira em torno de US\$ 10 a 30 / Kg (FERNANDES, M.; 2016 e CTI, 2019).

Três frentes foram criadas no CTI com o intuito de fortalecer a tecnologia de impressão 3D, a saber:

O primeiro programa criado foi o PROIND (1999), com o objetivo de apoiar o desenvolvimento de produtos nas pequenas e médias empresas através de consultorias. O PROIND não conta com recursos diretos do governo federal. Os recursos provenientes de empresas são de pequena monta para a manutenção operacional de partes do laboratório (FERNANDES, M., 2016).

O Programa PROMED (Prototipagem Rápida para Medicina) foi criado pelo CTI em 2000. Colabora com o Ministério da Saúde e atende aproximadamente 200 hospitais públicos em todo o país.

Dentro do projeto PROMED foi concebido o software público InVesalius; usado na área médica. Foi desenvolvido pelo CTI em colaboração com pesquisadores do Departamento de Física da USP de Ribeirão Preto, em 2000, (IMPRESA

NACIONAL, 2018; JORNALUSP, 2018). O InVesalius é considerado um software inovador, e foi o primeiro do mundo de acesso livre que possibilitou integrar equipamentos de imagens médicas com impressoras 3D, permitindo antecipação no planejamento de cirurgias de alta complexidade com menores custos e maiores retornos para o paciente e os sistemas de saúde. Uma de suas funções é o tratamento de imagens e a criação do modelo digital a ser impresso em 3D (PROMED).

O nome do programa homenageia o médico belga Andreas Vesalius, reconhecido como o “pai da anatomia moderna”. Sua principal obra, o atlas de anatomia “*De Humani Corporis Fabrica*”, foi publicada em 1543. O objetivo do *software* é gerar modelos virtuais em três dimensões de estruturas anatômicas ou de anomalias, como tumores, a partir de exames de imagens de equipamentos de tomografia computadorizada, microtomografia e ressonância magnética, podendo importar imagens desses equipamentos (IMPRESA NACIONAL, CTI e MATERIALIZE, 2018).

O InVesalius tem versões para o Windows, Linux e Mac OS. Até julho de 2020 o software já havia sido traduzido para 16 idiomas, e contabilizava quase 62.866 instalações, distribuídas em 167 países. Nesta perspectiva, ele pode ser usado em diversas áreas tais como: medicina, odontologia, veterinária, paleontologia, arqueologia (visualização e reconstrução de fósseis e múmias) e engenharias e aplicá-lo na visualização e inspeção de peças e equipamentos (IMPRESA NACIONAL, 2018).

A Tabela 1, a seguir, apresenta a distribuição do *software* InVesalius no mundo (obtidos por e-mail de Paulo Amorim – CTI Renato Archer).

Tabela 1 - Distribuição do software livre InVesalius (2020)

País	Total
Brasil	13488
Estados Unidos	7126
Itália	4533
Alemanha	3839
Rússia	3349
Espanha	2334
França	1974

Polônia	1643
Reino Unido	1474
Coreia do Sul	1432
Argentina	1332
México	1186
Índia	1151
Japão	953
Austrália	871
Taiwan	865
Turquia	804
Canadá	773
Ucrania	772
Colômbia	755

Fonte: CTI Renato Archer

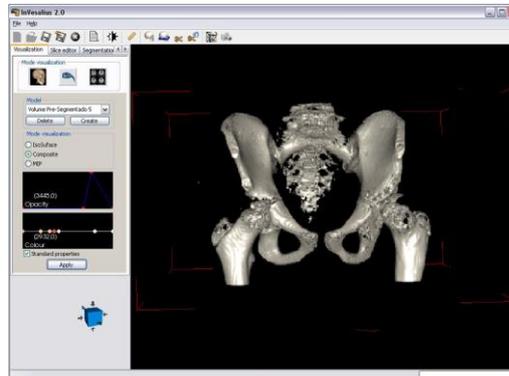
O InVesalius permite a reconstrução tridimensional de imagens bidimensionais no formato DICOM, obtidas através de equipamentos de Tomografia Computadorizada ou Ressonância Magnética. Como o padrão de comunicação de imagem na saúde é o DICOM, que é uma imagem 2D com um conjunto de normas e dados para a transmissão, armazenamento e tratamento de informações médicas, o InVesalius realiza esta conversão para um arquivo vetorial CAD 3D (IMPrensa NACIONAL, 2020).

Conforme o Dr. Jorge Vicente Lopes da Silva, diretor do CTI, é preciso não somente imagem de todos os lados do corpo do paciente em questão, mas uma sequência de tomadas feitas pelo equipamento de Tomografia Computadorizada que por algoritmos especiais criam uma sequência de imagens ou fatias chamadas de tomos. É como se fosse uma pilha de imagens no formato DICOM que são usadas para que o InVesalius (ou qualquer outro software da área) possa fazer a segmentação ou separação dos tecidos* ou regiões de interesse, gerar uma malha para impressão 3D (arquivo no formato STL) e depois, então, imprimir.

O *software* permite que o próprio cirurgião crie os modelos tridimensionais no seu computador, visualize e faça medidas sobre as imagens de seus pacientes, avaliando de modo mais detalhado o caso clínico. Uma das estratégias adotadas pelo CTI, para consolidar e facilitar as trocas de experiências e formação capacitada de recursos humanos em relação às soluções de impressão 3D é a formação de núcleos

espalhados pelo país em hospitais com atuação regional ou nacional. A Figura 11, a seguir, apresenta uma imagem criada pelo *Software InVesalius*.

Figura 11 - Projeto de Prototipagem Rápida para Medicina



Fonte: CTI – Renato Archer

A partir do modelo 3D gerado no Invesalius (Figura 11), é possível obter réplicas físicas (biomodelos) de estruturas anatômicas, utilizando equipamentos de prototipagem rápida (impressoras 3D). Os protótipos facilitam sobremaneira o diálogo entre cirurgiões e pacientes: fazer o diagnóstico, simular cirurgias que podem representar redução no tempo e custos de cirurgia e, conseqüentemente, na exposição do paciente a riscos e infecções. No planejamento cirúrgico, os biomodelos impressos são usados pelos cirurgiões para realizarem as marcações, cortes, moldagem e fixação de próteses. Associados aos biomodelos são também desenvolvidos, em caráter de pesquisa, artefatos cirúrgicos personalizados, tais como moldes de próteses para a região craniana e ferramental (SILVA, Jorge Vicente Lopes da Silva, 2018; FERNANDES, M., 2016).

Figura 12 - Prototipagem Rápida Para Medicina



Fonte: CTI Renato Archer

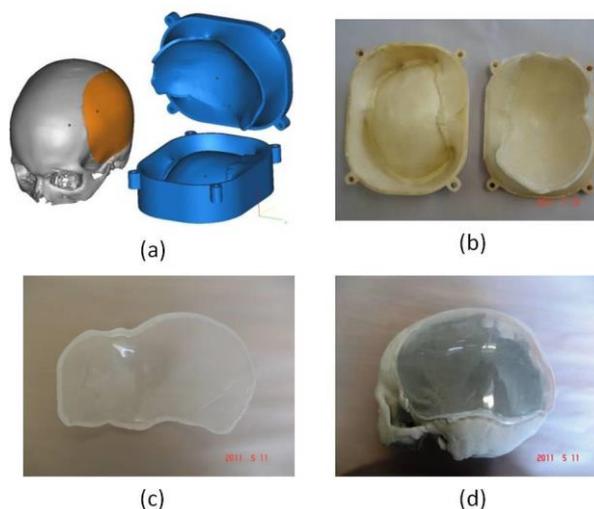
Por serem originados de imagens médicas, os protótipos são únicos e exclusivos para cada paciente, tendo as mesmas dimensões das estruturas anatômicas originais. O CTI possui atualmente quatro equipamentos comerciais de três tecnologias distintas de prototipagem rápida, e produz protótipos para pacientes da Rede Pública de Saúde, sem custos.

Em 2000, início do programa PROMED até 2015, em colaboração com o Ministério da Saúde, já haviam sido realizados 711 planejamentos cirúrgicos em hospitais de todo o País usando-se o InVesalius na criação do modelo digital e na impressão dos protótipos.

Em 2001, surge a primeira parceria entre o PROMED e o Hospital SOBRAPAR, fundado pelo Dr. Cássio Menezes Raposo do Amaral e especializado em cirurgias de crânio e face. Um dos objetivos desta parceria é o desenvolvimento de soluções de engenharia voltado para cirurgias complexas e que tenham como foco o melhor custo/benefício para Sistema Único de Saúde (PROMED e MAIA, I., 2017).

Segue, abaixo (Figura 13), um exemplo dos procedimentos adotados e das etapas de construção de um protótipo em uma cirurgia de cranioplastia entre o CTI e um hospital conveniado do SUS (MAIA, I., 2017)

Figura 13 - Procedimentos e Etapas de Protótipo para Cranioplastia



Fonte: MAIA, I.; 2017

- (a) modelagem digital do molde (feita pelo software INVESALIUS)
- (b) impressão 3D do molde, feito pelo CTI-Renato Archer

(c) moldagem da prótese usando o molde produzido em 3D

(d) teste de acoplamento da prótese em biomodelo (impresso em 3D) contendo a falha craniana.

As etapas do processo cirúrgico estão detalhadas, a seguir, pelo Dr. Pablo Maricevich, médico cirurgião plástico do Serviço de Neurocirurgia do Hospital da Restauração de Pernambuco, que trabalha em parceria com o Programa de PD&I em Tecnologias Tridimensionais para a Saúde (PROMED) do CTI (MENEZES, Rebecca RODRIGUES, Yasmi; 2016)

O Processo entre o Hospital e o CTI Renato Archer segue o seguinte protocolo:

Conforme o Dr. Jorge Lopes:

“os hospitais e/ou cirurgiões enviam a sequência de imagens DICOM (já explicado no parágrafo que trata do uso de imagens DICOM para a impressão 3D) do paciente. Junto com essas imagens ele fornece algumas outras informações para que possamos saber a região de interesse e se podemos ser ainda mais úteis no processo”.

Os responsáveis pela cirurgia devem preencher um documento que faz parte do protocolo a ser seguido entre o CTI e os hospitais conveniados.

Com a tomografia em mãos a equipe do CTI trabalha usando o InVesalius e as tecnologias de impressão 3D e em seguida os modelos são enviados por correio. O tempo é razoavelmente curto e em torno de dez dias. Seguem as etapas detalhadas:

Etapa 1 - Agente: Hospital. Neste exemplo, o paciente perdeu a metade do osso do Crânio.

- primeiramente, são feitas várias imagens tomográficas do paciente para avaliar não só extensão do traumatismo, mas também para prover o software InVesalius da sequência necessária para criar o objeto em 3D (Figura “a” acima);

- são encaminhadas as imagens da tomografia para a equipe do CTI, em Campinas, que será usada para criar o Modelo Digital em 3D do crânio do paciente usando-se o *software* InVesalius. No protocolo, junto com essas imagens o cirurgião fornece outras informações que podem ser necessárias para que o CTI esteja ciente da região de interesse e/ou outras informações que forem relevantes.

Etapa 2 - Agente: CTI Renato Archer

- recebe a imagem da tomografia do Hospital e gera o modelo 3D do crânio do paciente;
- com o modelo digital criado pelo InVesalius, o próximo passo é imprimir em 3D uma réplica da prótese (Figura “b” acima), como uma “tampa” para a região necessitada do crânio e também um molde para dar forma a esta “tampa” (Figura “b” acima);

Etapa 3 - Agente: CTI Renato Archer

- após a criação dos três modelos: Crânio danificado, prótese da região afetada e um molde da região afetada, eles imprimem os três no CTI e encaminham para o Hospital de Pernambuco.

Etapa 4 - Agente: Hospital

- em Pernambuco, os três modelos são esterilizados e entram em cirurgia;
- enquanto um cirurgião prepara o paciente, outro prepara um material chamado “cimento ósseo” (mistura de dois componentes que ao entrarem em contato começam a curar (endurecer));
- no próximo passo, o material curado é colocado no molde feito em impressão 3D;
- ao finalizar o processo de cura da “tampa”, esta é comparada com a tampa impressa em 3D e na maioria das vezes são exatamente iguais (a tampa impressa em 3D e o “cimento ósseo” curado no molde impresso em 3D). Se forem diferentes faz-se os ajustes necessários (MENEZES, R. e RODRIGUES, M.,2016)

Etapa 5 - Ator: Hospital

- o último teste efetuado antes de implantar a prótese no paciente é colocá-la no crânio 3D impresso, para ter certeza do encaixe perfeito,
- o próximo passo é implantar a prótese de cimento ósseo no crânio fraturado do paciente.

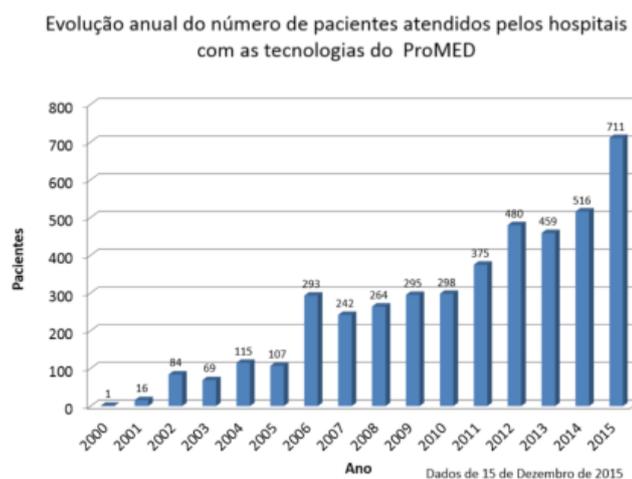
Conforme explicado acima, as próteses implantadas nos hospitais que aderiram ao PROMED ainda não são feitas em impressão 3D, elas são usadas como protótipos e moldes para a construção manual de uma prótese melhor e mais barata para o SUS.

Uma das vantagens do uso da Impressão 3D na criação de protótipos em cirurgias como a crânioplastia é que anteriormente as próteses eram feitas

manualmente e usando como molde a região afetada do crânio do paciente, muitas vezes esta confecção era feita durante a cirurgia. Portanto, com a utilização da prototipagem em 3D a prótese usada no paciente tem uma precisão milimétrica, com uma redução do tempo cirúrgico (MENEZES, R. e RODRIGUES, Y., 2016).

Associado a este projeto existe um grupo de bioengenharia para estudos de simulação mecânica de sistemas biológicos para que os modelos de próteses e órteses incorporem elevado grau de personalização, além da pesquisa em biofabricação de tecidos* e órgãos humanos (PROMED). A Figura 14, a seguir, mostra a evolução por ano do número de pacientes atendidos pelo programa PROMED, de 2000 a 2015.

Figura 14 - Evolução Anual do Pacientes do PROMED



Fonte: PROMED

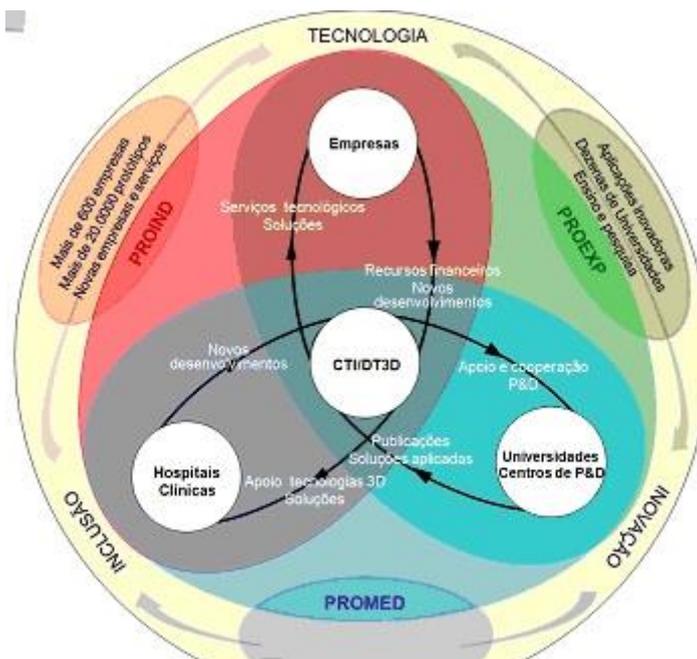
Conforme aponta Amanda Amorim Nunes, colaboradora do CTI Renato Archer, foram realizados, até a data presente, 5.800 solicitações ao programa PROMED. Existem protocolos de atendimento que devem ser preenchidos caso um médico tenha intenção em realizar alguma solicitação. O procedimento tradicional é o contato do médico cirurgião através do e-mail ProMED@cti.gov.br, por meio do qual ele encaminha as informações solicitadas via protocolo padrão para que o CTI possa analisar o modelo.

Com suporte do CNPq e da FAPESP, o PROMED desenvolve pesquisa com simulação computacional em bioengenharia e biofabricação com destaque a bioimpressão de órgãos (SILVA, J. V. L., 2018).

Outro programa concebido para atuar como indutor em aplicações no uso da Impressão 3D em experimentos científicos foi o PROEXP (Programa de PD&I de Aplicações de Tecnologias 3D em Experimentos Científicos). Surgiu em 2007, e tem como missão principal ser um colaborador ativo no uso desta tecnologia em universidades e centros de pesquisa e inovação, que não possuem uma infraestrutura qualificada para este tipo de abordagem, através do conhecimento e do suporte de pessoal, com o intuito de viabilizar experimentos científicos, por exemplo, em pesquisas de novos materiais. (CTI; FERNANDES, M.,2016; ProMED).

Na Figura 15, a seguir, é apresentado o modelo do CTI Renato Archer, os programas citados anteriormente (PROIND, PROMED e PROEXP) e as suas associações com a inclusão, a tecnologia e a inovação. Os dados citados neste modelo são de 2013).

Figura 15 - Modelo do CTI Renato Archer



Fonte: CTI Renato Archer

2.4. O Conceito de Indústria 4.0

A Primeira Revolução Industrial surgiu no Reino Unido, no fim do século XVIII, com a introdução de instalações de produção mecânica e a utilização da máquina a vapor para substituir o trabalho humano ou animal na indústria têxtil e, foi intensificada ao longo de todo o século XIX.

A Segunda Revolução Industrial veio com o advento da energia trazendo novos conceitos sobre as linhas de produção, este evento ocorreu a partir da década de 1870 quando a primeira correia transportadora foi ativada em uma fábrica de processamento de carne em Cincinnati, Ohio, nos Estados Unidos, introduzindo a produção em massa com a divisão de trabalho, ou seja, o taylorismo,* com a ajuda da eletricidade (SILVA, 2018).

A Terceira Revolução Industrial, considerada a revolução da informática, iniciou-se com a invenção do transistor no final da década de 40 culminando com o desenvolvimento do computador pessoal e novos desenvolvimentos ligados à automação que começa a fazer parte da indústria, a partir de 1970. Caracteriza-se pela informatização dos meios de produção e das tecnologias industriais. Na década seguinte, começa a produção em escala com o barateamento dos sistemas de *hardware*, que viabilizou uma evolução dos sistemas de *softwares*. Colaborando para um melhoramento no uso dos recursos, melhoria na qualidade dos produtos e serviços. Em consequência disto, a forma de produzir novos produtos se valeram dessas novas tecnologias digitais no setor industrial (Idem, Ibidem).

O conceito de Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial surgiu na Alemanha por volta de 2012, quando uma iniciativa chamada “*Industrie 4.0*”, - representada por colaboradores de empresas, da academia e da política – publicaram a ideia como uma abordagem para fortalecer a competitividade da indústria manufatureira alemã, e resulta da incorporação e do desenvolvimento de um conjunto de tecnologias de base digital. Seu conceito é de uma arquitetura holística de automação, informações comerciais e execução da fabricação para melhorar o setor com a integração de todos os aspectos da produção e do comércio em busca de uma maior eficiência nas linhas de produção. Nos Estados Unidos, eles usam o termo “Manufatura Avançada” em vez de “Indústria 4.0” (KAGERMANN *et al.*, 2013, p. 77 e LYDON, B., 2016).

O principal objetivo conceitual é criar uma base tecnológica digital possibilitando a melhoria nos processos, tornando-os mais flexíveis e eficientes, e promovendo a união dos recursos físicos e digitais, conectando máquinas, sistemas

e ativos a fim de produzir itens de maior qualidade a custos reduzidos. É importante frisar que o conceito não se limita à aplicação combinada dessas tecnologias. Toda esta conexão chamada de fábrica inteligente possibilita que o produto tenha uma identidade única, articulando um sistema produtivo aonde sua história de produção e consumo possa ser rastreada a qualquer momento, permitindo mudanças importantes ou ajustes pontuais ao longo dos processos de produção envolvidos (KAGERMANN *et al.*, 2013; LYDON, B., 2016; IEDI, 2017).

Ela é viabilizada pela evolução tecnológica de sistemas integrados para os sistemas cyber-físicos* (CPS, na sigla em Inglês), que permite a crescente digitalização dos processos da indústria de transformação. Para alcançar estes resultados, é necessário gerar um alto nível de articulação entre as principais tecnologias, também chamadas de tecnologias habilitadoras, que formam o conceito, entre as mais relevantes podemos considerar: Tecnologias de Comunicação sem Fio, Sistemas Integrados de Gestão, Robótica, Sensores e Atuadores, Internet das Coisas, Big Data, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Manufatura Aditiva e Novos Materiais, Realidade Virtual e outros (IEDI, Julho/2018).

A Figura 16, a seguir, ilustra algumas tecnologias habilitadoras consideradas os pilares da indústria 4.0.

Figura 16 - Pilares da Indústria 4.0



Fonte: ALTUS, 2009³

O governo federal alemão apoiou a ideia ao anunciar que a *Industrie 4.0* seria parte integrante da sua iniciativa “*High-Tech Strategy 2020 for Germany*”, visando

³ Para mais informações, ver: <https://www.altus.com.br/blog/categoria/2/detalhe/212/conheca-os-nove-pilares-da-industria-4-0-e-sua-relevancia-para-a-atividade-industrial>. Acessado em: 07/01/2009

atingir a liderança em inovação tecnológica. O grupo de trabalho "*Industrie 4.0*", formado posteriormente, desenvolveu as primeiras recomendações de implementação (KAGERMANN *et al.*, 2013; LYDON, B., 2016).

Dependendo da solução pode-se fazer uso de parte das tecnologias citadas acima, portanto, não há uma obrigatoriedade para que todas sejam usadas simultaneamente. Esta escolha depende exclusivamente dos projetos e das empresas (IEDI, 2018).

Dispositivos inteligentes interagem entre si e podem se comunicar de forma autônoma ao longo da cadeia de valor* possibilitando sistemas de produção mais flexíveis e colaborativos. A internet das coisas (*Internet of Things - IoT*) conecta máquinas, objetos e pessoas em tempo real, e a manufatura aditiva (impressão 3D) possibilita a customização e a personalização de produtos, e tem grande flexibilidade na produção de componentes complexos, além da diminuição das etapas de criação e impressão de um produto. A Impressão 3D é uma tecnologia digital possuindo capacidade de integração facilitada ao ambiente industrial avançado; também propicia a produção de estruturas multi-materiais e a utilização de materiais inteligentes. Portanto, estas tecnologias habilitadoras possibilitam a troca e gestão da informação permitindo que processos de produção e negócios sejam combinados criando valor para as organizações (SANTOS 2018).

É amplamente reconhecido que a capacitação tecnológica tem um papel primordial na indústria permitindo a existência de vantagens comparativas dinâmicas, fundamentais em um cenário de globalização e, portanto, de acirrada concorrência internacional (FURTADO, 1994).

Markwald (2004) destaca que as empresas intensivas em tecnologia* são as consideradas mais inovadoras e mais eficientes (produtivas), pagam salários mais altos e são mais bem-sucedidas na ampliação de seus mercados. Portanto, em um ambiente econômico caracterizado por uma grande competição entre empresas de nível global, a busca pela inovação de processos e produtos torna-se um diferencial competitivo (VOGEL, AZEVEDO, 2015).

As empresas que desejam percorrer a trajetória para a indústria 4.0 devem avaliar suas capacidades, e adaptar suas estratégias de forma a contemplá-las nos cenários apropriados. Estes desafios devem envolver o cumprimento de alguns requisitos como: responder às questões de segurança e proteção digital; padronização das interfaces de comunicação; processos e organização do trabalho;

disponibilidade de força de trabalho capacitada; formação e desenvolvimento profissional; base tecnológica; investigação e investimentos (*EUROPEAN PARLIAMENT*, 2016; SANTOS, 2018).

Os Estados Unidos, a Alemanha e a China têm se destacado entre os países que mais investem em projetos no intuito de modernizar sua indústria e potencializar a produção industrial em busca de uma liderança mundial (competitividade e produtividade). A indústria 4.0 ou manufatura avançada é considerada um novo estágio do desenvolvimento da produção industrial no mundo. Com as quedas sucessivas do PIB (2019), o Brasil necessita retomar o investimento no setor industrial e, ao mesmo tempo, transformar a sua estrutura produtiva, modernizando sua pauta de produção e exportação, seus processos produtivos e modelos de negócios (IEDI, 2018).

Na visão de Kagermann *et al.* (2013), a indústria 4.0 permite que a organização do trabalho leve em consideração as mudanças demográficas e os fatores sociais. Conceitualmente, sistemas de assistência inteligente dispensam os trabalhadores da necessidade de terem que realizar tarefas rotineiras, permitindo que se concentrem em atividades criativas e de valor agregado. Considerando que um dos principais obstáculos é a escassez de trabalhadores qualificados, deduz-se que isso permitirá que os trabalhadores mais velhos estendam sua vida profissional e permaneçam produtivos por mais tempo (KAGEMANN *et al.*, 2013).

É importante ressaltar que os artigos de Kagermann *et al.* (2013) e da *Plattform Industrie 4.0* (2014) que têm forte influência na concepção da Indústria 4.0 na Alemanha descrevem apenas uma visão tecnológica básica da ideia conceitual e os cenários selecionados sem um aprofundamento e uma sólida fundamentação conceitual e terminológica.

2.5. Impressão 3D – Tipos de Tecnologia

Conforme Padrão da ASTM, será detalhado abaixo cinco exemplos de categorias de tecnologias de Impressão 3D: a) *Vat Photopolymerization* (Fotopolimerização), b) *Powder Bed Fusion* (Fusão de leito em pó), c) *Sheet Lamination* (Laminação de Folhas), d) *Material Jetting* (Jateamento* de Materiais) e) *Material Extrusion* (Extrusão de Materiais).

2.5.1. VAT Photopolymerization

As tecnologias de impressão 3D SLA (Estereolitografia) e 3D DLP (*Digital Light Processing*) são as mais usadas no mercado, o processo usa como material uma resina de fotopolímero, que é seletivamente curada por uma fonte de luz. A diferença entre esses tipos de tecnologia de impressão 3D é a fonte de luz usada para curar a resina. A impressora SLA projeta pontos de Luz laser (Laser UV de Hélio ou Argônio), e o DLP projeta a imagem inteira do plano a ser impresso, com o uso de um projetor digital. As aplicações mais comuns são a confecção de jóias, aplicações dentárias, aparelhos auditivos e outros. Um ponto forte é o acabamento superficial suave e os pontos fracos são: as peças frágeis além de não ser adequado para peças mecânicas (3DLABB).

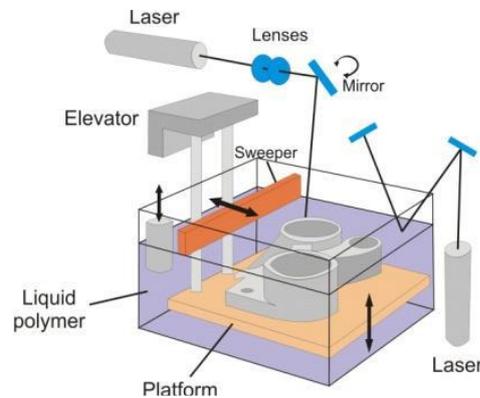
2.5.1.1. SLA (Stereolithography)

A tecnologia de impressão SLA historicamente foi a primeira tecnologia de impressão 3D do mundo e Charlie “Chuck” Hull é considerado seu inventor. O SLA é considerado um processo de prototipagem rápida e é comumente usado para produzir modelos, protótipos e algumas peças de produção exclusiva. Uma de suas qualidades é a exatidão e a precisão.

O SLA usa um laser UV (ultravioleta) e um tipo de resina líquida. O laser age sobre a resina de fotopolímeros líquidos, incidindo luz e calor em determinados pontos, definidos pelo arquivo de impressão (3DLABB e HDSTORE).

Antes do ciclo de cada impressão, uma lâmina de recobrimento se move pela superfície do reservatório (cuba) para garantir que cada camada fina da resina se espalhe uniformemente pelo compartimento de construção do Artefato. Quando a resina líquida no reservatório é atingida pelo laser UV no contorno relativo ao formato do objeto definido pelo *software*, essa parte se “solidifica” e se cola à camada inferior. Em seguida, a plataforma de suporte sobe ou desce, dependendo da impressora, uma fração de milímetro no tanque, permitindo que a resina líquida se deposite no local onde estava a última camada da parte sólida e que o processo com o laser se reinicie até a peça ser concluída. Na Figura 17, a seguir, é apresentado o esquema de impressão da tecnologia SLA.

Figura 17 - Processo SLA



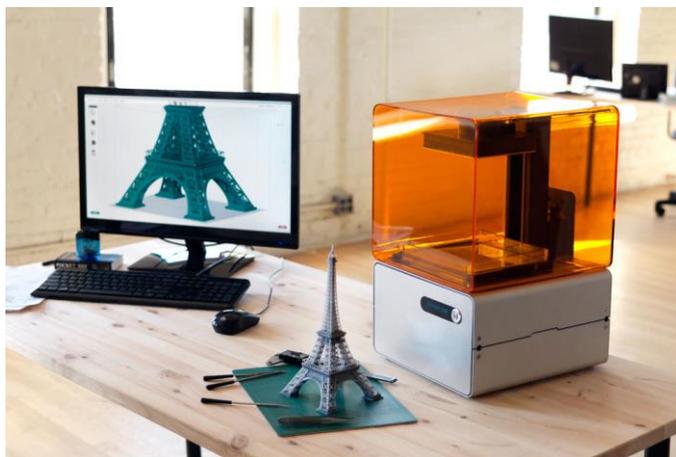
Fonte: 3DLABB e HDSTORE

De forma geral, os objetos impressos através da tecnologia SLA precisam de acabamento após a impressão, normalmente terá um banho químico para remover qualquer excesso de material e pós-cura do objeto em um forno ultravioleta tornando-o mais forte e mais estável. Em alguns casos ela poderá ser lixada e receber uma pintura profissional. Sua principal vantagem é a fabricação de peças com alto grau de complexidade e detalhes, sendo bastante utilizada na odontologia e joalheria. Possui um custo de produção bem mais elevado que a tecnologia FDM (extrusão). Está se tornando uma opção econômica preferida para uma ampla variedade de indústrias (automotiva, médica, aeroespacial e entretenimento) (3DLABB e HDSTORE).

A maioria das impressoras SLA usa um laser de estado sólido* para curar peças. A desvantagem desse tipo de tecnologia de impressão 3D usando o laser é em razão de levar mais tempo para rastrear a seção transversal de um objeto se comparada à Tecnologia de impressão 3D, *Digital Light Processing* - DLP.

Na Figura 18, a seguir, é apresentado um exemplo de uma impressora SLA.

Figura 18 - Impressora 3D SLA



Fonte: FAZEDORES, 2013⁴

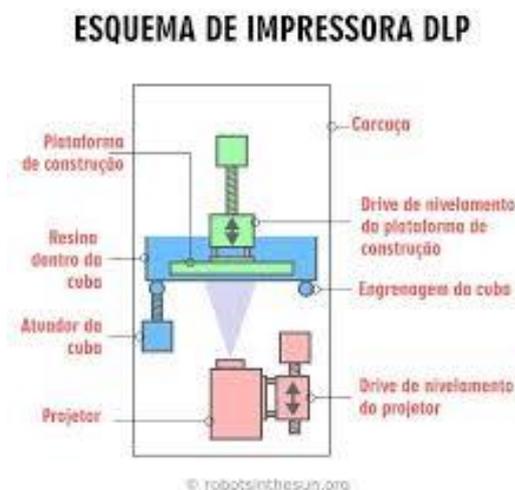
2.5.1.2. Processamento de Luz Direta DLP (*Digital Light Processing*)

A tecnologia de impressão 3D DLP foi criada em 1987 por Larry Hornbeck. Também usa fotopolímeros como o SLA. O DLP tem uma ótima velocidade de impressão, havendo muita luz, a resina endurece, em segundos.

Esta tecnologia usa um projetor de luz digital para gerar uma única imagem de cada camada de uma vez ou vários flashes para partes maiores. Como o projetor é uma tela digital, a imagem de cada camada é composta de pixels quadrados, resultando em uma camada formada por pequenos blocos retangulares chamados voxels.* Os tempos de impressão são mais rápidos em comparação com a impressão 3D SLA. Na Figura 19, a seguir, é apresentado o esquema de uma impressão usando uma impressora 3D DLP.

⁴ Para mais informações, consultar: <https://blog.fazedores.com/wp-content/uploads/2013/12/Form-1-on-Desk-low-res.jpg>

Figura 19 - Impressora DPL



Fonte: 3DLABB

Outro ponto positivo desta tecnologia é a alta resolução na impressão. Também é considerada mais econômica que a tecnologia SLA e com a capacidade de usar materiais mais baratos para objetos complexos e detalhados. Uma das vantagens é que além de reduzir o desperdício, também reduz os custos de impressão (3DLABB).

2.5.2. Fusão de pó metálico (*powder bed fusion*)

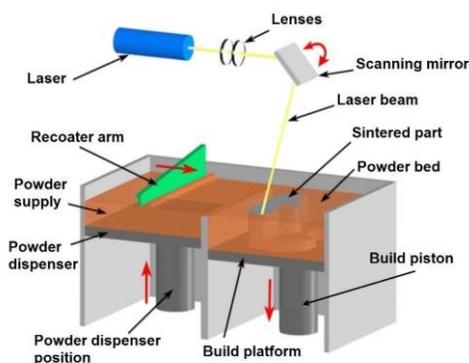
Estas tecnologias usam fontes de energia (lasers ou feixes de elétrons) para induzir a fusão entre partículas de pó metálico (alumínio, aço ou titânio). Mecanismos na impressora adicionam o pó metálico à medida que o objeto vai sendo construído. Suas aplicações mais utilizadas são no setor aeroespacial, automotivo, medicina e odontologia. Vem sendo utilizada progressivamente na indústria em razão da qualidade do produto final (mais forte e funcional) e tem como uma das características a possibilidade de criar artefatos com geometrias complexas. O custo do equipamento também é o mais caro entre as tecnologias de impressão (3DLABB). O preço é acima de 200 mil euros.

2.5.2.1. *Direct Metal Laser Sintering - DMLS*

A tecnologia 3D DMLS usa uma fonte de laser de alta potência para fundir as partículas dos metais e formar as camadas do objeto. Uma de suas vantagens é a criação de peças finais complexas. Tanto a impressora quanto as peças impressas possuem um custo altíssimo comparado com outras tecnologias 3D, por isso é usada em poucas áreas, sendo estas principalmente a indústria aeroespacial, a medicina e a odontologia (3DLABB).

O material em pó é distribuído por um braço de metal que desliza sobre a plataforma da impressão. O arquivo 3D dirige o laser para pontos específicos da substância em pó, que funde o pó de metal e une suas partículas, transformando-o em um material sólido. A plataforma de impressão é então rebaixada a uma medida igual à espessura de uma camada. Mais uma vez, o braço de metal distribui mais pó sobre a plataforma que é aquecida pelo laser, e todo o processo se repete até que todas as camadas tenham sido concluídas (PT.3dilla.com). Na Figura 20, a seguir, segue o esquema de uma impressora 3D DMLS.

Figura 20 - Processo DMLS



Fonte: 3DLAB, 2020⁵

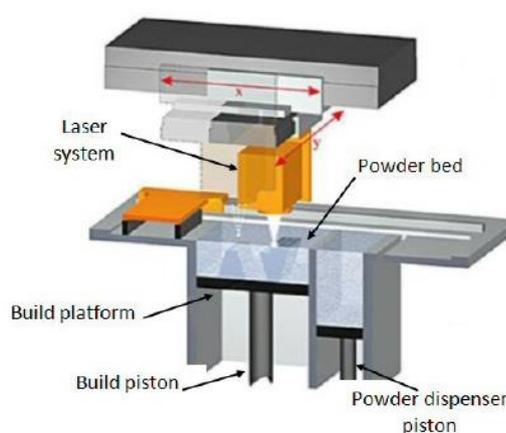
A tecnologia DMLS trabalha com pó composto de vários materiais com diferentes pontos de fusão, que se fundem a nível molecular, formando ligas metálicas.

2.5.2.2. *Selective Laser Melting - SLM*

⁵ Disponível em: <https://3dlab.com.br>. Acessado em 10/07/20.

A tecnologia de impressão 3D SLM usa o laser para obter uma fusão completa do pó metálico, formando uma parte homogênea. Assim ele resulta em uma peça que tem uma temperatura de fusão única. Essa é a principal diferença entre o DMLS e o SLM. A primeira tecnologia produz partes de ligas metálicas, enquanto a segunda cria artefatos de materiais de elemento único, como o titânio (3DLABB). Na Figura 21, a seguir, é apresentado o esquema de uma impressora 3D SLM.

Figura 21 - Impressão processo SLM



Fonte: 3DLABB

Os processos DMLS e SLM requerem suporte estrutural no objeto a ser impresso, a fim de limitar a possibilidade de qualquer distorção que possa ocorrer (apesar do fato que o pó circundante não sinterizado que sobra fornece também em parte um suporte físico). As peças produzidas no DMLS / SLM possuem risco de deformação devido às tensões residuais produzidas durante a impressão, por causa das altas temperaturas. Portanto, no pós-processamento as peças podem ser tratadas termicamente após a impressão, enquanto ainda são fixadas na mesa, para aliviar qualquer tensão (3DLABB).

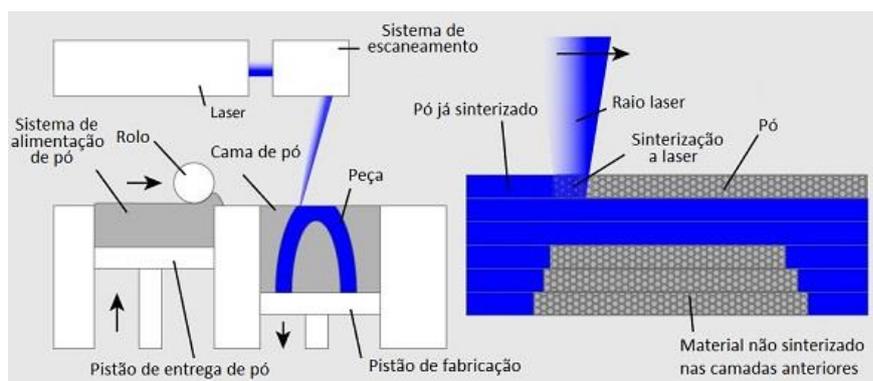
2.5.2.3. Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

A tecnologia de impressão 3D SLS foi criada e patenteada por *Carl Deckard*, doutor na Universidade do Texas, em meados da década de 80 e contando com o patrocínio da DARPA (Agência de Projeto de Pesquisa Avançada de Defesa dos Estados Unidos). É uma técnica de impressão 3D que usa laser de CO₂ de alta

potência para fundir as partículas. É um processo que tem como vantagem a velocidade e a qualidade (3DLABB e HDSTORE).

O processo consiste em utilizar um recipiente de pó de polímero aquecido a uma temperatura logo abaixo do ponto de fusão do mesmo. Em seguida, uma lâmina de recobrimento (Sistema de alimentação de pó) ou limpador deposita uma camada muito fina do material em pó – geralmente 0,1 mm de espessura – sobre uma plataforma de construção. Um raio laser de CO₂ começa então a escanear a superfície. O laser irá seletivamente sinterizar o pó e solidificar uma seção transversal do objeto. Outra camada é aplicada e assim sucessivamente, em um ciclo contínuo que só termina quando o produto está pronto. O pó que não for atingido pelo laser permanece em sua forma natural, e, com isso, acaba servindo como próprio suporte do artefato (3DLABB; HDSTORE). Na Figura 22, a seguir, é apresentado o esquema de uma impressora 3D SLS.

Figura 22 - Impressão com processo 3D SLS



Fonte: 3DLABB, HDSTORE

Aplicações mais comuns: peças funcionais e produção de peças de baixa produção. Entre seus pontos fortes estão: a produção de artefatos funcionais finais e protótipos com boas propriedades mecânicas e peças com geometria complexa. Não há necessidade de suporte para o modelo (3DLABB; HDSTORE).

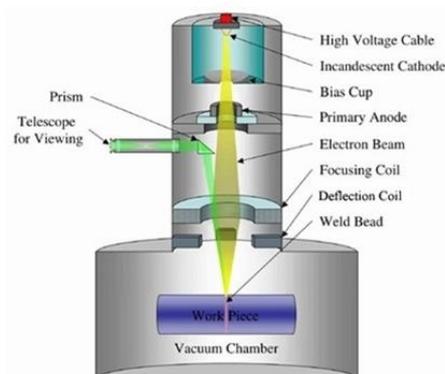
Essa técnica permite produzir peças com uma gama relativamente ampla de materiais, tais como pó termoplástico (Nylon 6, Nylon 11, Nylon 12), vidro e cerâmica e alguns metais como alumínio, prata ou aço. Suas principais desvantagens são o alto custo do material e da impressora e o tempo de impressão. O custo é mais alto que a impressão utilizando a tecnologia de extrusão (FDM ou FFF) para aplicações funcionais (3DLABB).

2.5.2.4. Derretimento por feixe de elétrons (*Electron Beam Melting - EBM*)

A tecnologia de impressão 3D EBM é outro tipo de fabricação de aditivos para peças metálicas usando a técnica de fusão de pó e tendo como fonte de energia um feixe de elétrons. Foi criada pela Arcam AB Inc., em 2000. O EBM derrete totalmente o pó de metal. Assim o processo é geralmente conduzido sob alta temperatura de até 1000° C (3DLABB).

É bastante lento e caro, e a disponibilidade de materiais é limitada. Portanto, o método não é tão popular, embora ainda seja usado em alguns processos de fabricação. Atualmente, os materiais que são usados na fabricação das peças são: o Titânio, Inconel 718 e Inconel 625 comercialmente puros. A aplicação de EBM é principalmente focada em implantes médicos e na área aeroespacial. Na Figura 23, a seguir, é apresentado o esquema de uma impressora 3D EBM.

Figura 23 - Processo de impressão 3D EBM



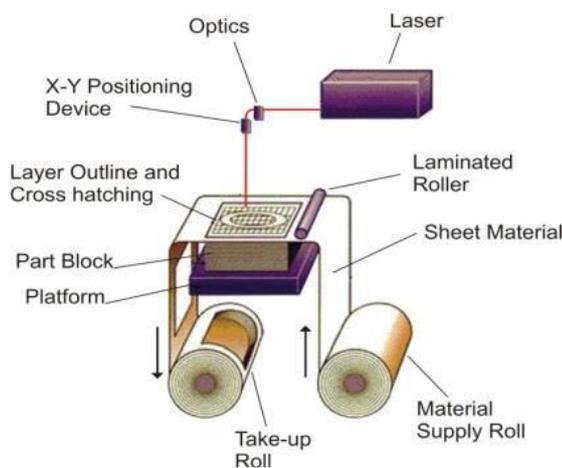
Fonte: 3DLABB

2.5.3. Adição de Lâminas (*Sheet Lamination*)

2.5.3.1. Fabricação de objetos laminados (*Laminated Object Manufacturing - LOM*)

A tecnologia de impressão 3D LOM foi desenvolvida pela empresa Helisys Inc., sediada na Califórnia. Durante o processo LOM, camadas de papel revestido com adesivo, plástico ou laminados de metal são fundidos usando calor e pressão e, em seguida, cortados com um laser controlado por computador ou uma faca. As folhas usadas são contínuas, revestidas com um adesivo. O rolo aquecido que é passado sobre a folha de material derrete seu adesivo, então o Laser traça as dimensões da peça. Concluindo uma etapa por camada, a plataforma é movida para baixo por cerca de um décimo de polegada. Uma nova folha do material é puxada e colocada sobre a plataforma sendo aderida à última camada por um rolo aquecido. Na finalização do processo de impressão, o excesso de material será cortado e a peça poderá ser lixada ou selada com uma tinta. Se o papel for utilizado o objeto impresso terá propriedades semelhantes à madeira, o que significa que ele precisa ser protegido da umidade. O pós-processamento das peças inclui etapas como usinagem e furação (3DLABB). Na Figura 24, a seguir, é apresentado o esquema de uma impressora 3D LOM.

Figura 24 - Processo de impressão 3D LOM



Fonte: 3DLABB

O LOM não é um método de impressão 3D mais popular, mas um dos mais acessíveis e rápidos. Isto porque o custo de impressão é baixo devido ao preço mais acessível das matérias-primas (3DLABB).

2.5.4. Jateamento de Material (*material jetting*)

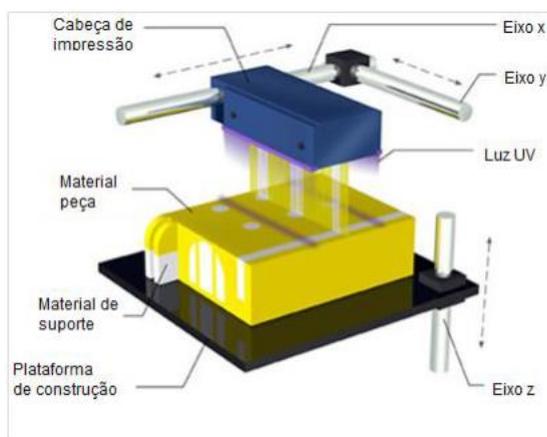
2.5.4.1. Jato de tinta (*Inkjet*)

A tecnologia de impressão *3D inkjet* derivou da impressora 2D a jato de tinta, nessa tecnologia são os jatos que criam as formas do objeto e são divididas em duas modalidades e são curadas com luz UV:

1) A primeira modalidade utiliza um material aglutinante, por exemplo, a cerâmica, que é lançado pelo jato sobre um pó de resina plástica. Em contato com o pó de resina, ele se funde e solidifica, dando origem às formas.

2) Na segunda modalidade o material liberado pelo jato é a própria tinta. Geralmente, elas possuem muitas cabeças de impressão que, atuando todas ao mesmo tempo, favorecem que um objeto seja construído utilizando-se diferentes materiais (biofabricação). Na Figura 25, a seguir, é apresentado o esquema da impressora *3D Inkjet*.

Figura 25 - Processo de impressão *3D Inkjet*



Fonte: 3DLABB

Uma das desvantagens da impressora a jato de tinta é que envolve maiores custos e também consome mais tempo. A matéria-prima é disponibilizada sobre a forma de cartucho (3DLABB). Uma das vantagens da impressora é que ela permite a impressão em cores, mas não é muito utilizada em razão do custo-benefício ser muito baixo.

2.5.4.2. PolyJet

Semelhante à Inkjet (jato de tinta), a PolyJet em vez de jatear gotas de tinta sobre um pó de resina plástica, jateia camadas de um fotopolímero líquido curável sobre uma bandeja de montagem as quais são curadas com luz UV. Uma de suas vantagens é a de permitir imprimir uma mesma peça com cores e texturas diferentes com excelente acabamento final. Possui um alto custo de impressão (3DLABB).

2.5.5. Extrusão de material (*material extrusion*)

2.5.5.1. Modelagem por Deposição de Fundido (*Fused Deposition Modeling - FDM*) ou Fabricação por Filamento Fundido (*Fused Filament Fabrication - FFF*)

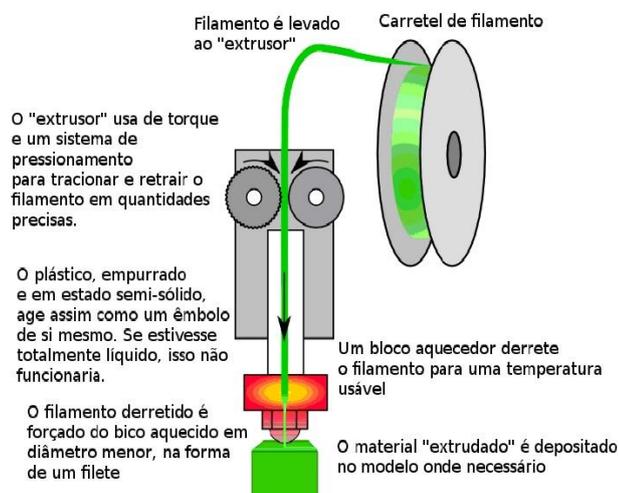
O inventor da tecnologia FDM (técnica de Modelagem por Deposição de Fundido) foi Scott Crump, em fins da década de 1980. As impressoras de extrusão são os tipos mais comuns de impressoras 3D. Por ser um método mais barato, as impressoras que utilizam esta técnica possuem um preço mais baixo. Também é o método mais usado pelos consumidores domésticos (HDSTORE).

A seguir, o detalhamento do método da impressora de extrusão FDM:

- um filamento plástico ou metálico é colocado sobre um carretel (Ex: PLA, ABS, PETG, Flexível, HIPS – entre outros);
- o filamento é tracionado por um mecanismo que o conduz a um bico aquecido de extrusão;
- o extrusor derrete o material e faz a impressão depositando-o de forma contínua;
- o objeto é produzido pela superposição das camadas impressas;

- a impressora se desloca sempre em três eixos (X, Y, Z) e no eixo de extrusão, seguindo as coordenadas fornecidas por um software de fatiamento (HDSTORE). Na Figura 26, a seguir, é apresentado o esquema da impressora 3D FDM.

Figura 26 - Processo FDM



Fonte: GITHUBUSER ⁶

O poli ácido láctico (PLA) é um dos dois filamentos de impressão 3D mais utilizados no mercado (sendo o outro o filamento ABS). É o material recomendado "padrão" para muitas impressoras 3D para desktop, além de ser útil em uma ampla gama de aplicações de impressão, tem a virtude de ser inodoro e de baixa distorção e não requer uma cama aquecida. Em comparação com o filamento de PLA, o plástico ABS é menos "frágil" e mais "flexível". Ele também pode ser pós-processado com acetona para fornecer um acabamento brilhante (HDSTORE).

Outra vantagem desse tipo de fabricação em relação aos demais tipos é o preço do material, além de ser mais fácil de armazenar e usar também possui mais materiais disponíveis para estudo além de um grande número de impressoras no mercado com preços mais acessíveis (a partir de R\$1.800,00) permitindo que o pequeno empreendedor ou até as grandes empresas tenham acesso a essa tecnologia. A técnica FDM não necessita de muito tratamento pós-impressão, sendo necessária normalmente a retirada dos suportes do artefato, quando existentes, o qual pode ser feita de forma mecânica ou feita de maneira química. Suas desvantagens são a necessidade de suporte dependendo da geometria da peça e a

⁶ Para mais informações, ver:

<https://raw.githubusercontent.com/Patola/ebook/master/imagens/explicacaoff.png>

menor qualidade no acabamento das impressões comparado com a de outros métodos (FLUXOCONSULTORIA).

A limitação deste método é a dificuldade em apresentar muitos detalhes (o que é definido como baixa resolução) e peças menos resistentes que as usinadas. Dependendo da complexidade da geometria do objeto a ser produzido, o tempo de impressão aumenta exponencialmente (3DLABB e HDSTORE).

Comparado ao SLA, o FDM tem uma velocidade de impressão mais lenta. O tempo total de impressão depende do tamanho e da complexidade do seu modelo. Objetos pequenos podem ser concluídos com relativa rapidez, enquanto peças maiores e mais complexas precisam de mais tempo. A tecnologia FDM é hoje amplamente difundida e usada em indústrias como fabricantes de automóveis, produtores de alimentos e fabricantes de brinquedos (3DLABB).

3. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D: O DESENVOLVIMENTO NO BRASIL

Nos subitens deste capítulo serão abordados :

- As iniciativas dos principais fornecedores da Tecnologia de Impressão 3D no Brasil.
- Um breve histórico sobre os Planos de Governo de 2008 a 2018 relacionados a Indústria 4.0 e a pesquisa em inovação no Brasil.
- Os projetos e as perspectivas da utilização da Impressão 3D na Saúde no Brasil.
- As ONGS e o desenvolvimento de próteses usando as tecnologias de impressão 3D para as crianças não atendidas pelo SUS.
- A Bioimpressão e as pesquisas na produção de órgãos e dispositivos médicos

3.1. NA INDÚSTRIA

3.1.1. A Impressão 3D/Manufatura Aditiva – Iniciativas nas Indústrias

A indústria é considerada o grande mercado na utilização da Manufatura aditiva não só no Brasil como em todo mundo. O avanço da pesquisa em novos materiais e as melhorias efetuadas principalmente nas impressoras 3D de metal tem permitido uma melhor aceitação na utilização desta tecnologia para a criação de produtos finais para a indústria, embora especialistas considerem que a tecnologia ainda caminha a passos lentos a sua total aceitação pela indústria (SOFFNER, 2018).

A grande maioria dos atuais equipamentos de impressão 3D comprados pela Indústria Brasileira é fabricada nos Estados Unidos, Alemanha e Suécia. O uso da impressão 3D para fabricação de produtos acabados ocorre principalmente nos seguintes setores: na Medicina principalmente na confecção de biomodelos e próteses; na Odontologia na confecção de pontes, coroas e implantes dentários; no setor automotivo e na aeronáutica. Estima-se que o mercado de impressão 3D represente US\$ 10 milhões por ano, no Brasil (EXPORT, 2017).

Em 2018, a fabricante norte-americana “*Makerbot*” anunciou parcerias estratégicas no Brasil com distribuidores e produtores de software, como exemplo pode-se citar a Alcatéia que passou a fornecer nas suas revendas e canais todo o portfólio de impressoras 3D e suprimentos da companhia. A Alcatéia é uma das

maiores empresas de distribuição de capital brasileiro. A Autodesk também tem ampliado sua participação no Brasil com a venda de softwares (destacado entre eles o FUSION 360*) e impressoras, além de ter como objetivo ser um impulsionador do uso da tecnologia de impressão 3D no Brasil. Usando o conceito de design generativo* (software da Autodesk) e manufatura aditiva, a *General Motors* do Brasil unificou oito componentes criando uma pequena peça, porém importante – um suporte de banco, onde os cintos de segurança são fixados (SOFFNER, 2018 e CABELLOS, Gabriel, 2018).

Uma alternativa ao alto investimento em equipamentos fez com que a Stratasys firmasse parcerias financeiras para reduzir o investimento inicial na aquisição de uma impressora 3D. Outras soluções que estão se tornando viáveis são os prestadores de serviços focados no aluguel de equipamentos sob demanda. O que tem sido percebido há alguns anos é que ter uma impressora 3D em cada domicílio como foi possível com a impressora 2D ainda é apenas uma ideia distante (SOFFNER, 2018).

O setor automobilístico tem sido apontado como um dos setores da indústria que vem construindo casos de sucesso com a utilização da impressão 3D, neste caso, a tecnologia não é apenas mais um diferencial e, sim, uma necessidade real de produção de peças com geometrias complexas que uma usinagem, por exemplo, não seria capaz de entregar com o mesmo custo e tempo (Idem, ibidem).

A 3D Systems, uma das gigantes no setor de impressão 3D, há cerca de três anos criou uma estrutura local para dar maior suporte aos revendedores e ao mercado como um todo no Brasil. A consequência para o Brasil foi ter o maior parque de impressoras 3D da América Latina. Pesquisas revelam que nos últimos anos este segmento cresceu em torno de 30%, mesmo com as dificuldades econômicas que o país tem passado desde 2014 (Idem, ibidem).

A GE CELMA é a maior oficina de manutenção de motores aeronáuticos no Brasil e uma das principais do mundo, a GE Aviation também utiliza recursos digitais e a manufatura aditiva para impulsionar a produtividade e a confiabilidade da aviação mundial.

Presente desde 2015 na GE CELMA, a manufatura aditiva é utilizada no processo de mascaramento para atividades de jateamento*, plasma e lubrificantes. Desta forma, a empresa consegue aperfeiçoar os fluxos, economizar materiais e reduzir o trabalho puramente braçal. Em 2016, a empresa consumiu mais de 50 mil

horas em processos de mascaramento. Agora, basta criar o molde e imprimi-lo nas dimensões necessárias (TRIBUNA DE PETROPOLIS, 2018 e AEROFLAP; 2018).

As primeiras impressoras 3D que vieram para a fábrica GE CELMA em Petrópolis (Rio de Janeiro), unidade da GE Aviation no Brasil, usavam como material o termoplástico (ABS) e depois de testes efetuados em altas temperaturas eles perceberam que havia limitações. Assim nasce concepção do uso da junção de nylon e fibra de carbono, uma liga bem mais resistente que o ABS, mais leve e de impressão muito mais rápida. A impressão usando o nylon 12 CF FDM – termoplástico com fibra de carbono - possui a capacidade de substituir componentes metálicos (CAIAFA, Roberto; 2018 e AEROFLAP; 2018).

Além da redução significativa do tempo de produção de alguns itens (de horas para minutos), também há uma economia significativa no material utilizado para a revisão e a manutenção das peças e dos motores (CAIAFA, 2018).

A empresa Natura utiliza a impressão 3D desde 2017 e seu portfólio de produção inclui pinças, garras, tampas de motores e peças de plástico que posicionam os frascos a serem embalados na linha de montagem. O custo de algumas peças sai por menos de um décimo caso houvesse necessidade de importar, permitindo, portanto a redução de estoques na empresa (FOLHA, Agosto/2018).

No Brasil, outra grande barreira para a utilização da geração digital ainda é o desconhecimento. A pesquisa feita pela Federação das Indústrias de São Paulo (FIESP) com 227 empresas considerou que 40% das pequenas empresas desconhecem o tema Indústria 4.0. Entre as grandes empresas, o percentual fica em 3%. Uma das barreiras ainda continua sendo o custo do investimento e conseqüentemente a falta de recursos para 32% das empresas. O nível de otimismo com relação à indústria 4.0 em 2018: 40% muito otimista, 39% pouco otimista, 15% pessimista e 7% indiferente (FOLHA, Agosto/2018).

A indústria Brasileira perdeu competitividade no mercado internacional. A participação da produção do Brasil no mundo caiu de 2,9% no ano 2000 para 1,84% em 2016. Para 2022, a CNI espera a interrupção do ciclo de queda, iniciado em 2013, e o aumento da participação brasileira na manufatura mundial de 1,84% para 1,87% (idem)

A *MAN Latin América*, fabricante de ônibus sediada em Resende (RJ), usa a impressão 3D na geração de protótipos com duas vantagens adicionais, redução de

aproximadamente 80% no custo de elaboração dos componentes além de uma economia de tempo gasto de meses para algumas horas (ALMEIDA. M., 2018).

3.1.2. Planos de Governo – Indústria 4.0

Neste capítulo, serão apresentados os Planos do Governo Federal e suas políticas de desenvolvimento para alavancar a indústria no Brasil, os impactos positivos (produtividade, diminuição de custos) consolidando assim o conceito de inovação e a utilização de tecnologias habilitadoras para aumentar a competitividade da indústria nacional. Como citado em capítulos anteriores, a manufatura aditiva faz parte deste universo das tecnologias habilitadoras.

A capacidade de inovar das empresas é fator determinante para assegurar o desenvolvimento social, econômico e ambiental do Brasil. A Inovação é um requisito para a competição nos mercados globais, gerando ganhos de produtividade, criando empregos de qualidade e permitindo a evolução da renda de modo sustentável. Além disso, fortalece a indústria e melhora a qualidade de vida das pessoas (CNI, MEI; 2016).

Em 2004, durante o primeiro mandato do Presidente Luis Inácio Lula da Silva, conforme a Confederação Nacional da Indústria (CNI), um novo conjunto de políticas de desenvolvimento foi criado, com foco na inovação tecnológica, com destaque para a Política Industrial Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), que propiciou a aprovação da Lei 10.973, de 2 de dezembro de 2004 (Lei da Inovação)* e da Lei 11.196, de 21 de novembro de 2005 (Lei do Bem)*. A Lei da inovação incorporava propostas estratégicas consideradas inéditas, tais como, o estabelecimento de parcerias entre universidades, institutos públicos de pesquisa, pesquisadores e empresas, estímulo ao empreendedorismo e à proteção da propriedade intelectual, criação de estrutura legal apropriada para as empresas inovadoras, além da abertura, mediante remuneração, das instalações laboratoriais públicas e a criação de regime de compras governamentais no campo da alta tecnologia (ARBIX, G., 2010).

Estes instrumentos ainda são considerados estratégicos na política de ciência e tecnologia com o objetivo de apresentar impactos positivos no setor industrial brasileiro. Os novos incentivos a P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) definidos por esses novos dispositivos se assemelhavam com os sistemas de estímulo à indústria

mais avançados do Mundo. Várias instituições foram criadas, tais como a Empresa de Base Tecnológica (EBT), a Instituição Científica e Tecnológica no Estado do Rio de Janeiro (ICT), pela Lei nº 5.361, de 29 de dezembro de 2008, entre outras, com aumento substancial do volume de financiamento público e crescimento do investimento privado em P&D (CNI,MEI; 2016).

Em 2008, durante o Governo do Presidente Luis Inácio Lula da Silva foi lançado o Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) com o objetivo principal de proporcionar o aumento do investimento agregado* na indústria e aumentar sua capacidade produtiva. Com relação ao PDP, em um artigo de 2016, Glauco Arbix tece críticas ao direcionamento do programa que sob a gestão do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), manteve as mesmas estratégias usadas para a política industrial preservando as características tradicionais de farto subsídio e mecanismos de proteção contra a concorrência internacional. Portanto, se o objetivo principal do PDP era acelerar os processos de inovação não teve sucesso esperado, pois consolidou investimentos contemplando os 24 setores da economia, muitos dos quais não tinham nenhuma conexão com as novas tendências internacionais ligados à inovação (ARBIX, Glauco *et al.*, 2016).

Em agosto de 2011, no mandato da Presidenta Dilma Rousseff é criado o Plano Brasil Maior (PBM), com o objetivo de articular os esforços de política industrial do Governo Federal para o período de 2011 a 2014, com foco no estímulo à inovação e à competitividade da indústria brasileira. O PBM dá continuidade aos avanços obtidos com os programas PITCE (2003-2007) e o programa PDP (2008-2010), conforme o BNDES (ARBIX, Glauco *et al.*, 2016; ARBIX,MIRANDA, Zil; 2017).

Em 2013, o Governo Federal cria a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII), uma organização social (OS), com o objetivo de apoiar o desenvolvimento e serviços tecnológicos com a cooperação entre empresas e centros de pesquisa, públicos e privados. Sua flexibilidade permitia que as ICTs (instituições científicas, tecnológicas e de inovação) credenciadas pudessem trabalhar com planos de longo prazo (CNI, MEI; 2016).

A EMBRAPII, diferentemente da Embrapa, não é um órgão estatal e também não realiza diretamente pesquisas e desenvolvimento tecnológico. Sua atuação ocorre na certificação dos institutos de pesquisa que, por essa via, tornam-se habilitados a executar o desenvolvimento de projetos junto às empresas. O apoio vem na forma de repasses de recursos públicos, que é o equivalente a 1/3 do

necessário à execução dos projetos contratados, sendo o restante dividido entre o instituto conveniado e a empresa que figura como parte interessada (PLANALTO).

Em março de 2013, o Programa Inova Empresa (PIE) foi lançado oficialmente pelo Governo Federal. Foi o primeiro na história do Brasil inteiramente voltado para o apoio à inovação tecnológica. Executado pela FINEP e pelo BNDES o Programa, representou um avanço do ponto de vista do volume de investimento destinado à inovação (R\$ 32,9 bilhões). Segundo Glauco Arbix (2016), a demanda agregada* depositada no BNDES e na FINEP atingiu cerca de R\$100 bilhões, o que facilitou desmistificar avaliações que tentavam caracterizar a ausência de disposição na época para a inovação da maior parte das empresas brasileiras.

Além da afirmação de um foco claro na inovação o PIE contribuiu para identificar que o Brasil precisava urgentemente de novos instrumentos, programas e instituições, pois a diversificação do sistema nacional de inovação, apesar dos avanços, ainda era insuficiente para dar conta dos desafios colocados para a economia brasileira.

O PIE tinha a uma proposta arrojada de prover na época as mais avançadas políticas de inovação que se perderam com o PDP e o PBM. Nesses dois últimos planos, a inovação foi preterida e cedeu lugar a pressão das forças conservadoras do estado brasileiro, os instrumentos utilizados foram considerados ineficientes para economias com pretensões locais, de concorrência limitada e protegida pelo manto do estado. Ainda que o financiamento seja em grande medida considerado de responsabilidade do Estado, a definição de projetos, tal como previsto no PIE, se realizou de forma conjunta com a participação entre agentes de mercado e da pesquisa. Foi o modo encontrado para a identificação de novas competências, voltadas para elevação do patamar tecnológico da indústria, distanciando-se, portanto, das formas usuais de financiamento, apenas direcionados para atender demandas empresariais (ARBIX, 2016).

Mais de 2.700 empresas e 223 instituições de pesquisa demandaram R\$ 98,7 bilhões no conjunto de 12 editais da família Inova Empresa (Idem, Ibidem).

Os principais objetivos elencados foram: Combinação sinérgica de quatro grandes áreas do conhecimento: a nanotecnologia, a biotecnologia, as tecnologias da informação e da comunicação e as ciências cognitivas (neurociências) e o desenvolvimento da Manufatura avançada. Os principais resultados esperados eram: o aumento global da competitividade da indústria do País e o desenvolvimento

de setores intensivos em tecnologia e conhecimento, o incremento da produtividade do trabalho e a expansão espacial e geográfica da indústria nacional de alta tecnologia e o correspondente aumento de participação nas exportações mundiais (CNI, 2016).

Na visão de alguns especialistas a indústria brasileira perpetua uma acomodação típica das economias de concorrência limitada, subsídios fartos e não controlados e protecionismo, contribuindo desta forma, para a manutenção do *gap* e do distanciamento tecnológico do Brasil em relação aos principais polos tecnológicos mundiais (Estados Unidos, China, Coreia do Sul, Singapura, França, Alemanha e outros), mantendo o baixo desempenho nas indústrias e sua dependência na exportação de *commodities*, ficando a margem da economia mundial. Neste sentido, é perceptível que o esforço de implantação das tecnologias conhecidas como habilitadoras (manufatura aditiva, robótica, Internet das coisas, Sistemas Cyber-Físico entre outras) ainda demandará um longo caminho a ser percorrido. A inovação consiste do aprimoramento de habilidades de quem produz o trabalho em consonância com novas ideias, processos, produtos, tecnologia, modelos avançados de produção e pessoas (ARBIX *et al.*, 2016; ARBIX, MIRANDA, Zil; 2017).

Embora iniciativas ligadas à inovação tenham sido formuladas no período de 2008-2013, ressalta-se que ao contrário das economias avançadas, o Brasil ainda não elaborou uma estratégia nacional ligada a Indústria 4.0 de grande monta. No entanto, há a necessidade de uma formulação da estratégia a nível nacional, que trate das deficiências estruturais dos nossos ecossistemas de inovação de multiparcerias (empresas e instituições de pesquisa, locais ou internacionais), e, assim, avance o projeto de desenvolvimento socioeconômico brasileiro (MARSH, 2017; NOLAN, 2017).

É importante ressaltar que novos padrões na indústria estão sendo definidos, relacionados à manufatura aditiva no que tange a produção, segurança e qualidade dos produtos criados a partir das experiências da Manufatura Avançada (termo usado nos EUA para denotar o conceito de Indústria 4.0), Indústria 4.0 (termo usado na Alemanha) e Indústria do Futuro (termo usado na França para denotar o conceito de Indústria 4.0) (ARBIX, MIRANDA, Zil; 2017).

As janelas de oportunidades para o uso da manufatura aditiva na indústria estão ganhando cada vez mais força quando se compara a redução nos custos de produção, economia de materiais, o consumo de energia, a personalização dos

produtos e a diminuição da cadeia de suprimentos para os produtos que já vem sendo comercializados usando esta tecnologia, embora vários especialistas afirmem que a manufatura aditiva não substituirá a indústria de fabricação convencional na sua totalidade. Ela se sobressairá potencialmente em produtos que necessitem de personalização de acordo com o cliente, ferramental e gabaritos usados como acessórios na indústria e novos artefatos complexos com um novo design para garantir as mesmas funcionalidades dos produtos existentes (a indústria aeroespacial e aeronáutica tem se beneficiado desta vantagem competitiva) (ROTTA, 2019; ARBIX, MIRANDA, Zil; 2017).

Os gastos em P&D são uma medida do esforço de um país para estimular o desenvolvimento. Envolvem um conjunto de atividades, feitas por empresas, universidades e outras instituições científicas, que inclui os resultados de pesquisa básica e aplicada, o lançamento de novos produtos e a formação de pesquisadores e profissionais qualificados.

O dispêndio em P&D (público e privado) cresceu de 1,01% do PIB, em 2003, para 1,24% do PIB, em 2013 (MCTI, 2015). Em 2015, alcançou 1,34% e em 2016 inicia-se o ciclo de redução alcançando 1,27% do Produto Interno Bruto (PIB). Em valores corrigidos pela inflação em 2016, a queda foi de 9% – de R\$ 87,1 bilhões para R\$ 79,2 bilhões de um ano para o outro. Portanto, a proporção deve continuar declinando aceleradamente em função da redução ocorrida nos dispêndios federais em P&D durante o ano de 2017 e que continuaram a acontecer no ano de 2018 (CCT, 2018; FAPESP, 2019; ARBIX, MIRANDA, Zil; 2017).

Segundo a FAPESP (2019) e o CCT (2018), é importante lembrar que, em 2016 o Brasil teve retração na produção industrial e restrições orçamentárias governamentais. O maior corte observado foi no MCTI, que viu esse tipo de dispêndio cair 27,5% – de R\$6,04 bilhões (2015) para R\$4,38 bilhões (2016), comprometendo sua capacidade de financiar projetos em universidades e instituições científicas e em empresas inovadoras por meio de agências como o CNPQ e a FINEP.

Durante o governo do Presidente Michel Temer (2016-2018), o senador Otto Alencar (PSD-BA) presidente da Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática (CCT) criticou o uso indiscriminado de fundos específicos para quaisquer despesas efetuada pelo governo e concluiu : “A Emenda Constitucional 95, do controle dos gastos, acabou de liquidar todos os investimentos

que poderiam ser feitos para a ampliação da pesquisa, da ciência, da tecnologia, para que este país” (SENADO, 2018). Na Figura 27, a seguir, é apresentado o nível de empenho do Ministério da Ciência e Tecnologia, de 2005 a 2017. É importante observar a queda acentuada a partir de 2013.

Figura 27 - Nível de Empenho do MCT (2005 - 2017)



Fonte: FINEP, 2018

Em janeiro de 2019, o presidente da Academia Brasileira de Ciências (ABC), o físico Luiz Davidovich pondera que: “A FINEP terá apenas R\$1 bilhão dos R\$4 bilhões arrecadados para o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT). Segundo a FAPESP (2019), “o restante dos recursos, que poderiam alavancar a inovação no Brasil e favorecer o crescimento da economia, será mais uma vez contingenciado e usado para amortizar as dívidas do governo.”

Em 2018, segundo o Índice Global de Inovação, da Universidade de Cornell, o Brasil se encontrava no 64º lugar (SATURNO, Ares; 2018).

Em um documento intitulado “Políticas para o Desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil” ficou demonstrado que, mesmo com os esforços de sensibilização feitos junto aos empresários e os eventos programados em relação às políticas para a Indústria 4.0, tais como, demonstrações de algumas destas tecnologias, do fomento e dos investimentos contemplados, havia a necessidade de um Plano Nacional Estratégico para a área e de certa forma mais preocupante ainda é a falta de uma coordenação/ articulação entre as instituições públicas entre o setor privado.

Os autores ainda sinalizaram vários temas que demonstram uma fragilidade não coerente com a necessidade de uma política industrial e tecnológica consistente nos aspectos a seguir: fragilidade da institucionalidade percebida em documentos e mesmo em decisões que não são efetivamente implantadas; políticas definidas sem as devidas prioridades; e propostas de políticas sem estabelecimento de instrumentos de ação; além da falta de articulação entre instituições do setor público; e falta de cooperação efetiva entre governo e empresariado industrial. Concluindo, assim como em outros países, especialistas na área de inovação têm proposto que o Brasil incorpore um avançado mecanismo de governança instalado diretamente ligado à Presidência da República, e essa governança só será efetiva se conseguir envolver democraticamente todos os agentes da inovação - públicos e privados e oferecer ao setor empresarial, responsável primeiro pelos processos de inovação, um peso majoritário em sua composição (ARBIX *et al.*, 2017).

3.1.3. Fábricas do Futuro - *Testbeds*

Testbeds ou fábricas do futuro são experimentos controlados, em espaços reais, executados de forma a comprovar a viabilidade técnica e econômica de soluções que aplicam os conceitos da internet industrial.*

Uma das propostas do documento “Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil - IEDI” (IEDI, 2017) foi a criação de *Testbeds* (devem possuir infraestrutura básica para a simulação de sistemas de produção). O primeiro resultado desta iniciativa feita pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), foi o Edital de Chamamento público nº 1/2018 para as chamadas “Fábricas do Futuro”, e 10 iniciativas foram selecionadas (MCDI, 2018).

O objetivo das *Testbeds* é o compromisso que empresas ou instituições brasileiras criem ambientes reais de produção para testar as soluções inovadoras que serão, posteriormente, aplicadas no processo produtivo. Quatro tecnologias estão inclusas na proposta inicial: 1) Manufatura aditiva (Impressão 3D); 2) Montagem customizada; 3) Visão computacional e aprendizado de máquina aplicado no controle de qualidade e 4) Monitoramento de máquinas e inteligência artificial aplicados na produção.

Os recursos disponibilizados devem ser aplicados, por exemplo, em obras de infraestrutura de laboratórios, na compra de equipamentos nacionais, importados e de softwares, na remuneração da equipe, entre outras despesas necessárias para a realização dos projetos, propiciando assim, plataformas estruturadas em ambientes controlados que simulem um ambiente real (MCDI, 2018).

A contribuição do governo federal será de no máximo R\$300 mil. Dessa forma, os valores de projeto poderiam estar próximos a R\$ 400 mil. (FIALHO, Gabriel; 2018). Considerando-se que uma impressora 3D industrial custa em média acima de 100.000 euros, o estudo da análise dos ganhos no setor produtivo usando a manufatura aditiva só poderiam ocorrer tendo como pré-requisito uma impressora 3D industrial já disponível para execução dos objetivos (3DILLA).

3.2. NA SAÚDE

3.2.1. Projetos e Perspectivas – Usando a Impressão 3D

A impressão 3D encontrou em áreas como a ortopedia, um excelente nicho de mercado, mostrando com isto, um campo de desenvolvimento que vem ocorrendo nos últimos 14 anos. Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária* (ANVISA), o número de pedidos de análise de próteses feitas sob medida saltou de 39 em 2017 para 156 em 2018. E, só até o início de abril de 2019, já foram 85 pedidos (OSUL, 2019).

No Brasil, a ANVISA ainda não dá aval para próteses personalizadas – apenas peças de tamanhos definidos podem ser fabricadas. A entidade, entretanto, fez uma parceria com o CTI para regulamentar o uso da impressão 3D na medicina (DEMARTINI, 2017). Pode-se perceber que na área de saúde é uma tendência que cada vez mais empresas e startups invistam no desenvolvimento de produtos usando a Impressão 3D. Uma das áreas de maior expansão é a de customização dos dispositivos médicos.

Atualmente, as próteses disponibilizadas no Brasil carecem de iniciativas inovadoras de próteses de membros superiores para crianças e adultos (exceção feita ao grupo MAO 3D da Universidade de São Carlos e à ONG Enable Brasil). Os principais problemas encontrados nas próteses e nas órteses para as crianças são: não têm um apelo visual agradável, não possuem movimento de pinça, dificultando a

execução de movimentos básicos, são mais pesadas que dispositivos impressos em impressoras 3D e a maioria das próteses convencionais têm um custo elevado, tornando inviável sua aquisição pela população de baixa renda (ENABLE BRASIL).

As anomalias craniofaciais (ACF), entre os defeitos congênitos, se distribuem em um grupo complexo e altamente diverso que afeta uma significativa proporção de pessoas no mundo (BIOFABRIS). Além dos casos de deformidades congênitas, há ocorrência de defeitos craniofaciais adquiridos em função de outras patologias – tumores, por exemplo. Tem se observado nas últimas quatro décadas um aumento crescente de casos de trauma facial, em muitos casos tendo estreita relação com o aumento de acidentes automobilísticos e violência urbana (MONLLEO, GIL, ; 2006).

Os meios convencionais de manufatura de um implante para reparo de defeito craniano consistem na modelagem direta do implante no sitio cirúrgico durante a cirurgia. A impressão da falha é feita em cera e posteriormente utilizada na fabricação de um molde em biomaterial.* No final da década de 80 surgiram os resultados das primeiras pesquisas que procuravam uma forma de se produzir um modelo físico diretamente de um modelo tridimensional digital.

Com relação a este tipo de anomalia (crânio-maxilofacial), congênito ou não, a customização usando-se a impressão 3D para criar um protótipo (molde) do local afetado tem tido um alcance surpreendente, possibilitando maior rapidez e eficiência (usado por vários hospitais no Brasil inclusive o Hospital São José e o INTO) tanto nos planejamentos cirúrgicos como na própria cirurgia em questão, isto ocorre em razão de cada caso ser específico e único não sendo, portanto possível obter próteses tradicionais devido ao encaixe e a curvatura exata da peça. E este ajuste é muitas vezes realizado durante a cirurgia, o que consome tempo de sala cirúrgica, equipe e anestesia, além de sujeitar o paciente a maior exposição a agentes infecciosos. Neste caso, o molde criado (área de reparação crânio-maxilofacial) usando-se a modelagem 3D e a prototipagem rápida tem obtido relativo sucesso na produção de implantes personalizados. Outro fator a ser considerado é a economia de custos para o Sistema único de Saúde (BIOARCHITECS).

Bertol *et al.* relata um caso de sucesso: o método da construção do implante adotado utilizou imagens de tomografia para obter um modelo virtual 3D, para o procedimento da parte virtual da mandíbula que teve uma ressecção* cirúrgica afetada por um tumor, utilizou-se na construção do modelo virtual 3D a técnica de

espelhamento por plano de simetria, onde a porção sadia da mandíbula é espelhada e utilizada na reconstrução da porção removida (BIOFABRIS).

Na cirurgia acima o titânio (Ti-6Al-4V) foi o material no implante, e a tecnologia 3D utilizada foi a técnica DMLS, processo onde o metal em pó é fundido em uma peça sólida através da fusão local proporcionada por um feixe de laser de alta energia direcionado por computador de acordo com o desenho da peça. Após a produção do implante este foi digitalizado pela técnica de escaneamento 3D para comparação dimensional com o modelo virtual, apresentando diferenças não maiores que 0,05 mm, o que demonstra a precisão deste método (Idem, Ibidem).

A startup BioArchitects criada em 2013 produz biomodelos usando a tecnologia de impressão 3D. Em 2016 a impressão de biomodelos usados em planejamento cirúrgico custava de R\$ 1 mil a R\$ 8 mil para a impressão de órgãos e R\$ 6 mil a impressão de um coração. Os planos de saúde no Brasil, em razão de ainda não existirem estudos com fortes evidências sobre os benefícios da técnica (uso do biomodelo no planejamento cirúrgico), ainda não os disponibilizou como procedimentos obrigatórios (RODRIGUES, 2016).

O Hospital Sírio-Libanês fez uma parceria com a BioArchitects e oferecerá aos seus médicos a opção de usar os biomodelos no planejamento cirúrgico. A BioArchitects disponibiliza em seu portfólio calotas cranianas feitas de titânio biocompatíveis que podem ser impressas na forma exata de cada de cada paciente, garantindo encaixe perfeito e resultados estéticos e funcionais. Foi a primeira empresa do mundo a receber a certificação do *Food and Drug Administration (FDA)** para imprimir implantes cranianos customizados (BIOARCHITECS).

No Brasil, um dos centros mais avançados localiza-se na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), interior de São Paulo. Lá foi realizada a primeira cirurgia de próteses para deformação craniana no País. Desde 2012, dez pacientes receberam os implantes impressos em 3D feitos em titânio pelo *Startup Biofabris* (CARVALHO, C., 2017).

3.2.2. Próteses: Tecnologia Assistiva e ONGS

O conceito de tecnologia assistiva é todo e qualquer dispositivo, recurso tecnológico ou serviço que tem como objetivo proporcionar às pessoas com deficiência, autonomia, inclusão social e independência. Os meios que a tecnologia

assistiva pode prover se dá de várias formas, mobilidade, habilidades de aprendizado, no trabalho, no lazer e no controle do ambiente (KUNKEL, M. E., 2017).

3.2.2.1. E-Nable Brasil e o Programa MAO3D (UNIFESP)

A primeira prótese de mão feita usando a impressão 3D que se tem notícia foi criada de forma colaborativa por um carpinteiro na África do Sul, em 2011. Ele perdeu parte dos quatro dedos de uma mão e criou uma prótese de baixo custo, porém, Richard não se adaptou à prótese criada, mas testou o modelo em uma criança que nasceu com malformação da mão. A prótese permitiu ao garoto manipular pequenos objetos e jogar bola. O funcionamento dessa prótese é simples, a maioria das peças é de plástico e o movimento dos dedos é acionado por fios e elásticos a partir do movimento da articulação do punho.

Em 2013, Richard funda a *Robohand* e passa a produzir próteses de plástico na África do Sul e disponibilizar pela Internet os arquivos para impressão 3D e instruções de montagem. A *Robohand* deu origem à ONG americana “*e-Nable*”, fundada pelo Prof. Dr. Jon Schull, do Instituto de Tecnologia de *Rochester* em 2014.

A *e-Nable* elaborou mapas online usando o Google+ com o intuito de mapear possíveis usuários com deficiência nos membros superiores. O objetivo era mapear: Quem precisa de uma prótese; Quem tem uma impressora 3D e quer imprimir próteses; Quem tem conhecimento de modelagem 3D (estudantes, designers, engenheiros etc.) e deseja fazer melhorias nos modelos existentes. Com esta concepção colaborativa, novos modelos mais customizados, bonitos, leves e funcionais de próteses de mão têm surgido, sem patente e de domínio público. (KUNKEL, M. E., 2017).

Como grande parte do público alvo são as crianças, as próteses normalmente são produzidas em várias cores e formas, inclusive podem ser personalizadas com heróis de quadrinhos, melhorando a autoestima e ajudando-as na realização de tarefas diárias. Essas duas ONGS – *Robohand* e a *e-Nable* - já distribuíram mais de cinco mil próteses de braço e de mão em diversas partes do mundo (KUNKEL, M. E., 2017).

A *e-Nable* Brasil possui uma rede de voluntários que se dedicam a desenvolver o design, imprimir, montar e distribuir próteses feitas em impressoras 3D para

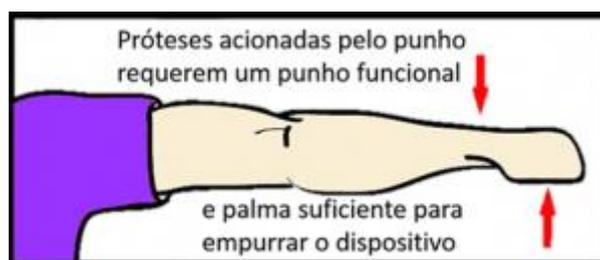
crianças e também para adultos com deficiência nos membros superiores. Os dispositivos impressos não são comercializáveis, sendo doados gratuitamente e seu uso é não-comercial (ENABLE BRASIL).

As pessoas que não possuem um ou todos os dedos ou qualquer membro abaixo do cotovelo podem se beneficiar com os dispositivos impressos em 3D da *e-Nable*. Estas próteses são úteis principalmente para as crianças em razão do alto custo da prótese convencional, tempo de troca das próteses ou devido à individualidade dos membros. Como as próteses da *e-Nable* usam a flexão do punho ou cotovelo para criar a tensão para fechar os dedos, o indivíduo precisa ter o cotovelo ou o punho funcional para que possa ser tirado o máximo proveito na operação dos dispositivos recomendados pela ONG (Idem, Ibidem).

A idade mínima aconselhada é de quatro anos em razão das pequenas peças que compõem parte da prótese. Estes dispositivos permitem que as crianças possam executar tarefas simples tais como: Balançar em um balanço, segurar um copo, andar de bicicleta, segurar equipamentos esportivos, segurar bola, tarefas que podem ser feitas com as duas mãos. Em razão disto estes dispositivos são conhecidos como ferramentas e não como uma prótese totalmente funcional. Estes dispositivos (ferramentas) têm restrições, como por exemplo, não suportam mais que alguns quilos de peso e a força de pressão não é forte, portanto não podem ser usados para apertar os freios da bicicleta. Além disso, os dedos não movem individualmente, eles têm a função básica de agarrar (Idem, Ibidem).

Estes dispositivos são mecânicos e funcionam com base nos movimentos de punho e cotovelo dos usuários. Quando o punho ou cotovelo é flexionado, isto adiciona o movimento de pinça dos dispositivos. Como exemplo, seguem as Figuras 28 e 29, demonstrando ativações por movimentos.

Figura 28 - Ativação pelo movimento do punho



Fonte: E-Nable do Brasil

Figura 29 - Ativação pelo movimento do cotovelo



Fonte: E-Nable do Brasil

Segundo a E-Nable Brasil, esses dispositivos criados têm sido fundamentais para as pessoas de baixa renda em razão da dificuldade de acesso a uma prótese comum, devido ao custo elevado, e principalmente para crianças devido a constante necessidade de readaptação de tamanho.

Na Figura 30, a seguir, é apresentado o exemplo de um dispositivo acionado por pulso: “*Phoenix v2 Hand*”. O pré-requisito para usá-lo necessita que o usuário tenha um pulso funcional e uma palma suficiente para empurrar o dispositivo para forçar os dedos a fechar quando o punho estiver dobrado ⁷ (UNIFESP; KUNKEL *et al.*, 2019).

Figura 30 - Mão Phoenix-v2



Fonte: E-Nable Brasil

Na Figura 31, a seguir, são apresentadas algumas próteses de mão mecânica infantil feitas por impressão 3D dos projetos Robohand e E-Nable.

⁷ Para mais informações, veja o site: <http://e-nablebrasil.org/wp/tipodispositivo>

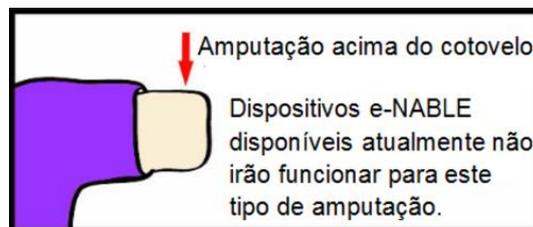
Figura 31 - Próteses de mãos mecânicas infantis



Fonte: Robohand, 2013 e e-Nable, 2014

Na Figura 32, a seguir, é apresentada uma amputação acima do cotovelo, atualmente, a comunidade e-Nable não têm um dispositivo que funcione para este tipo de amputação. Existem algumas opções, no entanto, de outros grupos que oferecem dispositivo mioelétricos de código aberto: *Limbless Solutions Arm*, *Open Bionics - Open Hand Project* e *Exii* (E-Nable Brasil).

Figura 32 - Amputação acima do cotovelo



Fonte: E-Nable Brasil

O projeto Mao3D está adaptando os modelos da ONG e-Nable para que possam ser usados no Brasil (UNIFESP, 2015). O Programa de Extensão MAO3D da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) foi criado em 2015. É coordenado pela Profa. Dra. Maria Elizete Kunkel, do Departamento de Engenharia Biomédica, e é fruto de um convênio entre o Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) da Universidade Federal de São Paulo e o Centro de Reabilitação Lucy Montoro, ambos em São José dos Campos. O MAO3D faz parte da Rede Nacional de Núcleos de Pesquisa em Tecnologia Assistiva (COCOLO. Ana Cristina, UNIFESP, 2019).

Não há um registro no Brasil de quantas pessoas precisam de uma prótese de membro superior. Nessa situação, por lei, o SUS deveria fornecer uma prótese e um programa de reabilitação, porém o atendimento atual não contempla as crianças. Um dos motivos que impedem o fornecimento adequado de prótese de membro superior é a alta taxa de abandono em razão das próteses nacionais serem muito pesadas e pouco funcionais além do alto custo e necessitar de trocas constantes devido ao crescimento das crianças, tornando praticamente impossível que elas tenham acesso a elas. Mesmo para adultos as próteses convencionais apresentam uma taxa de rejeição de mais de 90% dos casos. Outro impeditivo é o preço dos modelos importados que possuem maior funcionalidade mas custam em média R\$ 300 mil. Em alguns casos, o SUS fornece próteses importadas, mas a espera pode chegar a vários anos. O custo de uma prótese produzida pela MAO3D saia em média por R\$ 1 mil, em 2020. A prótese 3D não faz parte ainda dos procedimentos do Sistema Único de Saúde (UNIFESP, 2015 e KUNKEL, M. E., 2017).

Outro ponto a considerar é a exigência da prescrição de um médico para um dispositivo protético no Brasil. Nos Estados Unidos, por exemplo, onde o processo de fabricação de próteses através de impressoras 3D existe há mais tempo, qualquer pessoa pode fazer um dispositivo protético e doá-lo (EXPORT, 2017; COCOLO, Ana Cristina, 2019).

O Mao3D está alinhado com a missão da UNIFESP que é: promover o avanço do conhecimento através de ações de ensino, pesquisa e extensão. As atividades de extensão estão vinculadas com o curso de Engenharia Biomédica. Os fundamentos que norteiam as atividades de extensão são: a interdisciplinaridade, a excelência e a inclusão social com projetos inovadores de tecnologia assistiva (KUNKEL, 2017).

O Mao3D tem o objetivo de atender as crianças e os adultos da Região do Vale do Paraíba, que possuem malformação ou amputação de braços, mãos ou dedos, provendo próteses feitas por impressão 3D e a reabilitação destes sem custo para os usuários. O objetivo é atuar como fator de inclusão de crianças e adultos na sociedade, propondo uma prótese 3D customizada, no caso das crianças baseada em super-heróis (Batman, Capitão América e outros), mais leve, funcional e colorida; que possa permitir uma melhoria na autoestima, visando sua qualidade de vida e inclusão social com mais autonomia (UNIFESP, 2015).

O projeto conta com a colaboração de alunos bolsistas, voluntários e doação de empresas. A equipe de principal do projeto é multidisciplinar, contando com vários

profissionais (Biomédica, Biomecânica, Terapeuta ocupacional, Psicólogo, design, biomecânica e estudantes de bacharelado em ciência e tecnologia e engenharia da UNIFESP, além disto, e conta também com a ajuda de voluntários externos na área de design e saúde. A reabilitação do usuário também faz parte do Projeto (UNIFESP; KUNKEL, 2019). Na Figura 33, a seguir, são mostrados alguns exemplos de próteses de mão infantil feita por impressão 3D no Programa MAO 3D.

Figura 33 - Próteses de mão mecânica MAO 3D



Fonte: UNIFESP - Programa Mao3D

A prótese do membro superior é estética e tem a função apenas de representar o aspecto visual do membro sendo portanto passiva. Os dedos da mão da prótese desenvolvida neste projeto foram projetados para serem acionados por um sistema mecânico de fios tracionadores e pode ser acionada pelo movimento de uma articulação do braço (KUNKEL *at al.*, 2019).

As próteses automatizadas do tipo mioelétrica de membro superior (é um dispositivo controlado por contrações musculares do usuário para acionamento dos motores) possuem sensores que em contato com a pele acionam motores que irão fazer a articulação dos dedos (*idem, ibidem*)

Estudos mostraram evidências sobre a aceitação, a funcionalidade e durabilidade dos dispositivos desenvolvidos pelo MAO 3D. Dentre os diversos processos de impressão 3D existentes atualmente, o FDM é o mais acessível. Uma das impressoras 3D usadas é a Sethi3D Aip. Todas as peças rígidas que formam a prótese como a palma, falanges, conectores, antebraço e braço foram

manufaturados em material polimérico termoplástico poli (ácido lático) (PLA) e as partes flexíveis como a articulação dos dedos foram manufaturadas em poliuretano. (idem, ibidem)

O PLA é um material biodegradável, rígido, leve, com pouca flexibilidade e boa resistência em relação a absorção de impacto sendo por isso muito usado na produção de próteses e órteses pela boa relação preço e qualidade. O TPU foi utilizado como filamento flexível para obter elasticidade na conexão entre as falanges e, conseqüentemente, a eficiência no acionamento da prótese (KUNKEL *et al.*, 2019).

3.2.3. Bioimpressão 3D

3.2.3.1. Conceitos de Biofabricação, Biomateriais, e Bioimpressão

O Núcleo de Tecnologias Tridimensionais (NT3D) do CTI vem realizando pesquisas em biofabricação desde 2005. O NT3D tem trabalhado em cooperação com universidades e centros de pesquisa nacionais e internacionais. Receberam pesquisadores visitantes internacionais dos EUA, Rússia, Áustria, Venezuela, Noruega, Letônia, Inglaterra, Portugal, Espanha, dentre outros.

São apresentados os principais conceitos, para que haja um entendimento formal da Bioimpressão 3D. Em 2016, uma nova definição de biofabricação foi atualizada pela Sociedade Internacional de Biofabricação (ISBF). Segundo Jürgen Groll *et al.*, a biofabricação é :

“a geração automatizada de produtos biologicamente funcionais com organização estrutural a partir de células vivas, moléculas bioativas,* biomateriais, agregados celulares (como esferóides e organóides),* tais como microtecidos ou construções híbridas de materiais e células, por meio da bioimpressão ou biomontagem e processos subsequentes de maturação de tecidos”.

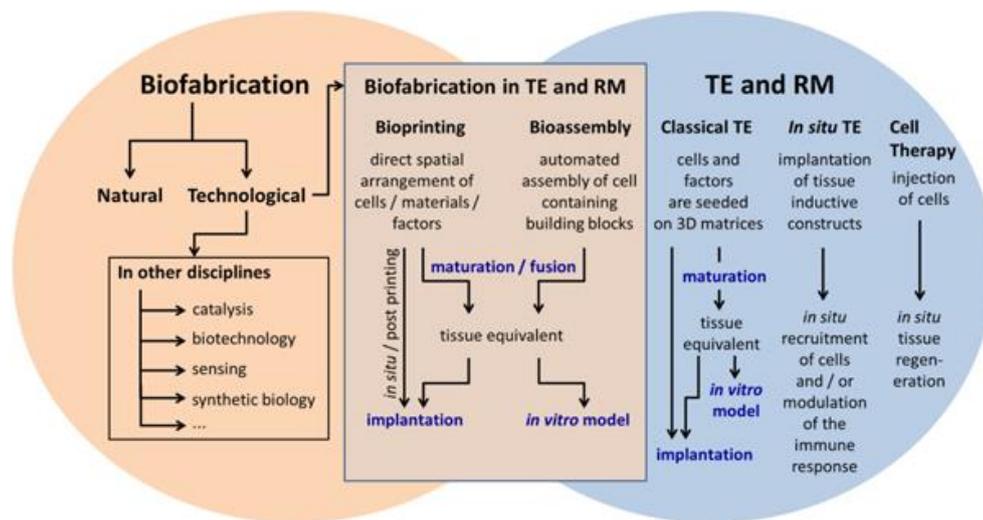
A Biofabricação é um campo de pesquisa emergente que promete agregar soluções à Engenharia Tecidual (ET)* (DERNOWSEK, J. A.). Uma das estratégias da biofabricação é a bioimpressão. Dentro da ET e da Medicina Regenerativa (MR)*, a biofabricação fornece uma tecnologia essencial e vital para essas aplicações emergentes que não se restringe simplesmente às abordagens das impressões 3D. A ET e a tecnologia da informação incorporam áreas multidisciplinares como a

biofabricação e a bioimpressão visando a construção e a reconstrução de tecidos* biológicos (GROLL, J. *et al.*, 2016).

Devido a grande vantagem na formação de vários tipos celulares, e a possibilidade de sua utilização em enxertos de tecidos e transplante de órgãos, várias pesquisas vêm ocorrendo no desenvolvimento e na construção de tecidos e órgãos inteiros em 3D (coração, pulmão, fígado e rins), mas até o momento a ET ainda não viabilizou que sejam totalmente funcionais em humanos (OZBOLAT, 2013).

A Figura 34, abaixo, demonstra que o termo biofabricação tanto pode ser usado para descrever processos naturais, assim como tecnológicos, como biotecnologia, catálise, biologia sintética e, em especial ET e MR. Para a aplicação da Biofabricação na ET e MR duas abordagens distintas podem ser usadas: a bioimpressão e a biomontagem (GROLL, J. *et al.*, 2016). A diferença é que a biomontagem necessita de uma estrutura (blocos) para imprimir as células.

Figura 34 – Processo de biofabricação



Fonte: GROLL, Jürgen *et al.*, 2016

Os insumos utilizados na bioimpressão 3D são chamados de biomateriais, ou Bioink (DERNOWSEK, Janaína, 2017). Os biomateriais são naturais, sintéticos, vivos ou não, e geralmente, são compostos de múltiplos componentes (Park e Lakes ;2007):

“Um biomaterial pode ser definido como qualquer material usado na fabricação de dispositivos para substituir uma parte ou função do

corpo de forma segura, confiável, econômica e fisiologicamente aceitável”.

São exemplos de biomateriais, os polímeros sintéticos, o titânio (muito usado em próteses e implantes por ser um biomaterial* de classe bioinerte, pois não interage com o tecido ósseo), nióbio, alumina, vitro-cerâmicas, classe bioativa, pois interage com o tecido ósseo (BIOFABRIS. BIOMATERIAIS, 2019).

Para Dernowsek (2019), a bioimpressão surgiu da impressão 3D e possui grande potencial na área de saúde, com a possibilidade de produção de *scaffolds** (suportes celulares usados na biomontagem) ou microtecidos com distribuição homogênea de células e moléculas ao longo da estrutura. A bioimpressão é uma área multidisciplinar que está na interface de muitos campos: medicina, engenharia, ciência da computação, engenharia genética e outras. Os tecidos biológicos são formados por tecidos duros compostos por matrizes extracelulares orgânicos (colágeno,* proteoglicanas* e glicoproteínas*) e inorgânicos (íons fosfato, cálcio, bicarbonato, magnésio, potássio, sódio e citrato) e tecidos moles formados por células.

A matéria celular viva é impressa a partir de células-tronco*. É depositada em gotículas de tinta biológica que formarão camadas sucessivas e que na sobreposição constituirão um tecido biológico em três dimensões. Para produzir a tinta biológica, podem-se usar as células-tronco* do paciente (é preciso milhões para criar um milímetro quadrado de tecido). O suporte (*scaffolds*) sobre o qual o tecido é impresso é uma camada fina de colágeno* (é a proteína mais abundante no corpo humano, responsável pela coesão do tecido) correspondente ao papel da impressora 2D. Além de células e biomateriais, a bioimpressora também deve incorporar um espectro de compostos bioquímicos (isto é, quimiocinas,* fatores de crescimento, fatores de adesão ou proteínas sinalizadoras) para promover um ambiente de sobrevivência, motilidade e diferenciação celular* (HISOUR, 2019).

A tecnologia da bioimpressão possui etapas semelhantes à da impressão 3D.

A primeira etapa é de pré-processamento na qual necessita de um BIOCAD / *Blueprint* para a criação do projeto do tecido para a bioimpressão.

A segunda etapa chamada de processamento ou bioimpressão 3D, utiliza componentes como, células ou esferóides,* materiais sintéticos ou biomateriais, hidrogéis e biomoléculas.

A terceira etapa usa um programa fatiador (slice) que consiste em criar um arquivo que possa ser entendido por um programa de interface (interpretador gcode) que traduz as ações a serem executadas na linguagem da impressora 3D, o programa fatiador é configurado na impressora (HISOUR).

A última etapa é chamada de pós-processamento, é a etapa de maturação do tecido bioimpresso. É necessário sistemas fechados e controlados para a maturação do tecido bioimpresso, podendo ser equipamentos chamados biorreatores, essenciais para o desenvolvimento do tecido bioimpresso (DERNOWSEK, J. A., 2019).

Os dois parâmetros considerados fundamentais na bioimpressão são: a densidade das células e a resolução. A densidade das células é a composição da tinta biológica. A resolução é a precisão com a qual as células serão impressas. A precisão tem como objetivo garantir que a estrutura pré-definida das células seja concebida. A bioimpressão tem como objetivo final criar o processo natural da formação do tecido por células para montar os arcabouços sintéticos de tal forma que sejam capazes de imitar o microambiente natural do tecido. As pesquisas tem como objetivo compreender como ocorre a regulação do comportamento celular através de interações célula/tempo, e com isso reproduzir esses conhecimentos para a fabricação de biomateriais compatíveis com a produção de tecidos, células e órgãos (HISOUR, 2019).

E para finalizar este capítulo, são apresentadas as três abordagens usadas na biofabricação: a) baseada em *scaffolds*, b) baseada em esferóides teciduais* e c) híbrida entre as duas anteriores (CTI, bioimpressão e DERNOWSEK, J. A., 2016/2019).

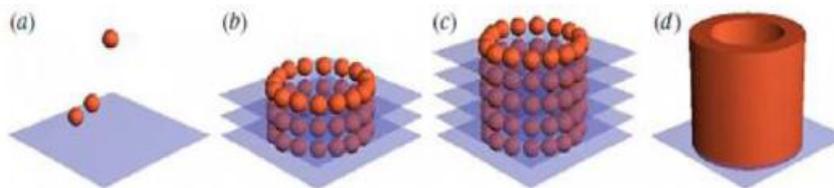
Os *scaffolds* são estruturas tridimensionais biodegradáveis e biocompatíveis de suporte para adesão e proliferação de células, sua principal função na biofabricação é servir como suporte mecânico e estrutural para o desenvolvimento de um novo tecido a partir do povoamento celular. Podem ser produzidos com tipos diferentes de materiais e processos e possuir diferentes geometrias. Ao final do processo o *scaffold* deve ter sido degradado/absorvido integralmente pelo organismo quando o novo tecido tiver sido formado. O biomaterial* usado deve ser poroso e com poros interconectados (CTI Renato Archer; DERNOWSEK, J. A., 2015).

Os esferóides teciduais* são aglomerados celulares com estruturas tridimensionais. São compostos por um conjunto de células previamente

selecionadas e/ou diferenciadas, manipuladas e depositadas controladamente em uma densidade celular apropriada para formar agregados celulares, as quais são envoltas por um polímero de proteção (biomaterial), normalmente um hidrogel (sagarose ou fibrina). Essa segunda abordagem demonstra que tecidos biológicos podem ser projetados com características específicas (composições e formas), explorando a adesão célula-célula e a habilidade que células sob cultura possuem de desenvolverem sua própria matriz extracelular (DERNOWSEK, J. A., 2015).

Segue abaixo a Figura 35, com a segunda estratégia da engenharia tecidual*/biofabricação: esferóides teciduais* como blocos de construção na bioimpressão (MIRONOV *et al.*, 2009). O uso de esferóides teciduais é vantajoso da perspectiva da alta densidade celular, estruturação 3D homogênea, construção da vascularização “de dentro para fora”, ou seja, a vascularização já está sendo construída ao mesmo tempo em que os esferóides são depositados.

Figura 35 - Biofabricação com esferóides teciduais



Fonte: MIRONOV *et al.*, 2009

A estratégia híbrida (*scaffolds* + esferóides teciduais) caracteriza-se pelo uso simultâneo das duas abordagens anteriores em que os *scaffolds* recebem esferóides teciduais e oferecem um suporte mecânico e/ou ambiente biológico adequado para o desenvolvimento de um novo tecido (CTI , bioimpressão).

Sem um modelo virtual não é possível dar prosseguimento à etapa de biofabricação. Considera-se que, a combinação de modelos matemáticos, algoritmos biológicos e simulação computacional podem identificar potenciais problemas, e aperfeiçoar os modelos digitais e, assim, facilitar todas as fases da biofabricação de um tecido biológico funcional (idem, ibidem).

3.2.3.2. Bioimpressão 3D – A Técnica

Foi a partir da importância da bioimpressão que modificações foram feitas nas impressoras 3D comerciais viabilizando que o mecanismo de impressão pudesse utilizar jatos de tinta (do Inglês, *inkjet*), de forma contínua ou gota a gota. O processo contínuo necessita de um cartucho carregado com células de hidrogel em um primeiro mecanismo que produz um traço ininterrupto de tinta, enquanto o último a partir de uma cabeça de impressão controlada deposita gotículas modulares de tinta em posições coordenadas com precisão. O método de Jato de tinta contínuo requer uma tinta condutora (GROLL, J., 2016). A primeira patente relacionada a essa tecnologia foi depositada nos Estados Unidos em 2003 e concedida em 2006 (HISOUR, 2009).

A fabricação de tecidos funcionais *in vitro* é um fenômeno sofisticado que compreende uma disposição hierárquica de vários tipos de células, incluindo células do parênquima,* juntamente com os vasos linfáticos* e, ocasionalmente, tecidos neurais e musculares. Em modelos de tecido *in vitro* a engenharia já incorpora parcialmente todos estes componentes, no entanto o uso desta tecnologia em humanos e animais ainda precisa de mais estudos para se tornar uma terapia de escolha no tratamento de doenças (KNOWLTON *et al.*, 2015 e DERNOWSEK, J. A., 2016/2019).

3.2.3.3. Bioimpressão 3D – A Pesquisa

No Brasil, por ser uma tecnologia emergente e relativamente nova, os esforços têm se concentrado envolvendo o desenvolvimento e a combinação de materiais biocompatíveis, biodegradáveis, biomoléculas indutoras, células ou esferóides (DERNOWSEK, J. A., 2019). Nesta área, uma das pesquisadoras que têm despontado é a Dra. Janaína Dernowsek que faz parte do NT3D do CTI e vem desenvolvendo projetos desde 2005.

“um dos desafios tecnológicos não resolvidos é como ativar e desativar a cascata de sinalização específica das células, considerando que a célula, ativa e desativa dentro de um padrão fenotípico* específico. Este é um padrão fundamental para se projetar um órgão/tecido no futuro, a interoperabilidade de sistemas e dados ainda necessita ser aprimorado” (LOENERT, L.; 2019).

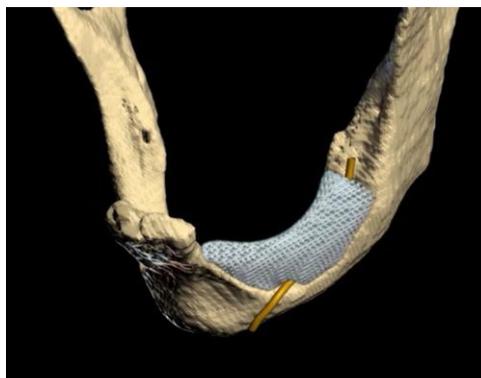
A especialista considera que os estudos envolvendo bioimpressão ainda estão em fase muito embrionária, com tímidos avanços concentrados em pequenos laboratórios de universidades e centros de pesquisa espalhados no mundo, incluindo o Brasil. Em sua opinião, o transplante de um órgão bioimpresso em um ser humano demandará mais que 30 anos de pesquisa. Com relação à biofabricação de um órgão para transplante considerado menos complexo, funcional e compatível com o corpo humano como um pedaço de pele, por exemplo, demandará no mínimo uma década de pesquisa (LOENERT, L., 2019).

Contando com a colaboração do Dr. Joseph P. Vacantii, considerado um dos pais da ET, há mais de 15 anos foi criado um grupo que tem como objetivo pesquisas no tratamento de grandes defeitos ósseos da mandíbula. Estas pesquisas estão sendo efetuadas pela Dra. Maria J. Troulis, chefe do *Department of Oral and Maxillofacial Surgery do Massachusetts General Hospital e da Harvard School of Dental Medicine* (em Boston, EUA), e um dos membros desta equipe é o pesquisador, Fernando Guastaldi, que atua desde o início do seu pós-doutorado na Faculdade de Odontologia de Araraquara da UNESP, em 2017, sob a supervisão da Dra. Troulis, e com o apoio da FAPESP (via Programa de Pós-Doutorado) (GUASTALDI e GUASTALDI, 2019).

O pesquisador tem trabalhado na condução de estudos pré-clínicos (em animais) empregando a impressão 3D de biomateriais associados a células-tronco* coletadas da medula óssea. Os resultados pré-clínicos divulgados têm sido promissores, viabilizando, portanto a transferência dos resultados de pesquisa básica para pesquisas clínicas. O próximo passo será a condução de estudos clínicos em humanos para viabilizar essa modalidade de terapia aos pacientes (Idem, Ibidem).

A Figura 36, a seguir, mostra como foi solucionado a correção do problema: primeiramente a equipe isolou a área defeituosa usando programas de software modeladores, garantindo que o implante encaixasse precisamente na parte afetada. O resultado foi um modelo de implante virtual, que foi usado para fabricar o *scaffolds* (estrutura ou andaime) que foi utilizado na cirurgia. O *scaffolds* foi feito a partir da hidroxiapatita (fosfato de cálcio), uma espécie de substância quimicamente semelhante ao osso humano.

Figura 36 – Implante virtual partir de *scaffolds*



Fonte: GUASTALDI e GUASTALDI, 2019

Um dos resultados esperado do projeto é que ele possa dar subsídios a ANVISA, para que esta possa atuar na regulamentação, definindo um grupo de normas específicas para a utilização dos scaffolds impressos na regeneração do tecido ósseo, em humanos, criados a partir da tecnologia de impressão 3D viabilizando, portanto a comercialização destes dispositivos médicos impressos, chamados *Patient Specific Implant* (GUASTALDI e GUASTALDI, 2019).

A Dra. Rossana Mara da Silva Moreira Thire da UFRJ (Universidade federal do Rio de Janeiro) apresentou em maio/2019 na Conferência Internacional sobre Biomateriais e nanomateriais (Viena, Áustria) seu estudo intitulado “*Towards new strategies for development of bone tissue engineering composite scaffolds*” que comprova a viabilidade do uso de polímeros para aplicações biomédicas e tecnológicas utilizando a impressão 3D na impressão *Scaffolds (andaimes)* Seus principais interesses de pesquisa são biomateriais poliméricos e compostos para engenharia de tecido ósseo e cutâneo, biomateriais carregados de drogas, manufatura aditiva, eletrofiação e plásticos biodegradáveis (THIRE, Rossana Moreira, 2019).

Um dos grandes desafios para que seja possível viabilizar células, órgãos e tecidos em 3D, é a necessidade de criação de protocolos que possam avaliar os seguintes aspectos: a proliferação celular, a expressão da proteína* e a quimioresistência,* e para que isto ocorra são necessárias metodologias reprodutíveis e detalhadas (OLIVEIRA, Naila A. *et al.*, 2017).

Em um artigo, de 2017, intitulado “Bioimpressão e produção de mini órgãos com células tronco*” foram consideradas importantes os itens a seguir e que ainda

demandam pesquisas: a escolha do biomaterial* pois fornecerá todos os aspectos bioquímicos (quimiocinas, fatores de crescimento, fatores de aderência, ou proteínas de sinalização)* e físicos (fluxo intersticial,* propriedades mecânicas e estruturais da matriz extracelular) na formação dos tecidos e/ou órgãos biológicos e/ou sintéticos; a disposição hierárquica de células ou a construção de blocos de tecido em um microambiente 3D; fatores como a fase de maturação pós-bioimpressão; melhorias no processo de impressão.

O objetivo das considerações citadas acima é promover um ambiente com viabilidade de sobrevivência da celular. Em relação ao biomaterial escolhido ele deve ser capaz de apresentar elevada estabilidade na integridade mecânica e estrutural após a bioimpressão, permitindo a diferenciação de linhagens de células-tronco autólogas* em linhagens de células específicas de tecido, facilitando assim, o enxerto endógeno do tecido sem gerar uma resposta imunológica (NAILA, A. *et al*, 2017 apud OZBOLAT, 2015).

A pesquisadora do CTI, Janaina Dernowsek em um artigo intitulado “Por que ainda não temos órgãos funcionais bioimpressos ou biofabricados?” acrescenta mais linhas de pesquisa que ainda serão demandadas, por exemplo, a sinalização molecular intra e extracelular, o desenvolvimento de hidrogéis para o processamento, a utilização adequada de biomoléculas indutoras de migração, proliferação e diferenciação, além de outros parâmetros, tais como todas as informações necessárias utilizando-se a imagem de tomografia ou ressonância magnética nuclear para produzir o BioCAD de um órgão (primeiro passo do processo). Portanto, a percepção é que só com os avanços requeridos necessários será possível obtermos a maturidade necessária para garantir todas as etapas da bioimpressão.

Outro desafio está relacionado aos softwares usados atualmente, há uma concordância entre os pesquisadores que um dos entraves é a interoperabilidade tecnológica.* Os *softwares* usados atualmente no Brasil são adaptados e emprestados da impressão 3D convencional. É necessário que a Bioimpressão tenha um software que possa fazer esta comunicação em razão da dinamicidade do tecido, e dos parâmetros biológicos que se modificam em intervalos de dias (LOENERT, L., 2019)

Em se tratando da questão ética, é importante lembrar que com relação as células-tronco*, levaram-se vários anos até que algumas destas terapias fossem aprovadas para uso comercial (como exemplo, pode-se citar as doenças

sanguíneas, no sistema imunológico e a perda da função da medula óssea que em alguns casos, podem ser tratadas com eficiência por meio do transplante de células-tronco* sanguíneas) e, ainda assim, carece de novas regulamentações para evoluir na pesquisa científica. Com relação à bioimpressão não será diferente, um dos desafios éticos que precisam ser solucionados diz respeito à burocracia envolvida na regulamentação dos tecidos bioimpressos e da segurança dos protocolos de pesquisa. Portanto há muita pesquisa ainda em andamento (Idem, ibidem).

3.2.3.4. Bioimpressão 3D – Em outros países

A empresa de origem Israelense “*Precise Bio*”, tem como foco o desenvolvimento de tecidos, enxertos de córnea e implastos cardíacos, sua plataforma chamada de biofabricação por laser vem sendo usada para estabelecer de forma específica e precisa a localização espacial necessária para formar um tecido. A plataforma da “*Precise Bio*” é um processo adicional chamado transferência direta induzida a laser (LIFT) no qual o objetivo é permitir que as células amadureçam e desenvolvam a integridade estrutural necessária para a função normal do tecido (LOENERT, L., 2018). O primeiro pedido de patente foi protocolado em 17 de agosto de 2016 e agora emitido como Pat. 9.751.351. Esta plataforma tecnológica (Biofabricação por laser) possui várias patentes (FREEPATENTSONLINE, 2020).

O método LIFT é conhecido tanto na área de pesquisa como na indústria e consiste em um substrato transparente revestido com uma película fina de material a ser transferido (o “doador”), para um substrato receptor (o “aceitador”). Um pulso de laser induz localmente uma excitação térmica que finalmente resulta na transferência de material para o aceitador. O principal problema sobre o processo da tecnologia LIFT, essencialmente utilizado no centro de pesquisa acadêmica, é a complexidade do sistema. Esta invenção supera esse inconveniente da complexidade e traz o método LIFT para uso industrial. Existem muitos processos de impressão na indústria que são realizados em vários conjuntos de equipamentos, limitando a simplicidade, a precisão e a qualidade da plataforma impressa. A integração entre esses sistemas é cara do ponto de vista dos recursos e processos necessários para alcançar resultados adequados (Idem, ibidem).

Esta invenção traz ainda uma solução abrangente que equipa várias tecnologias criadas para serem integradas em uma única plataforma podendo, portanto ser usada no mundo real e não, mas apenas como ferramenta de pesquisa (LOENERT, L., 2018 e FREEPATENTSONLINE, 2020).

O foco da empresa está no desenvolvimento de tecidos de biofabricação para uma variedade de indicações oftálmicas, cardíacas e afins. A expectativa futura é que para os próximos dez anos, a tecnologia seja usada em uma variedade de aplicações adicionais nas quais os tecidos doentes serão substituídos por tecidos saudáveis biofabricados. No *site* da “*Precise Bio*” é mencionado um caso de sucesso, trata-se de um enxerto de córnea impressa em 3D com base em células desse tecido, o primeiro a ser transplantado em um animal. A vantagem das córneas é não necessitarem de nervos ou vasos sanguíneos (LOENERT, L., 2018).

“A Bioimpressão 3D já consegue criar carne artificial no Espaço” foi artigo na mídia internacional acerca da empresa russa “*ЗД Биопринтинг Солюшенс*”, também conhecida como “*3D Bioprinting Solutions*”. É a única empresa de tecnologia de impressão 3D e bioinks (biomateriais usados na bioimpressão) para uso comercial, naquele país (TECMUNDO, 2019 e LISTEK, Vanessa, 2019).

A empresa “*3D Bioprinting Solutions*” havia feito uma primeira tentativa do envio da impressora FABION ao espaço, mas a sonda russa “*Soyuz MS-10*” caiu devido a um mau funcionamento durante a decolagem. Na segunda tentativa, foi bem-sucedida e, em 3 de dezembro de 2018, a impressora FABION 2 foi entregue à Estação Espacial Internacional (ISS), a bordo da espaçonave tripulada “*Soyuz MS-11*” para realizar a biofabricação formativa de tecidos e estruturas de órgãos em microgravidade (TECMUNDO, 2019 e LISTEK, Vanesa, 2019).

Pela primeira vez em órbita, o pesquisador cosmonauta Kononenko imprimiu tecido de cartilagem humana e uma glândula tireóide de roedor. Foi o primeiro experimento realizado em condições de ausência de peso. As células usadas no experimento foram fornecidas por empresas de tecnologia de alimentos dos EUA e de Israel. O sucesso do experimento será de vital importância para os futuros vôos espaciais de longa duração diz o veterano cosmonauta russo “*Oleg Kononenko*”. Entretanto, para criar uma grande quantidade de carne por impressão 3D serão necessários equipamentos mais complexos do que a atual bioimpressora russa (Idem, idem).

Em um estudo publicado em 2019, intitulado “*Advanced Healthcare Materials*” em Dresden, na Alemanha, aponta a bioimpressão como um possível meio de fabricação ideal de estruturas 3D com geometria precisa para a produção de um hidrogel macroporoso com células produtoras de insulina incorporadas (DERNOWSEK, J. A. e LOUNERT, L., 2019). Foi constatado pelos cientistas que a capacidade do hidrogel em preservar as características fundamentais da insulina encapsulada foi preservada. O fundamental da experiência demonstrou que o material composto não prejudicou a difusão de macromoléculas relevantes, nem prejudicou a morfologia ou a sobrevivência das células produtoras de insulina no pâncreas inseridas na Estrutura 3D impressa. A pesquisa foi testada em ratos, viabilizando, portanto a prova de conceito cujo objetivo foi tornar possível que células pancreáticas produzidas por bioimpressão permanecessem funcionais e continuassem a reagir à estimulação da glicose na produção de insulina.

3.2.3.5. Bioimpressão 3D – As pesquisas no Brasil

Foi feita uma pesquisa do *site* da FAPESP com o termo “Manufatura Aditiva”, correspondente a “Impressão Tridimensional”. Até a data de 15/06/2019, foram colhidas as seguintes informações referentes às pesquisas em andamento e finalizadas:

- 11 projetos de auxílios à pesquisa em andamento,
- 14 auxílios à pesquisa concluídos,
- 27 bolsas no país em andamento,
- 27 bolsas no país concluídas,
- 03 bolsas no exterior em andamento e,
- 04 bolsas no exterior concluídas.

Fiz a seleção de apenas um projeto de pesquisa da FAPESP:

a) Simuladores sintéticos do tecido biológico para treinamento em procedimentos médicos guiados por ultrassom: amniocentese* (2019).

Na Fase I, verificou-se a possibilidade de criar simuladores sintéticos que permitem a reprodução de algumas características de tecido humano, com objetivo de servir como treinamento de habilidades práticas para profissionais de saúde (treinamento de amniocentese (*)). Os objetos podem ser criados através de duas

técnicas: moldagem ou manufatura aditiva (impressão 3D). A tecnologia impressão 3D pode ser aplicada usando-se os dados obtidos por tomografia computadorizada ou ressonância magnética.

Sendo assim, a Fase II tem por objetivo principal o desenvolvimento de um modelo complexo, para atender o treinamento de amniocentese*, além de prever o desenvolvimento de subprodutos ao longo do projeto (FAPESP).

4. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D EM OUTROS PAÍSES

Os Subitens a seguir tratam das principais iniciativas governamentais nos países (América do Norte, Europa e ÁSIA) considerados estratégicos no uso da impressão 3D nas indústrias automobilística, aeronáutica e na saúde

4.1. INICIATIVAS GOVERNAMENTAIS

4.1.1. ESTADOS UNIDOS E EUROPA

Um das alegações do *National Science and Technology Council* (NSTC) para o forte investimento dos Estados Unidos no conceito de manufatura avançada para alavancar a indústria foi a transferência das atividades de produção das grandes empresas para o exterior (globalização) ocasionando uma lacuna entre as atividades de P&D e a aplicação de inovações tecnológicas na produção doméstica de bens, afetando de forma substancial a capacidade de produção americana, ocasionado perda de benefícios econômicos substanciais (ALMEIDA, 2019).

Em 2012, os Estados Unidos viabilizaram a criação de um instituto industrial piloto, o Instituto Nacional de Inovação em Manufatura Aditiva (NAMII), uma parceira entre os governos federal, estaduais, locais, indústria e universidades, que compartilham os custos e tem o objetivo de ser um acelerador nacional da AM. Este modelo foi inspirado nos Institutos *Fraunhofer* da Alemanha, os institutos industriais são a peça central do programa de manufatura avançada do governo norte-americano. Estas iniciativas chamam atenção para a importância da colaboração entre setor público e setor privado na construção da indústria do futuro, segundo Cristian Machado Almeida (2019).

O “*America Makes*” foi criado nos Estados Unidos, em 2015, como iniciativa bem sucedida de parceria público-privada cujo objetivo é colocar em prática ações conjunta para acelerar a pesquisa, a inovação e a adoção da manufatura aditiva (AM) no país (LOPES, 2018). Foi o primeiro instituto criado nos EUA com o objetivo de ser uma aceleradora nacional da AM / impressão 3D. Estruturada como uma parceria público-privada com organizações membros da indústria, governo, academia, agências não governamentais e recursos de desenvolvimento econômico. A “*America Makes*” é um centro reconhecido de inovação em fabricação avançada, com 88

projetos de P&D em AM executados. Ele evoluiu de uma comunidade de 65 organizações fundadoras para mais de 225, a partir de 2019 (WOHLERS ASSOCIATES, 2019).

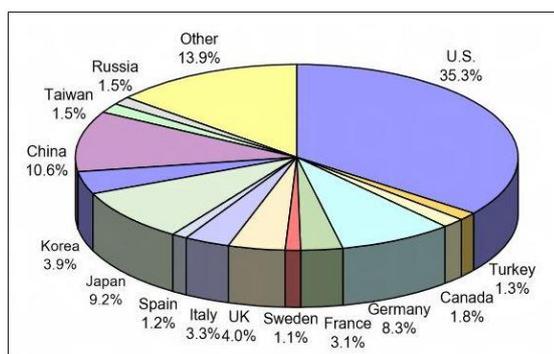
Lançada formalmente em março de 2016, a *America Makes & ANSI Additive Manufacturing Standardization Collaborative* (AMSC) é um órgão de coordenação intersetorial cujo objetivo é acelerar o desenvolvimento de padrões e especificações da AM em todos os setores de forma consistente com as necessidades das partes interessadas e, assim, facilitar o crescimento da indústria de AM. As principais partes interessadas são: a indústria, a academia, organizações de desenvolvimento de padrões e o governo federal. O grupo não tem a missão de desenvolver padrões; em vez disso, o objetivo do projeto é prover um roteiro e identificar os padrões necessários, promovendo assim uma abordagem mais consistente e coordenada para o desenvolvimento de padrões para a AM (AMERICA MAKES, 2016 e PORTAL AMSC GAPS, 2020).

A AMSC coordena as várias organizações de desenvolvimento de padrões envolvidas em diversas frentes relacionadas aos vários aspectos da AM, mantendo um conjunto consistente e não contraditório de padrões de AM. Tópicos como projetos, materiais, controle do processo, pós-processamento, propriedades do produto finalizado, qualificação e certificação, padrão de terminologias de falhas, manutenção e reparo fazem parte dos padrões que estão sendo viabilizados referentes à manufatura aditiva (idem, ibidem).

De acordo com o relatório de pesquisa da Wohlers 2019 (dados de 2018), os EUA continuam como principal fabricante de impressoras industriais AM no mundo. Impressoras industriais AM são aquelas vendidas por mais de US\$5 mil (AMFG; 2019). Eles dominam os mercados com a participação de 35% dos sistemas industriais AM instalados globalmente. Entre os fabricantes estão empresas conhecidas no mercado tais como a “3D Systems” e “Stratasys” e outras menores como a *Carbon, Desktop Metal e Formlabs*. Um grande número de empresas manufatureiras tradicionais está apostando na AM, por exemplo, GE e a HP. Outro dado importante, apontado entre as empresas de impressão em 3D nos Estados Unidos, é o crescimento do investimento em capital de risco. No primeiro semestre de 2018, as *Startups* de impressão 3D com sede nos EUA, arrecadaram mais de US\$600 milhões em investimento (mais do que o dinheiro arrecadado de 2012 a 2015 juntos, segundo a AMFG (2019).

Conforme Terry Wohlers, para definir a posição de um país em relação a AM uma das métricas usadas é o número de empresas que produzem sistemas industriais AM e o total de investimento em P&D. Outra métrica utilizada é com relação à adoção/uso dos sistemas AM, contudo, esta métrica é considerada difícil de ser medida em parte devido ao crescimento generalizado na adoção desta tecnologia em vários países (é difícil rastrear em muitas regiões do mundo). Mesmo assim, ele acredita que os EUA são o detentor (adoção de sistemas AM) de mais de um terço de todos os sistemas industriais de AM. A Figura 37, a seguir representa as instalações cumulativas de 1988 a 2018, aonde os EUA detêm 35,3%, a China detém 10,6% e a Alemanha 8,3% (AMFG; 2019 e WOHLERS, 2019).

Figura 37 - Sistemas Industriais AM nas empresas, por países



Source: Wohlers Report 2019

Fonte: AMFG; 2019; Dados de 2018

Embora tenham sido criadas várias iniciativas nos Estados Unidos, de 2014 a 2019, usando-se a AM principalmente na indústria, muitos analistas consideram que ainda falta uma estratégia nacional para a tecnologia. Analistas da AT Kearney consideram que os EUA tiveram menor apoio do governo em 2017. A partir de 2019, pouco mudou a esse respeito. Embora a Casa Branca tenha divulgado um relatório intitulado “Estratégia para Liderança Americana em Fabricação Avançada” em outubro de 2018, o relatório não indica nenhuma mudança oficial de política na AM. Um dos questionamentos é a necessidade dos formuladores de políticas nos EUA considerarem mais iniciativas em relação ao desenvolvimento da força de trabalho, educação e incentivos para as empresas adotarem esta tecnologia. O orçamento militar dos Estados Unidos, em 2018, incluiu o apoio de US \$ 13,2 bilhões à inovação tecnológica, incluindo impressão 3D (AMFG; 2019).

Depois da América do Norte (Estados Unidos, principalmente), é a Europa que possui a segunda maior participação no mercado de AM. Com relação às empresas de AM a Europa é a que tem maior número de participantes com um percentual de 55%, seguido pela América do Norte com 33% e a Ásia com 13% (AMFG; 2019). A maioria das empresas de impressão 3D está centralizada na Europa Ocidental, com países como Alemanha, Reino Unido, Itália e França, impulsionando o desenvolvimento e os aplicativos de AM. Os setores que mais tem se beneficiado da AM são o aeroespacial e de saúde (AMFG; 2019).

Como veremos, a seguir, alguns países da Europa também desenvolveram uma estratégia nacional para a AM como parte de seus planos avançados de fabricação e indústria 4.0. Enquanto a Europa Ocidental assumiu a liderança na adoção da AM industrial, a Oriental (um dos países membros é a Federação Russa) ainda está atrasada (AMFG; 2019). Relatório de 2018, da Associação Europeia para a Indústria de Fabricação de Aditivos (CECIMO) afirma que a escassez de habilidades continua sendo um dos principais desafios da região (CECIMO; 2019 e AMFG; 2019).

ALEMANHA

O maior país manufatureiro da União Europeia, a Alemanha, ocupa uma posição de topo no que diz respeito à adoção e industrialização da AM. Em 2011, o governo federal alemão lançou a iniciativa 'Industrie 4.0', que incluía o foco na impressão 3D, entre outras tecnologias digitais, segundo a AMFG (2019).

Em 2017, o Instituto *Fraunhofer*, juntamente com seis parceiros, lançou o projeto “*Future AM*”, visando acelerar a metalurgia, e desenvolver soluções tecnológicas que ajudarão a aumentar a escalabilidade, a produtividade e a qualidade dos processos AM para a produção de componentes metálicos (AMFG; 2019).

A Federação Alemã de Engenharia (*Additive Manufacturing Association da VDMA*) também está envolvida na industrialização usando a tecnologia AM. Em 2019, ao redor de 13% das 560 empresas alemãs pesquisadas pela VDI, maior associação de engenharia da Europa Ocidental, estava usando a AM para a produção de produtos completos para uso final. No entanto, um terço afirma que fabricam produtos com alguns componentes impressos em 3D. Na Alemanha, o setor automotivo é um dos que mais investem na utilização da impressão 3D. Como exemplo, pode-se citar um dos mais promissores projetos da *BMW Group*, lançado no início de 2019, o IDAM (Industrialização e digitalização de manufatura aditiva para

processos em série automotiva), visa entregar pelo menos 50 mil componentes por ano em produção em massa, usando AM, e mais de 10 mil peças individuais e de reposição (IEDI; 2019).

O governo alemão assinala que “difícilmente existirá um país bem-sucedido que dependa totalmente, e sem exceção, das forças do mercado para gerenciar os desafios colocados pelas mudanças em curso”. Com isto, deixa clara a necessidade da ação do Estado considerando que decisões empresariais individuais não são suficientes para manter a força inovadora, a competitividade e a prosperidade do país (IEDI; 2019). A intervenção estatal passa, portanto, a ser um marco da estratégia industrial com vistas a “garantir e recuperar a competência econômica e tecnológica, a competitividade e a liderança industrial em níveis nacional, europeu e global em todas as áreas relevantes”. O princípio econômico de proporcionalidade estabelece maior grau de intervenção estatal quanto maior for a importância do processo econômico. O Estado alemão se habilita até mesmo a assumir, por um período limitado de tempo, participação acionária em empresas consideradas essenciais em termos tecnológicos e de inovação, se assim for necessário para impedir que estas passem a ser controladas por acionistas estrangeiros (IEDI; 2019)

A medida acima foi tomada pelo setor executivo alemão, em fevereiro de 2019. Na apresentação do plano, o ministro da Economia alemão assumiu que a aquisição por parte de uma empresa chinesa da empresa de robótica alemã *Kuka*, em 2016, foi uma das razões que levaram o governo a mudar sua estratégia com relação à indústria tecnológica e à inovação, defendeu que é necessário impulsionar novos “campeões nacionais e europeus” para que seja possível competir a nível tecnológico com a China e com EUA (AMFG; 2019).

REINO UNIDO

O segundo maior destaque da Europa Ocidental é o Reino Unido (RU), apenas atrás da Alemanha. Passaram a adotar a AM, durante os anos 1990, para aplicações usando a prototipagem rápida. No início de 2014, o governo do RU iniciou as negociações sobre o estabelecimento de uma estratégia nacional para a AM. Em 2017, o governo publicou uma estratégia industrial, dando um caminho claro para tornar o país um dos principais “*players*” em AM. A pesquisa é considerada o ponto forte do desenvolvimento de AM e tem sido encabeçada pelas Universidades de

Nottingham, de Sheffield e de Cambridge. O Centro de Tecnologia de Manufatura (MTC), inaugurado em 2015, abriga um dos mais avançados Centros Nacionais de AM (AMFG; 2019).

Algumas empresas têm feito uso da manufatura aditiva tais como, a *Bowman International* para gaiolas de rolamentos, *Renishaw* e *Attenborough Dental* para coroas e pontes, Croft para filtros e GKN para componentes aeroespaciais e automotivos. As pesquisas têm mostrado que a maior parte das indústrias no RU ainda não adotou de forma abrangente a tecnologia. As principais barreiras apontadas como impeditivo para a adoção da AM no RU são: a) falta de habilidades e treinamento especializado, b) projeto nacional com uma atitude de investimento excessivamente cautelosa por parte do governo, e c) carência de informações sobre o ROI entre os empresários e uma estrutura de suporte comercial considerada fragmentada (IEDI; 2019).

FRANÇA

Em setembro de 2017, o primeiro-ministro francês anunciou um plano de investimento de 57 bilhões de euros, em cinco anos com o objetivo de aprimorar a agência do governo *FAB*, que já promove a indústria manufatureira do país. Os subsetores de fabricação de aditivos e materiais avançados estarão contemplados neste projeto (EXPORTGOV; 2019).

Na Europa, o volume de negócios gerado pela AM alcançou US\$ 3,6 bilhões, com a Europa Ocidental representando 83% desse valor e a Europa Oriental 17%. Os principais mercados da Europa são: Alemanha, RU, Itália e França. É esperado um crescimento de mercado na Europa de 15% ao ano (Idem, Ibidem).

4.1.2. ÁSIA-PACÍFICO

O Plano diretor industrial concebido pela China "*Made in China*" teve como premissa transformar o país em uma "superpotência industrial". O objetivo principal do Plano visava atender todas as indústrias de alta tecnologia que tinham forte contribuição não só no crescimento da China, mas também em países de economias avançadas (EUA, Alemanha, França e outros) tendo como foco a AM, indústria

automotiva, aviação, máquinas e equipamentos, robótica, equipamentos marítimos e ferroviários, dispositivos médicos e tecnologia da informação (WÜBBEKE *at al.*, 2016)

Especialistas em inovação acreditavam que o projeto “Made in China” traria benefícios à economia global em busca de uma maior capacidade de pesquisa e novos avanços na área de inovação, garantindo, portanto os princípios e as regras de mercados abertos e concorrência justa. No entanto, há divergências com o princípio inicial proposto, e apontam que na concepção atual, o resultado das ações da China tem sido a intervenção sistemática nos mercados domésticos para beneficiar e facilitar o domínio econômico das empresas chinesas e, conseqüentemente, prejudicar os concorrentes estrangeiros. Como a China pretende garantir este domínio? Substituindo gradualmente a tecnologia local - e preparando o caminho para que empresas de tecnologia chinesas entrem nos mercados internacionais. Apenas como comparativo, enquanto o governo alemão destinou 200 milhões de euros de financiamento federal para pesquisas nas tecnologias da indústria 4.0 até o ano de 2016, a China criou neste mesmo ano o “*Advanced Manufacturing Fund*” que recebeu a quantia de 2,7 bilhões de euros (Idem, *Ibidem*).

O Governo da China é o principal financiador de sua indústria emergente usando a AM Industrial embora o suporte governamental seja menor que o apoio dado ao desenvolvimento da robótica e ao software industrial e se concentra mais em P& D do que na comercialização. Em 2016, as aplicações industriais para impressão 3D estavam limitadas à fabricação de protótipos, peças de reposição e peças especiais. O mercado chinês de impressoras 3D industriais e não industriais, dobrou de 2010 a 2016, e um valor de mercado de 2,7 bilhões de euros estava previsto para 2018. A expectativa tomando como base 2016 é que nos próximos 5 a 10 anos (2021 a 2026), a China se tornará o maior mercado para impressão 3D em todo o mundo (idem, *Ibidem*).

Até 2016, o grande problema da indústria chinesa em relação à impressão 3D industrial envolvia os materiais de impressão de alta qualidade (resina, cerâmica e polímeros em pó), em sua grande maioria eram importados de fornecedores estrangeiros. Até 2016, 200 novas empresas foram criadas, mas apenas dez empresas chinesas trabalhavam no desenvolvimento de impressoras 3D industrial em metal. Com relação às impressoras 3D de uso não industrial (SLA e FDM) as empresas chinesas já estão entre as líderes globais. Houve avanços na produção de Impressoras 3D para consumidores domésticos e para o uso na bioimpressão. Em

relação à cooperação internacional, a fabricante de impressão 3D chinesa *Kangshuo* construiu uma *joint venture* com a empresa norte-americana *Solidscape*. A empresa chinesa *Meimai* coopera com a empresa alemã de impressão 3D industrial *Voxeljet*. (WÜBBEKE *et al.*, 2016).

Para enfrentar os desafios de P&D na engenharia, relevantes para a indústria, são necessários vínculos e alianças entre universidades, empresas e institutos públicos de pesquisa, concentrando-se na construção de uma massa crítica de recursos multidisciplinares para acelerar a industrialização de tecnologias industriais habilitadoras (WÜBBEKE *et al.*, 2016 e AMFG, 2019).

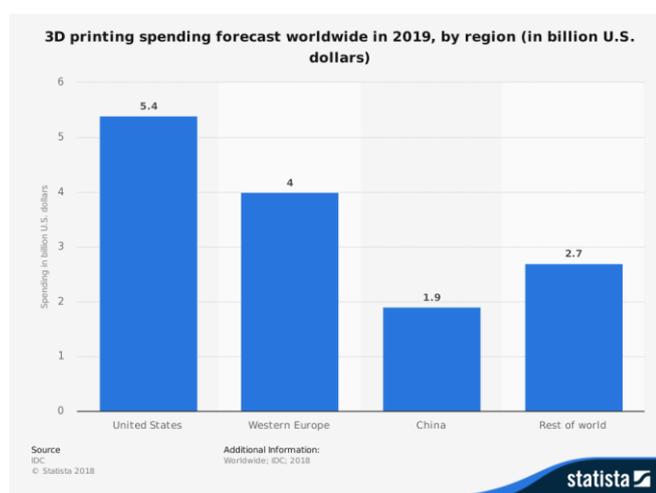
O estabelecimento do Centro Nacional de Inovação em MA se deu em 2017; portanto, ainda muito recente na China. O objetivo é cumprir uma função de rede-chave entre os diferentes atores do sistema de inovação. Em outra iniciativa, a abordagem do plano chinês é dar atenção aos contextos locais e regionais para alcançar um “desenvolvimento diferenciado”, apoiado por um esforço ativo das autoridades nacionais e regionais para assegurar que as empresas do setor privado desempenhem um papel de liderança no desenvolvimento dos centros. Uma das metas do Plano para a MA era realizar mais de 100 projetos-piloto em 10 setores-chave, juntamente com os setores médico, cultural, educacional e da Internet (WÜBBEKE *et al.*, 2016 e AMFG, 2019).

O plano de ação também tem como atividade a garantia de investimentos na formação dos colaboradores envolvidos na impressão 3D em empresas líderes, integrando recursos nacionais e internacionais e fazendo com que estes colaboradores produzam de forma integrada. Iniciativas da China para melhorar o suporte, metrologia, padronização, certificação e qualificações para a indústria de fabricação de aditivos chinesa está em consonância com as ações empreendidas em outros países. Em *Guangzhou* foi criada a primeira faculdade de impressão 3D do mundo, a “*Baiyun-Winbo 3D Printing Technology College*” (WÜBBEKE *et al.*, 2016 e AMFG, 2019).

Os programas de investimentos em redes de laboratórios norte-americanos e chineses possuem caráter vertical, uma vez que identificam e selecionam tecnologias específicas a serem desenvolvidas; por outro lado, as características do processo de inovação aberta dessas redes lhes conferem um caráter também horizontal (Wübbeke *et al.*; 2016).

A Figura 38, a seguir, nos mostra dados do mercado de impressão 3D, em 2019. O valor na China foi de 1,9 bilhões de dólares, sendo as informações baseadas em previsão, mas os gastos em P&D não são computados, o que nos leva a concluir que a China está em franco crescimento e que 'Plano de Ação para o Desenvolvimento da Indústria de Manufatura Aditiva', de 2017, buscando tornar uma indústria nacional de AM no valor de US\$3 bilhões até 2020 está bem próximo dos objetivos traçados. Tal plano faz parte do roteiro estratégico 'Made in China 2025' para o setor manufatureiro do país (AMFG, 2019).

Figura 38 - Mercado 3D no Mundo



Fonte: China Source Statista, 2018

Em 2019, a China fez um novo aporte financeiro criando um fundo nacional de investimento de US\$21 bilhões para promover a transformação e modernização da indústria manufatureira do país. O objetivo definido foi o investimento em toda a cadeia de valor* da indústria de transformação abrangendo a AM e outras tecnologias habilitadoras. Em relatório de 2019, da Ernst & Young Global Limited, 78% das empresas chinesas pesquisadas já adotaram a impressão 3D (AMFG, 2019).

Coreia do Sul

Em 2014 o governo da Coreia do Sul estabeleceu um plano de P&D para impressão 3D. A estratégia tem como meta apoiar a indústria existente com um ecossistema integrado (software, tecnologia de impressão 3D e materiais),

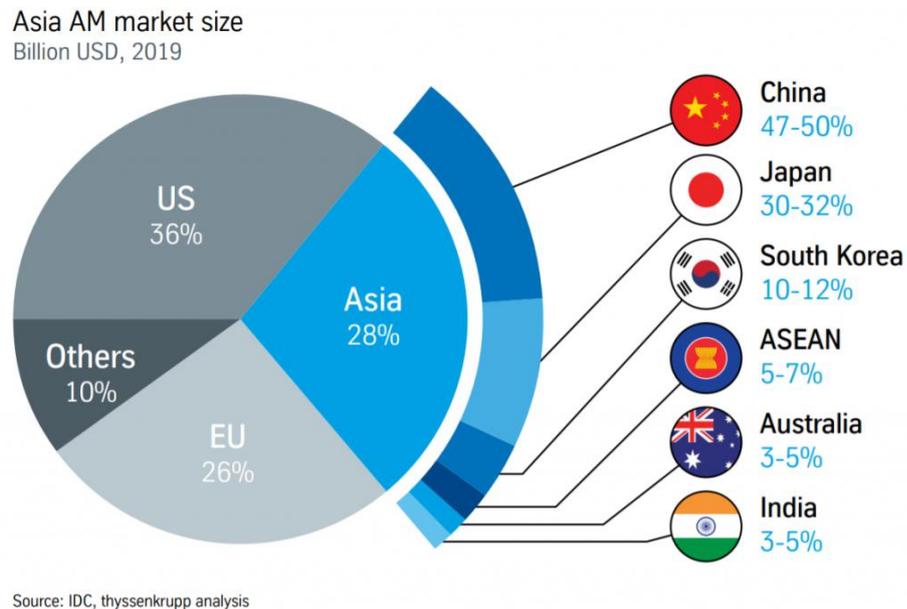
viabilizando a integração dos principais atores conectando-os à tecnologia de forma mais organizada e produtiva, para isto eles estabeleceram oito centros regionais em todo o país para fornecer infraestrutura e serviços de consultoria nesta tecnologia. Desde a introdução da tecnologia de impressão 3D no país, os coreanos têm priorizado o seu uso industrial (AMFG, 2019).

O setor médico assume o papel de liderança entre os dez setores prioritários descritos no plano de metas coreano. Os projetos-piloto do governo destinam-se principalmente ao setor de saúde. Na visão do governo a aplicabilidade da impressão 3D na saúde traz resultados mais rápidos no estágio inicial. Até o final de 2016, havia 19 dispositivos médicos impressos em 3D, principalmente, implantes ortopédicos, registrados oficialmente pelo Ministério da Segurança de Alimentos e Medicamentos (AMFG, 2019).

Em 2017, o governo fez um novo aporte equivalente a US\$ 37 milhões em financiamento para o desenvolvimento da Tecnologia AM. A Coreia do Sul foi responsável em 2017 por aproximadamente 4,1% de todos os sistemas AM instalados no mundo e possui o terceiro maior número de máquinas na região da Ásia-Pacífico. A maior parte do *hardware* de impressão 3D no país é importada. Ainda em 2017, os fabricantes estrangeiros responderam por mais de 80% das vendas totais de impressoras 3D na Coreia, segundo a AMFG (2019).

Na Figura 39 estão representados os países do sudeste asiático e o percentual que cada um possui em impressoras 3D industriais. A Associação das Nações do Sudeste Asiático (ASEAN) é um bloco econômico integrado formado por: Brunei, Camboja, Cingapura, Filipinas, Indonésia, Laos, Malásia, Mianmar, Tailândia e Vietnã, além dos países observadores, Papua-Nova Guiné e Timor Leste.

Figura 39 – Total de impressoras industriais nos Países do Sudeste Asiático



Fonte: IDC/ThyssenKrupp

Entre os países da ASEAN, Cingapura, Tailândia e Malásia são os maiores adotantes da impressão 3D, representando cerca de 80% do mercado de AM. De acordo com a *ThyssenKrupp* (um dos maiores grupos industriais da Alemanha), a AM tem o potencial para criar mais de US \$ 100 bilhões em valor e de 3 a 4 milhões de empregos na ASEAN. Em 2015, Cingapura estabeleceu o *National Additive Manufacturing Innovation Cluste* (NAMIC) como forma de impulsionar startups e tecnologias de AM. O governo estabeleceu, em 2020, o plano de Pesquisa, Inovação e Empresa (RIE), que identificou a AM como um facilitador essencial para apoiar o crescimento e a competitividade do setor manufatureiro nacional. Além disso, Cingapura é o lar de muitos centros de pesquisa e centros de excelência em AM, estabelecidos por empresas externas. Empresas globais como a GE, *ThyssenKrupp*, HP, UPS, *Evonik* e a *Voestalpine* instalaram centros regionais de AM em Cingapura

A “*International Data Corporation*” estima que a Ásia-Pacífico (excluindo o Japão) gastará US\$2,7 bilhões no mercado de impressão 3D em 2019. A impressão 3D foi uma das tecnologias de fabricação de ponta incorporadas no plano de 2020 da “*Research, Innovation and Enterprise*” (RIE) - que é o sexto roteiro de pesquisa e desenvolvimento de Cingapura. Uma iniciativa criada foi com a NAMIC (Grupo

Nacional de Inovação de Fabricação Aditiva) para acelerar o desenvolvimento e colocar a cidade-estado como líder regional. A NAMIC alocou cerca de US\$100 milhões para pesquisa e desenvolvimento e aplicações de impressão 3D além da alocação de cerca de US\$370 milhões para aumentar as capacidades de AM nos próximos cinco anos.

4.2. OS AVANÇOS PRODUZIDOS NA SAÚDE

Na Universidade da Califórnia, em Berkeley, o professor de engenharia química e biomolecular Nitash Balsara faz parte da equipe de desenvolvimento que está usando a impressão 3D como ferramenta para construir (imprimir) um absorvedor cujo conceito foi inspirado nos absorventes usados no refino de petróleo para remover produtos químicos indesejáveis, como por exemplo, o enxofre. A finalidade desta pesquisa é desenvolver uma esponja cuja proposta de abordagem seja a captura de drogas como coadjuvante no tratamento endovascular do câncer de fígado.

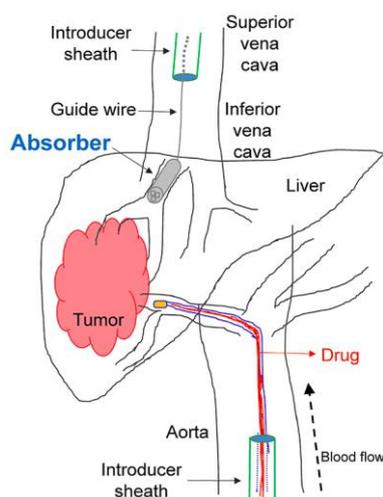
Na Figura 40, a seguir, é apresentado o processo abordado na pesquisa. Primeiramente o medicamento de quimioterapia é administrado através de um cateter na artéria hepática (parte inferior). O excesso da droga é capturado pelo absorvedor (objeto personalizado criado pela impressão 3D) na veia que drena o órgão (veia cava). O uso da impressão 3D para a construção destas esponjas personalizadas foi escolhido em razão das veias dos pacientes não serem de tamanho único e de ser esta uma das vantagens do uso da impressão 3D (CONEXÃO BOAS NOTÍCIAS, 2019).

Testes experimentais demonstraram que a esponja testada em porcos - absorveu uma média de 64% do quimioterápico injetado – o próximo passo é testar em humanos. Relatos de quem passa atualmente pelo tratamento quimioterápico apontam muitos efeitos colaterais, incluindo náuseas, vômitos, diarreia e supressão do sistema imunológico, sem mencionar a perda de cabelo e úlceras, por isto, esta pesquisa é um passo importante para reduzir o medicamento quimioterápico no organismo após passagem pelo órgão lesado. A esponja usada é feita com um material de um polímero absorvente* que reveste um cilindro para se encaixar precisamente em uma veia que transporta o sangue e que sai do órgão-alvo, o fígado com câncer, por exemplo. Lá, absorveria qualquer droga não absorvida pelo

tumor, impedindo-a de atingir e potencialmente comprometer outros órgãos (Idem, *Ibidem*).

Foram impressos em 3D os cilindros de cinco mm de diâmetro e 30 mm de comprimento. Em seu estudo publicado, os autores observaram que o processo de impressão 3D reproduziu fielmente as estruturas internas visadas, isto é, o tamanho exato do artefato a ser introduzido na veia cava do paciente, conforme a Figura 40.

Figura 40 – Absorvedor 3D



Fonte: Universidade de Berkeley

Como é um dispositivo temporário, há um nível mais baixo em termos de aprovação pelo *U. S. Food and Drug Administration (FDA)**. No Brasil a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).* tem a mesma função do FDA nos EUA.

A mais recente pesquisa em tecnologia de impressão 3D, publicada em 2019, foi projetada por um professor da “*Virginia Tech*” e sua equipe interdisciplinar de pesquisadores e estudantes de graduação. O projeto tem feito incursões na integração de sensores eletrônicos com próteses impressas em 3D personalizadas no laboratório de *Blake Johnson*, a grande diferença é que esta prótese foi produzida através de um novo método de impressão 3D chamada “conformada”. Para a desenvolvedora “*Virginia Tech*”:

“A vantagem da Impressão 3D conformada é que ao invés da impressão 3D por camada, em que o material é depositado camada a camada, em uma superfície plana, a “3D conformada” permite a

deposição de materiais em superfícies e objetos curvos, com isto, criam-se facilidades em combinar a dureza do tecido do usuário e integrar sensores em diferentes locais na interface de ajuste da prótese.”

Portanto, para Sarah Goehrke e Linda Hazelwood (2019), ao integrar os sensores eletrônicos na intersecção entre uma prótese e o tecido do usuário, os pesquisadores podem reunir informações relacionadas à função protética e ao conforto, como a pressão no tecido do usuário, que pode ajudar a melhorar as iterações desses tipos de próteses.

4.3. EXEMPLOS DE AVANÇOS PRODUZIDOS NA INDÚSTRIA

O interesse da indústria pela criação de peças funcionais levou a adição de mais lasers nas tecnologias de impressão que fazem uso deste artefato (laser) , permitindo com isto que as peças sejam produzidas com menor tempo. Dependendo da tecnologia de impressão 3D (principalmente as que usam leito de pó de Metal), as peças impressas em metal 3D, depois de finalizadas, são tratadas termicamente para aliviar tensões e, em seguida, cortadas e refinadas com uma máquina CNC, melhorando o acabamento superficial e limpando os canais. Ações adicionais como o polimento eletrônico ou a rotação podem ser utilizadas para melhorar ainda mais o acabamento geral do componente, segundo Michel Molitch-Hou (2016).

Apenas para efeito comparativo, uma peça usinada de forma convencional (por exemplo, usando-se a usinagem) produzida em 18 dias, com 1,2 kg de peso final e ao custo de US\$420, diante de uma peça aprimorada usando impressão 3D, impressa em apenas 36 horas, ergonômica, pesando apenas ¼ da peça usinada e custando menos da metade do preço: US\$ 176 (3DPRINTING).

Empresas como a Matsuura e Sodick introduziram recursos CNC em sistemas de impressão 3D em metal com o intuito de combinar os benefícios de ambas as tecnologias e, simplificar o pós-processamento (MOLITCH-HOU, 2016).

A empresa israelense *Xjet* desenvolveu uma plataforma para aperfeiçoar os processos da impressão 3D usando metal. Substituiu o feixe de laser para fundir os pós-metálicos por jateamento* de tintas de nanopartículas e um material de suporte para construir as peças metálicas camada por camada. Um elemento aquecido passa sobre cada camada de uma impressão, unindo o metal e, quando a impressão é concluída, o objeto é colocado em um forno convencional para a

sinterização final (processo de aglutinação de partículas sólidas). Neste ponto, o material de suporte é totalmente removido (MOLITCH-HOU, 2016).

A resolução fina da tecnologia, devido ao tamanho submicrométrico das partículas de metal envolvidas, também elimina a necessidade de refinamento adicional da peça após a impressão. Este é um desenvolvimento considerado seguro, pois a tinta de nanopartículas é armazenada em cartuchos para que o operador da máquina nunca tenha que lidar com os pós-metálicos reativos. Na maioria dos processos atuais em que se usa o sistema de leito em pó, os operadores da máquina são obrigados a lidar com pós-metálicos reativos que podem causar incêndios ou causar irritação na pele, nos pulmões ou no sistema gastrointestinal. Por esta razão, eles usam luvas e respiradores ou manipulam o material através de uma câmara selada (Idem, Ibidem).

Usando as novas impressoras 3D Ultimaker 2+ (R\$5.242,13) e Ultimaker 3 (R\$12.000,00), que utiliza a fabricação de filamentos por fusão (FFF), a Volkswagen estimou que economizou US\$377 mil, em 2017, com a impressão de gabaritos e acessórios de montagem de rodas, em vez de esperar longos períodos enquanto os pedidos das peças se arrastavam pela cadeia de suprimentos. Algumas peças, que durariam semanas e custavam US\$200, estavam sendo impressas em horas por US\$ 20 (John Hitch, 2018).

A empresa 3D Systems tem estimulado uma aplicabilidade da impressão 3D produzindo maior volume de artefatos usando seu processo de SLA. Com esta premissa, eles criaram uma solução automatizada para a *Align Technologies*, fabricantes de alinhadores transparentes (aparelho dentário), para produzir mais de 350 mil alinhadores exclusivos (vários para cada paciente) por dia. O processo de impressão 3D é usado para criar um molde personalizado da peça conhecida como *Invisalign*. A escala é o maior volume de aplicação que a impressão 3D está envolvida. O fluxo de trabalho começa na cadeira do ortodontista (passam por treinamento) para usar os scanners 3D. O próximo passo é o envio do modelo para ser impresso (Idem, Ibidem).

Juntando-se ao instituto piloto de impressão 3D dos Estados Unidos, a “*America Makes*”, em 2014, a Senvol elaborou um robusto banco de dados de impressoras 3D e materiais industriais. Em 2016, esta empresa de análise de impressão 3D fez uma parceria com a empresa de inteligência de materiais *Granta Design* para o desenvolvimento de um *software* que aliasse o conhecimento sobre

impressoras 3D e os materiais utilizados. A integração teve como resultado a possibilidade das equipes de desenvolvimento em 3D identificarem os melhores dados de AM e as melhores impressoras 3D e materiais para seus projetos (MOLITCH-HOU, M., 2016 e MASHAMBANHAKA, Farai, 2016).

Em um cenário emergente e com rápida evolução onde novos produtos são lançados diariamente e existem centenas de máquinas compatíveis industriais AM, escolherem as melhores opções (Tecnologia, configuração e Material de impressão) para um projeto de manufatura ou pesquisa pode ser uma decisão difícil. O resultado final foi o banco de dados Senvol Database TM. No final 2016 ele continha informações de 550 impressoras 3D e mais de 700 materiais inter-relacionados que são constantemente atualizados por parceiro (MASHAMBANHAKA, F., 2016).

Este *software* integrado permite que os usuários pesquisem por fabricante, processo de impressão 3D, tamanho, tipo de material e custo. Além disso, a identificação e a comparação de máquinas AM são baseadas em processos suportados, fabricante, tamanho da peça, custo ou materiais compatíveis (e suas propriedades mecânicas, térmicas e físicas). O *Granta Selector* também incorporado ao projeto oferece aos usuários a capacidade de identificar, analisar e comparar propriedades de materiais usados na indústria (MASHAMBANHAKA, F., 2016 e MOLITCH-HOU, M., 2016).

5. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D: ÁREAS DE CONVERGÊNCIA

5.1. COMUNIDADE MAKER

A era conhecida como Web permitiu que várias ferramentas de invenção e de produção fossem democratizadas aproveitando-se o conceito de código aberto (*open source*). O *Maker Movement*, que em tradução livre deste autor significa movimento maker, teve seu início oficialmente nos Estados Unidos, em 2007, segundo Chris Anderson (2012) e engloba uma ampla variedade de atividades, desde a criação de arte, até a eletrônica de alta tecnologia. As pessoas que fazem parte deste movimento estão mais preparadas para o uso das tecnologias digitais e mais familiarizados com a Web; utilizam ferramentas digitais de *desktop* para criar designs de novos produtos; compartilhando suas criações *online* e em várias situações agrupando-se com outros makers e/ou pesquisadores em prol de um determinado projeto (na pandemia, surgiram vários projetos e entre eles o Projeto Higia – criação de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) para área de saúde. Eles compartilham suas criações online; e fazem a utilização de ficheiros de design que permitem que qualquer pessoa envie os seus projetos de criação para serem produzidos em qualquer quantidade (ANDERSON, C., 2012 e SANTOS, Mário Beja, 2014).

Segundo Koff e Gustafson (2012), graças às empresas que atendem aos mercados *online* para a utilização de objetos para a impressão 3D, como *Thingiverse*, *Shapeways* e *Sculpteo*, o problema do marketing e distribuição foi significativamente reduzido. Algumas delas pagam aos designers por seus produtos além de lidar com a aquisição e distribuição dos produtos em qualquer lugar do mundo. Há uma relação intrínseca entre o termo “*maker*” e o consumidor final; neste caso, as impressoras 3D, por exemplo, vêm chamando atenção pelo potencial de revolucionar a forma como a manufatura foi desenvolvida nas últimas revoluções industriais, tornando desnecessário que estoques sejam feitos - afinal os produtos serão impressos à medida que forem demandados - invertendo, portanto a lógica de transportes de produtos encomendados, oferecendo a possibilidade de que estes produtos possam ser impressos pelos próprios consumidores (que se tornam “*makers*”) em suas cidades, dispensando neste caso a figura das grandes

transportadoras e a necessidades de armazéns para estoque do produto (MAGRANI *et al.*, 2015).

5.2. FABLABS

O termo *Fabrication Laborator* (Fablab) foi proposto por Neil Gershenfeld, professor do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e diretor do *Centre and Bits and Atoms* (CBA). Em 2001, através de uma doação feita pelo *National Science Foundation* (Washington, DC) foi dado início ao projeto que consolidou uma colaboração entre o *Grassroots Invention Group* e o CBA no Media Lab do MIT, seus campos de pesquisas são interdisciplinares, da física à computação quântica, da nanotecnologia à fabricação pessoal. Atualmente, possuem presença em mais de 60 países e, no Brasil, as iniciativas já ultrapassam 20, segundo o Fablab.

O FabLab é um componente de divulgação educacional do CBA-MIT, e tem como objetivo uma extensão de sua pesquisa em fabricação aditiva (impressão 3D) e computação digital. É uma plataforma de prototipagem técnica para inovação e invenção, com a função de servir como multiplicador de estímulo ao empreendedorismo local, também é considerada uma plataforma para aprendizado, conectando uma comunidade global de alunos, educadores, pesquisadores, fabricantes - uma rede de compartilhamento de conhecimento, ferramentas e processos comum que abrange 30 países (FABFOUNDATION, 2016).

Conforme Eychenne e Neves (2013), os FabLabs se destinam aos empreendedores/makers que querem agilizar um projeto permitindo que evoluam de forma mais ágil da fase do conceito ao protótipo, neste contexto, a atuação dos FabLab devem responder a algumas questões i) atuar como vetor de empoderamento, aprendizagem, de implementação de capacidade, um organismo ativo e democrático; ii) investir na aprendizagem da prática tecnológica (o fazer) na criação de protótipos, e nas abordagens colaborativas e transdisciplinares; iii) tornar-se um espaço de resolução de problemas e questões locais, interagindo e se apoiando em uma rede ligada internacionalmente; iv) apoiar novos empreendedores; e v) servir de apoio e incubadora de empresas para a facilitação dos processos de desenvolvimento e inovação. (Idem, Ibidem).

Conforme recomendações da FabFoundation (2016), um FabLab tem como um dos principais pontos positivos o acesso público. Entretanto, as ferramentas e

processos precisam ser compartilhados com qualquer lugar do mundo. É uma comunidade que compartilha conhecimento e colabora através das fronteiras internacionais. Ou seja, se algo for produzido em Paris e o projeto for enviado para compartilhamento, o Rio de Janeiro também pode ter acesso para produzir o mesmo objeto localmente. Além disso, apresenta um conjunto de equipamentos necessários para que o espaço Maker seja considerado como estando ligado à rede, segundo Eychenne e Neves (2013).

Os equipamentos básicos que um FabLab devem conter são: impressora 3D, fresagem* CNC, circuito de produção, corte a laser/gravura, fresagem* de precisão e cortadora de *vini**. Portanto, para ser uma FabLab em conformidade com a rede é preciso seguir alguns princípios, por exemplo: a) abrir as portas à comunidade pelo menos uma vez por semana de forma gratuita; b) compartilhar ferramentas e processos com os outros laboratórios de mesmo tipo; c) participar ativamente da rede por meio de videoconferências e encontros presenciais; d) ter pessoas qualificadas para gerenciar o local, e e) ter técnicos em máquinas, softwares e processos, para apoiar os frequentadores no que eles precisarem (PINTO *et al.*, 2018).

De acordo com a FABFOUNDATION, em julho de 2018, o total de FabLabs no mundo era de 1.294. Existem 22 FabLabs no Brasil distribuídas em nove estados (Rio de Janeiro, Brasília, Paraná, Mato Grosso do Norte, São Paulo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Maranhão, Paraíba). A gestão dos FabLabs públicos é feita pelo Instituto de Tecnologia Social - ITS Brasil (ITSBRASIL; 2018 e SANTANA, Andréia; 2018). Conceitualmente, tecnologia social (TS) é uma ferramenta que agrega informação e conhecimento para mudar a realidade. Por isso é identificada como a ponte entre as necessidades, os problemas e as soluções (PINTO; TEIXEIRA, 2017)

Em 2017, São Paulo tinha 12 laboratórios públicos, nos quais o cidadão pode desenvolver protótipos inovadores, compartilhar saberes e aprender gratuitamente. O ITS Brasil operacionaliza a rede de laboratórios mediante um convênio com a Prefeitura de São Paulo. Assim, todo Fablab é considerado um espaço maker, com a exclusividade de ser uma franquia do MIT (PINTO; TEIXEIRA, 2017). O credenciamento do Fablab é feito pela FABFOUNDATION, que tem o objetivo de facilitar e dar suporte para a expansão da rede de Fablabs ao redor do mundo.

5.3. REPRAP

Em 2004, Adrian Bowyer publica seu projeto de uma impressora 3D usando filamentos fundidos com uma proposta original cujo objetivo é que pudessem fabricar uma parte significativa de suas próprias peças, a esta impressora + o projeto deu-se o nome de Replicating Rapid-protótipo (REPRAP). A tecnologia de impressão utilizada foi a FFF (Fused Filament Fabrication) usando uma tecnologia similar à tecnologia FDM (extrusão) com a vantagem de ser uma impressora com o custo mais baixo. A impressora REPRAP usa os materiais ABS ou PLA na impressão. A mudança de nome foi necessária para evitar problemas legais, já que o nome “FDM” é registrado (IMASTER, 2017) (CTI-Renato Archer, 02/2019).

A queda da vigência da patente da impressora 3D FDM em 2009 sob domínio da *Stratasys Inc.*® fez com que o projeto REPRAP viabilizasse a popularização da Impressão 3D. Um dos ganhos do projeto REPRAP foi desenvolver e distribuir os projetos para uma máquina muito mais barata, com a capacidade inovadora (os custos de material são de aproximadamente € 350). Ela segue os princípios do Movimento de Software livre. Dessa forma, é acessível a pequenas comunidades no mundo em desenvolvimento, bem como a indivíduos no mundo desenvolvido (REPRAP, IMASTER, 2017; Pitágora *et al.*, 2018 e CTI Renato Archer, 2019).

Todos os projetos para a impressora REPRAP são distribuídos gratuitamente sob a Licença Pública Geral GNU na forma de arquitetura aberta (*open source*). Qualquer desenvolvimento ou aprimoramento do design, software ou partes eletrônicas do REPRAP surge das próprias iniciativas de seus usuários. Sem contar as porcas e parafusos, e a parte eletrônica, a impressora REPRAP pode produzir 70% de suas peças, segundo Bradshaw *et al.* (2010).

Uma das vantagens atuais do REPRAPs é a redução significativa dos custos da fabricação digital de alta qualidade, como equipamentos científicos. A economia verificada tem produzido ganhos para a comunidade científica. Nesta perspectiva, pesquisas preliminares já mostraram que os números de produtos 3D pré-projetados estão crescendo rapidamente e conseqüentemente, capitalizam a eliminação do transporte de produtos, estabelecendo com isto a tecnologia no âmbito dos três modos de operação da produção distribuída: a) fabricação central distribuída para diferentes locais, b) descentralizado para locais de produção, por exemplo, fabricação localizada, Fablabs e makerspaces* e c) fabricação doméstica. A

facilidade de uso e a vantagem econômica para o consumidor médio ainda não as tornaram popular, havia uma expectativa que o consumidor americano era tecnicamente experiente o suficiente para construir uma impressora 3D a partir de peças usando os planos de Internet disponíveis gratuitamente, mas esta análise pode ter sido excessivamente otimista, considerando-se que, apenas um terço dos americanos é cientificamente e tecnicamente alfabetizado (PETERSEN, Emily & PEARCE, Joshua (2017). Segue na Figura 41 um exemplo de impressora REPRAP: Prusa Mendel.

Figura 41 - Impressora Prusa Mendel



Fonte: REPRAP⁸

As impressoras REPRAPS produzem itens com qualidade ligeiramente inferior às máquinas comerciais, mas com cerca de 1% do custo. Não há uma instituição central que dê instruções: os usuários investem tempo e pensamento no processo evolutivo do projeto REPRAP. Envolver os usuários no design de produtos, fornecendo kits de ferramentas, tornou-se mais importante nos últimos tempos. Outro projeto que também usa a arquitetura aberta é o Fab@Home, que foi inspirada pelo REPRAP. Ao contrário do REPRAP, essas máquinas não se copiam. No entanto, todas são capazes de produzir REPRAP machines, assim como quase todas as máquinas comerciais de impressão 3D de larga escala. O projeto Fab@Home também usa a extrusão de materiais em pasta, silicone, chocolate, queijo, massa, pasta de amendoim e outras.

⁸ Para maiores informações, ver site: <https://REPRAP.org/wiki/File:Prusai3-metalframe.jpg>

5.4. NORMAS PARA O USO DA IMPRESSÃO 3D OU MANUFATURA ADITIVA

A transição do trabalho manual para o uso de máquinas nas fábricas se deu no século XVIII. Esta mudança criou a necessidade de se elaborar normas para padronizar a substituição de peças de reposição nas máquinas utilizadas e permitir a produção em massa de componentes especializados (ABNT, 2018).

Como a impressão 3D para a indústria ainda não havia elaborado uma padronização específica a opção foi utilizar a normalização técnica disponível (ISO 9001:2000) e acompanhar o movimento iniciado na Alemanha, em 2011. A Comissão de Estudo Especial de Manufatura Aditiva (ABNT/CEE -261), espelho do internacional ISO/TC 261- *Additive Manufacturing*, concluiu a adoção de normas internacionais, e a previsão é que em breve esses primeiros documentos serão disponibilizados à sociedade (ABNT, 2018).

Atualmente, comunidades globais têm confiança nas normas produzidas pela *International Electrotechnical Commission (IEC)*, *International Organization for Standardization (ISSO)* e a *International Telecommunication Union (ITU)*, para garantir a compatibilidade e a interoperabilidade, de modo que as novas tecnologias possam ser adotadas de forma padronizada.

Em 2017, foi criada, no Brasil, a Comissão de Estudo Especial de Manufatura Aditiva (ABNT/CEE-261), instalada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. A Comissão de Estudo Especial responde pela Normalização na área da manufatura aditiva, englobando os processos e cadeias de processos (*hardware e software*), contratos de fornecimento, parâmetros de qualidade, requisitos, métodos de ensaio e generalidades. Atua como espelho do Comitê Técnico Internacional (ISO/TC 261 - *Additive Manufacturing*), cuja secretaria é exercida pelo Instituto Alemão para Normalização (*Deutsche Institut für Normung - DIN*).

O Brasil é um dos dez membros observadores desse Comitê, que tem mais 22 países como membros participantes. A *General Electric*, expert na utilização da manufatura aditiva na produção de produtos finais em metal, ferramentas e dispositivos em processos fabris, tem sido uma das empresas que tem contribuído na elaboração da ABNT/CEE-261. (referencia).

O Comitê da ISO publicou oito normas e tem 17 projetos em desenvolvimento. Três dessas normas internacionais foram adaptadas pela ABNT/CEE-261. A norma ABNT NBR ISO/ASTM 52900 foi disponibilizada para consulta em 05/09/2018. As normas são: (referencia)

- **ABNT NBR ISO/ASTM 52900 – Manufatura Aditiva – Princípios Gerais – Terminologia.** (similar em conteúdo técnico, estrutura e redação, à ISO ASTM 52900:2015). Estabelece e define termos utilizados na AM. O objetivo desta padronização é propiciar uma terminologia comum para facilitar a comunicação entre as pessoas envolvidas no processo.
- **ABNT NBR ISO 17296-2 - Manufatura aditiva — Princípios gerais — Parte 2:** Fornecer uma visão geral dos fundamentos das categorias de processo e das matérias-primas usadas. Também fornece uma visão geral das categorias de processos existentes (sinterização seletiva a laser, estereolitografia, fabricação de filamento fundido e outras) e explica como diferentes categorias de processo utilizam diferentes tipos de materiais para dar forma à geometria de um produto.
- **ABNT NBR ISO 17296-3 - Manufatura aditiva — Princípios gerais — Parte 3: Características principais e métodos de ensaio correspondentes.** Visa oferecer recomendações e informações aos fabricantes de máquinas, fornecedores de matéria-prima, usuários de máquinas, fornecedores de peças e clientes, para melhorarem a comunicação entre essas partes interessadas em relação aos métodos de ensaio*.

Em relação ao Brasil ainda não existe uma regulamentação completa relativa à AM. Uma comissão da ABNT concentrada no Rio de Janeiro e São Paulo composto por cerca de dez profissionais das mais diversas áreas; busca discutir e estabelecer as regras, diretrizes e características da tecnologia por aqui. O intuito é adaptar as normas escritas pela *International Organization for Standardization* (ISO) para os conceitos industriais e culturais brasileiros, tornando a tecnologia algo familiar para o mercado, segundo Rodolfo Pereira (2017).

O Y14.46 abrange definições de termos e características exclusivas da AM com recomendações para sua especificação uniforme de definição de produto e os documentos relacionados. Engloba detalhes relevantes da AM incluindo projeto, fabricação e engenharia de qualidade. Esse padrão ainda esboçado como rascunho ajudará a melhorar a eficiência na fabricação, fornecendo definições, símbolos,

regras e diretrizes relativas às inúmeras características geométricas essenciais para a elaboração e concepção de produtos e sistemas (ASME, 2018).

5.5. PROPRIEDADE INTELECTUAL

Com a tecnologia de impressão 3D, artefatos abrangidos por propriedade industrial podem ser materializados em objetos físicos; portanto, não é apenas possível, mas provável, que possam ser impressos em versão tridimensional ao longo dos próximos anos. O monopólio concedido aos detentores deste tipo de propriedade intelectual é posto sob risco quando a reprodução de artigos patenteados, com desenho industrial registrado ou com marcas famosas se torna extremamente mais fácil, bastando lançar mão de um *scanner* 3D ou de um bom *designer* gráfico e começar a impressão, mesmo que, em escala limitada, segundo Heliane Celestino Pitágora e Kim de Vasconcelos e Araújo (2018)

Uma das soluções tecnológicas que vem sendo avaliadas para a proteção da propriedade intelectual é o projeto *Secure Additive Manufacturing Plattform* (SAMPL), criado na Alemanha, em 2016, para aplicação a partir de 2019. O principal objetivo foi o desenvolvimento de uma solução de segurança abrangente, construindo uma cadeia de confiança, para processos de produção que utilizam a manufatura aditiva. O processo começa com a geração dos dados de impressão 3D digital e a troca dos dados com um provedor de serviços de impressão 3D (LI *et al.*, 2014).

Outra tecnologia de segurança avaliada é o uso do conceito de *blockchain* (conhecido principalmente do mundo financeiro, usando um processo criptográfico com o intuito de verificar a autenticidade das transações financeiras no mercado de pagamentos digitais). A tecnologia *blockchain* também será aplicável à representação de transações no sentido de licenciamento. Neste caso, uma impressora obtém a licença para imprimir um componente. O consórcio SAMPL está desenvolvendo as tecnologias descritas para ajudar a resolver os desafios urgentes em torno da proteção de direitos autorais na manufatura aditiva. Com o SAMPL, será possível proteger impressões com concessões de licença e distinguir entre impressão original, falsificada ou ilegítima, com base nos componentes *RFID** integrados nos objetos impressos (SAMPL, 2019).

Diante destas dificuldades, já começam a surgir as primeiras tentativas de limitação das impressoras 3D. A empresa americana *Intellectual Ventures of Bellevue*, incubadora de projetos avançados e inovadores, detém, desde 2012, patente sobre uma tecnologia de *Digital Rights Management* (DRM) que bloquearia o uso de impressoras 3D com arquivos não identificados como impressões legais, algo como o bloqueio a jogos piratas já utilizados em diversos videogames.

Conforme Engelmann *et al.* (2018) apud Biahmou (2016), sabe-se hoje que a transferência de dados de um projeto de impressão 3D para criação descentralizada de objetos é economicamente viável, se houver mecanismos de segurança apropriados e um gerenciamento de licença digital adequado, que garanta o controle da licença dos Objetos 3D pelo detentor de direitos autorais.

Conforme Engelmann *et al.* (2018) apud M.K. Sini (2017), a fabricação local de componentes produzidos aditivamente agrava isso, à medida que o controle aduaneiro se torna mais difícil. Novos modelos de negócio, como a fabricação de peças de reposição por impressão 3D, elevam o risco de plágio para uma nova dimensão.

6. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D: ESTATÍSTICAS E O MERCADO GLOBAL

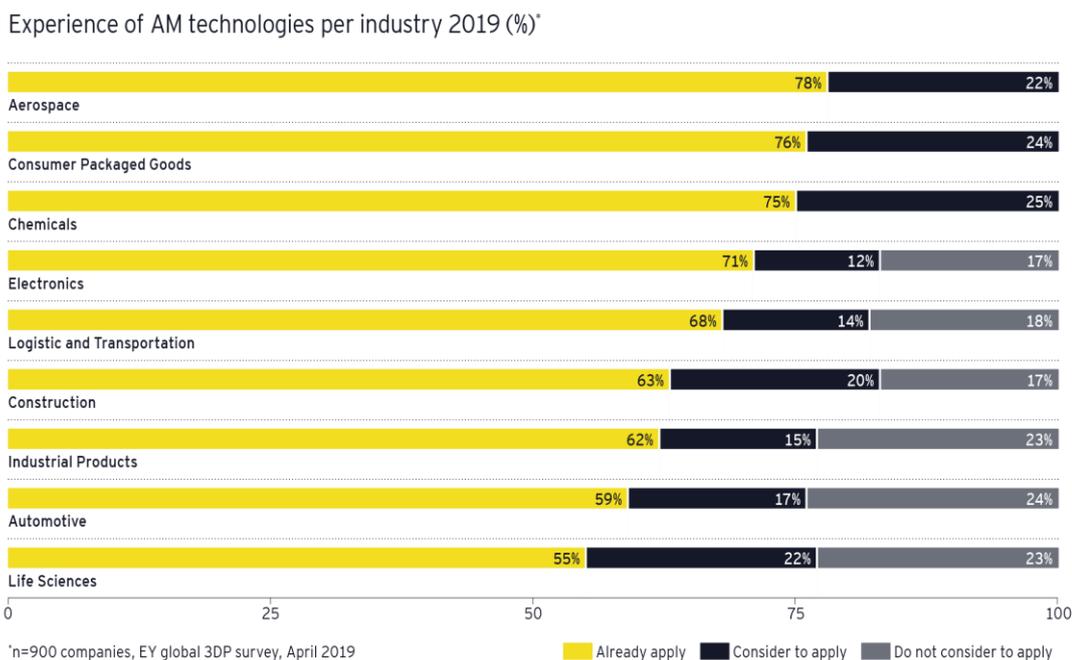
6.1. RELATÓRIO GLOBAL ERNST & YOUNG (EY)

Ao fornecer uma visão atualizada do setor e *insights* acerca de seu desenvolvimento, a EY produziu um relatório, em 2019, incluindo pesquisas contínuas com 900 executivos de 13 países e 9 setores relacionados à manufatura aditiva. Seguem algumas considerações relevantes desta pesquisa, segundo Glenn Steinberg e Stefana Karevska (2019).

Uma em cada quatro empresas pesquisadas pela EY, em 2019, está nos estágios iniciais de sua jornada em direção ao uso da tecnologia de impressão 3D, ou testando ou experimentando a tecnologia. No entanto, houve um aumento percentual de 2016 (4%) para 2019 (20%), mostrando que a AM é estrategicamente importante e que pretendem elaborar um plano estratégico para integrá-la em seus negócios.

Em setores específicos, 78% das empresas relacionadas à indústria aeroespacial possuem experiência em AM, e já haviam utilizado a tecnologia. Mesmo os setores com uso limitado de AM - e nos quais sua aplicação significaria modelos de negócios totalmente novos, como logística e transporte ou construção - demonstram alta consciência da tecnologia. O interesse e a experiência da AM entre empresas de logística e transporte, por exemplo, atualmente é seis vezes maior que o interesse registrado em 2016.

Figura 42 – Tecnologia AM, por Setor Industrial (%)



Fonte: EY, *Global EY Report*, 2019

Outro dado relevante é de que aproximadamente um terço das empresas pesquisadas aplicava a AM em pelo menos um dos três tipos fabricação de peças funcionais: impressão de componentes ou peças de uso final (18% das empresas pesquisadas, ante 5% em 2016); ferramentas, moldes e gabaritos, para uso na fabricação convencional (15%); peças de reposição feitas sob demanda em armazéns digitais (14%).

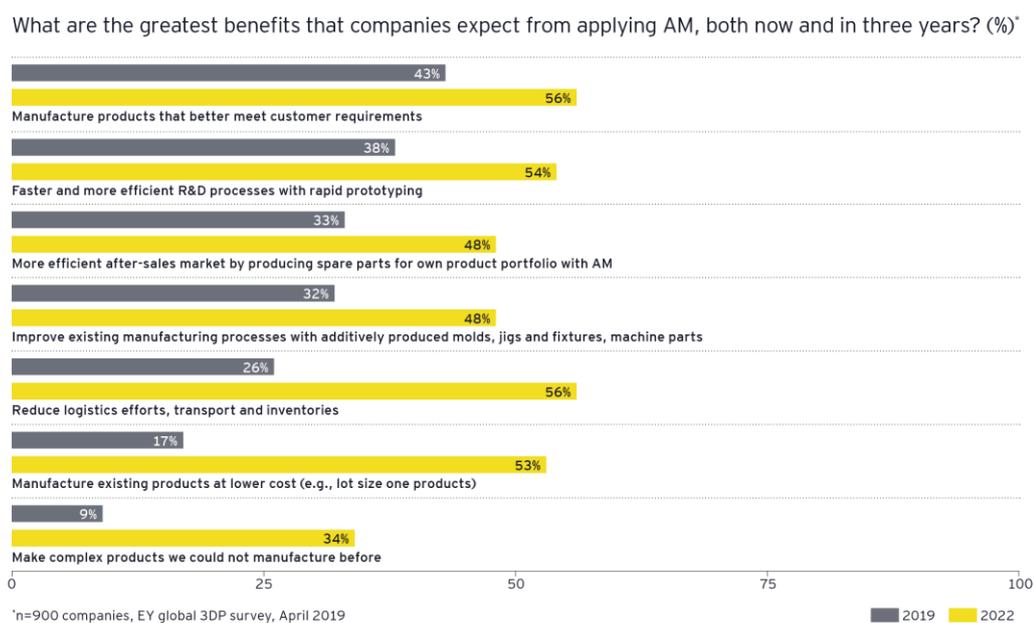
A pesquisa também demonstrou que a adoção da tecnologia de impressão 3D continua a crescer, anualmente: 46% das empresas pesquisadas esperam aplicar a tecnologia para seus produtos em série até 2022, com as empresas asiáticas novamente liderando o caminho. Entre os setores, as ciências da vida* (bioimpressão, biotecnologia, biopolímeros, prótese, órteses e outras) e os produtos químicos lideram o campo, 22% das empresas pesquisadas têm usado a AM para produtos finais.

Outro dado fundamental mostrou que, entre os participantes, 34% acreditam que a AM se tornará uma tecnologia de produção adicional, enquanto apenas 12% acham que substituirão outras tecnologias da produção convencional*.

Na Figura 43, observam-se os maiores benefícios que as companhias esperavam obter em 2019 na utilização do AM e a expectativa até 2022. Além da prototipagem, as empresas tradicionalmente usam o AM para melhorar os processos de produção existentes. Ao permitir que se possam fazer matrizes e moldes* com estruturas internas, ferramentas personalizadas, peças de máquinas, gabaritos e acessórios, a tecnologia AM aprimorou seus sistemas tradicionais de fabricação e manutenção. Esse ainda é um grande atrativo: 32% das empresas consideram este um dos principais benefícios da AM.

A capacidade de fabricar produtos onde e quando forem necessários afetará significativamente a logística da empresa, permitindo que as organizações reduzam os estoques de seus armazéns, manuseio e transporte, mais de um quarto (26%) dos pesquisados já vivenciaram esses benefícios.

Figura 43 - Benefícios da aplicação AM



Fonte: EY, *Global EY Report*, 2019

6.2. RELATÓRIO WOHLERS ASSOCIATES, INC (2015 a 2018)

A *Wohlers Associates Inc.* é uma empresa de consultoria independente criada em 1987, por Terry Wollers. A empresa fornece consultoria técnica e estratégica sobre os novos desenvolvimentos e tendências no desenvolvimento rápido de produtos usando a fabricação aditiva. Por 24 anos consecutivos, a empresa publica

o Relatório Wohlers, que fornece revisão e análise mundial da fabricação aditiva no mundo.⁹ Segue abaixo, uma visão geral do uso da AM no mundo, os tópicos estaram divididos por assunto, quais sejam:

Valores de Venda Globais

Os mercados de AM, que consistem em todos os produtos e serviços fabricados aditivamente em todo o mundo, têm mostrado um crescimento consistente. Os valores estimados incluem sistemas industriais e impressoras 3D para *desktop* (cerca de US\$ 5 mil). Esta estimativa não inclui iniciativas de pesquisa e desenvolvimento em fabricantes de equipamentos originais (OEMs)* e seus fornecedores, nem receitas de peças de AM fabricadas por OEMs. O crescimento da indústria em 2010 foi de 24,1%, em 2011 de 29,4%, em 2012 de 32,7%, em 2013 de 33,4%, atingindo mais de US\$3 bilhões, em 2014 cresceu 35,2%, para US\$4,103 bilhões, em 2015 para 25,9%, mais de US\$ 5 bilhões (WOHLERS, 2015; (WOLHLERS, CAFFREY e McCUE, 2015/2016).

Em 2014, as receitas de vendas de impressoras 3D para *desktops* aumentaram 98,2% (US\$173,5 milhões). O total é de 13,4% das receitas de todas as máquinas AM. As impressoras *desktop* 3D (sistemas AM que vendem por menos de US\$ 5 mil) incluem os derivados REPRAP e as impressoras 3D da *MakerBot Industries*, de Beijing (Tiertime, 3D Systems, Ultimaker e muitas outras), segundo Wohlers e Caffrey (2015).

A economia global, em 2015, girava em torno de US\$80 trilhões; deste montante, a produção manufatureira respondia por 16%, equivalente a US\$12,8 trilhões. Em 2015, com cerca de US\$ 5,2 bilhões, a AM representava aproximadamente 0,04% de toda a produção manufatureira, segundo Caffrey, Wohlers e Campbel (2016).

Em 2016, a impressão 3D havia crescido 17,4% (em receita mundial para um total de US\$ 6,1 bilhões em relação ao período anterior, segundo Michael Molitch-Hou (2017).

Conforme Wohlers, comparado com o aumento de 25,9%, em 2015, o crescimento em 2016 de 17,4%, foi ligeiramente menor que nos anos anteriores.

⁹ Para mais informações ver site: <https://wohlersassociates.com/bio.html>

Esta queda foi atribuída em parte pelos dois maiores fabricantes do setor, a Stratasys e a 3D Systems (MOLITCH-HOU, M., 2017; GOEHRKE, S. A., 2017).

O Relatório Wohlers 2018, com dados de 2017, foi criado com o apoio de 92 prestadores de serviços, 64 fabricantes de sistemas de AM industrial e 19 produtores de materiais de terceiros e impressoras 3D de mesa. Abrange pesquisa e desenvolvimento patrocinados pelo governo, colaborações e consórcios, e a pesquisa e atividades de 110 instituições acadêmicas e 11 de pesquisa, segundo Clare Scott (2018).

Em 2017, a indústria AM, composta por todos os produtos e serviços AM em todo o mundo, cresceu 21% (US\$7 bilhões). A estimativa total da indústria exclui investimentos internos da Airbus, Adidas, Ford, Toyota, Stryker (em 2016, a Stryker gastou quase US\$400 milhões para construir uma instalação para a produção de implantes ortopédicos de titânio pela AM) e outras empresas, grandes e pequenas. Na pesquisa foi detectado um aumento de investimento de empresas novas entre US\$ 1 bilhão a 5 bilhões em P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), conforme apontado por MacCue (2018) e Fabbalao (2018).

Outra informação importante de 2017 é que no topo das prioridades para o uso de AM na indústria está a utilização da tecnologia para a produção final, seguida da produção de protótipos funcionais; juntas representam 56,3% (Idem, Ibidem). A pesquisa também observou que, em 2017, o design para manufatura aditiva (DFAM) continua entre os maiores desafios e, em parte, isto se deve a dificuldade de obtenção no mercado de uma mão de obra com um conjunto de habilidades necessárias capaz de desenvolver produtos usando-se a impressão 3D. (Idem, Ibidem).

O faturamento global da impressão 3D, incluindo equipamentos, serviços, materiais, insumos, entre outros, ainda é considerada uma pequena parte do total da manufatura global, tendo atingindo, em 2018, aproximadamente 10 bilhões de dólares, e um percentual de 0,05% sobre o total global. (SILVA, Jorge V. L, 2018).

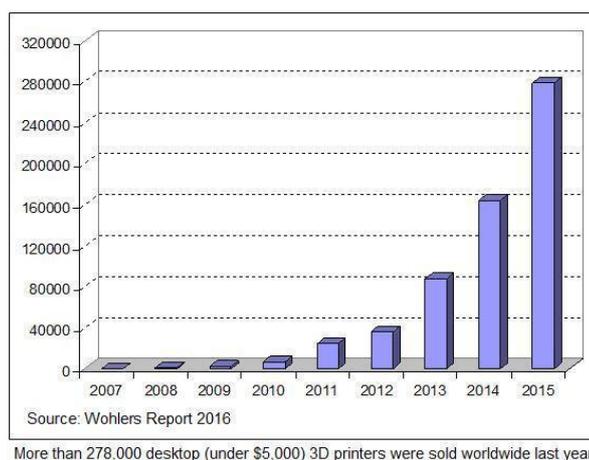
Neste faturamento global também foi excluído mais de 1 bilhão em capital de risco e outros investimentos privados em empresas relacionadas a AM. Portanto, a estimativa das receitas mundiais inclui a compra de sistemas industriais, impressoras 3D de mesa, materiais e peças de prestadores de serviços. ¹⁰

¹⁰ Para mais informações, consultar o site: <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2020/05/08/additive-manufacturing-industry-grows-to-almost-12-billion-in-2019/#8c17e855678d>

Sistemas AM

Sistemas industriais AM para peças de metal estão aumentando em popularidade. Estima-se que 543 máquinas de metal AM foram vendidas em 2014, um crescimento de 54,7% em relação a 2013, quando foram vendidas 351. Em 2015, foram vendidas 808 máquinas de metal AM, um crescimento de 46,9% em relação a 2014. Em 2015, o crescimento nas vendas unitárias de impressoras 3D para *desktops* continuou em ritmo forte, aumentando em 69,7% (278.385 máquinas). O crescimento, em 2014, foi de 88,0%, com vendas unitárias de 163.999 máquinas. Coletivamente, esses sistemas representavam uma tendência de crescimento constante, segundo Wohlers, Caffrey, MacCue e Campbell (2015/2016).

Figura 44 – Vendas de Impressoras 3D no Mundo, em 2015

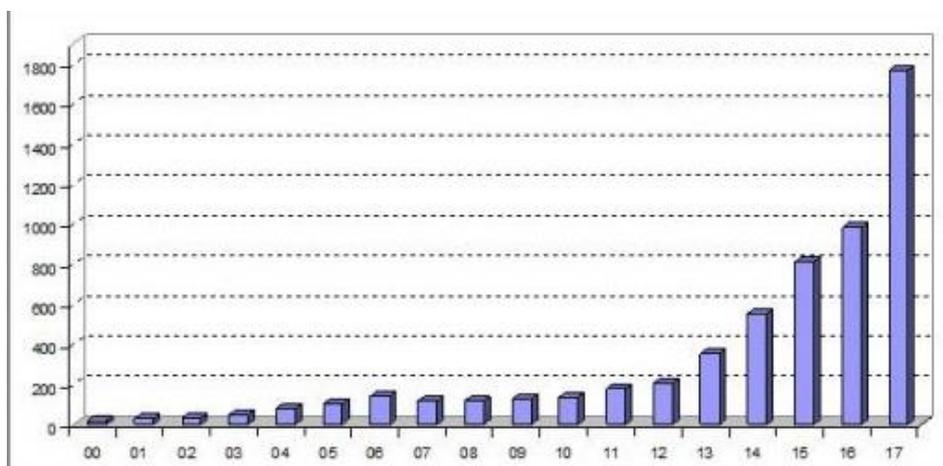


Fonte: *Wohlers Associates*, Relatório de 2016

Foram vendidos em 2016, 983 sistemas de fabricação aditiva metálica (industrial). Em 2017, houve um aumento de 80% em relação a 2016, sendo vendidos 1.768 sistemas de fabricação aditiva metálica. Estes sistemas são definidos pelo tipo de tecnologia e com valor maior que US\$ 5 mil, já o valor menor a este é considerado impressão 3D doméstica. A oferta também atendeu a demanda, em 2017, 135 empresas em todo o mundo produziram e venderam sistemas AM industrial, em relação a 97 empresas no ano de 2016. Na Figura 45, a seguir é

apresentada a quantidade de sistemas AM industriais vendidos no mundo, entre 2000 e 2017.

Figura 45 - Vendas de sistemas AM (2000 – 2017)



Fonte: Wohlers Associates, Relatório de 2018

A 3D Systems é um dos poucos fabricantes de impressoras de capital aberto, e é um dos inventores originais da tecnologia de impressão 3D conhecido como SLA. Especula-se que a queda de suas ações em 20% (2018) teve relação direta com o desinteresse do consumidor de desktop pela impressora 3D. As ações da empresa vêm caindo cerca de 20% nos últimos anos; mesmo tendo feito investimentos em 2015. Nos últimos anos, a empresa mudou seu foco de negócio para a área de saúde, segundo o site Fabbaloo (2019).

A receita do primeiro trimestre de 2019 em relação ao ano de 2018 caiu 8% (para US\$152 milhões); a perda por ação aumentou para US\$0,22; a receita da venda de materiais diminuiu 3%, a receita de software diminuiu 8%, a receita de serviços sob demanda diminuiu 12% e as margens de lucro bruto diminuíram 4,7%. (Idem, Ibidem). Uma das razões cogitadas foi a forte concorrência de equipamentos e a redução dos preços das impressoras, pois houve um aumento de 90% em suas vendas unitárias de impressoras 3D e isto não se refletiu em seus totais de receita. Uma das concorrentes diretas da 3D Systems é a Stratasys que também se encontra na mesma situação, e para minimizarem estas perdas têm usado as receitas de caixa acumulada durante os anos de lucro (Idem, Ibidem). Enquanto isso, a receita de materiais metálicos cresceu 41,9% em 2018, continuando uma

sequência de cinco anos de crescimento de mais de 40% a cada ano (WOHLERS, T., 2019).

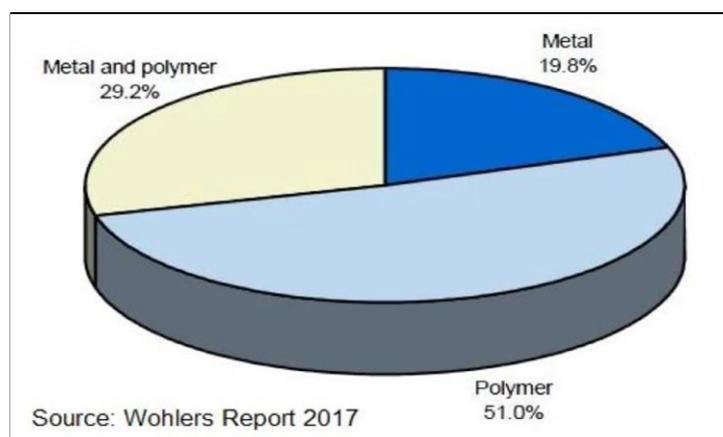
Fabricantes de Sistemas AM

Houve evolução em relação aos fabricantes que vendiam sistemas AM de nível industrial: em 2015, eram 62 fabricantes em comparação; em 2014, 49; em 2011, 31 (McCUE, 2016). Foi percebido o aumento no número de empresas que estão produzindo sistemas AM. Em 2017, o número de empresas cresceu para 135 em todo o mundo, produzindo e vendendo sistemas AM industriais; em 2016, eram 97 empresas. Algumas melhorias foram feitas atendendo a demanda do consumidor, por exemplo, máquinas foram lançadas com plataformas de materiais abertas,* velocidades de impressão mais rápidas e preços mais baixos (Idem, Ibidem).

Tipos de Materiais Comercializados

Na Figura 46 (pesquisa realizada em 2017) que 51% dos prestadores de serviços forneciam peças apenas em materiais poliméricos; enquanto 19,8% forneciam apenas em peças de metal. Os 29,2% restantes ofereciam serviços de construção em peças de metal e polímero (WOHLERS, JULY, 2017)

Figura 46 - Materiais mais vendidos

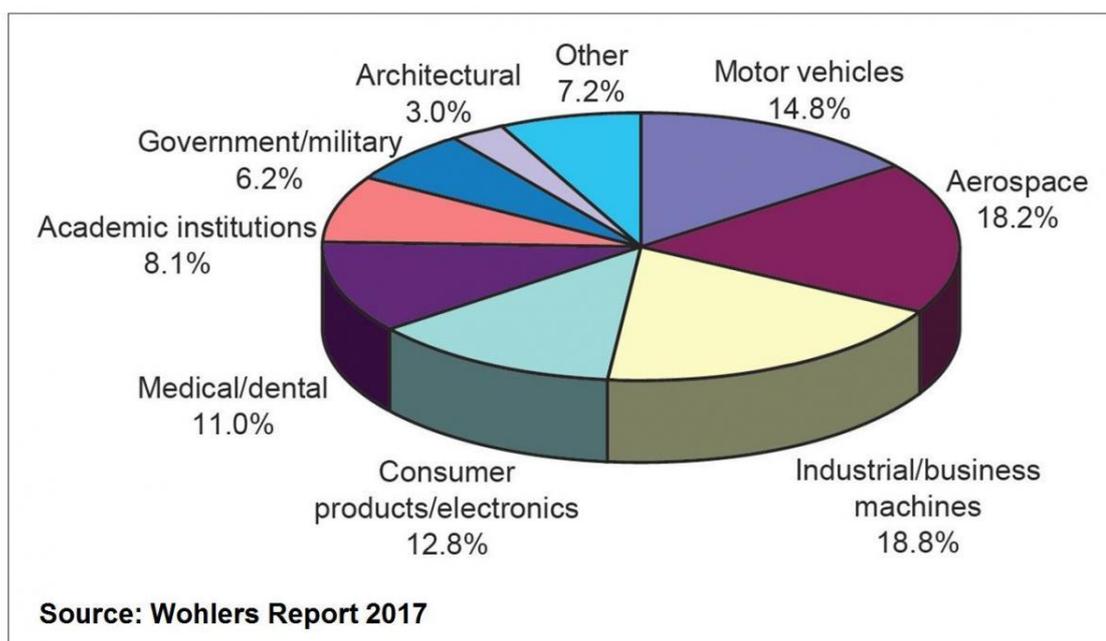


Fonte: Wohlers Associates, Relatório de 2017

Normalmente os Processos AM que usam o metal como material para a impressão 3D utilizam as tecnologias de fusão a laser seletiva (SLM) e fusão de

feixes de elétrons (EBM), explorando ligas metálicas e desenvolvimento de materiais compósitos (SIMTECH, 2019). Com relação aos polímeros, as tecnologias que são mais utilizadas são a estereolitografia (SLA), sinterização seletiva a laser (SLS), sistemas de modelagem por polímero e deposição por fusão (FDM), bem como desenvolvimento de polímeros em pó e material de resina (Idem, Ibidem). Na Figura 47, a seguir, é apresentada a distribuição da utilização da manufatura aditiva na indústria global, em 2016 (CADALYST; 2017).

Figura 47 – Distribuição do uso da AM na indústria global, em 2016



Fonte: Wohlers Associates, Relatório de 2017

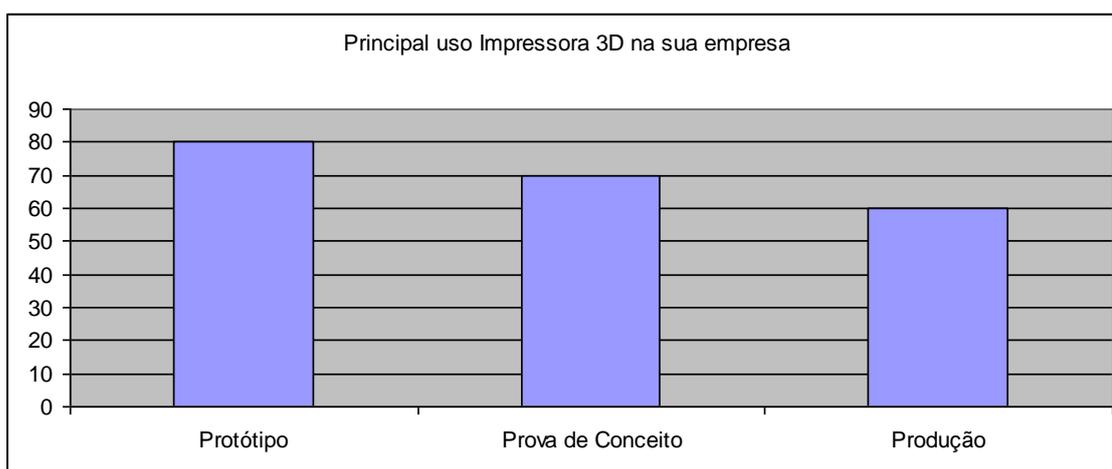
Para Wohlers (2017) há um forte mercado potencial para materiais de impressão 3D com base em bio, mas somente se eles tiverem o mesmo desempenho com relação às propriedades dos plásticos tradicionais, como PLA e ABS. A fusão para metais e polímeros é o processo mais popular para volumes de produção em série. Para modelagem básica de conceito e validação de projeto, a extrusão de material é a mais popular, especialmente em pequenas organizações e instituições educacionais.

6.3. TENDÊNCIAS SCULPEO (2018 a 2019)

Outra pesquisa usada nesta dissertação foi produzida pela empresa francesa SCULPTEO, fundada em 2009 e especializada em impressão 3D. Na sua quinta edição a respeito do estado da arte da impressão 3D industrial, baseada em 1300 entrevistas englobando a Europa (64%), Estados Unidos (16,6%), América do Sul (1,6%), África (0,8%), Oceania (1,1%) e a Ásia (20,2%), que é a região de crescimento mais rápido internacionalmente medida pela pesquisa em cinco anos. Dos entrevistados, 87% eram homens e 13% mulheres. Oito indústrias estão no design da pesquisa, incluindo bens industriais (13,6%), alta tecnologia (10,6%), serviços (9,9%), bens de consumo (8,6%), saúde e medicina (6,2%), automotivo (5,7%), aeroespacial e defesa (5,5%) e educação (4,9%), segundo Louis Columbus (2019).

Com relação à Figura 48, abaixo, pode-se inferir que: em relação a usabilidade da impressora 3D, cerca de 80% dos entrevistados na indústria de alta tecnologia confiam na impressão 3D para o uso na prototipagem. Houve um incremento de 38,7% (2018) para 51% (2019) para o uso da impressão 3D na produção final. A prova de conceito e a prototipagem dominaram as aplicações de impressão 3D, em 2019.

Figura 48 – Principal Uso da Impressora 3D



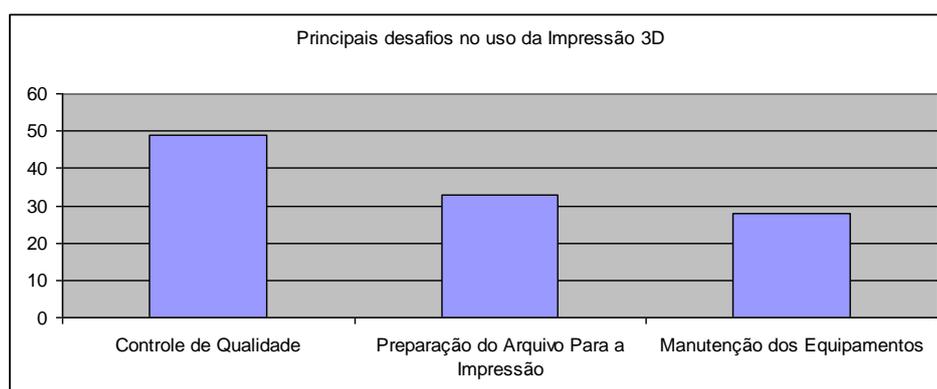
Fonte: COLUMBUS/ SCULPTEO, 2018/2019

Em relação ao foco principal das empresas na utilização da Impressão 3D para 2019, 47% dos entrevistados consideraram que o objetivo principal era o uso da impressão 3D na aceleração de desenvolvimento de produtos. Em média 17% tem o objetivo de usá-la na personalização de produtos e 7% na flexibilização da produção (produção híbrida: usando a fabricação convencional mais a fabricação aditiva).

Com relação à expectativa da evolução da impressão 3D em 2020, cerca de 70% dos entrevistados responderam que esperam encontrar novas aplicabilidades para a Impressão 3D no futuro. Ao redor de 65% gostariam de iniciar o uso de novos materiais em produção. Cerca de 50% gostariam de iniciar o uso de novas tecnologias de impressão 3D.

Com relação à Figura 49, abaixo, conclui-se que: os principais desafios que as empresas enfrentam em relação a utilização da Impressão 3D são: a) necessidade de um maior controle de qualidade a medida que as empresas aceleram suas estratégias na adoção da impressão 3D (50%); b) *file preparation*, ou seja, está relacionado à produção do arquivo digital (depende do grau de treinamento para o designer e de melhorias no software de criação e gestão do fluxo de trabalho) e c) manutenção das impressoras industriais.

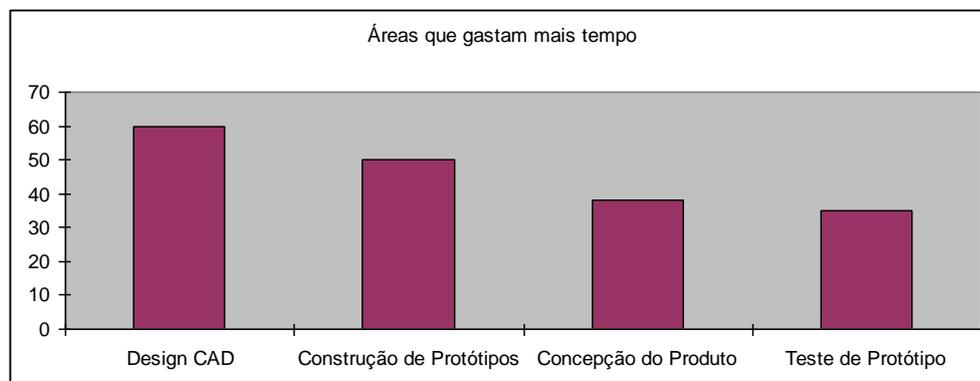
Figura 49 - SCULPTEO, Desafios do Uso da Impressão 3D



Fonte: SCULPTEO, 2018/2019

Na Figura 50, a seguir, é apresentado a relação das áreas que demandam mais tempo na utilização do processo de impressão 3D, 50% dos entrevistados consideraram a fase de criação do produto usando-se uma ferramenta CAD para produzir o modelo digital; 45% do tempo demandado estava envolvido no desenvolvimento do protótipo (ajustes e impressão) e 38% do tempo demandado era gasto na pesquisa inicial elaborando a concepção do produto (COLUMBUS, SCULPTEO, 2019).

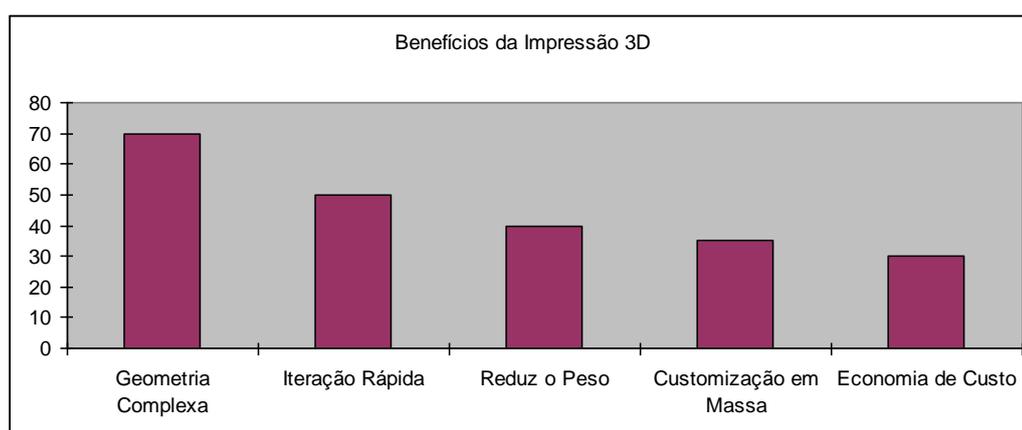
Figura 50 - Áreas que gastam mais tempo



Fonte: SCULPTEO, 2018/2019

A figura 51 trata dos benefícios da impressão 3D na produção de peças. A pesquisa constatou que mais de 60% consideram a possibilidade de produzir geometrias complexas como um dos maiores benefícios; seguido pelas, iterações rápidas no desenvolvimento de protótipos (50%, customização de produtos sob encomenda 30%), redução de peso (40%) e melhoria no gerenciamento na cadeia de suprimentos (COLUMBUS, 2019).

Figura 51 - Benefícios da Impressão 3D (2019)



Fonte: SCULPTEO, 2018/2019

Entre as barreiras identificadas mais significativas na pesquisa para que a empresa adote a impressão 3D em larga escala pode-se citar: o alto custo do

investimento, a escolha do software a ser usado e o recrutamento dos colaboradores que irão manipular a tecnologia (identificar candidatos qualificados).

6.4. MANUFATURA ADITIVA/IMPRESSÃO 3D – OPORTUNIDADES E DESAFIOS

É possível considerar que as quebras das patentes foram estratégicas para alavancar pesquisas que consolidaram melhorias tanto para a Indústria como para o consumidor doméstico. As quebras das patentes, em 2009, da tecnologia de impressão 3D por extrusão ou modelagem por fusão e deposição (FDM) sob domínio da *Stratasys Inc.*® e, em 2014, a tecnologia sinterização seletiva a laser (SLS), da Universidade do Texas (1989), sob o domínio da 3D System, propiciaram que novas empresas surgissem no mercado proporcionando uma queda de preço nas impressoras.

Com relação à tecnologia SLS, a chinesa *Hunan Farsoon* entrou no mercado norte-americano, vendendo suas máquinas e materiais através de um acordo de distribuição com a empresa “*Varia 3D*”. Foi possível perceber que, em 2017, apenas oito anos após a perda da validade da patente da tecnologia 3D FDM ocorreu um crescimento no número de patentes de 133% em comparação aos anos anteriores, com mais de 89 documentos patenteados. Esse aumento foi considerado como prova de que uma tecnologia de ponta é vertiginosamente usada quando o prazo de validade de uma patente finda e novas técnicas e estudos surgem a partir da perda do monopólio desta (PITAGORA et al, 2018). A *Stratasys Inc.*®, empresa que detinha a exclusividade da tecnologia de criação de objetos tridimensionais via extrusão, continua no topo dos pedidos de patentes de processos, modelos e aparatos relacionados ao tema. Porém, a *MakerBot Industries*®, empresa fundada em 2009, foi uma das precursoras em tornar a impressão 3D acessível a todos com uma filosofia de democratização dos meios de produção quando disponibilizou softwares e hardwares deixando-os abertos para o consumidor final em plataformas digitais. Em 2017, a empresa era a segunda maior detentora de documentos em famílias de patentes relacionadas a impressão 3D (MAKERBOT, 2017).

No final de 2011, surgem novos processos aprimorados usando a tecnologia AM (*Additive Manufacturing*). A *Matsuura* apresentou peças de metal produzidas com sua máquina, que combina a fusão do pó de metal com a fresagem periódica

do CNC, manufatura híbrida (WOHLERS, CAFFREY, 2015). Em um fórum realizado nos Estados Unidos, em 2014, com o apoio da *General Accounting Office* (GAO) e com assistência das Academias Nacionais Americana e participantes (funcionários do governo, empresas, universidades e organizações não-governamentais) o primeiro ponto de consenso foi que a manufatura aditiva não substituirá a manufatura convencional, mas será uma ferramenta adicional para os fabricantes usarem quando for apropriado, do ponto de vista do custo-benefício. Conforme Pearson (2015) há um potencial na AM para romper o mercado existente e criar novos mercados, mas a principal questão levantada neste fórum, em 2014, é que a AM ainda se encontrava em um estágio embrionário e poderia levar muitos anos de pesquisa até que alcançasse um nível de confiança similar aos produtos, processos e materiais da fabricação industrial convencional, considerando que as peças funcionais têm requisitos estruturais, de desempenho e de segurança que são imprescindíveis para realizarem a função que lhes compete.

Outro ponto positivo em relação a AM é a produção de peças complexas com um custo inferior à produção usando os processos de fabricação convencional. Esta vantagem competitiva permite que os fabricantes criem projetos melhores com menos peças e menos material, reduzindo custos e cadeia de suprimentos. Um exemplo citado está relacionado a um projeto criado na *General Electric Aviation* para produzir bicos de combustível para motores a jato usando-se a apenas uma única peça, em vez das 20 peças necessárias usando-se os processos de fabricação convencionais, o que reduziu o tempo e o custo da montagem (PEARSONS, 2015).

Outra vantagem constatada no projeto da GE foi a solução de permitir que os bicos de combustível fossem projetados com vias de refrigeração mais complexas e com cinco vezes mais durabilidade do que a peça anterior produzida pela fabricação convencional. Os bicos projetados pesaram 25% a menos que as peças anteriores, reduzindo os custos de combustível (PEARSONS, 2015).

Figura 52 - Bocal de combustível do motor a jato



Fonte: General Electric

Em outro projeto a *General Electric* (GE) testou um motor de demonstração com 35% de suas partes criadas por AM. A confecção do motor tinha como objetivo validar peças impressas em 3D para o motor de turbo compressor *Advanced Turboprop* (ATP). A tecnologia utilizada na impressão 3D destas peças metálicas é conhecida como Fusão Metálica Direta a Laser ou *Direct Metal Laser Melting* - DMLM (ALMEIDA. M., 2018).

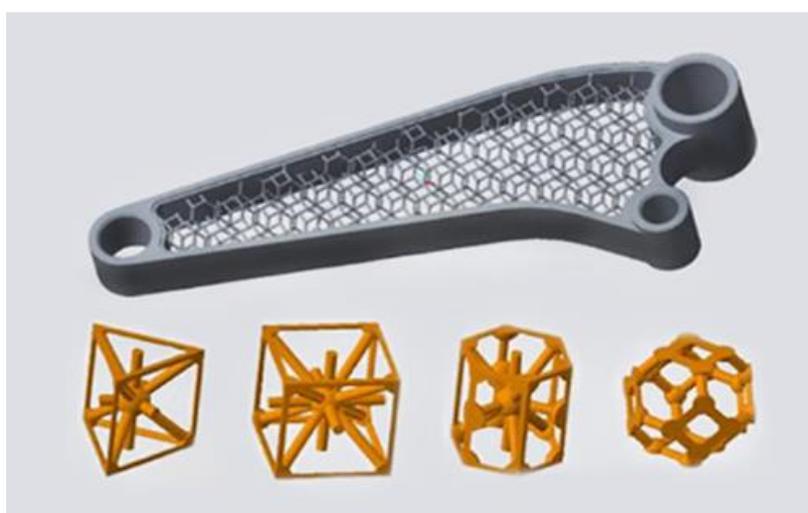
Uma das principais vantagens consideradas pela GE é o que ela chama de método de fabricação sem desperdício e tem como resultado, peças complexas, totalmente densas, fabricadas em um tempo inferior ao que seria necessário com os métodos de fabricação convencionais. Em 2016 a empresa comprou por US\$1,4 bilhão, duas empresas detentoras de equipamentos e tecnologias usadas em processos de impressão em 3D. A estimativa da GE é que essas duas empresas gerem um faturamento extra de US\$ 1 bilhão até 2020, além da economia de custos operacionais de US\$ 3 bilhões a US\$ 5 bilhões ao longo dos próximos dez anos (ALMEIDA. M., 2018).

Outro benefício é a criação de peças personalizadas de baixo volume e de forma rápida, com custos mais baixos do que a fabricação convencional para produzir comparativamente o mesmo tipo de produto. Com relação a elaboração de protótipos para cirurgias complexas, por exemplo, os modelos personalizados e guias cirúrgicos permitem que os cirurgiões executem o plano de tratamento antes da cirurgia, o que reduz o tempo cirúrgico e, ao mesmo tempo, melhora os

resultados cirúrgicos. Reduzir a quantidade de tempo para realizar cirurgias pode resultar em custos cirúrgicos menores, de aproximadamente US\$300 / minuto (PEARSONS, 2015).

A AM tem potencial para romper com o mercado existente e novos mercados, mas a tecnologia ainda levará anos ou décadas até alcançar níveis de confiança comparável aos processos e materiais de fabricação convencional da indústria (Idem, Ibidem). Segue abaixo o exemplo uma treliça oca (estrutura complexa) impressa usando a tecnologia 3D (INNOVATION EXPERT, 2017). (Ford, Sharon; 2014). Na figura 53, a seguir, é apresentado um exemplo de uma estrutura em treliça complexa impressa em 3D.

Figura 53 - Estrutura em Treliça



Fonte: Innovation Expert, 2017

A impressão 3D possibilita que os produtos sejam feitos sob demanda, além da possibilidade de serem modificados e aprimorados ao longo do ciclo de vida do produto, além da redução do tempo de entrega. Mas o custo da impressora industrial ainda continua sendo um impeditivo (TOYSSY, 2018).

Um nicho de mercado que tem se tornado aliado da AM está relacionado às peças de reposição industrial. Um dos problemas que os fabricantes enfrentam é que por lei, as peças de reposição devem estar disponíveis por anos após o lançamento do produto. Com esta obrigatoriedade elas devem ser produzidas e

muitas vezes armazenadas, além do que, é custoso manter um grande número de peças sobressalentes correndo o risco de muitas vezes nem serem demandadas ou usadas, gerando, portanto um desperdício de tempo e dinheiro para fabricá-las, além de custos trabalhistas e de manutenção. Com a tecnologia de impressão 3D, é possível criar um modelo da peça no CAD e guardá-lo com segurança, e caso seja necessário, pode-se usar este modelo para imprimir a peça. Com o modelo pronto este trabalho de impressão pode ser feito em poucos dias (EXPEDITO, 2019).

Também é preciso ter atenção com relação à propriedade intelectual, responsabilidade do produto, direitos aduaneiros e impostos sobre o valor agregado da impressão 3D (EUROPEAN PARLIAMENT, 2016). Este é um obstáculo que precisará ser ultrapassado, para que a impressão 3D possa avançar como uma das tecnologias chave na abordagem 4.0 (SANTOS, 2018).

Outro obstáculo diz respeito a questão da responsabilidade civil e o Parlamento Europeu, por exemplo, iniciou as tratativas em 2018 adotando um relatório de caráter não legislativo que estabelece uma série de recomendações regulatórias no campo da impressão 3D. Contudo, um regime específico de responsabilidade civil deve também ser considerado. Em caso de acidente, a responsabilidade por um produto defeituoso poderia recair potencialmente sobre o criador, sobre o vendedor do produto impresso, sobre o produtor da impressora, sobre o produtor do software, sobre o fornecedor dos materiais usados para imprimir o produto ou sobre a pessoa que criou o produto, dependendo da origem do defeito. Até o momento, não há nenhuma jurisprudência específica sobre regras em matéria de responsabilidade por terceiros para um produto produzido através duma impressora 3D. Este tema será debatido pela Comissão Europeia, focando as questões jurídicas relacionadas ao Tema (PARLAMENTO EUROPEU, 2018).

Outros desafios devem ser considerados: a) garantir a qualidade do produto melhorando o controle da qualidade do processo, b) as ferramentas de design e de análise existentes devem ser combinadas com as forças de trabalho, c) melhorias na infraestrutura industrial, incluindo cadeias de suprimentos mais robustas de máquinas e materiais (PEARSONS, 2015).

No caso relativo à impressão de artefatos usando a tecnologia de leito em pó (SLM, DMSL, BEAN e outros) os avanços a seguir são importantes de serem mencionados:

Desde 2009, Brent Stucker iniciou o desenvolvimento de um *software* que tinha como objetivo integrar vários processos da impressão 3D em metal em um grupo de suítes que incorporavam a tecnologia de simulação baseada na utilização da física de materiais (encolhimento, a distorção, o estresse). Sua empresa, a 3DSIM, foi adquirida, em 2017, pela ANSYS (NASDAQ, TCTMAGAZINE, 2018).

Este *software* cria o primeiro fluxo de trabalho completo de simulação de fabricação aditiva. Os primeiros *softwares* comercializados pela ANSYS são o *Additive Suíte* e o *Additive Print*. Além de permitir a inserção de parâmetros específicos de um tipo de material também calcula uma previsão da temperatura enquanto o laser interage com o pó em cada vetor de varredura em cada camada da peça. Com isto, portanto, pode-se calcular o encolhimento, a distorção, o estresse, a microestrutura, a porosidade, a rugosidade da superfície e outros. Os cálculos são baseados na composição química do pó, e em que ponto de fusão o material se solidifica, quanto de energia do laser absorve, quanto reflete e em que direção a energia é refletida. Portanto, este avanço considerava as seguintes etapas da fabricação aditiva: O design (DFAM) utiliza a otimização de topologia e estruturas de treliça; viabiliza a validação do projeto; melhora a configuração da construção - com recursos adicionais de design para fabricação de peças, incluindo orientação de peças e geração automática de estruturas de suporte baseadas em física e simula o processo de impressão (MOLITCH-HOU, Michel, 2016).

Outro fator preponderante era a repetibilidade da impressão 3D, isto é, o entendimento completo sobre seu uso diário. Situação ainda tratada como um desafio, pois há muita variabilidade de máquina para máquina, e de operador para operador e ter estas informações disponíveis são parte de uma barreira maior para compreender as diversas variáveis envolvidas na utilização da AM. (Idem, ibidem).

À medida que a AM passa da prototipagem para a tecnologia de produção, a demanda por máquinas no espaço de produção está aumentando, assim como a demanda por um número maior de operadores para operar as linhas de produção. A fábrica da “Linha M” da “GE Additive” oferece uma arquitetura de máquina modular na qual as unidades usadas para o processo de configuração de produção de peças e para o processo de desmontagem são fisicamente desacopladas. Isso permite que essas tarefas sejam executadas em paralelo e separadamente uma da outra. Como resultado, os tempos atuais de parada das máquinas, causados por processos manuais como o fornecimento e a retirada de pó de metal, são reduzidos ao mínimo,

proporcionando considerável economia de tempo e custo. O sistema também fornece interfaces para métodos de fabricação convencionais na forma de automação, interligação e digitalização.

Entre os maiores desafios estão os custos associados a máquinas e materiais AM, ambos são caros. Outro é o DFAM, que pode ser bem diferente do design para fabricação convencional, tanto em métodos quanto em ferramentas. O tempo e a despesa do pós-processamento, aliados à atual falta de automação, são obstáculos ao crescimento. As cadeias de suprimentos e o ecossistema AM estão subdesenvolvidos, o que está retardando a adoção da tecnologia, segundo Terry Wohlers (2019).

Uma melhoria importante com relação ao sistema em pó foi o aumento do número de *lasers* para fundir o metal; o processo anterior consumia muito tempo da produção apenas para traçar a superfície fundindo o metal e produzindo o artefato; agora, há vários trabalhando simultaneamente em uma plataforma de construção (SINKORA, 2018).

Outro fator determinante para o aumento no uso das técnicas aditivas de produção é uma queda esperada nos custos de material e uma matriz mais ampla de materiais disponíveis para sua utilização na AM. As máquinas de hoje funcionam com apenas algumas dúzias de termoplásticos enquanto milhares estão disponíveis para fabricação convencional. Dados de dezembro de 2018 indicavam que os polímeros usados na impressão 3D custavam em média até 50 vezes mais que os polímeros similares para a fabricação convencional. Isso coloca o ponto de equilíbrio entre as fabricações aditiva e convencional, entre centenas e milhares de unidades, dependendo do tamanho da peça. Levando-se em consideração que muitas das patentes de impressoras 3D que produzem peças com polímeros expiraram, existe a possibilidade da criação de novas impressoras que usam este tipo de material com o custo mais baixo (SINKORA, 2018).

7. CONCLUSÕES

Como citado anteriormente, existe uma perspectiva que a manufatura aditiva não substitua integralmente a fabricação convencional para a produção em massa de grandes volumes com a probabilidade de que estas produções sejam feitas de forma híbrida, parte dela usando a manufatura aditiva e parte dela usando a fabricação convencional. A AM já é uma realidade em alguns setores da indústria, tais como: o automobilístico e a indústria aeroespacial. Em vários setores da medicina (próteses, órteses, aparelhos auditivos e odontológicos) ela vem se consolidando com o avanço da tecnologia e os casos de sucesso que tem se ampliado nestes nichos de mercado. Mercados tradicionalmente não industriais, como a moda, jóias, têxtil, óculos, calçados e produtos alimentícios têm percebido novas oportunidades no uso da tecnologia de impressão 3D.

Desde a chegada na impressão 3D no Brasil em 1997 no CTI – Renato Archer até a data presente (2021) já se passaram 24 anos e muitas conquistas foram percebidas principalmente na área da saúde. Um exemplo importante é o programa PROMED (2000) em parceria com o Ministério da Saúde atendendo mais de 300 hospitais públicos conveniados do SUS na criação e produção de protótipos (biomodelos) de regiões lesionadas do crânio e face, usando-se a impressão 3D. A finalidade destes protótipos é o seu uso em planejamentos de cirurgias de alta complexidade. Alguns dos benefícios citados são a mitigação de problemas com soluções que se traduzem na redução do risco cirúrgico e no tempo de cirurgia.

A cada ano tem se observado no Brasil um aumento no número de solicitações e aprovações feitos pela ANVISA* para o uso da impressão 3D na confecção de próteses, órteses e implantes cirúrgicos. Este é um movimento que tem acontecido em vários países do mundo, principalmente nos EUA, China e Coréia.

Com relação ao uso dos biomodelos no planejamento de cirurgias complexas ainda não são de uso corriqueiro nos hospitais particulares. Neste caso, os planos de saúde relutam em financiar este protótipo enquanto as pesquisas na área não demonstrarem de forma convincente a relação do custo, da eficácia e os benefícios conseguidos. Atualmente, já existem próteses sendo impressas em titânio. A Unicamp tem sido uma referência neste tipo de material com alguns casos já implantados em pacientes principalmente em cirurgias de perda óssea de crânio.

Portanto, um fator crítico para aumentar o alcance dos biomodelos impressos em 3D em planejamentos cirúrgicos que sejam custeados por planos de saúde será a capacidade das regulamentações da assistência médica acompanharem as oportunidades em todas as regiões geográficas e o aumento no número de pesquisas nesta área.

A impressão em 3D de membros e anexos protéticos (por exemplo, orelhas) e algumas válvulas internas específicas estão progredindo rapidamente, usando principalmente os polímeros como materiais base em razão de serem biocompatíveis. Durante os últimos três anos, o rápido desenvolvimento de bioinks (tinta biológica usada na bioimpressão), e cabeçotes de impressão e bicos especializados para células-tronco de impressão 3D, juntamente com recursos aprimorados de múltiplos cartuchos, permitiram avanços significativos em estruturas bio sintéticas híbridas.

O uso de substâncias bio sintéticas (hidrogéis e colágenos*) está sendo cada vez mais exploradas e testadas, para fornecer suportes a células-tronco, para construir órgãos, e estruturas cartilaginosas como traquéias e cartilagem articular. Startups, universidades e laboratórios de pesquisa estão desenvolvendo e testando tecidos, adesivos e órgãos impressos em 3D, usando técnicas cada vez mais sofisticadas como, por exemplo, a tecnologia de impressão 3D chamada de LIFT, abordada anteriormente.

Com relação à criação de órgãos funcionais como pulmões, fígado, pâncreas e rins demandarão décadas até que se obtenha um órgão impresso e seja funcional, especialmente aqueles com múltiplos tipos de células que suportam fisiologia complexa (por exemplo, produzindo hormônios, bioquímicos, catalisadores e filtros). Vários desafios científicos foram detalhados nos capítulos anteriores juntamente com a necessidade de melhorias nas Impressoras 3D, nos softwares e nos materiais usados na composição das células além das questões éticas que invariavelmente deverão ser avaliadas.

Embora não tenha tratado da produção de fármacos e a impressão 3D nesta dissertação é importante frisar que este é um tema que vem se consolidando na última década. A Fiocruz (Fundação Oswaldo Cruz), por exemplo, conta com uma plataforma de estudos visando este aspecto da impressão 3D, a impressão de fármacos. Trata-se da Plataforma de Impressão 3D, cujo objetivo é servir à comunidade científica da Fundação em suas necessidades de prototipagem e

provas de conceito, componentes sob medida e modelos anatômicos para o aprimoramento e o conhecimento desta tecnologia. Um dos benefícios dessa nova tecnologia é a liberação diferenciada dos fármacos no organismo do paciente. Dentre as propostas está a democratização dos tratamentos com foco na medicina personalizada. Um fator que deve ser considerado é a falta de regulamentação para a impressão de medicamentos, embora os estudos atuais ainda sejam incipientes eles vêm avançando significativamente em todo o mundo.

Para o futuro, especialistas acreditam que os avanços nas pesquisas possibilitarão o surgimento de materiais avançados, técnicos, resistentes e com custo-benefício atrativo. Esta necessidade - desenvolvimento de novos materiais - é apontada nas pesquisas com gestores de grandes empresas. Um fator a considerar, por exemplo, trata da eficiência que a AM poderia agregar tornando as cadeias de fornecimentos de produtos mais enxutas, permitindo produção sob demanda, o que poderia reduzir estoques de grandes produtos e peças sobressalentes, permitindo produção localizada de mercadorias mais próximas aos consumidores.

Entre as oportunidades citadas para o uso da tecnologia de impressão 3D incluem-se: criar produtos personalizados em quantidades limitadas, compartilhar projetos e terceirizar a fabricação. Essas características se adequarão a pequenas e médias aplicações de produção, protótipos, peças de reposição, ferramentas e gabaritos.

Outra informação conclusiva diz respeito à necessidade da elaboração de um novo design de um produto existente produzido pela fabricação convencional quando houver interesse de produzi-lo usando-se a AM. O re-design do produto tem permitido além da redução do peso uma sensível redução dos materiais utilizados e a possibilidade de melhorias na performance e usabilidade. As previsões que podem ser alcançadas são da ordem de 75% de economia em materiais e 25% no peso do produto. Outro ponto importante é a certificação do novo produto criado com as garantias de qualidade, do desempenho e da performance como foi mostrado nos exemplos dos artefatos criados na indústria aeronáutica, pela *GE Additive*. Especialistas no assunto, como Bermann (2012), acreditam no potencial da impressão 3D para mudar completamente o panorama de produção de grandes indústrias e o valor do produto estaria mais concentrado no design do que na tecnologia ou no material utilizado para a produção.

Em estruturas complexas é possível calcular onde o material é realmente necessário para produzir estruturas fortes e leves. Além de facilitar a produção de pequenos lotes, peças personalizadas, peças de reposição, estruturas leves, recursos internos complexos e a consolidação de muitas peças em uma. Também não é necessário a utilização de moldes e matrizes para a confecção do produto.

Outro aspecto da tecnologia de impressão 3D que precisará de melhorias no futuro diz respeito à velocidade de impressão do produto. A adição de *lasers* nas impressoras que usam pó de metal foi uma alternativa promissora. Em algumas tecnologias, como a FDM e a FFF, algumas limitações vêm impedindo que estes avanços sejam resolvidos com mais rapidez, por exemplo, a velocidade de aquecimento do material e a rapidez na movimentação das peças mecânicas que conduzem a impressão.

Com relação à impressora FDM, as impressoras de bancada podem produzir peças tão complexas quanto às impressoras FDM industriais, mas perdem no tamanho da peça impressa, na uniformidade da impressão e na velocidade.

No Brasil, entre os principais problemas detectados para a consolidação da indústria 4.0, e que afetam indiretamente o uso e a viabilidade da AM são: a necessidade de melhoria na área de governança, capacitação de recursos humanos, infraestrutura, desenvolvimento regional e regulação.

Em um ambiente industrial composto por impressoras 3D, o produto pode ser fabricado a partir do momento que for feita a solicitação de disponibilização eliminando a necessidade de estoques e melhorando a logística, também poderá beneficiar regiões remotas ou subdesenvolvidas, reduzindo a sua dependência de trabalhadores qualificados. A produção local e descentralizada também contribui para redução dos obstáculos à entrada das PME (Pequenas e Médias Empresas) no ambiente Industrial 4.0.

A industrialização dos produtos em larga escala possibilitou às indústrias atingirem um maior número de consumidores no mercado, com diminuição de tempo e custo de produção. Porém, atualmente, os consumidores buscam itens de consumo mais personalizados aos seus gostos e necessidades. Dentro desta perspectiva, a tecnologia de impressão 3D tem a vantagem de disponibilizar novas funcionalidades ao fornecer soluções na fabricação de pequenos lotes de produtos complexos, com alto grau de personalização, mesmo em ambientes de produção em

massa compartilhando de forma híbrida com a fabricação convencional a criação destes produtos.

Outra situação que vem sendo discutida é que a utilização dessa tecnologia pode mudar uma antiga tendência consolidada na globalização que é a migração da produção para países com mão de obra mais barata. Acredita-se que a impressão 3D favoreça a localização da produção, tornando mais rentável produzir bens em instalações locais ou descentralizadas e mais próximas dos clientes com impacto positivo na logística de distribuição do produto. Além disso, permite encurtar o ciclo de desenvolvimento do produto até o seu lançamento no mercado e reduzir os desperdícios, resultando em processos mais eficientes.

Um ponto ainda em evolução está relacionado às normas e padrões adotados no uso da AM pela indústria. Assim como em outros países, o mercado de impressão 3D no Brasil ainda encontra-se em fase de maturação, tanto por parte de quem fornece esse tipo de solução, quanto por aqueles quem vierem a utilizá-las. Os esforços dos fabricantes, empresas parceiras, montadoras, universidades, investidores e o Estado são fundamentais para disseminar a tecnologia, suas aplicações, custos e benefícios para sua popularização e adoção. Como vimos em capítulos anteriores as grandes empresas do mercado tem buscado soluções para atrair novas indústrias que queiram fazer uso desta tecnologia criando parcerias com empréstimos de equipamentos ou financiamento na compra das impressoras industriais.

Em razão da pandemia do Covid-19, vários casos repercutiram nas mídias trazendo a tona a união de colaboradores e entusiastas da impressão 3D, juntamente com startups, fabricantes e universidades aumentando seus esforços para usar a tecnologia fornecendo suprimentos médicos considerados essenciais aos especialistas de saúde, como exemplo, podemos citar o Projeto Hígia, na fabricação de equipamentos de proteção individual (EPI) através de uma resposta rápida, precisa e eficaz com o intuito primordial de salvaguardar vidas que estão na linha de frente dos esforços de atendimento à população.

Na UFRJ várias iniciativas foram desenvolvidas utilizando-se a impressão 3D com o intuito de servir de apoio às várias frentes de pesquisa no tratamento do COVID-19, entre elas, o grupo SOS 3D Covid-19, que une voluntários para produzir equipamentos de proteção individual para profissionais de saúde, e o Laboratório de Engenharia Pulmonar e Cardiovascular da Coppe/UFRJ, que desenvolve o VexCo,

um ventilador usado em Unidades de Terapia Intensiva (UTIs) para salvar pacientes com insuficiência respiratória grave. A idéia é permitir que esses grupos atuem em rede para enfrentar a Covid-19 de forma mais efetiva, promovendo o intercâmbio de materiais, como peças para equipamentos ou reagentes químicos, por exemplo, e o trabalho voluntário (INSTITUTO SOLIDARIO, 2020).

Os EPI (equipamentos de proteção individual) do Projeto UFRJ são feitos em impressoras 3D a baixo custo, de forma colaborativa e com responsabilidade socioambiental, a fim de contribuir para a proteção dos profissionais de saúde que trabalham no combate ao novo coronavírus, por meio da fabricação e distribuição voluntária de protetores faciais (idem, ibidem).

BIBLIOGRAFIA

AD VAN WIJK *et al.* *3D Printing with Biomaterials. Towards a Sustainable and Circular Economy*. P.7, 2015.

AEROFLAP. Unidade da *GE Aviation* no Brasil faz primeira impressão 3D de nylon com fibra de carbono. I **Aeroflap** (online). Disponível

em: <<https://www.aeroflap.com.br/unidade-da-ge-aviation-no-brasil-faz-primeira-impressao-3d-de-nylon-com-fibra-de-carbono-no-pais/>>. Acessado em: 01/01/19.

ALMEIDA, C. M. Indústria 4.0: o plano estratégico da indústria avançada nos EUA.

Indústria 4.0 (site). Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/artigo/17594-industria-40o-plano-estrategico-da-manufatura-avancada-nos-eua>>. Acessado em: 01/06/19.

ALMEIDA, Mariana. Impressão 3D nas indústrias. **Fluxo Consultoria** (site).

Disponível em: <<https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/projetos-mecanicos/impressao-3d-nas-industrias/>>. Acessado em: 04/04/19.

ALTUS. Conheça os nove pilares da Indústria 4.0 e sua relevância para a atividade industrial. **Altus** (blog). Disponível em:

<<https://www.altus.com.br/blog/categoria/2/detalhe/212/conheca-os-nove-pilares-da-industria-4-0-e-sua-relevancia-para-a-atividade-industrial>>. Acessado em: 12/02/19

AMARO, Mariana. As impressoras 3D vão mudar o mundo e esses setores já estão se adaptando. **Revista Exame**. Rio de Janeiro: Ed. Abril, 2019. Disponível em:

<<https://exame.abril.com.br/carreira/as-impressoras-3d-vao-mudar-o-mundo-e-esses-setores-ja-estao-se-adaptando>>. Acessado em: 04/04/19.

AMERICA MAKES. *Preliminary final draft on additive manufacturing*. **America**

Makes (site). Disponível em: <<https://www.americamakes.us/america-makes-ansi-release-preliminary-final-draft-additive-manufacturing/>>. Acessado em: 15/12/16.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (THE) - ASME. **Standard &**

Certification. Disponível em: <https://www.asme.org/codes-standards/publications-information/standards-certification-update/issue-30-winter-2018>. Acessado em: 11/07/19.

AMFG. *How mature is 3D printing in the Asia-Pacific region?* **AMFG** (site). Disponível

em: <<https://amfg.ai/2019/11/20/am-around-the-world-how-mature-is-3d-printing-in-the-asia-pacific-region/>>. Acessado em: 03/12/19.

_____. *Additive manufacturing around the world: what is the state of 3D printing adoption in North América and Europe*. **AMFG** (site). Disponível em:

<<https://amfg.ai/2019/11/07/additive-manufacturing-around-the-world-what-is-the-state-of-3d-printing-adoption-in-north-america-and-europe/>>. Acesso em: 03/12/19.

ANDERSON, Cris. **Makers: A nova revolução industrial**. 1.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. p. 20-21. Disponível em: <http://makers-the-new-industrial-revolution-chris-anderson-citado_maker_12_01_2019.pdf>. Acessado em: 01/12/19.

ARBIX, G. Estratégias de inovação para o desenvolvimento. **Tempo Social**, N. 22, V. 2, p.167-185, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-20702010000200009>>. Acessado em: 05/02/18.

_____. **Trajatória da inovação no Brasil: Avanços, indefinições e instabilidade nas políticas públicas de fomento à inovação e tecnologia**. Friedrich-Ebert-Stiftung (FES), Brasil, 2016.

ARBIX, G., MIRANDA, Z. Políticas de inovação em nova chave. **Estudos Avançados** (online). v.31, n.90, p. 49-73, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142017000200049>. Acessado em: 05/02/18.

ARBIX, G., SALERMO, M. S., AMARAL, G, *et al.* Política Industrial: avanços, equívocos e instabilidade das políticas de inovação no Brasil. **Novos Estudos - CEBRAP** [online]. 2017, vol.36, n.3, p.9-27. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-33002017000300009&script=sci_abstract&lng=pt>. Acessado em: 02/10/19.

ARBIX, G.; TRUZZI, A. À espera da mão invisível: Outra vez? **Novos Estudos**. N. 1, p. 29-40, 2017.

ANSYS. *Additive suite and additive print simulation software platforms*. **ANSYS** (site). Disponível em: <<https://www.ansys.com/products/structures/additive-manufacturing>>. Acessado em 16/12/19

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Manufatura aditiva. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/noticias/6192-manufatura-aditiva>>. Acessado em: 02/09/19.

_____. Normas Internacionais e a 4 revolução industrial. **Boletim ABNT**, V. 15, Nº 233. Set-Out 2018. Acessado em: 29/08/19

AMFG. *The additive manufacturing landscape*. **Whitepaper**, 2019. Disponível em: <<https://amfg.ai/wp-content/uploads/2019/08/The-Additive-Manufacturing-Landscape-2019-Whitepaper.pdf>>. Acessado em: 13/05/20.

BATT, Aryeh *et al.* *Multi-technology printing system* (patente).

FREEPATENTFREE. Disponível em: <<http://www.freepatentsonline.com/y2020/0055326.html>>. Acessado em: 02/02/19.

BEAMAN, Joseph J. *Historical Perspective*. **JTEC/WTEC Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan**. Maryland: ITRI, 1997. Disponível em: <<http://www.cs.cmu.edu/~lew/PUBLICATION%20PDFs/RP/JTEC%201997.pdf>>. Acessado em 20/04/2018.

BENEDICT, C. A impressão 4D está em ascensão, diz o relatório do Gartner de 2017 sobre o "Hype Cycle for Emerging Technologies". Disponível em: <<https://www.3ders.org/articles/20170817-4d-printing-on-the-rise-says-gartners-2017-hype-cycle-for-emerging-technologies-report.html>>. Acessado em 19/08/2019

BERMAN, B. *3-D printing: The new industrial revolution*. **Business Horizons**, v. 55, n. 2, p. 155-162, mar. 2012.

BERTOL, L. S. *et al.* *Medical design: Direct metal laser sintering of Ti-6Al-4V*. **Materials and Design**, 2010.

BHATTACHERJEE, A. **Social science research: principles, methods, and practices**. Florida: Textbooks Collection, 2012.

BIAHMOU & STJEPANDIĆ. *Towards agile enterprise rights management in engineering collaboration*. **International Journal Agile Systems and Management**, N. 4; Vol. 9, p. 302-325, 2016

BIOARCHITECS. Próteses customizadas. **Bioarchitects** (online). Disponível em: <<https://www.bioarchitects.com/proteses-customizadas>>. Acessado em: 06/06/19.

BIOFABRIS. Reconstrução crânio-maxilofacial via prototipagem rápida. **Biofabris** (online). Disponível em: <<https://biofabris.com.br/pt/reconstrucao-cranio-maxilofacial-via-prototipagem-rapida/>>. Acessado em: 06/06/19.

_____. Biomateriais. **Biofabris** (online). Disponível em: <<https://biofabris.com.br/pt/biomateriais/>>. Acessado em: 20/11/19.

BIOMECHANICAFORENCE. Mao3D. **Biomecânica e Forense** (site). Disponível em: <<https://www.biomecanicaforense.com/mao3d>>. Acessado em: 01/05/19.

BITKOM *et al.* **Implementation strategy industries 4.0: report on the results of the industry 4.0 platform.** Frankfurt, Alemanha, 2016.

BOSTON CONSULTING GROUP (THE) - BCG. **Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries.** Alemanha: BCG, 2015.

TÖYSSY, Sara. **Printing expert Terry Wohlers industry moving steadily from prototyping to production.** Disponível em: <<https://www.upm.com/news-and-stories/articles/2018/04/3d-printing-expert-terry-wohlers-industry-moving-steadily-from-prototyping-to-production/>>. Acessado em: 07/07/18.

BOYD, J. *Organ bioprinting gets a breath of fresh air.* **News Rice** (online). Disponível em: <<https://news.rice.edu/2019/05/02/organ-bioprinting-gets-a-breath-of-fresh-air-2/>>. *Organ bioprinting gets a breath of fresh air*>r. Acessado em: 30/06/19.

BNDES. **Relatório Anual BNDES - 2011.** Disponível em: <[https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Hotsites/Relatorio Anual 2011/Capitulos/atuacao institucional/o bndes politicas publicas/plano brasil maior.html](https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Hotsites/Relatorio%20Anual%202011/Capitulos/atuacao%20institucional/o%20bndes%20politic%20publicas/plano%20brasil%20maior.html)>. Acessado em: 05/02/18.

BRASIL. Casa Civil/Presidência da República. **Emendas.** Disponível em:<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Emendas/Emc/emc85.htm>. Acessado em: 15/03/19.

BIOMECANICAFORENCE. **Biomecânica.** Disponível em: <<https://www.biomecanicaforense.com/biomecanica>>. Acessado em: 17/10/19.

BOURELL, L. D. *et al.* **A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead.** **US-TURKEY Workshop on Rapid Technologies,** Istanbul, 24 set 2009.

BRADSHAW, S., BOWYER, A. and HAUFE, P. *The intellectual property implications of low-cost. 3Dprinting,* 2010.

BANDYOPADHAY, A. and BOSE, S. **Additive Manufacturing,** Boca Raton: CRC Press, 2015.

CABELLOS, Gabriel. Impressão 3D e manufatura. **Frazillio Ferrone** (site). Disponível em:< <https://www.frazillioferroni.com.br/impressao-3d-manufatura/>>. Acessado em: 03/03/19.

CADALYST. Wohlers Report Finds Slower Overall Growth, More Competition in 3D Printing Space. Cadalyst (online). Disponível em:<<https://www.cadalyst.com/hardware/3d-printers/wohlers-report-finds-slower-overall-growth-more-competition-3d-printing-space-3>>. Acessado em: 19/08/19.

CAFFREY, T., WOHLERS, T. and CAMPBELL, R. I. Executive summary of the Wohlers Report 2016. Colorado: Fort Collins/ Wohlers Ass. Inc. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/42485574.pdf>>. Acessado em: 01/08/18.

CAIAFA, Roberto. Impressão 3D: uso de nylon com fibra de carbono na GE-CELMA aviação. **Tecnodefesa** (online). Disponível em: <<https://tecnodefesa.com.br/impressao-3d-uso-de-nylon-com-fibra-de-carbono-na-ge-celma-aviacao/>>. Acessado em: 31/03/19.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Seminário: Desafios para reindustrializar o Brasil: um debate urgente**. Comissão de Trabalho, de administração e Serviço Público. 7/11/2017. Disponível em: <[file:///C:/Users/55219/Dropbox/My%20PC%20\(LAPTOP-4POEAQ71\)/Downloads/eBook-CTASP2017-DesafiosReindustrializarBrasil.pdf](file:///C:/Users/55219/Dropbox/My%20PC%20(LAPTOP-4POEAQ71)/Downloads/eBook-CTASP2017-DesafiosReindustrializarBrasil.pdf)>. Acessado em: 17/10/19.

CAMPBELL, T., WILLIAMS, C., IVANOVA, O. *et. al. Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing. Strategic Foresight Initiative Report*. Ed. 10/2011. Disponível em: <http://www.acus.org/files/publication_pdfs/403/101711_ACUS_3DPrinting.PDF>. Acessado em: 06/08/18.

CANALTECH. Previsões para o futuro da impressão 3D. **Canaltech** (online). Disponível em: <<https://canaltech.com.br/inovacao/5-previsoes-para-o-futuro-da-impressao-3d-140275/>>. Acessado em: 05/02/18.

CARVALHO, Priscila. Reconstrução do corpo em 3D. **Revista Isto é** (online). Disponível em: <<https://istoe.com.br/reconstrucao-do-corpo-em-3d/>>. Acessado em: 09/12/19.

CECIMO. *Additive manufacturing activities report 2018*. **Cecimo** (online). Disponível em: <<https://www.cecimo.eu/publications/additive-manufacturing-activities-report-2018/>>. Acessado em: 01/12/19.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO RENATO ARCHER. **Técnicas de prototipagem rápida para próteses**. Campinas: CTI Renato Archer, 2019. Disponível em: <<https://www.cti.gov.br/pt-br/dtita/t%C3%A9cnicas-de-prototipagem-r%C3%A1pida-para-pr%C3%B3teses-0>> . Acessado em 23/08/2019.

_____. **InVesalius**. Campinas: **CTI – Renato Archer**, 2018. Disponível em: <https://www.cti.gov.br/pt-br/invesalius>. Acessado em: 16/12/2018.

_____. Manufatura aditiva: primeiras impressões 3D e o futuro da produção camada por camada. **CTI Renato Archer**. Disponível em: <<https://www.cti.gov.br/pt->

br/noticias/manufatura-aditiva-primeiras-impress%C3%B5es-3d-e-o-futuro-da-produ%C3%A7%C3%A3o-camada-por-camada. Acessado em: 20/03/19.

_____. Promed. **CTI Renato Archer** (online). Disponível em:

<<https://www.cti.gov.br/pt-br/nt3d/ProMED>>. Acessado em: 23/08/19.

_____. CTI: Uma visão institucional: Subsídios para o Plano Diretor. **CTI Renato Archer** 2019. Disponível em:

<https://2022.cti_subsidios_plano_diretor_2019_2022_revisao1.pdf>. Acessado em: 25/08/19.

COCOLO. Ana Cristina. Tecnologia promete revolucionar diversas áreas: da medicina a criminologia. **UNIFESP Entreteses** (online). Disponível

em:<<https://www.unifesp.br/reitoria/dci/entreteses/item/2856-tecnologia-promete-revolucionar-diversas-areas-da-medicina-a-criminologia>>. Acesso em: 17/10/19.

COLUMBUS, Louis. *The state of 3D printing in 2019*. **FORBES** (online). Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2019/05/27/the-state-of-3d-printing-2019/#685da59446c2>>. Acessado em: 08/08/19.

_____. *3D printing is making manufacturing more competitive*. **Forbes** (online).

Disponível em:<<https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2016/04/24/7-ways-3d-printing-is-making-manufacturing-more-competitive/#2f0beec7dfd3>>. Acessado em: 01/08/18.

CONEXÃO BOAS NOTÍCIAS. Esponjas minúsculas podem reduzir os efeitos colaterais do tratamento do câncer. **Conexão boas notícias**. Disponível

em:<<http://www.conexaoboasnoticias.com.br/esponjas-minusculas-na-corrente-sanguinea-podem-reduzir-os-efeitos-colaterais-do-tratamento-do-cancer/>>.

Acessado em: 08/04/20.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS (CNI). Sondagem Especial Indústria 4.0. **Indicadores CNI**, ano 17, número 2, abril de 2016.

_____. Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação. **Novos Diálogos:**

CNI (online). São Paulo, 2016. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/Apresentao-DilogosdaMEI21_mar.pdf>.

Acessado em: 01/011/19.

CORDEIRO A. M., OLIVEIRA, G. M., RENTERÍA J. M. Revisão sistemática: Uma revisão narrativa. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões** (online). Rio de

Janeiro, v. 34, n. 6, nov/dez 2007. Disponível em:<

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69912007000600012&lng=pt&tlng=pt . Acessado em: 01/07/20.

CUNICO, M. W. M. Impressoras 3D: o novo meio produtivo. **Concep3d Pesquisas Científicas**, (sem editora), 2015.

DAUDT, Gabriel; WILLCOX, L. Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada. **BNDES Setorial** 44, p. 5-45, 2016.

DEMARTINI, Marina. Conheça os órgãos feitos com impressora 3D. **Super Abril** (online). Disponível em: <<https://super.abril.com.br/saude/conheca-os-orgaos-feitos-com-impressora-3d/>>. Acessado em: 06/06/19.

DERNOWSEK, J. A. O que é biofabricação. **Biofabricação** (online). Disponível em: <https://www.biofabricacao.com/oqueebiofabricacao>. Acessado em: 20/04/19.

_____. Impressão 3D, Biomateriais e Biofabricação. **Research Gate** (site).

Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/317566498> -

_____. Por que ainda não temos órgãos funcionais bioimpressos ou biofabricados?

Biofabricação (online). Disponível em: <<https://www.biofabricacao.com>>. Acessado em: 20/04/19.

DERNOWSEK, J. *et al.* Bioimpressão de células produtoras de insulina.

BioEdTech (blog). Disponível

em: <<https://www.bioedtech.online/blog/bioimpress%C3%A3o-diabetes>>. Acesso em: 23/03/19.

DERNOWSEK, J. A.; REZENDE, R.A., SILVA, J. V. L. Biofabricação e suas estratégias. **VIRUS** (online). São Carlos, n. 11, 2015. Disponível em:

<<http://www.nomads.usp.br/virus/virus11/?sec=5&item=60&lang=pt>>. Acesso em: 26/11/19.

DIAMOND, John *et al.* **Phoenix V2 hand assembly** (vídeo). Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=Der_DD2_zps&feature=youtu.be>. Acessado em: 20/11/19.

DOBBELAERE. Deven. **3D Printing and the implications on intellectual property from a Belgian-European perspective (Dissertação)**, 2016. 142 p. Faculty of Law, Bélgica: Universiteit Gent, Faculty of Law. Disponível em: <

<https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/272/326/RUG01->

[002272326_2016_0001_AC.pdf](https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/272/326/RUG01-002272326_2016_0001_AC.pdf)>. Acessado em: 15/12/18.

DELOITTE. **Industry 4.0: challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies**. Zurique, 2015. Disponível em: <

<https://www2.deloitte.com/br/pt/misc/search.html#qr=industry%204.0%20challenges%20and%20solutions>>. Acessado em: 15/12/18.

ECONOMIST (THE). Print me a Stradivarius: How a new manufacturing technology will change the world. **The Economist**, p. 7, 2011.

ENABLE BRASIL. Tipos de dispositivos. **E-Nable** (site). Disponível em: <<http://enablebrasil.org/wp/tipodispositivo/>>. Acessado em: 02/03/20.

_____. **Frequent asked questions (FAQ)**. Disponível em: <<http://enablebrasil.org/wp/faq/>> Acessado em: 16/10/19.

ENGELMAN *et. al.* **Intellectual Property Protection and Licensing of 3D Print with Blockchain Technology**. **2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation**. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/327064920_Intellectual_Property_Protection_of_3D_Print_Supply_Chain_with_Blockchain_Technology>. Acessado em: 03/02/2019.

EYCHENNE, F. e NEVES, H. **Fab Lab: A Vanguarda da Nova Revolução Industrial**. São Paulo: Editorial Fab Lab Brasil, 2013. Disponível em: <<https://livroFablab.wordpress.com/20ao13/08/05/pdf-free-download/>>. Acessado em: 14/01/19.

EXPEDITO, Marcos. Os 10 principais setores da manufatura aditiva. **Viva 3D** (site). Disponível em: <<https://viva3d.com.br/impressora-3d/os-10-principais-setores-que-utilizam-manufatura-aditiva/>>. Acessado em: 01/10/19.

EXPORT. *France Additive Manufacturing*. **International Trade Administration** (online). Disponível em: < <https://www.export.gov/article?id=France-Additive-Manufacturing-AM>>. Acessado em: 02/08/19.

_____. *Singapore Additive Manufacturing*. **International Trade Administration** (online). Disponível em: < <https://www.export.gov/article?id=Singapore-Additive-Manufacturing>>. Acessado em: 02/08/19.

_____. **3D Printing in Brazil**. Disponível em: <<https://www.export.gov/article?id=3D-Printing-in-Brazil>>. Acessado em: 01/08/19.

FABBALOO 3D PRINTING NEWS. *Systems takes huge stock prices*. **Fabbaloo 3DPrinting News** (online). Disponível em: <<https://www.fabbaloo.com/blog/2019/5/8/3d-systems-takes-huge-stock-price-hit>>. Acessado em: 01/06/19.

FABLAB. **WIKIPEDIA**: a enciclopédia livre. 2019. Disponível em:

https://en.wikipedia.org/wiki/Fab_lab#History Acessado em: 14/01/2019.

FABFOUNDATION. *What is a Fablab?* **Fab Foundation** (site). Disponível em:

<<http://www.fabfoundation.org/index.php/what-is-a-fab-lab/index.html>>. Acessado em: 07/05/19.

FERNANDES, Marcelo. Bate-Papo com o Dr. Jorge Vicente Lopes da Silva, Diretor do Instituto Renato Archer (Tecnologias Tridimensionais). **3DPrinting** (site).

Disponível em: <<https://3dprinting.com.br/um-bate-papo-com-dr-jorge-vice-lopes-diretor-da-divisao-de-tecnologias-tridimensionais-do-cti-renato-archer-2/>> . Acessado em: 22/03/19.

FERNANDEZ, Paulo. **Primeira Impressão: Impressora 3D Prusa Mendel**. (Vídeo).

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PVge3rMUcOw>. Acessado em: 17/07/19.

FIALHO, Gabriel. ABDI divulga entidades selecionadas para testar tecnologias da indústria 4.0. **Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial-ABDI** (site).

Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/abdi-divulga-entidades-selecionadas-para-testar-tecnologias-de-industria-4-0>>. Acessado em: 01/12/18.

FLUXOCONSULTORIA. Tipos de Impressão. **Fluxoconsultoria** (site). Disponível em:

<http://fluxoconsultoria.poli.ufri.br/blog/projetos-mecanicos/tipos-de-impressao-3d/?gclid=Cj0KQCQiAjszhBRDgARIsAH8Kqvc3koP90cjhXzpy4o_NXE_C4Tmym9xNLhFF0mb-ajjBH0DYVvKHDdOQaAknmEALw_wcB>. Acessado em: 16/04/19.

FORD, Sharon. L. N. *Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness*. **Journal of International Commerce and Economics (online)**. Disponível em:

<<http://www.usitc.gov/journals>>. Acessado em: 03/04/19.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Impressão Tridimensional. **Revista FAPESP** (online). Disponível em:<

<https://bv.fapesp.br/pt/pesquisa/?sort=->

[data_inicio&q2=%28%22Impress%C3%A3o+tridimensional%22%29+AND+%28%28situacao_exact%3A%22Em+andamento%22+AND+auxilio%3A%2A%29%2918.>](https://bv.fapesp.br/pt/pesquisa/?sort=-data_inicio&q2=%28%22Impress%C3%A3o+tridimensional%22%29+AND+%28%28situacao_exact%3A%22Em+andamento%22+AND+auxilio%3A%2A%29%2918.>).

Acessado em: 10/12/18.

FURTADO, André (Coord.). Capacitação Tecnológica, competitividade e política industrial: uma abordagem setorial e por empresas líderes. **Texto para Discussão**

IPEA. n. 347. Rio de Janeiro, set 1994. Disponível em:<

http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2548/1/td_0348.pdf>. Acessado em: 10/12/2018.

GARGARELLA, P. Influência de parâmetros de processo nas características metalúrgicas de peças fabricadas por manufatura aditiva (Projeto). FAPESP/ CCET/ UFSCAR, São Carlos, 2018. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/102163/influencia-de-parametros-de-processo-nas-caracteristicas-metalurgicas-de-pecas-fabricadas-por-manufa/>>. Acessado em: 02/02/19.

GARTNER, 2019; <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>. Acessado em 14/08/2019

GLOBO (O). Após nove anos de espera por cirurgia, idoso morre sem conseguir prótese no INTO. **O Globo** (online). Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/05/21/apos-nove-anos-de-espera-por-cirurgia-idoso-morre-sem-conseguir-protese-no-into.ghtml>>. Acessado em: 06/06/19.

GOEHRKE, Sarah Anderson. A verdadeira autoridade na impressão 3D. **Wohlers Report 2017**. Disponível em: <<https://3dprint.com/170193/wohlers-report-2017-expert/>>. Acessado em: 01/01/18.

_____. *Art imitates life and inspires synthetic organs*. **Fabbaloo 3D Printing News** (online). Disponível em: <<https://www.fabbaloo.com/blog/2019/5/5/art-imitates-life-inspires-synthetic-organs>>. Acessado em: 30/06/19.

GRILLO, Felipe Wilker. Simuladores do tecido biológico para treinamento em procedimentos médicos guiados por ultrassom: amniocentese*. **FAPESP: Pesquisa Inovativa em Pequena Empresa** (2018- 2020). Ribeirão Preto, 2019. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/99857/simuladores-sinteticos-do-tecido-biologico-para-treinamento-em-procedimentos-medicos-guiados-por-ult/>>. Acesso em: 15/06/19.

GROLL, Jürgen *et al.* *Biofabrication: Reappraising the definition of an evolving Field*. **Biofabrication**, V. 8, N. 1, jun-16.

GUASTALDI, Antonio e GUASTALDI, Carlos. A impressão 3D na medicina e sua aplicação na engenharia de tecidos. **UNESP Ciência** (online). Disponível em: <<http://unespciencia.com.br/2019/04/01/3D-106/>>. Acessado em: 29/11/19.

GUO, N. *et al.* *Additive manufacturing: technology, applications and research needs*. **Frontiers of Mechanical Engineering**. V. 8, Nº 3, p. 215-243, 2013.

GUNDELACH, Beata *et al.* Mapeamento tecnológico. I **Documentos de Patentes de Impressoras 3D – Indústria 4.0**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2019.

HALPERN, A. Tecnologia disruptivas que vão bombar. **Ariehalpern** (site).

Disponível em: <<http://www.ariehalpern.com.br/as-10-tecnologias-disruptivas-que-vao-bombar-segundo-arie-halpern/>>. Acessado em: 09/04/19.

HAZELWOOD, L. *Better fit 3D Printing Prosthetics*. **Fabbaloo 3D Printing News** (site). Disponível em: <https://www.fabbaloo.com/blog/2019/4/12/better-fit-3d-printed-prosthetics>, Acessado em: 10/12/19.

HDSTORE. Tipos de impressoras 3D: conheça as mais importantes. **HDSTORE** (blog). Disponível em: <<https://blog.hdstore.com.br/tipos-de-impressoras-3d/>>. Acessado em: 16/04/19.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. *Design principles for industrie 4.0 scenarios: a literature review*. **Annual Hawaii International Conference on System Sciences**. Washington, DC: IEEE Computer Society, p. 3928-3937, 2016

HITCH, John. *3D Printing 2019, all grown ready work*. **Industry Week** (site).

Disponível em: <<https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/state-3d-printing-2019-all-grown-ready-work>>. Acessado em: 22/03/19.

_____. *Printing shifts carpet concrete*. **Industry Week** (site). Disponível em: <<https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/3d-printing-shifts-carpet-concrete>>. Acessado em: 02/09/18

_____. *3D Printing all grown ready to work*. **Industry Week** (online). Disponível em: <<https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/state-3d-printing-2019-all-grown-ready-work-01/02/2019>>. Acessado em: 20/02/19.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Séries Históricas - IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html?=&t=series-historicas>.

23/02/2019>. Acessado em 13/02/20.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDÚSTRIA (IEDI). A produtividade da indústria em 2008 e os efeitos da crise de março de 2009. **IEDI** (site). Disponível em:

<https://iedi.org.br/admin_ori/pdf/20090331_produtividade.pdf>. Acessado em: 17/07/19.

_____. Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil. Julho/2018. **IEDI** (site). Disponível em: <

https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180710_politicas_para_o_desenvolvimento_da_industria_4_0_no_brasil.pdf>. Acessado em: 01/09/18.

_____. Carta IEDI, nº 807. **IEDI** (site). Disponível em:<https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_807.html. IEDI>. Acessado em: 29/09/17.

_____. Carta IEDI, nº 797, Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil. **IEDI** (site). Disponível em: <

https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_797.html#:~:text=Inova%C3%A7%C3%B5es%20tecnol%C3%B3gicas%20e%20novos%20conceitos,e%20estabelecer%20um%20novo%20paradigma%20industrial>. Acessado em: 10/07/18.

_____. Carta IEDI, nº 914. **IEDI** (site). Disponível em:

<https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_914.html. 22/03/2019>. Acessado em 01/12/19.

_____. A indústria do futuro no Brasil e no mundo. **IEDI** (site). Disponível em:<https://iedi.org.br/media/site/artigos/20190311_industria_do_futuro_no_brasil_e_no_mundo.pdf>. Acessado em: 04/04/19.

_____. Princípios de um Plano para a Indústria 4.0 no Brasil. **Carta IEDI**. Ed. 862. São Paulo: IEDI. Disponível em: <

https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_862.html>. Acessado em: 10/07/18.

IMASTERS. A alvorada da SLA. **Imasters** (online). Disponível em:<

<https://imasters.com.br/tecnologia/alvorada-da-sla>. Acessado em: 14/12/19.

INTERNATIONAL TRADE ADMINISTRATION – TCA. Criar estruturas de treliça em impressão 3D Innovation Expert. **TCA** (online). Disponível

em:<<https://tca.pt/impressoras-3d/criar-estruturas-trelicadas-impressao-3d/>>.

Acessado em: 23/07/19.

INSTITUTO SOLIDARIO. PROJETO SOS 3D – COVID-19, COMUNICAÇÃO, 08/05/2020, Disponível em: < <http://www.institutosolidario.org.br/2020/05/08/projeto-sos-3d-covid-19-entrega-100-mascaras-protetoras-ao-complexo-estadual-de-saude-da-penha/>>, Acessado em: 11/01/20.

INDÚSTRIA 4.0. Ford cria centro de manufatura avançada para desenvolver a fábrica do futuro. **Indústria 4.0** (site). Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/noticias/17574-ford-cria-centro-de-manufatura-avancada-para-desenvolver-a-fabrica-do-futuro>>. Acessado em: 04/04/19.

INSTITUTO MAO3D. **Mao3D**. Disponível em: <<http://institutomao3d.wixsite.com/mao3d>>. Acessado em: 09/12/19.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Relatório n. 348**, Brasília, 1994. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=3446>. Acessado em: 04/03/19.

ITSBRASIL. Conheça a tecnologia social. ItsBrasil (site) . Disponível em: <<http://itsbrasil.org.br/conheca/tecnologia-social/>>. Acessado em: 08/05/19.

IZIQUÉ, Claudia e MOURA, Mariluce. Roteiro estratégico para cre. scer. **Revista Pesquisa FAPESP**, Ed. 74, abril 2002. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2002/04/01/roteiro-estrategico-para-crescer/>> Acessado em: 16/10/19.

JORNAL USP. Pesquisadores desenvolvem software livre para navegar pelo cérebro. **Jornal da USP** (online). Disponível em: <<https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-da-saude/pesquisadores-desenvolvem-software-livre-para-navegar-pelo-cerebro/>> 26/09/2018. Acessado em: 01/12/18.

KAREVSKA, Stefana. 3D printing: hype or game changer?. Disponível em: <https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/advisory/ey-3d-printing-game-changer.pdf>. Acessado em: 14/12/19.

KHORRAM, Niaki, *et al.* *Additive manufacturing management: a review and future research agenda*. **International Journal of Production Research**. Nº. 55, p. 1-21, 2016.

KNOWLTON, ONAL, YU, *et al.* *Bioprinting for cancer research*. **Trends Biotechnology**. V.33, N. 9, p. 504-513, 2015.

KOFF, W. e GUSTAFSON, P. 3D Printing and the future of manufacturing. **O Estado de São Paulo** (online). Disponível em: <<http://infograficos.estadao.com.br/e/focas/movimento-maker/fab-labs-no-brasil.php-estadão>>. Acessado em: 08/05/19.

KONECRANES. História do nosso serviço de internet industrial. **Konecranes** (online). Disponível em: <<https://www.konecranes.com.br/servico/historia-do-nosso-servico/internet-industrial>>. Acessado em: 03/8/19.

KUNKEL, Maria Elizete. Mao 3D o programa colaborativo que reúne inovação, tecnologia e inclusão. **Imasters** (online). Disponível

em: <<https://imasters.com.br/tecnologia/mao3d-o-programa-colaborativo-que-reune-inovacao-tecnologia-e-inclusao>>. Acessado em: 20/11/19.

_____. Projeto MAO3D desenvolve próteses de mão feitas por impressão 3D. **Boa Impressão3D** (site). Disponível em: <

<https://boaimpressao3d.com.br/aplicacoes/projeto-mao3d-desenvolve-protese-de-mao-feitas-por-impressao-3d>>, Acessado em: 20/11/19.

KUNKEL, Maria Elizete *et al.* (2019). MAO3D: Protetização e reabilitação de membro superior adulto com a tecnologia de impressão 3D. **A produção do conhecimento na engenharia biomédica** [online]. Orgs: Organizadores Nayara Araújo Cardoso, Renan Rhonalty Rocha, Maria Vitória Laurindo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. Disponível em: < <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Ebook-A-Producao-do-Conhecimento-na-Engenharia-Biomedica.pdf>>. Acessado em: 15/12/18.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Securing the future of German manufacturing industry. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group.*

Frankfurt, 2013. Disponível em: <

<https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>>. Acessado em: 16/10/19.

LAVI, Gil. Um panorama da formnext 2018. **3DPrinting** (online). Disponível em: <<https://3dprinting.com.br/um-panorama-da-formnext-2018-por-gil-lavi-ceo-da-3d-alliances/>>. Acessado em: 02/02/19.

LI, PHOEBE & MELLOR, *et al.* *Intellectual property and 3D printing: A case study on 3D chocolate printing.* **Journal of Intellectual Property Law & Practice.** Nº 9, p.322-332, 2014.

LIMA, T. S. e CORREA, G. R. Influências das novas tecnologias para *designers e makers*. **Anais do 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design.** V. 9, Nº 2, p. 4505-4516, jun/2018. Disponível em:

<<https://www.themanufacturer.com/articles/uk-world-leader-3d-printing/>>. Acessado em 07/04/2020.

LISTEK, Vanesa. 3D Bioprinting Solutions: The First Bioprinting Company in Russia. **3DPrint** (site). Disponível em: < <https://3dprint.com/254271/3d-bioprinting-solutions-the-first-bioprinting-company-in-russia/>>. Acessado em: 01/12/019.

- LOENERT, Laura. A impressão 3D no contexto da indústria 4.0. **3DPrinting** (online). Publicado em 02/08/2017. Disponível em: <<https://3dprinting.com.br/a-impressao-3d-no-contexto-da-industria-4-0-LOENERT/>>. Acessado em: 30/03/19.
- _____. Quais os desafios atuais da bioimpressão? **3DPrinting** (site). Disponível em:< <https://3dprinting.com.br/quais-os-desafios-atuais-da-bioimpressao-no-mundo/>>. Acessado em: 06/02/19.
- _____. *Precisebio* e a quarta dimensão da bioimpressão. **3DPrinting** (site).Disponível em: < <https://3dprinting.com.br/precise-bio-e-a-quarta-dimensao-da-bioimpressao/>>. Acessado em: 24/04/19.
- LOPES, Jorge. Manufatura aditiva. **Medium** (site). Disponível em: <https://medium.com/hist%C3%B3rias-weme/a-manufatura-aditiva-impress%C3%A3o-3d-e-o-caminho-para-a-ind%C3%A9stria-4-0-c13f22d29e1f-30082018> . Acessado em: 06/07/19.
- LOPES, Jorge. Manufatura aditiva: primeiras impressões. **CTI** (site). Disponível em:<<https://www.cti.gov.br/pt-br/noticias/manufatura-aditiva-primeiras-impress%C3%B5es-3d-e-o-futuro-da-produ%C3%A7%C3%A3o-camada-por-camada>>. Acesso em: 30/03/19.
- LOPES, José Vivente. Manufatura aditiva, uma revolução pervasiva na produção. **3DPrinting** (site). Disponível em:<<https://3dprinting.com.br/manufatura-aditiva-uma-revolucao-pervasiva-na-producao/>>. Acessado em: 01/11/18.
- LYDON, Bill. *How Industry 4.0 and Digitization Improves Manufacturing Responsiveness, Quality and Efficiency*. **Automation** (site). Disponível em: < <https://automation.isa.org/industry-40-digitization-improve-manufacturing-responsiveness-quality-efficiency-iiot/>>. Acessado em: 01/09/19.
- MAGATTI, Natalia. **História da impressão 3D**. 2018. Disponível em: <<https://www.frazillioferroni.com.br/historia-da-impressao-3d/>>. Acessado em: 20/03/19.
- MAIA, Izaque. Resultados do programa ProMED e ações tomadas com base na sua visão de futuro. **IV Workshop GESITI/Saúde, 14a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do CTI Renato Archer**, 2017. Acessado em: 21/01/18.
- MAGRANI, E.; CASTANHEIRA, B.; HUREL, L. M. A Armadilha do Entusiasmo Tecnológico. **IRevista Valor Econômico** (online). Disponível em: <<https://internet-governance.fgv.br/armadilha-do-entusiasmo-tecnologico>>. Acessado em: 15/07/15.

MARQUES, Fabrício. Ciclo interrompido. **Revista Pesquisa Fapesp** (online). Edição 275 - jan. 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2019/01/10/ciclo-interrompido>>. Acessado em: 20/06/19.

MARKWALD, Ricardo. Intensidade Tecnológica e Dinamismo das Exportações Brasileiras. **Revista Brasileira de Comércio Exterior**. Rio de Janeiro, n. 79, p.3-11, 2004.

MARSH, P. *The future of manufacturing. Paper prepared for the 2027 Initiative*. [s.l.]: [s.n.], 2017. **Instituto de Economia** (UFRJ). Disponível em: <<http://www.ie.ufrj.br/index.php/gic/projeto-industria-2027>>. Acessado em: 03/04/19.

MARTINEZ, F., JIRSAK, P., LORENC, M. Industry 4.0. *The End Lean Management? International Days of Statistics and Economics*, n.10, Praga: 2016.

MASHAMBANHAKA, Farai. Granta e Selvol em nova solução para a manufatura aditiva. **3DPrinting** (site). Disponível em: <<https://3dprintingindustry.com/news/granta-senvol-new-solution-additive-manufacturing-79173/>>. Acessado em: 20/09/18.

MATERIALIZE. InVesalius, uma grande contribuição brasileira para a impressão 3D. **Materialize** (site). Disponível em: <<https://materialize.3dlopes.com/INVESALIUS-uma-grande-contribuicao-brasileira-para-a-impressao-3d/>>. Acessado em: 17/01/19.

MAXWELL, Jack. *Standards spur 3D printing*. **ASTM** (site). Disponível em: <<https://www.astm.org/standardization-news/?q=features/standards-spur-3d-printing-nd15.html>>. Acessado em: 17/02/20.

MCCUE, T. J. Wohlers Report 2018: 3D printer industry rises 21% to over 7 billion. **Forbes** (online). Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2018/06/04/wohlers-report-2018-3d-printer-industry-rises-21-percent-to-over-7-billion/?from5B=#748269be2d1a>>. Acessado em: 01/11/18.

_____. *3D Printer industry surpassed 5.1 billion*. **Forbes** (online). Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2016/04/25/wohlers-report-2016-3d-printer-industry-surpassed-5-1-billion/#2aa63f0a19a0>>. Acessado em: 01/08/18.

MENEZES, R. e RODRIGUES, Y. Como as impressoras 3D podem auxiliar a medicina brasileira. **Ciência e Técnica** (online). Disponível em: <<https://cienciaetec.wordpress.com/2016/04/04/como-as-impressoras-3d-podem-auxiliar-a-medicina-brasileira/>>. Acessado em: 26/08/19.

METAL. ***GE Additive ships first concept in laser on line factory system.***

Disponível em: <<https://www.metal-am.com/ge-additive-ships-first-concept-laser-m-line-factory-system/>>. Acessado em: 04/01/20.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO E SERVIÇOS. **Agenda Brasileira**

para a Indústria 4.0. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br/>> Acessado em: 13/05/20.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, DA TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÕES

(MCTIC). Primeira impressora 3D adquirida no país completa marco de 2000

protótipos fabricados. **MCTIC** (site). Disponível em:

<<http://200.144.113.4/portal/noticias/1623-primeira-impressora-3d-adquirida-no-pais-completa-o-marco-de-2000-prototipos-fabricados>>. Acessado em: 31/05/18.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, DO COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS (MDIC). **O**

Estado da Inovação no Brasil: O marco legal e os gargalos da Lei nº 13.243 de

2016. 1. Marco Legal. 2. Ciência, Tecnologia e Informação. 3. Lei 13.243/2016. /

Confederação Nacional da Indústria. Brasília, 2018.

_____. **Governo seleciona as primeiras 10 fábricas do futuro do país.**

Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/setor-automotivo/rota2030/61-noticias/3566-governo-seleciona-as-primeiras-10-fabricas-do-futuro-do-pais>>. Acessado em 01/12/18.

MOLITCH-HOU, Michael. ***Offers Broad Insights into 3D Printing Industry.***

Disponível em:

https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/14795/Review-Wohlers-Report-2017-Offers-Broad-Insights-into-3D-Printing-Industry.aspx#disqus_thread. Acessado em: 01/06/18.

_____. ***Predictions for 2018 Industry Leaders Weigh*** Disponível em:

https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/16232/3D-Printing-Predictions-for-2018-Industry-Leaders-Weigh-In.aspx#disqus_thread.

Acessado em: 07/07/18.

_____. ***How do we move from metal rapid prototyping to metal additive manufacturing.*** Disponível em:

<https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/12250/How-Do-We-Move-from-Metal-Rapid-Prototyping-to-Metal-Additive-Manufacturing.aspx#disqus_thread>. Acessado em: 27/07/2018.

_____. **Wohlers Report 2016 and the billion dólar 3D printing industry.**

Disponível em:

https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/12438/Wohlers-Report-2016-and-the-Billion-Dollar-3D-Printing-Industry.aspx#disqus_thread.

Acessado em: 01/08/18

_____. **Os materiais de impressão 3D ficam mais inteligentes com a parceria entre Granta e Senvol.** Disponível

em:<<https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/12148/3D-Printing-Materials-Get-Smarter-with-Granta-Senvol-Partnership.aspx>>. Acessado em: 08/08/19.

MONLLEÓ, Isabella L. e LOPES, Vera L. Anomalias craniofaciais: descrição e avaliação das características gerais da atenção no Sistema Único de Saúde.

Cadernos de Saúde Pública. v. 22 n. 5. Rio de Janeiro, maio/2006. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000500004>>. Acessado em:

06/03/2019. NOLAN, A. *Disruptive innovations: risks and opportunities.* **Brazilian Industry Innovation Summit.** Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: MCTI, 2015.

OZBOLAT, I. T. *Bioprinting scale-up tissue and organ constructs for transplantation.* **Trends Biotechnology.** N. 33 V. 7, p.395-400, 2015.

OZBOLAT & YU. *Bioprinting Toward Organ Fabrication: Challenges and Future Trends.* **IEEE Transactions on Biomedical Engineering,** 2013.

OLIVEIRA, Naila *et al.* Bioimpressão e produção de mini-órgãos com células tronco. **Pesq. Vet. Bras.**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 9, p. 1032-1039, Set 2017. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-736X2017000901032&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18/03/20.

PARLAMENTO EUROPEU. Quem é responsável pelos problemas com os produtos criados pelas impressoras 3D. **EUROPARL** (site). Disponível em:

<<https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/economy/20180615STO05928/quem-e-responsavel-pelos-problemas-com-os-produtos-criados-usando-impressoras-3d>>. Acessado em: 05/01/20.

PARK, J. e Lakes, R. S. *Biomaterials: an introduction.* **Springer.** 3ª ed., p. 2, 2007. p. 2.

PECTER, David. **History of 3D printing who invented the 3D printer**. ALL3DP (online). 2018. Disponível em: <<https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-who-invented-the-3d-printer/>>. Acessado em: 21/01/19.

PEREIRA, Rodolfo. Entre o futuro industrial e a manufatura aditiva. **Gereports Brasil** (site). Disponível em: <<https://gereportsbrasil.com.br/a-insepar%C3%A1vel-conex%C3%A3o-entre-o-futuro-industrial-e-a-manufatura-aditiva-5700fce449a6>>. Acessado em: 29/08/19.

PESSAN, Luis Antonio. Desenvolvimento de *scaffolds* bioinspirados de PLA: cargas de cerâmica bioativas via impressão 3D: Auxílio à Pesquisa (2017-). **FAPESP (online)**. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/97059/desenvolvimento-de-scaffolds-bioinspirados-de-placargas-ceramicas-bioativas-via-impressao-3d/>>. Acesso em: 15/06/19

PETCH, Michael. 3DPrinting hype cycle. **Gartner Releases 2017**. Disponível em: <<https://3dprintingindustry.com/news/gartner-releases-2017-3d-printing-hype-cycle-118349/>>. Acessado em: 01/09/18.

_____. *3DSIM strengthen metal 3DPrinting expertise*. **3DPrinting** (site). Disponível em: <<https://3dprintingindustry.com/news/ansys-buys-3dsim-strengthen-metal-3d-printing-expertise-124895/>>. Acessado em: 17/12/19.

PETERSEN, Emily & Pearce, Joshua. *Emergence of Home Manufacturing in the Developed World: Return on Investment for Open-Source 3-D Printers. Technologies*. **MDPI** (online). Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2227-7080/5/1/7>>. Acessado em: 05/03/2019.

Manufacturing. **GAO Reports**. Anais. U.S. Government Accountability Office, 24 jun. 2015, p.1-63. Disponível em: <https://www.gao.gov/assets/680/670960.pdf>. Acessado em: 17/01/19.

PHYS. *Spare parts go digital: a boost for the industrial spare parts business*, VTT Technical Research. **Phys Science x** (online). Disponível em: <<https://phys.org/news/2017-11-digitala-boost-industrial-business.html>>. Acessado em: 08/03/18.

PLATTFORM 4.0. Plattform Industries 4.0. **Whitepaper Forschung**. Disponível em: <http://www.plattform40.de/sites/default/files/Whitepaper_Forschung%20Stand%203.%20April%202014_0.pdf>. Acessado em: 12/05/18.

PINTO, S., AZEVEDO, I., TEIXEIRA, C. *et al.* O Movimento Maker: Enfoque nos FabLabs Brasileiros. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 3, n. 1, p. 38-56, 2018.

PITÁGORA, Heliane C.; ARAÚJO, Kim. Ciclo de vida de patentes: uma análise do cenário global da manufatura aditiva a partir de 2009 a 2014. **Cad. Prospec.**, Salvador, v. 11, n. 1, p.64-73, jan./mar 2018. Disponível em:<
<https://www.cti.gov.br/pt-br/nt3d/biofabrica%C3%A7%C3%A3o>
www.cti.gov.br/pt-br/nt3d/biofabrica%C3%A7%C3%A3o>. Acessado em: 22/04/19.

PWC. *Next manufacturing 3d printing comes of age*. **PWC** (online). Disponível em:<<https://www.pwc.com/us/en/industrial-products/publications/assets/pwc-next-manufacturing-3d-printing-comes-of-age.pdf>>. Acessado em: 01/08/18.

REIS, T. Crise do subprime. **Suno Research (online)**. Disponível em: <<https://www.sunoresearch.com.br/artigos/crise-do-subprime/>>. Acessado em: 01/05/19.

REPRAP. **RepRap**. Disponível em:<<https://RepRep.org/wiki/RepRap>>. Acessado em 17/07/19.

_____. **Guia para iniciantes do RepRap Prusa Mendel**. Disponível em:<https://REPRAP.org/wiki/The_incomplete_REPRAP_Prusa_Mendel_beginner%27s_guide>. Acessado em: 17/07/19.

REVISTA IMPRENSA NACIONAL PÚBLICAL. **Novos Rumos da Comunicação Pública**. Ano 2, nº 5, jan-fev 2018. Disponível em: <<https://www.cti.gov.br/pt-br/noticias/revista-imprensa-nacional-publica-mat%C3%A9ria-sobre-o-INVESALIUS>>. Acessado em: 17/01/19.

RICHARDOT, Amandine. *Metal 3D printing application*. **Sculpteo** (blog). Disponível em: <<https://www.sculpteo.com/blog/2017/07/19/discover-7-of-the-coolest-metal-3d-printing-applications/> metal 3D printing applications>. Acessado em 20/08/2018.

RODRIGUES, A. H. Médicos fazem órgãos humanos com impressoras 3D. **Revista Época** (online). Rio de Janeiro: Ed. Globo, 2016. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/vida/noticia/2016/03/medicos-fazem-orgaos-humanos-em-impressoras-3d.html>>. Acessado em 10/03/2016

RODRIGUES, V. P. *et al.* Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 12, nº 3, p. 1-34, jul-set/2017.

ROTTA, Fernando. Só falta imprimir pensamento. **Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI** (online). Disponível em: </
[.https://www.abdi.com.br/postagem/so-falta-imprimir-pensamento](https://www.abdi.com.br/postagem/so-falta-imprimir-pensamento). Acessado em
 02/03/20

SANTANA, Andréia. Laboratórios de fabricação digital incentivam o empreendedorismo. **Correio 24 horas** (site). Disponível em:
 <<https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/laboratorios-de-fabricacao-digital-incentivam-o-empendedorismo/>>. Acessado em: 08/05/19.

SANTOS, B. P. *et al.* Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n.1, p. 111-124, 2018. Disponível em: <<http://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento>>. Acessado em: 05/02/19.

SANTOS, Mário Beja. *Makers: A nova revolução digital*. **Artciência** (online). Ano VIII, N.17, Maio/2014. Disponível em: <
https://www.google.com.br/search?sxsrf=ALeKk01bSyD-Q0QDfnRDV29luG2ROiVk0Q%3A1600003850543&source=hp&ei=Ch9eX_j9HobM5OUP1bC1qAc&q=SANTOS%2C+M%3%A1rio+Beja.+Makers%3A+A+nova+revolu%C3%A7%C3%A3o+digital.+Ano+VIII%2C+N%3%BAmero+17%2C+Maio%2F2014.&oq=SANTOS%2C+M%3%A1rio+Beja.+Makers%3A+A+nova+revolu%C3%A7%C3%A3o+digital.+Ano+VIII%2C+N%3%BAmero+17%2C+Maio%2F2014.&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAzoHCCMQ6glQJ1DBIFjBIGDOKGgBcAB4AIABd4gBd5IBAzAuMZgBAKABAqABAaoBB2d3cy13aXqwAQo&sclient=psy-ab&ved=0ahUKEwj4qpjpnubrAhUGJrkGHVVYDXUQ4dUDCAc&uact=5>. Acessado em: 01/02/18.

SATURNO, Ares. Indústria 4.0: o Brasil está pronto para a inovação das fábricas inteligentes? **Canaltech** (site). Disponível em:
 <<https://canaltech.com.br/inovacao/industria-40-o-brasil-esta-pronto-para-a-inovacao-das-fabricas-inteligentes-126833/>>. Acessado em: 10/01/19.

SCOTT, Clare Scott. *3D Printing Industry Growth, Major Gains in Metals*. **Wohlers Report 2018**. Disponível em: <<https://3dprint.com/208122/wohlers-report-2018/>>. Acessado em: 01/07/18.

SCULPTEO. *The State of 3D printing*. **SCULPTEO**, 2019. Disponível em: <<https://info.sculpteo.com/the-state-of-3d-printing-report>>. (online). Acessado em: 08/08/19.

- SECURE ADDITIVE MANUFACTURING PLATAFORM. **SAMPL**. Hanover: 2019. Disponível em: <<https://sampl.fks.tuhh.de/en/home.html>>. Acessado em: 09/07/19.
- SEGURO AIG. O futuro da Impressão 3D. **Negócios Seguro AIG** (site). Disponível em: <<https://www.negocioseguroaig.com.br/industria/tendencia/o-futuro-impresso-em-3d-mas-e-os-riscos>> . Acessado em: 05/01/20.
- SEM AUTOR. **MAO3D Campanha** (vídeo). Disponível em: <<https://youtu.be/fL-pdwJ4vvU>>. Acessado em: 20/11/19.
- SIGMA. **Sigma Protótipos** .Disponível em: <<https://sigmaprototipos.com.br/historia-da-impressao-3d/>>. Acessado em: 10/10/19.
- SILVA, Jorge Vicente Lopes da. A manufatura aditiva (Impressão 3D) nos Hospitais Brasileiros: Contribuição do PROMED do CTI Renato Archer. **VIII CDBEH**. Curitiba, 2018.
- _____. A manufatura aditiva (impressão 3D) e o caminho para a indústria 4.0. **Medium** (online), 2018. Disponível em: <https://medium.com/hist%C3%B3rias-weme/a-manufatura-aditiva-impress%C3%A3o-3d-e-o-caminho-para-a-ind%C3%A9stria-4-0-c13f22d29e1f>. Acessado em: 02/02/2019.
- SINKORA, Ed. Fabricação em 2050: o mundo virou de cabeça para baixo. **SME** (site). Disponível em: <<https://www.sme.org/manufacturing-2050>>. Acessado em: 16/08/2019.
- SIMTECH. *Singapore Institute of Manufacturing Technology: 3D additive manufacturing*. **SIMTECH** (online).Disponível em: <<https://www.a-star.edu.sg/simtech/Themes/tid/3/3D-Additive-Manufacturing>>. Acessado em 13/08/2019
- SOFFNER. A ascensão do mercado de impressão 3D. **Soffner Tecnologia de impressão** (blog), publicado em 07/06/2018. Disponível em: <http://www.soffnertecnologia.com/blog/a-ascensao-do-mercado-de-impressao-3d/>. Acessado em: 04/04/19.
- STEVENSON, Kerry. *Wohlers issues, 2018 Report*. **Fabbaloo 3D Printing News** (site). Disponível em: <<https://www.fabbaloo.com/blog/2018/6/13/wohlers-issues-2018-report>>. Acessado em: 13/06/18.
- _____. Robos sensores e automação chegam às pequenas empresas. **Folha de São Paulo** (online). Disponível em: <

<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/08/robos-sensores-e-automacao-chegam-as-pequenas-empresas.shtml>. 12.ago.2018. Acessado em: 04/04/19.

SUL (O). A impressão 3D já ajuda a planejar cirurgias e a criar próteses sob medida no país. **O Sul** (online). Disponível em: <<http://www.osul.com.br/a-impressao-3d-ja-ajuda-a-planejar-cirurgias-e-a-criar-protese-sob-medida-no-pais/>>. Acessado em: 06/06/19.

TCTMAGAZINE. 3D Software news: ANSYS additive suite and print simulation. **TCT Magazine** (site). Disponível em: < <https://www.tctmagazine.com/3d-software-news/ansys-additive-suite-additive-print-simulation-software/>>. Acessado em: 10/01/19.

TEIXEIRA, C. S. **FAB LABS: Alinhamento Conceitual**. Florianópolis: Perse, 2017. Disponível em: <<http://via.ufsc.br/download-ebook-fablabs/>>. Acessado em: 28/06/18.

THIRE, Rossana Moreira. Allied Academies. Towards new strategies for development of bone tissue engineering composite scaffolds. 2nd International Conference on Biomaterials and Nanomaterials & Materials Physics and Materials Science. May 20-21, 2019 | Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.alliedacademies.org/proceedings/towards-new-strategies-for-development-of-bone-tissue-engineering-composite-scaffolds-5559.html>> . Acessado em 13/01/2021.

TIINSIDE. Manufatura 4.0: Ford na vanguarda das coisas conectadas. **Tiinside** (online) Disponível em:<<https://tiinside.com.br/20/06/2018/manufatura-4-0-ford-na-vanguarda-das-coisas-conectadas/>>. Acessado em: 04/04/19.

TORRES FILHO, P. Entendendo a crise do subprime. **Visões do Desenvolvimento**. N. 44, Rio de Janeiro: Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social, 2008

TRIBUNA DE PETROPOLIS. **Técnica de impressão 3D acelera revisão de turbinas**. Petrópolis,12/06/18. Disponível em: < <https://tribunadepetropolis.com.br/tecnica-de-impressao-3d-acelera-revisao-de-turbinas>>. Acessado em: 26/06/19.

TRISOTTO, Fernanda. Sistema de Arrecadação 2019. **Gazeta do Povo** (online). Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/republica/sistema-s-arrecadacao-2019/>>. Acessado em: 02/03/20.

TUDOSOBREPLASTICO. Impressão 3d. **Tudo sobre plástico** (online). Disponível em: <<https://www.tudosobreplasticos.com/processo/impressao3D.asp>>. Acessado em: 28/06/18.

UNIFESP. **MAO3D**. Disponível em: <<https://www.unifesp.br/campus/sjc/mao3d.html>>. Acessado em: 17/10/19.

UPM RAFLATAC. *3D printing expert Terry Wohlers: industry moving steadily from prototyping to production. 2018.* **UPM Raflatac (site)**. Disponível em: <<https://www.upm.com/news-and-stories/articles/2018/04/3d-printing-expert-terry-wohlers-industry-moving-steadily-from-prototyping-to-production/>>. Acessado em: 30/03/19.

USITC Journal (online). September/2014. p. 1-35. Disponível em: <http://www.usitc.gov/journals>. Acessado em: 01/03/16.

VEYRAT, Pierre. Gerenciar negócios: Inovação disruptiva exemplo. **HEFLO** (online), 2016. Disponível em: <<https://www.heflo.com/pt-br/gerenciar-negocios/inovacao-disruptiva-exemplo/>>. Acessado em: 04/05/18.

VIEIRA, David Vernon. Inovação em bibliotecas: considerações sobre a disponibilização de serviço de impressão 3D. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, São Paulo, v. 13, p. 1106-1120, dez/2017. Disponível em: <<https://rbbd.febab.org.br/rbbd/article/view/875>>. Acesso em: 01/04/18.

WEBER, P. *Semantic degrees for industries 4.0 engineering: deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies.* **European Software Engineering Conference and the ACM Sigsoft Symposium on the Foundations of Software**. European Parliament, 2016.

WELLER, C., KLEER, R. & PILLER, F. *Economic Implications of 3D Printing: Market Structure Models in Light of Additive Manufacturing Revisited.* **International Journal of Production Economics**. Vol. 164, Issue C, p. 43-56, 2016. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/eeeproeco/v_3a16. Acessado em: 07/08/2019.

WOHLERS, Terry. **An Excerpt of Wohlers Report 2017**. Disponível em: <<https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/15256/An-Excerpt-from-Wohlers-Report-2017.aspx>>. Acessado em: 01/01/18.

_____. *The Faces of Additive Manufacturing.* **3Dnatives** (online). Disponível em: <<https://www.3dnatives.com/en/terry-wohlers-faces-additive-manufacturing-terry-120820194/>>. Acessado em: 01/09/19.

WOHLERS, Terry, CAFFREY, Tim. **Wohlers Report 2015**. Colorado: Wohlers Associates Inc., 2015. Disponível em: <<https://wohlersassociates.com/2015-ExSum.pdf>>. Acessado em: 01/02/16.

WOHLERS Associates. **Global additive manufacturing market size and forecast** [s.l:s.n], 2014.

_____. **Come back in America**. Disponível em: <<https://wohlersassociates.com/blog/2019/04/u-s-comeback-in-am/>>. Acessado em: 01/06/19.

WISHBOX TECHNOLOGIES. Conheça Chuck Hull: o criador da Impressora 3D. **Wishbox Technologies** (online). Disponível em: <<https://www.wishbox.net.br/chuck-hull/#btn-continuar-lendo>>. Acessado em 01/05/20.

WÜBBEKE, J. et. al. *The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries*. **Mercator Institute for China Studies** (MERICS). Nº 2, Dec-2016.

VILLAVERDE, J. Embrapa da indústria começa com R\$ 30 milhões. **Valor Econômico** (online). Disponível em: <http://www.valor.com.br/brasil/1003408/embrapa-da-industria-comeca-com-r-30-milhoes>. Acessado em:19/03/19.

VOGEL, Gabriel; AZEVEDO, André F. Z. Intensidade Tecnológica das Exportações do Brasil e de Estados Selecionados (2000-2010). **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria: Ed. UFSM, v. 8, número 1, p. 26-41, Março/2015.

VOZ DA INDÚSTRIA (A). Internet industrial: o que é? **A voz da Indústria** (online). <https://avozdaindustria.com.br/internet-industrial-o-que-e/>). Acessado em: 20/07/18.

ZAWADZKI, P. & ŻYWICKI, K. *Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept*. **Management and Production Engineering Review**. Polônia. v. 7, n. 3, p. 105-112, 2016.

3D APPLICATIONS. Como um brasileiro virou um dos empresários mais importantes da indústria mundial de óculos. **3D Applications** (site). Disponível em: <<https://www.3dapplications.com.br/2019/03/12/como-um-brasileiro-virou-um-dos-empresarios-mais-importantes-da-industria-mundial-de-oculos/>>. Acessado em 04/04/19.

3DILLA. Impressora 3D Industrial. **3Dilla** (online). Disponível em: <<http://pt.3dilla.com/impressora-3d/industrial/>>. Acessado em: 02/03/20.

3DPRINTING. **WIKIPEDIA**: a enciclopédia livre. Wikimedia, 2019. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing . Acessado em: 22/03/2019

_____. Manufatura aditiva: uma revolução pervasiva na produção. **3DPrinting** (site). Julho/2018. Disponível em: <<http://www.3dprinting.com.br/manufatura-aditiva-uma-revolucao-pervasiva-na-producao/>> . Acessado em: 22/03/19.

3DLABS. Conheça os tipos de impressão 3D e os seus benefícios. **3DLAB** (online) Disponível em: <<https://3dlab.com.br/tipos-de-impressao-3d-e-beneficios/>>. Acessado em: 16/04/19.

_____. Tipos de impressão 3D e benefícios. **3DLab** (online). Disponível em: <<https://3dlab.com.br/tipos-de-impressao-3d-e-beneficios/>>. Acessado em: 10/07/19.

3DPMUSEUM. *3D Making History*. **3DP Museum** (site). Disponível em:< <https://www.3dpmuseum.com/>>. Acessado em: 16/01/19.

3DPRINTINGINDUSTRY. *Consumer 3D printing 5 years away mainstream adoption, says Gartner*. **3DPrinting Industry** (site). Disponível em:< <https://3dprintingindustry.com/news/consumer-3d-printing-5-years-away-mainstream-adoption-says-gartner-31677/>>. Acessado em: 01/09/18.

3DSYSTEMS. **Our Story**. Disponível em: <<https://br.3dsystems.com/our-story>>. Acessado em: 10/10/19.

_____. 3D Printers: DMP Flex 350. **3DSystems** (site). Disponível em:< <https://br.3dsystems.com/3d-printers/dmp-flex-350>>. Acessado em: 16/11/19.

ANEXO ANEXO 1 - GLOSSÁRIO

GLOSSÁRIO

AMNIOCENTESE

É um método de diagnóstico pré-natal que consiste na aspiração transabdominal de uma pequena quantidade de fluido amniótico da bolsa amniótica, que envolve o feto. É tipicamente aconselhada aos pais perante a probabilidade de deformações genéticas durante a gravidez.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA)

Criada pela Lei nº 9.782, de 26 de janeiro 1999, é uma autarquia sob regime especial, que tem sede e foro no Distrito Federal, e está presente em todo o território nacional por meio das coordenações de portos, aeroportos, fronteiras e recintos alfandegados. Tem por finalidade institucional promover a proteção da saúde da população, por intermédio do controle sanitário da produção e consumo de produtos e serviços submetidos à vigilância sanitária, inclusive dos ambientes, dos processos, dos insumos e das tecnologias a eles relacionados, bem como o controle de portos, aeroportos, fronteiras e recintos alfandegados.

BIOMATERIAL

Biomaterial é substância ou mistura de substâncias, naturais ou artificiais, que atuam nos sistemas biológicos, parcial ou totalmente, com o objetivo de substituir, aumentar ou tratar. Alguns exemplos de biomateriais são próteses, implantes, lentes de contato e marcapassos. Especificamente, podem ser: a) bioinertes: alumina, zircônia, titânio, tântalo, nióbio e carbono ou b) bioativas: quando ocorre interação entre o implante e o tecido ósseo, interferindo diretamente na osteogênese. Os biomateriais são materiais - naturais, sintéticos, vivos ou não - e, geralmente, compostos de múltiplos componentes. Pode ser definido como qualquer material usado na fabricação de dispositivos para substituir uma parte ou função do corpo de forma segura, confiável, econômica e fisiologicamente aceitável.

CADEIA DE VALOR

A cadeia de suprimentos (*supply chain*) é a área de uma empresa responsável pela interação com os fornecedores de matéria prima, com os ativos desenvolvidos na indústria, no transporte, no armazenamento e no encaminhamento para distribuidores e por fim na disponibilização para o varejo, local onde o cliente final realizará a compra.

CÉLULAS-TRONCO

Utilizam-se as células-tronco do próprio indivíduo que receberá a terapia. Atualmente, a medula óssea é a fonte mais conhecida e estudada de células tronco do adulto, apesar de pesquisas apontarem células-tronco em outros tecidos como a gordura e o próprio sangue periférico. Na terapia com células-tronco autólogas não existe a possibilidade de reação de incompatibilidade, pois as utilizadas são do mesmo indivíduo.

COLÁGENO

O colágeno é uma proteína de importância fundamental na constituição da matriz extracelular do tecido conjuntivo, sendo responsável por grande parte de suas propriedades físicas.

DEMANDA AGREGADA

É a demanda total de bens e serviços numa dada economia, para um determinado momento e nível de preços. A demanda agregada serve de parâmetro para que possa haver planejamento econômico para realizar as aquisições sem comprometer o orçamento

DESIGN GENERATIVO

É uma maneira de explorar diferentes soluções de design para peças e componentes de veículos, usando a nuvem e a inteligência artificial para combinar o engenheiro e o computador.

DIFERENCIAÇÃO CELULAR

É o processo pelo qual as células vivas se especializam, gerando uma diversidade celular capaz de realizar determinadas funções, por exemplo, o tecido muscular, ósseo, entre outros. Apesar de diferenciadas, as células mantêm o mesmo código genético da primeira célula (zigoto). A diferença está na ativação e inibição de grupos específicos de genes que determinarão a função de cada célula

EMPRESAS INTENSIVAS EM TECNOLOGIA

Na busca para obter vantagem competitiva, apenas as tecnologias de informação e comunicação (TIC) não são suficientes para aquelas organizações que dependem do conhecimento para gerar seus produtos. Segundo Sveiby (1998), gestão do conhecimento é uma arte que cria valor, alavancando os ativos intangíveis; desta forma, é preciso diferenciar dados de informação de conhecimento.

ENGENHARIA TECIDUAL

Constitui uma área recente de pesquisa multidisciplinar e a definição mais ampla incluiria entre seus objetivos o desenvolvimento e manipulação de implantes artificiais, de tecidos gerados em laboratório e/ou de células ou moléculas capazes de substituir ou estimular funcionalmente partes defeituosas ou lesadas de nossos organismos.

ESFERÓIDES

O órgão ou tecido deverá ser estruturado a partir de elementos construtores básicos que funcionam como blocos de montar, chamados de esferóides teciduais, capazes de fundirem-se uns aos outros. Esses elementos, obtidos de células do próprio paciente, serão impressos por uma bioimpressora 3D que fabricará o órgão ou tecido, camada-a-camada, seguindo um conjunto de instruções da bioimpressora, com detalhes complexos da estrutura a ser construída.

ESTEREOLITOGRAFIA

Ele funciona usando um laser de alta potência para endurecer a resina líquida que está contida em um reservatório para criar a forma 3D desejada. Em suma, este processo converte líquido fotossensível em plásticos sólidos 3D em uma camada-por-camada usando um laser de baixa potência e fotopolimerização.

EXPRESSÃO DA PROTEÍNA

DNA: O ácido desoxirribonucleico é um composto orgânico cujas moléculas contêm as instruções genéticas que coordenam o desenvolvimento e funcionamento de todos os seres vivos e alguns vírus, e que transmitem as características hereditárias de cada ser vivo. As proteínas são as macromoléculas com as funções mais variadas dentro das células. Sua produção é feita nos ribossomos, através das informações armazenadas no DNA e levadas pelo RNA. Este conceito “expressão da proteína” esta relacionada às funções que podem ser atribuídas às proteínas, destaca-se seu papel no transporte de oxigênio (hemoglobina), na proteção

do corpo contra organismos patogênicos (anticorpos), como catalizadora de reações químicas (enzimas), receptora de membrana, atuação na contração muscular (actina e miosina) e outras. Esses trechos de DNA são transcritos na forma de RNA que, sendo uma molécula menor e mais simples de ser transportada, se movimenta até o ribossomo - organela não membranosa que é responsável por sintetizar as proteínas.

FABRICAÇÃO CONVENCIONAL

O termo fabricação convencional tem sido adotado em vários artigos para definir artefatos produzidos sem o uso da manufatura aditiva (impressão 3D).

FABRICANTES DE EQUIPAMENTOS ORIGINAIS

É um termo usado quando uma empresa faz uma parte ou subsistema utilizado no produto final de outra empresa. O termo algumas vezes refere-se ao fabricante de uma parte ou submontagem, algumas vezes a um fabricante de montagem final e outras vezes a uma categoria mental que compreende os dois em contraste com todos os outros fabricantes terceirizados de peças ou subconjuntos do mercado de peças.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA)

A FDA é responsável pela proteção e promoção da saúde pública nos Estados Unidos, através do controle e supervisão da segurança alimentar, produtos de tabacos, suplementos dietéticos, prescrição e medicamentos farmacêuticos, vacinas, biofarmacêuticos, transfusões de sangue, dispositivos médicos e outros.

FENOTÍPICO

O fenótipo são as características observáveis ou caracteres de um organismo ou população, como: morfologia (ferramenta fundamental para a identificação e classificação das espécies), desenvolvimento, propriedades bioquímicas ou fisiológicas e comportamento.

FLUXO INTERSTICIAL

O interstício é um oficioso órgão integrante do tecido conjuntivo descrito como um espaço preenchido de líquido entre a pele e os demais órgãos, músculos e o sistema circulatório.

FRESAGEM CNC ou FRESAGEM DE PRECISÃO

Uma fresadora é uma máquina equipada com fresas (ferramentas de corte parecidas com brocas de furadeira) que, através do movimento rotativo dessas e de seu deslocamento em um determinado plano, é utilizada para cortar, desbastar, entalhar ou perfurar diversos tipos de materiais. Com o advento da informática e a criação dos motores de passo (motores elétricos no quais é possível controlar a rotação, o sentido de rotação, a quantidade de giro em graus do eixo do motor) e a consequente automatização de diversos equipamentos surgiram as máquinas de controle numérico computadorizadas (CNC), equipamentos que são dirigidos por um controle que se utiliza de números em forma de coordenadas (normalmente nos eixos x, y e z) e gerenciados por um computador. O fresamento de engrenagens é outro processo que utiliza cortadores rotativos para remover o material, mas a diferença está em como o equipamento funciona. Uma fresadora possui uma mesa móvel na qual o material é montado. Na maioria das fresadoras, as ferramentas de corte são estacionárias e a mesa move o material para que os cortes desejados possam ser feitos. Outros tipos de fresadoras possuem ferramentas de mesa e corte como implementos móveis. Algumas das operações que uma fresadora é capaz de realizar incluem aplainamento, corte, rebatimento, roteamento, fundição e outros caminhos de ferramentas complexos, tornando a fresadora uma das peças mais flexíveis de equipamentos em uma oficina mecânica. O **CNC** é projetado para otimizar os movimentos baseados em máquinas. Na maioria das situações, a **fresagem CNC de precisão** será usada com fresas rotativas para ajudar a eliminar materiais em excesso e refinar o projeto.

FOTOPOLÍMERO

Um fotopolímero ou resina ativada pela luz é um polímero que altera suas propriedades quando exposto à luz; geralmente, na região ultravioleta ou visível do espectro eletromagnético.

FUSION 360

É um software que possui a capacidade de selecionar vários métodos de manufatura, de aditivos a fresamento de três (3) ou cinco (5) eixos, para explorar a complexidade de soluções para seus desafios de projeto e engenharia. O software de design generativo oferece a opção de explorar os vários resultados e até mesmo trazer as soluções de volta ao seu programa CAD para refinar o design.

GLICOPROTEÍNAS

São proteínas que contêm cadeias de oligossacarídeos covalentemente ligados a cadeias laterais de polipeptídeos. O hidrato de carbono é ligado à proteína numa modificação translacional ou pós-traducional. Este processo é conhecido como a glicosilação.

INTERNET INDUSTRIAL

A essência da internet industrial baseia-se em uma série de sensores que trabalham em conjunto para coletar e analisar dados para fins específicos. Refere-se à integração de máquinas com sensores e software em rede. Este termo foi cunhado pela *General Eletric* (GE).

INTEROPERABILIDADE TECNOLÓGICA

Está relacionada à troca de informações entre sistemas físicos (computador) e dados biológicos, que é requerida pela genética na análise de respostas satisfatórias para novos *insights*.

INVESTIMENTO AGREGADO

É o gasto com bens que foram produzidos, mas não foram consumidos no período, e que aumentam a capacidade produtiva da economia nos períodos seguintes.

JATEAMENTO

É o procedimento indicado para limpeza de peças metálicas. Essa técnica consiste no uso de jato de areia, óxido de alumínio ou granalha de aço para a limpeza das superfícies que receberão o material metalizado. O processo de jateamento de areia ou de jato de areia tem sido, ao longo de décadas, um importante método utilizado para a preparação e limpeza da superfície em diferentes tipos de indústrias tais como as da construção, metalmeccânica, fundição, petróleo, mineração, agricultura, para tratar tanto metais, cerâmicas, concretos, entre outros.

LEI DA INOVAÇÃO

Centros de pesquisa, universidades e empresas precisam de estímulo para que a inovação ocorra de forma plena. Partindo da necessidade de fortalecer essa área de produção e conhecimento, foi sancionada, em 2004, a Lei da Inovação. Em 2016, esta lei ganha mais autonomia com o Marco Regulatório da Inovação, desburocratizando esse ambiente. A Lei da Inovação tem o objetivo de incentivar a conexão entre universidade, centros de pesquisa e as empresas. Para isso, são estabelecidos mecanismos que incentivam a cooperação para a produção científica,

tecnológica e de inovação. Inspirado no modelo da lei da inovação francesa, a Lei nº 10.973/2004 é um marco para a inovação do Brasil. A lei baseia-se em três bases: a) construir um ambiente de parceria entre empresas e ICTs (Instituições Científicas e Tecnológicas); b) estimular a inovação por parte das ICTs (Instituições Científicas e Tecnológicas) e c) estimular a inovação por parte das empresas privadas. A regularização da parceria entre ICTs e empresas é importante e precisa ser legalizada. Mesmo com a implementação de uma cultura de inovação interna, o estímulo jurídico-institucional é vital. E mesmo com a Lei da Inovação já promulgada, o Marco Regulatório da Inovação modifica e supera obstáculos da legislação original. A Lei da inovação incorporava propostas estratégicas consideradas inéditas, tais como, o estabelecimento de parcerias entre universidades, institutos públicos de pesquisa, pesquisadores e empresas, estímulo ao empreendedorismo e à proteção da propriedade intelectual, criação de estrutura legal apropriada para as empresas inovadoras, além da abertura, mediante remuneração, das instalações laboratoriais públicas e a criação de regime de compras governamentais no campo da alta tecnologia.

LEI DO BEM

Cria a concessão de incentivos fiscais às pessoas jurídicas que realizarem pesquisa e desenvolvimento de inovação tecnológica, utiliza esse mecanismo para incentivar investimentos em inovação por parte do setor privado. Além disso, busca aproximar as empresas das universidades e institutos de pesquisa, potencializando os resultados em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Existem alguns pré-requisitos para obter os incentivos fiscais da Lei do Bem, são eles: empresas em regime no lucro real, com lucro fiscal, com regularidade fiscal (emissão da CND ou CPD-EN) ou que invistam em P&D.

LASER DE ESTADO SÓLIDO

É um tipo de laser que usa um componente sólido como meio ativo ao invés de usar meios líquidos ou gasosos, como em lasers a corante e lasers a gás. Um corante laser é uma substância química corante que é capaz de produzir por excitação laser. É o único tipo de laser em que o meio ativo é líquido. Geralmente, é excitado por outros lasers ou lâmpadas tipo *flash*, podendo alguns trabalhar no modo contínuo, mas a maioria trabalha no modo pulsado.

MAKERSPACES

A expressão MAKERS aplica-se a uma vasta comunidade de empreendedores que usam a criatividade e inovação para iniciarem desta forma a sua atividade empresarial, em nome individual ou constituindo empresas, e que utilizam os *Makerspaces* para lançarem os seus produtos em mercados de nicho, nos quais as grandes empresas e fabricantes de grandes quantidades não são competitivos. Os *Makerspaces* (ou *Makerplaces*) são espaços de fabricações digitais onde se encontram instaladas as mais variadas máquinas de produção, essencialmente, máquinas CNC, onde empreendedores, criativos, curiosos, pequenas empresas podem executar elas próprias os seus produtos para venda no mercado ou desenvolver os seus projetos, nomeadamente protótipos de peças (neste caso as grandes empresas são presença habitual).

MATRIZES E MOLDES

Moldes e matrizes são usados para a criação de uma variedade de objetos com diferentes materiais. Os moldes tendem a ser usados para produzir produtos que precisam ser ocos, enquanto que matrizes são usadas para gerar produtos sólidos a partir de materiais como o aço.

MEDICINA REGENERATIVA

A medicina regenerativa substitui ou regenera células, tecidos ou órgãos humanos, para restaurar ou estabelecer a função normal, por meio da interação de diversas áreas do conhecimento científico: biologia celular e molecular, biomateriais e nanotecnologia, engenharia de tecidos, genética, imunologia.

MOLÉCULAS BIOATIVAS

São provenientes da purificação de extratos naturais através de técnicas de separação, como cromatografia. O estudo fitoquímico dessas moléculas vem se desenvolvendo devido ao potencial farmacológico, representando dessa maneira uma alternativa às terapias convencionais.

PARÊNQUIMA

Célula específica de uma glândula ou de um órgão, contida no tecido conjuntivo. Parênquima é o conjunto de células que são responsáveis pela função de um determinado órgão. É formada por células vivas e parede celular primária delgada. Sua morfologia é extremamente simples, mas possui fisiologia complexa (por poder desempenhar diversas funções). Podemos encontrá-lo tanto no tecido animal como

no vegetal, sendo mais presente no tecido vegetal. Estão nos rins, pulmões e cérebro. Nos rins, o parênquima é encontrado nos nefrônios; nos pulmões, se localizam nos alvéolos pulmonares e no cérebro, nos neurônios. Nos pulmões, o parênquima desempenha o papel de setor de troca de gases do aparelho respiratório; já no fígado, o tecido constitui o estroma, e as células hepáticas constituem o parênquima.

PLATAFORMAS DE MATERIAIS ABERTAS

O princípio central de uma plataforma aberta é que o acesso aos dados e aos serviços desta plataforma seja através de um conjunto de APIs abertas que aceitem e retornem dados em formato aberto, compartilhável e processável por computador (computável). As definições destes conjuntos de APIs precisam ser abertas para que, assim qualquer parte interessada possa implementá-las livremente. Enquanto seus membros (da plataforma aberta) estiverem de acordo com estas APIs, tanto as aplicações como os dados são portáteis e o 'bloqueio' do fornecedor não é mais uma barreira, e isto, independente de (s) componente (s) e aplicativo (s) serem de código aberto ou proprietário.

POLÍMEROS

Podem ser: naturais, encontrados na natureza; por exemplo, borracha (da seringueira), celulose, proteínas, polissacarídeos, entre outros ou artificiais, produzidos artificialmente e que surgiram da necessidade de imitar os polímeros naturais. É produzido pela síntese, processo que surgiu após a descoberta da Química Orgânica (segunda metade do século XIX), e requer tecnologia sofisticada, pois envolve reações químicas em laboratório. Os polímeros sintéticos revolucionaram o século XX, ficaram popularmente conhecidos como plásticos. Com eles, tornou-se possível fabricar vários objetos, dentre eles: sacolas, para-choques de automóveis, canos para água, painéis antiaderentes, mantas, colas, tintas e chicletes.

POLÍMERO ABSORVENTE

Polímero que pode absorver e reter quantidades extremamente grandes de um líquido em relação à sua própria massa. O líquido absorvido pode ser água ou um líquido orgânico.

PROTEÍNAS DE SINALIZAÇÃO (SINALIZAÇÃO CELULAR)

A sinalização celular faz parte de um complexo sistema de comunicação que governa e coordena as atividades e funções celulares. A habilidade que as células possuem em perceber e responder ao seu ambiente envolvente forma a base do desenvolvimento, da reparação de tecidos, da imunidade e de outras funções de homeostasia (estabilidade da qual o organismo necessita para realizar suas funções adequadamente para o equilíbrio do corpo) em tecidos.

PROTÓTIPOS

Alguns dos protótipos, sob a ótica do *design* de produto, poderiam ser classificados de quatro maneiras, como se segue: a) Protótipo Visual: Demonstra a forma e tamanho do produto, mas não apresenta funcionalidades; b) Prova de Conceito: Apresenta a principal funcionalidade do produto, normalmente utilizando produtos de prateleira sem customizações e normalmente não se assemelha ao produto final; c) Protótipo de Apresentação: Tenta combinar a aparência física do produto final com sua funcionalidade, normalmente utilizando peças customizadas e de baixa produção e d) Protótipo de Pré-Produção: Este protótipo já deve considerar a produção em massa e utilizar os meios de produção que serão usados nos produtos finais ou algum que se assemelhe a eles.

PROTEOGLICANAS

A matriz extracelular foi considerada por muito tempo uma estrutura inerte constituída por várias proteínas e polissacarídeos sintetizados e secretados pelas células para o preenchimento do espaço extracelular. Atualmente, sabe-se que, além de auxiliar na ligação das células para a formação dos tecidos, a matriz extracelular tem papel importante no controle do crescimento e na diferenciação celular* e, nessa interação, moléculas como proteoglicanos, glicosaminoglicanos, proteases e glicosidases desencadeiam ventos de sinalização celular.

QUIMIOCINAS

As quimiocinas fazem parte de uma família especializada de citocinas, que funcionam como potentes mediadores ou reguladores da inflamação, pela habilidade de recrutar e ativar subpopulações específicas de leucócitos. As quimiocinas são uma grande família de citocinas estruturalmente homólogas que estimulam o movimento dos leucócitos e regulam a migração destes do sangue para os tecidos, são citocinas quimiotáticas, além de estimular a produção de novas citocinas e auxiliar em diferenciações celulares. As quimiocinas envolvidas em reações

inflamatórias são produzidas por leucócitos ou células residentes do local da inflamação, em resposta a estímulos externos, e as quimiocinas que regulam o tráfego celular através dos tecidos são produzidas constitutivamente por várias células nesses tecidos.

ORGANÓIDES

Um organóide é um órgão-seminal tridimensional cultivado em laboratórios especializados de medicina regenerativa. São derivados de células troncos ou progenitores. Durante a formação de um organoide, as células se auto-organizam assumindo uma citoarquitetura muito semelhante à encontrada no tecido original.

QUIMIORESISTÊNCIA

É a resistência celular ou do organismo à ação de substâncias químicas.

RESSECÇÃO

Ressecção cirúrgica é o termo médico para remover cirurgicamente parte de um tecido, estrutura ou órgão.

RFID

Identificação por radiofrequência ou RFID (do inglês "Radio-Frequency IDentification") é um método de identificação automática através de sinais de rádio, recuperando e armazenando dados remotamente através de dispositivos denominados etiquetas RFID.

SISTEMAS CYBER-FÍSICOS

Um sistema cyber-físico consiste na combinação de um componente de *software* com partes mecânicas ou eletrônicas. O controle, o monitoramento, a transferência de dados e o intercâmbio de dados são geralmente executados via internet em tempo real. Robôs, a Internet das Coisas e máquinas conectadas em rede são exemplos de sistemas ciber-físicos.

SCAFFOLDS

De natureza eminentemente interdisciplinar, a área de engenharia de tecidos inclui conceitos e tecnologias que vão da biologia celular à engenharia e ciências dos materiais. Essa área envolve o uso de materiais biocompatíveis e biodegradáveis que atuam como matrizes para o crescimento celular, chamados de *scaffolds*. Os *scaffolds* são suportes nos quais células, como por exemplo, as

células-tronco, podem ser cultivadas com o propósito de construir um tecido *in vitro*. A estrutura do *scaffold* fornece sustentação mecânica ao desenvolvimento celular bem como permite o transporte de nutrientes, metabólitos, fatores de crescimento e outras moléculas regulatórias, tanto no sentido do meio extracelular para as células como o contrário.

SINTERIZAÇÃO

É um processo no qual os pós de metal ou polímeros com preparação cristalina ou não, uma vez compactados, são submetidos a temperaturas elevadas, ligeiramente menores que a sua temperatura de fusão. Este processo cria uma alteração na estrutura microscópica do elemento base.

SINTERIZAÇÃO SELETIVA A LASER (SLS)

A sinterização seletiva a laser é uma técnica de fabricação aditiva que utiliza um laser como fonte de energia para sinterizar material em pó, direcionando o laser automaticamente para pontos no espaço definido por um modelo 3D, unindo o material para criar uma estrutura sólida.

TAYLORISMO

Taylorismo é o modelo desenvolvido pelo engenheiro norte-americano Frederick Taylor (1856-1915), considerado o pai da administração científica e um dos primeiros sistematizadores da disciplina científica da administração de empresas. É um sistema de organização do trabalho, com o qual se pretende alcançar o máximo de produção e rendimento com o mínimo de tempo e de esforço.

TECIDOS

Os tecidos biológicos consistem em tecidos duros compostos por matrizes extracelulares orgânicas e inorgânicas e tecidos moles formados por células. A matriz óssea é composta por uma parte orgânica (35%, que representam a flexibilidade do osso), e uma parte inorgânica (65%, que representam a rigidez e resistência do osso), cuja composição é dada basicamente por íons de fosfato e cálcio, formando cristais de hidroxiapatita. A porção é a porção em que há colágeno, principalmente, o chamado colágeno tipo I, e outras proteínas, como proteoglicanas. A parte inorgânica é formada, principalmente, por fosfato e cálcio.

TORNEAMENTO

O torneamento é um processo de usinagem realizado por um dispositivo chamado torno. O torno gira o produto enquanto as lâminas cortam e raspam as áreas desejadas. As ferramentas de torno trabalham em dois eixos de movimento para criar cortes com profundidade e diâmetro precisos. Os tornos estão disponíveis em dois tipos diferentes, o manual e o automatizado, controlado por um computador numérico (CNC).

USINAGEM

É um processo de fabricação em que se parte de uma peça bruta maior do que aquilo que se deseja produzir, da qual é removido material com auxílio de uma ferramenta de corte, produzindo-se cavaco e obtendo-se uma nova peça com as formas e dimensões desejadas. A usinagem atende aos seguintes objetivos: acabamento de superfícies de peças fundidas ou conformadas mecanicamente; obtenção de peculiaridades (saliências, reentrâncias, furos passantes, furos rosqueados); fabricação seriada de peças a um custo mais baixo; fabricação de peças, de qualquer forma, a partir de um bloco de material metálico. As operações de usinagem podem ser classificadas em: torneamento, fresamento, aplainamento, furação, mandrilamento, serramento, brochamento e roscamento, entre outros.

VASOS LINFÁTICOS

Rede de vasos linfáticos que fazem parte do sistema imunológico do corpo humano. Transportam células que lutam contra infecções, os linfócitos, e também retiram as células mortas dos tecidos.

CORTADORA DE VINIL

O adesivo de vinil possui um tipo de plástico que garante maior resistência. Esse tipo de adesivo é impermeável e pode ser encontrado em lojas especializadas. Os adesivos vinílicos são impressos por *plotters*, utilizando tinta solvente, específica para esse tipo de impressora.

VOXEL

VOXEL é resumidamente um elemento de volume com representação tridimensional, partindo de um conjunto de dados (matriz), no qual cada elemento é chamado de um voxel.

Na impressão 3D este tipo de abordagem conhecida com voxel dispensa acabamento pré ou pós impressão. Tal técnica reduz a necessidade de distorcer a imagem original ou de lixar a obra pronta.

WEB

O primeiro website foi criado em 6 de agosto de 1991, no escritório do engenheiro inglês Tim Berners-Lee, na época funcionário do CERN, o laboratório de pesquisas atômicas da Europa. A *world wide web* (*www*, em Inglês, ou simplesmente a *web*) designa um sistema de documentos em hipermídia (ou hipermédia) que são interligados e executados na Internet. Os documentos podem estar na forma de vídeos, sons, hipertextos e imagens. Para consultar a informação, pode-se usar um programa de computador chamado navegador (como Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla, Firefox, Microsoft Edge entre outros), para descarregar informações (chamadas "documentos" ou "páginas") de servidores web (ou "sítios") e mostrá-los na tela do usuário (ecrã do utilizador).