



Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
CECAU - Colegiado do Curso de  
Engenharia de Controle e Automação



Pâmela Murta Castro Lima

## **As Tecnologias Disruptivas Aplicadas em Impressoras 3D: Sua Versatilidade de Produção no Combate a COVID-19**

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2022

Pâmela Murta Castro Lima

# **As Tecnologias Disruptivas Aplicadas em Impressoras 3D: Sua Versatilidade de Produção no Combate a COVID-19**

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheira(o) de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Profa. D.Sc. Karla Boaventura Pimenta Palmieri.

Ouro Preto

2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L732t Lima, Pamela Murta Castro.  
As tecnologias disruptivas aplicadas em impressoras 3D [manuscrito]:  
sua versatilidade de produção no combate a COVID-19. / Pamela Murta  
Castro Lima. - 2022.  
54 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
de Minas. Graduação em Engenharia de Controle e Automação .

1. Endemias - COVID-19. 2. Impressora - Impressora 3D. 3. Tecnologia  
de ponta - Tecnologias Disruptivas. 4. Revolução industrial- Revolução  
4.0. I. Palmieri, Karla Boaventura Pimenta. II. Universidade Federal de  
Ouro Preto. III. Título.

CDU 681.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E  
AUTOMACAO



## FOLHA DE APROVAÇÃO

PÂMELA MURTA CASTRO LIMA

### As Tecnologias Disruptivas Aplicadas em Impressoras 3D: Sua Versatilidade de Produção no Combate à COVID-19

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação

Aprovada em 20 de outubro de 2022

#### Membros da banca

D.Sc. - Karla Boaventura Pimenta Palmieri - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto

D.Sc. - Adrielle de Carvalho Santana - Universidade Federal de Ouro Preto

M. Sc. - Fernando dos Santos Alves Fernandes - Universidade Federal de Ouro Preto

Karla Boaventura Pimenta Palmieri, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 20/10/2022



Documento assinado eletronicamente por **Karla Boaventura Pimenta Palmieri, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/10/2022, às 16:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0414962** e o código CRC **BFC614BB**.

# Agradecimentos

Agradeço a Deus, por me proporcionar a vida e me conceder a dádiva de poder apresentar esse trabalho.

À minha querida Mãe, Maria Sílvia Murta Castro Lima, que mesmo não estando fisicamente entre nós, me serviu de inspiração com seus ensinamentos e suas lembranças, se transformando no combustível para me tornar, a cada dia, uma pessoa melhor, aprendendo com cada oportunidade. Ao meu pai, Geraldo, à minha irmã Ludmila, meu sobrinho Filipe, minha avó Zizinha e todos os meus tios e primos, por serem meus amores, especialmente a minha irmã, Cíntia, que apesar das diferenças de irmãs, é a pessoa que sempre está comigo.

A todos meus amigos e pessoas que de alguma forma me auxiliaram a alcançar esse dia.

A minha orientadora, Profa. D.Sc. Karla Boaventura Pimenta Palmieri, pelos ensinamento e paciência.

Não posso esquecer dos meus meninos, Cookie e Mel, a alegria dos meus dias

*“Quanto mais avança a tecnologia, mais respeitado será o Ser que se mantiver Humano.”(Marco Aurélio Ferreira)*

# Resumo

A pandemia de COVID-19 assolou o mundo em 2020 e, além de causar números crescentes de mortes, também afetou, de modo vertiginoso, a economia mundial. Nesse cenário, as chamadas tecnologias disruptivas colaboraram para o enfretamento da doença. Dentre essas tecnologias, a impressora 3D é uma das que mais se destacaram, mostrando seu potencial revolucionário e sua mutabilidade. A manufatura aditiva, sendo um dos pilares da Revolução 4.0, teve assim como a Nova Revolução Industrial, uma impulsão na sua consolidação. Esse trabalho, por meio do estudo bibliográfico, destaca as características disruptivas da impressora e a sua importância no combate da pandemia de COVID 19.

**Palavras-chaves:** COVID-19, mundo, impressora 3D, tecnologias disruptivas, revolucionário, mutabilidade, revolução 4.0.

# Abstract

The COVID-19 pandemic devastated the world in 2020. Besides causing increasing numbers of deaths, it has also severely affected the world economy. In this scenario, disruptive technologies have collaborated to face the disease. Among these technologies, the 3D printer is one of the most outstanding, showing its revolutionary potential and its mutability. Additive manufacturing, being one of the pillars of Revolution 4.0, had, like the New Industrial Revolution, an impetus in its consolidation. This work, through the bibliographic study, highlights the disruptive characteristics of the printer and its importance in the fight against the COVID 19 pandemic.

**Key-words:** COVID-19, world, 3D printer, disruptive technologies, revolutionary, mutability, revolution 4.0.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Histórico das revoluções industriais. . . . .	20
Figura 2 – Legenda reduzida - aparece no sumario . . . . .	22
Figura 3 – Variação da nomenclatura da manufatura aditiva. . . . .	24
Figura 4 – Técnica de fotoescultura de François Willème. . . . .	25
Figura 5 – Cúpula de vidro de François Willème . . . . .	25
Figura 6 – Técnica desenvolvida por Blather. . . . .	26
Figura 7 – Técnica desenvolvida por Montearth. . . . .	27
Figura 8 – Técnica desenvolvida por Morioka . . . . .	28
Figura 9 – Técnica desenvolvida por Munz. . . . .	29
Figura 10 – Evolução da técnica de impressão 3D . . . . .	30
Figura 11 – Classificação das tecnologias de MA . . . . .	33
Figura 12 – Etapas envolvidas na impressão 3D. . . . .	33
Figura 13 – Evolução do Conceito de Inovação Disruptiva. . . . .	38
Figura 14 – Impacto do 3DP no fornecimento total de energia primária e CO2 . . . . .	43
Figura 15 – Impressão 3D e sua versatilidade na luta contra a COVID-19. . . . .	45
Figura 16 – Efeito da pandemia COVID-19 nos preços das ações da empresa Tinkerine Studios Ltda. . . . .	46
Figura 17 – Cronologia da MA. . . . .	47

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Utilização das tecnologias digitais na Indústria. . . . .	23
Tabela 2 – Tecnologias de MA de acordo com o processamento. . . . .	34
Tabela 3 – Tipos de Tecnologia. . . . .	35
Tabela 4 – Características das Inovações Disruptivas e Inovações Sustentadoras. . . . .	36
Tabela 5 – Inovações Disruptivas . . . . .	39
Tabela 6 – Principais Métodos de impressão 3D. . . . .	41
Tabela 7 – Aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais da impressão 3D. . . . .	44

# Lista de abreviaturas e siglas

3D	3 Dimensões
3DP	<i>Three Dimensional Printing</i>
AMP	<i>Advanced Manufacturing Partnership</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	<i>Computer-aided design</i>
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i>
CPS	Ciberfísicos
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
GFRP	<i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i>
MA	Manufatura Aditiva
MERS-CoV	<i>Middle East Respiratory Syndrome coronavirus</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PBS	Powder bed fusion
SARS	<i>Severe Acute Respiratory Syndrome</i>
SLM	<i>Selective Laser Melting</i>
SLS	<i>Elective Laser Sintering</i>
SRAG	Síndrome Respiratória Aguda grave
STL	<i>Standard Triangle Language</i>
TCE	Tribunal de Contas Europeu
TPES	Fornecimento Total de Energia Primária

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Considerações Iniciais</b>	<b>12</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativas e Relevância</b>	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>13</b>
1.3.1	Objetivo Geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos	13
<b>1.4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>14</b>
<b>1.5</b>	<b>Organização e estrutura</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>UMA BREVE HISTÓRIA DA TEORIA</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>COVID-19</b>	<b>17</b>
2.1.1	Origem	17
2.1.2	Impactos sociais e econômicos da COVID-19	18
<b>2.2</b>	<b>Revolução 4.0</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Impressora 3D</b>	<b>23</b>
2.3.1	Nomenclatura	23
2.3.2	Histórico	25
2.3.3	Percepção da Tecnologia do Processo de Fabricação por Meio da Impressora 3D	30
2.3.4	Principais Vantagens e desvantagens da Impressora 3D	31
2.3.5	Classificação das Tecnologias empregadas na impressora 3D	32
<b>2.4</b>	<b>Tecnologias Disruptivas</b>	<b>35</b>
2.4.1	Tecnologia	35
2.4.2	Inovação	36
2.4.3	Inovação e Tecnologias Disruptivas	37
<b>3</b>	<b>DISCUSSÕES</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>As Tecnologias Disruptivas Aplicadas nas Impressoras 3D</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Versatilidade da Matriz de Produção da impressora 3D no Combate a COVID-19</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>48</b>
	<b>Conclusão</b>	<b>48</b>
	<b>Referências</b>	<b>50</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Considerações Iniciais

No final do ano de 2019, teve início a pandemia de COVID-19. O primeiro caso foi identificado na China, na cidade de Wuhan. Trata-se da pandemia de uma síndrome respiratória que, em casos mais graves, pode levar ao óbito. Devido a sua expansão, no dia 30 de janeiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) a declarou como Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII). Ainda não existiam estudos que apontassem para medicamentos e vacinas com eficácia contra a doença ([BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020](#)).

O mundo não estava preparado para o surto de coronavírus (SARS-CoV-2), vírus causador da COVID-19, e muito menos para seus impactos socioeconômicos. Como medida de urgência, conforme a doença se alastrava, a maioria dos governantes mundiais passaram a impor o distanciamento social, o *lockdown* ou confinamento como medidas para tentarem controlar a curva de contaminação. Buscaram, com o mesmo propósito, orientar a população quanto ao uso de proteção contra a doença ([CASAS et al., 2020](#)).

A pandemia mundial não causou somente uma crise sanitária. Constata-se também uma profunda crise econômica, posto que os esforços para conter os avanços da COVID-19 se confundiram com as incertezas dos investidores quanto à imprecisão da duração da crise sanitária. O cenário fez com que os campos da ciência, da inovação e da tecnologia se adaptassem e se reorganizassem para apoiar e atender as demandas daquele mundo pandêmico.

A população se viu obrigada a mudar sua rotina, e o contato humano passou a ser restrito. Novas adaptações foram necessárias, como aulas remotas, trabalho em regime de *home office* e reuniões *on-line*. Nesse cenário apocalíptico e cheio de desafios, a ciência buscou, de maneira frenética, medicamentos eficazes e vacinas. Desde o início do surto — e provavelmente até encontrar uma solução definitiva —, a necessidade de prevenções sanitárias para a contenção da curva de contaminação é considerada extremamente necessária ([NATURE BIOTECHNOLOGY, 2020](#) *apud* [OLIVEIRA \(2020\)](#)).

Na corrida para retornar à normalidade, tornou-se patente, novamente, a importância da ciência, da tecnologia e da inovação para a sociedade ([DINIZ, 2020](#)). Nesse sentido, a aplicação de tecnologias disruptivas na forma de impressora 3D mostraram-se como uma importante ferramenta nesse enfrentamento, uma vez que o contágio crescia de uma forma expressiva e os hospitais e a sociedade não conseguiam uma resposta com as tecnologias usuais com a mesma velocidade.

## 1.2 Justificativas e Relevância

A pandemia da COVID-19 assolou o mundo inteiro. De maneira inesperada a doença se espalhou pelo mundo, assustando e demonstrando a fragilidade da humanidade. Nesse contexto, a busca pela vacina e equipamentos que poderiam evitar a doença ou diminuir o risco de contágio se tornou o principal objetivo da humanidade.

No mundo pandêmico, apesar da Revolução 4.0 já ser um conceito utilizado, a necessidade do mercado para uma resposta as demandas pandêmicas, fez com que ocorresse uma propulsão para a sua implementação, pois a medida que as taxas de contaminação pela COVID-19 aumentaram, levou-se a uma crise no abastecimentos de EPI's e materiais necessário para o seu combate, colocando em risco a eficácia de todos os sistemas de saúde.

A impressora 3D se mostrou uma tecnologia com características que poderiam ser utilizadas para o combate ao SARS-CoV-2, no entanto, é importante a análise da sua capacidade de resposta em situações adversas. e como foi a sua empregabilidade nesse cenário.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Demonstrar como a impressora 3D pode mudar sua matriz de produção, a depender da demanda de mercado e sua capacidade de resposta em um cenário pandêmico.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento bibliográfico acerca dos assuntos: COVID 19, Revolução 4.0, Impressora 3D, e tecnologias disruptivas;
- Analisar o papel da impressora 3D no cenário mundial;
- Realizar a análise do conceito de Revolução 4.0;
- Analisar a profundidade das tecnologias disruptivas e de sua capacidade de transformação;
- Analisar a versatilidade da matriz de produção da impressora 3D no combate a COVID-19.

## 1.4 Metodologia

A metodologia utilizada é a qualitativa. De acordo com [GOLDENBERG \(2004\)](#), “os dados qualitativos consistem em descrições detalhadas de situações com o objetivo de compreender os indivíduos em seus próprios termos” (p.53).

Tendo em vista as características desse método, neste trabalho, foi descrito e desmiuçado todo o contexto que envolve a empregabilidade e a utilização da impressora 3D para subsidiar o enfrentamento da COVID-19. Para alcançar esse objetivo, o projeto se desenvolverá em blocos sendo eles: COVID 19, Revolução 4.0, Impressora 3D, e tecnologias disruptivas.

Para demonstrar a plasticidade da impressora 3D e sua capacidade de responder de maneira rápida às mudanças de demandas do mercado, este trabalho propõe uma análise do cenário mundial, desde o início da infecção por corona vírus na China, considerando que a pandemia foi declarada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional em janeiro de 2020.

Devido à importância das mudanças que estão ocorrendo no mundo e às transformações impulsionadas pelo que é chamado de Revolução 4.0, foi analisado este conceito, bem como a mudança que ele implica, com o objetivo de demonstrar a relevância da impressora 3D e o modo como ela se insere nessa nova revolução industrial.

Em um mundo em constante transformação, as evoluções tecnológicas têm trazido cada vez mais mudanças para a sociedade. No caso da pandemia de COVID-19, insiste a necessidade de adequação veloz das tecnologias existentes. Nesse contexto, foi importante a análise em profundidade das tecnologias disruptivas e de sua capacidade de transformação.

As impressoras 3D são máquinas de fabricação simples, em que as peças produzidas são feitas sucessivamente. Como objeto deste trabalho, as características e a funcionalidade da impressora 3D foram analisadas. Foi examinada também sua capacidade de transformação diante das necessidades de mercado e de suas nuances.

De acordo com [DESDELANDES e GOMES \(2009\)](#), “as técnicas e instrumentos também devem ser descritos em tópico separado, sendo defendida sua adequação reconhecido seus limites de produção dos dados” (p.49). Assim, os meios metodológicos utilizados foram a pesquisa bibliográfica e documental e as experiências diversas vividas pelo pesquisador.

Os métodos escolhidos para a pesquisa devem ser condizentes com a novidade e a velocidade em que as informações acerca do assunto são transmitidas e multiplicadas. Devido a esse motivo, foi necessário a escolha minuciosa das fontes de informação.

Para a fundamentação teórico-metodológica do projeto, a pesquisa bibliográfica

foi realizada por meio da investigação de artigos, teses e trabalhos, que foram consultados por meio de bases de dados acadêmicos como SciELO, Google Acadêmico e as Bibliotecas Virtuais. A pesquisa documental foi por meio da análise dos bancos de dados da OMS, do Ministério da Saúde e de outros órgãos oficiais. Uma vez que a pandemia envolve a população mundial, o pesquisador também se encontra inserido nesse contexto, colaborando com as experiências que vivencia.

De acordo com MINAYO (1992), citada por [DESDELANDES e GOMES \(2009\)](#), para ser representativa, “a amostragem boa é aquela que possibilita abranger a totalidade do problema investigado em suas múltiplas dimensões” (p.43), [VERGARA \(1998\)](#) complementa:

”Trata-se de definir toda a população e a população amostral. Entenda-se aqui por população não o número de habitantes de um local, como é largamente conhecido o termo, mas um conjunto de elementos (empresas, produtos, pessoas, por exemplo), que possuem as características que serão objeto de estudo. População amostral ou amostra é uma parte do universo (população), escolhida segundo algum critério de representatividade”(p. 48).

Portanto, para que se consiga atender ao objetivo do projeto, foi considerado que o universo de amostragem é amplo, sendo que se tratou de uma pandemia cujos efeitos foram globais e todas as ações das lideranças mundiais estavam voltadas para a mitigação da doença.

Para a pesquisa bibliográfica, foi feito o levantamento de estudos já publicados acerca da COVID-19, da Revolução 4.0, das tecnologias disruptivas e da impressora 3D, com o intuito de investigar e analisar suas características, assim como evidenciar suas relações. Essas informações foram coletadas por meio de livros, periódicos, dissertações, revistas eletrônicas e teses. A análise documental foi feita mediante a investigação das informações coletadas em sites oficiais, pelos quais foi possível verificar a evolução da pandemia no mundo, assim como das novas tecnologias. Para a compreensão e enriquecimento do trabalho, foi de grande importância as vivências do pesquisador no cenário da doença.

Segundo SILVERMAN (1995), citado por [TEIXEIRA JÚNIOR \(2002\)](#) , “a análise de dados em pesquisas qualitativas normalmente compreende três etapas: a codificação dos dados, sua apresentação de forma mais estruturada e a análise propriamente dita” (p.6).

Para facilitar a análise bibliográfica e documental, foi feito o mapeamento de todo o material coletado pertinente ao projeto. Para cada bloco, foi aberto uma pasta na planilha, e os dados referentes a título, mês, ano, objetivo e resumo foram incluídos. O item mês se faz importante porque o tema do projeto está em constante mudança, e as informações devem ser as mais atuais. O material coletado foi analisado de acordo com os objetivos

do projeto, sendo, depois, filtrado. O fichamento também se faz necessário como método facilitador.

Para alcançar o objetivo de demonstrar como a impressora 3D pode transformar sua matriz de produção, a depender da demanda do mercado de trabalho, foi feita a correlação dos dados analisados e, em seguida, a elaboração do relatório e das considerações finais acerca do assunto.

## 1.5 Organização e estrutura

A pesquisa está estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 1 - Consiste na apresentação introdutória, onde são apresentados as considerações iniciais acerca do tema, assim como a justificativa e relevância, metodologia utilizada, os objetivos específicos e objetivo geral para a elaboração do trabalho.
- Capítulo 2 - Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura, dividida em blocos, sendo eles: : COVID 19, Revolução 4.0, Impressora 3D e tecnologias disruptivas. Nesse momento, é feito um breve histórico da pandemia, da evolução da impressora 3D, tecnologias disruptivas e também do conceito da Revolução 4.0.
- Capítulo 3 - Esse capítulo apresenta as análises realizadas por meio dos conteúdos anteriores.
- Capítulo 4 - Compreende a apresentação das considerações finais e propostas para futuros trabalhos.

## 2 Uma breve história da teoria

### 2.1 COVID-19

#### 2.1.1 Origem

Desde a gripe espanhola de 1918 - 1920, a comunidade científica se preocupa com possíveis pandemias causada por viroses respiratórias. Uma revisão de 2007, apresenta dados acerca de uma epidemia que ocorreu em 2003, que teve como causa o vírus SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*), nomeado de SARS-COV. Nesse estudo, os pesquisadores apontaram os potenciais avassaladores dessa família de vírus. Essa epidemia foi iniciada na província chinesa de Guangdong e se estendeu pelos 5 continentes, atingindo 30 países, causando 8.096 casos e 774 mortes (LEMOS et al., 2020, p. 1).

De acordo LEMOS et al. (2020), no ano de 2012 foi identificado um surto de doença respiratória na Arabia Saudita, onde o responsável era o o MERS-COV (coronavírus da síndrome respiratória do Oriente Médio). No início, os infectados apresentam sintomas leves, evoluindo para pneumonia, síndrome respiratória aguda grave (SRAG) e insuficiência renal. Esse coronavírus ainda está em circulação, sendo que até em Janeiro de 2020 a OMS contabilizava: 2.519 casos confirmados da doença, com 866 mortes. A maioria dos casos referentes a MERS-COV, ocorreram em países do Oriente Médio (LEMOS et al., 2020, p. 1).

No dia 31 de dezembro de 2019, na província de Hubei, cidade de Wuhan, localizada na china, foram identificados 27 casos de pneumonia com origem desconhecida. Aparentemente, todos os casos estavam ligados ao mercado de frutos do mar e vida selvagem de Huanan, que no dia posterior, foi interditado. (LEMOS et al., 2020, p. 1). No princípio, a cidade da China foi considerada o epicentro da doença, mas logo depois o número de casos foi superado pela Itália (SOUZA et al., 2021, p. 548).

Em pouco tempo, a doença tomou proporções globais e no 21 de janeiro de 2020, foi registrado o primeiro caso da patologia nos EUA. Na Europa o primeiro registro aconteceu no dia 24 de janeiro e no dia posterior foi confirmada a patologia na Austrália. A doença se espalhou por todos os continentes e foi confirmado o primeiro caso no Brasil, no dia 25 de fevereiro do mesmo ano.

O vírus SARS-CoV-2 é transmitido, principalmente, por meio do contato entre as pessoas infectadas, através de gotículas que são criadas quando o indivíduo tosse, espirra, fala, canta ou respira. O sistema respiratório é acometido pelo coronavírus. Em geral, as pessoas infectadas, sofrem de sintomas leves e moderado, no entanto, em casos mais

graves, pode levar a morte ([ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAUDE, 2022](#)).

A situação se agravou ainda mais, e a OMS, no dia 30 de Janeiro de 2020, declarou estado de emergência de saúde pública internacional e em 11 de março decretou estado pandêmico, onde todos os países do mundo deveriam fazer planos de prevenção contra o vírus SARS-CoV-2. O vírus disseminou-se tão rápido que de acordo com [SOUZA et al. \(2021\)](#) "em 31 de março de 2020 existiam 760.040 casos e 40.842 mortes, havendo um aumento, após seis meses, em 27 de setembro de 2020, para 32.925.668 de casos confirmados e 995.352 mortes"(p. 548).

### 2.1.2 Impactos sociais e econômicos da COVID-19

O mundo não sabia como agir em relação a pandemia. A medicina, os governantes, assim como organizações de saúde, não tinham respostas de como lidar com a disseminação da doença e suas graves implicações, tanto na parte humanística como na econômica. O sentimento do mundo era de total desespero, onde não se via uma solução definitiva para o fim da pandemia.

A emergência de saúde teve consequências diretas na rotina de toda a população. Além de mudanças nos hábitos sociais, as transformações precisaram ocorrer dentro dos lares. Com a decretação do estado pandêmico, os protocolos pandêmicos de segurança estabeleceram um nova maneira de agir dentro das empresas, comércios, repartições públicas e dentro das casas das pessoas([ARRAIS; MARQUEZ, 2021](#), p. 126). Segundo [WANG et al. \(2021\)](#), a pandemia foi responsável pelo terceiro e mais substancial choque social, financeiro e econômico do século 21 (p. 716).

As restrições impostas pelos protocolos de segurança, determinaram o distanciamento social e bloqueio de fronteiras com a intenção de evitar a propagação da doença. De acordo com, [CARVALHO e CASTRO \(2022\)](#), como medida para a contenção da doença, os governos agiram de forma a levantar e direcionar recursos para os serviços de saúde, prevenção, realocação das famílias e das empresas, o que favoreceu a desordem das economias públicas, especialmente em países em desenvolvimento (p. 34).

Com as contingências impostas pela pandemia, ocorreu uma queda drástica no número de viagens e turismo, contribuindo para que países que dependiam dessa receita, reduzissem o seu saldo. O petróleo, por sua vez, sofreu um colapso em relação a sua demanda e o seu preço, tendo uma recuperação na segunda metade do ano de 2020. No entanto, países exportadores de petróleo, tiveram um grande deficit em sua receita CANUTO 2020 ([CARVALHO; CASTRO, 2022](#))

O setor de saúde foi o mais afetado com a pandemia, o qual sofreu um incremento na demanda de cerca de 30% em recursos essenciais para a contenção da doença, sendo em EPI's, insumos e matérias primas para sua produção. Esse aumento fez com que ocor-

ressem grandes impactos para os setores que importam e exportam e até mesmo as formas de consumo nas casas, também sofreram mudanças (CARVALHO; CASTRO, 2022) (p. 34). De acordo com CARVALHO e CASTRO (2022) 'Ficar em casa' significava gastar menos em serviços de contato intensivo e comprar bens de consumo mais duráveis, incluindo aparelhos eletrônicos usados em teletrabalho e ensino à distância." (p. 34).

Outro fator que contribuiu para o aumento da crise no sistema de saúde, foi que, segundo BELHOUIDEG (2020), na área da saúde, a maioria dos equipamentos utilizados é do setor privado, patentado por empresas médicas. Essas empresas, com o acréscimo na demanda, não conseguiram abastecer o mercado, demonstrando a necessidade de inovações e mudanças nos processos de fabricação (p. 1015).

O aumento dos casos de COVID-19, aliados às restrições de fabricação devido as patentes e a necessidade de equipamentos para a proteção contra a disseminação da doença, fizeram com que ocorresse uma crise na rede de suprimentos global no que tange especialmente EPI's, matéria-prima e equipamentos médicos (MANERO et al., 2020, p. 2)

## 2.2 Revolução 4.0

Segundo a CNI (2022), Confederação Nacional da Indústria, o termo Indústria 4.0 ou Revolução 4.0 é um conceito bastante abrangente, cuja base é a integração de tecnologias que visam principalmente a conexão de sistemas inteligentes e autônomos, resultando em meios de produção descentralizados, mas com produtos e serviços integrados (p. 8).

De acordo com PORTO NETO (2021), a busca pelo máximo em eficiência com alta produtividade e mínimos custos em um ambiente de interação com diversos dispositivos conectados à rede, é o princípio básico dos sistemas *ciberfísicos* (CPS), um dos pilares da Revolução 4.0. Nele, redes dotadas de inteligência artificial, robótica avançada, conectividade e produção customizada, além de realizarem o controle da produção, tem a capacidade de serem mais ágeis, eficientes e prever falhas (p. 17).

Sendo assim, linhas de produção constituindo um ambiente de integração entre o mundo físico e biológico fazendo uso de tecnologias como realidade aumentada, simulação, *IoT*, impressão 3D, e *Big Data*, são o caminho natural para inserção da indústria no conceito de I4.0.

De acordo com BRANDÃO e NEVES (2021), com as revoluções industriais, foram iniciados os processos de manufatura e modernização da forma como conhecemos hoje. Nesse sentido, o termo "tecnologias disruptivas" fazem menção a um conjunto de transformações que modificaram os processos industriais e suas linhas de produção. Na Figura 1 é apresentado o histórico das revoluções industriais até os dias atuais(p. 7).

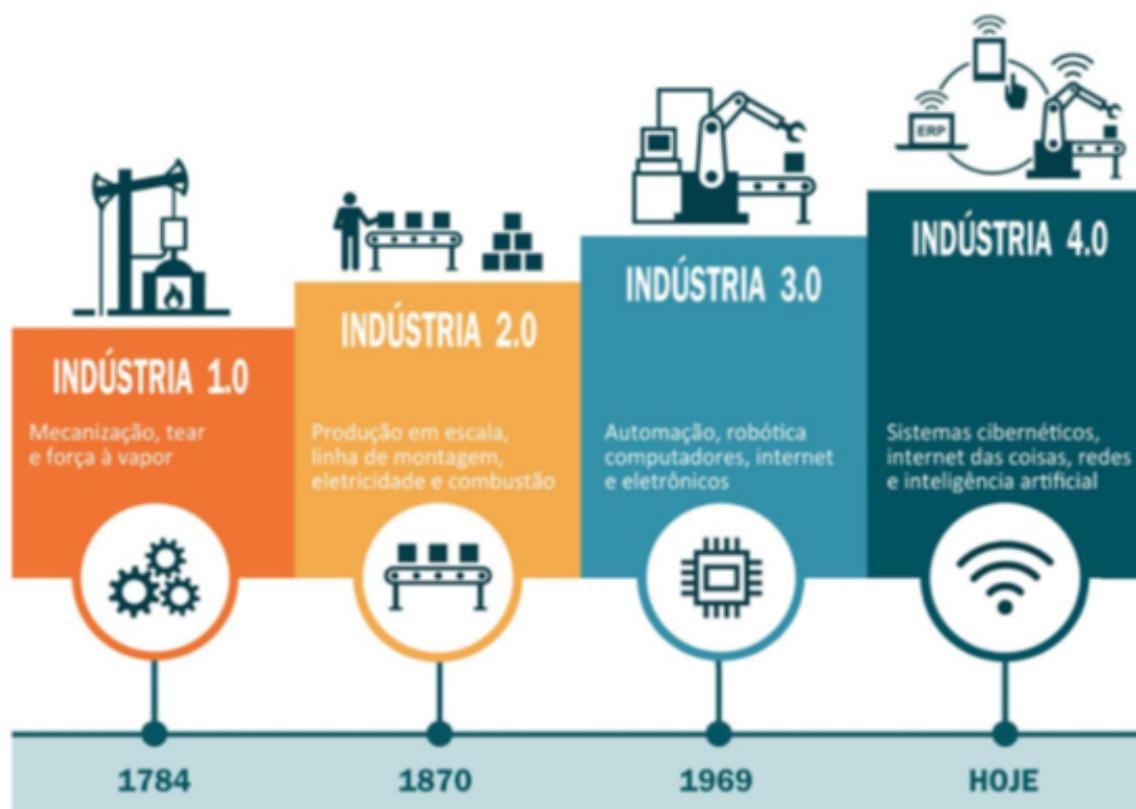


Figura 1 – Histórico das revoluções industriais.

Fonte: BRANDÃO E NEVES, 2021 (p. 6).

Utilizado inicialmente no ano de 2011 em Hanover, Alemanha, o termo Indústria 4.0 nasceu de um projeto industrial alemão, o *Plattform Industrie 4.0*, ou Plataforma da Indústria 4.0 (SACOMANO et al., 2018, p. 28).

De acordo com PORTO NETO (2021) "A Quarta Revolução Industrial ou Revolução 4.0 é o termo utilizado para designar o emprego de tecnologias na automação e comunicação de processos de forma mais rápida e eficiente, alcançando o conceito de fábricas inteligentes, dotadas de estruturas modulares, com a capacidade de atender de forma individualizada as necessidades dos clientes"(p. 16).

SACOMANO et al. (2018), explica que indústria 4.0, quando usado como sinônimo de Revolução 4.0, é um termo extensivo e compreende uma diversidade de setores e tecnologias.(p. 33). De acordo com LU (2017), citado por PORTO NETO (2021), ainda não se tem um consenso quanto ao termo correto a ser aplicado na atual revolução, uma vez que os pesquisadores reproduzem de acordo com o seu entendimento. (p. 17).

O termo foi empregado para definir as transformações do que seria a Quarta Revolução Industrial. No entanto, este termo atualmente já foi extrapolado para outras atividades como: Energia 4.0, Sustentabilidade 4.0; Saúde 4.0; Transporte 4.0; Logística 4.0; Direito 4.0; Recursos humanos 4.0; Educação 4.0 entre outros (BRANDÃO; NEVES,

2021, p. 7).

De acordo com SACOMANO et al. (2018), na Alemanha, a Revolução 4.0 é tratada como tema de extrema importância, sendo vista como a única forma de manter sua competitividade diante do cenário mundial. Outros países cuja industrialização já conta com um desenvolvimento avançado, como Estados Unidos, Japão, China, Coreia do Sul, França e Inglaterra, políticas públicas e privadas tem focado suas estratégias no desenvolvimento da sua indústria 4.0 (p. 23).

Segundo o TCE (2020) - Tribunal de Contas Europeu, é natural, portanto, que países mais desenvolvidos possuam uma capacidade maior de recursos para investir em pesquisa e inovação, uma vez que sua indústria já alcançou um certo grau de competitividade. A incorporação das tecnologias da Revolução 4.0, é um meio de manterem a hegemonia mundial (p. 12).

Nos Estados Unidos, os projetos *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP) e o *Revitalize American Manufacturing Act* são algumas das principais iniciativas do governo para incentivar um ambiente de inovações, que conta também com o apoio de indústrias e universidades (LIU et al., 2011, p. 19).

Para LUCENA e ROSELINO (2019), países como China e Coreia do Sul, buscam na modernização rumo à indústria 4.0, um caminho para a manutenção da sua posição de vanguarda no cenário mundial. Para a Coreia do Sul é importante a manutenção da liderança, dividida com a Alemanha, na produção de produtos de alto valor agregado. No Japão, o foco é o setor de maior intensidade de capital, ou seja, em setores nos quais a indústria japonesa se destaca mundialmente. Para isso incentivos são direcionados para áreas como Robótica, TI e IA (p. 10 e 11).

Um ponto importante sobre a I4.0 é destacado por ALLEN (2019), no qual é observado que o desenvolvimento tecnológico industrial é visto atualmente pelos países como um fator de segurança nacional, uma vez que muitas empresas além de desenvolverem tecnologias para uso civil, as aprimora para uso militar. A Figura 2 mostra os componentes da Revolução 4.0 ( p. 15).

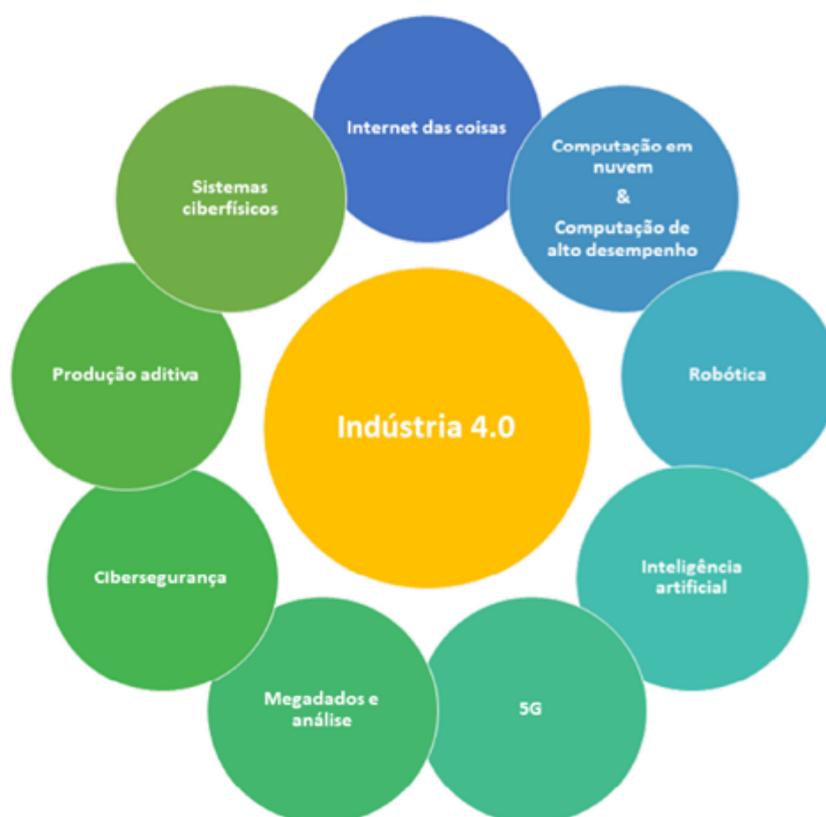


Figura 2 – Componentes da Revolução 4.0.  
Fonte: TCE, 2020 (p. 9).

No Brasil, de acordo com a [CNI \(2022\)](#), as empresas ainda se encontram na fase inicial do processo de digitalização. É verificado que as empresas que mais se digitalizaram são justamente as de maior intensidade tecnológica, sendo que a tecnologia mais utilizada é a relacionada a melhorias no processo produtivo (p. 7).

Na Tabela 1 é apresentado o percentual de utilização de tecnologias digitais na indústria brasileira, em pesquisa realizada pela Sondagem Especial n° 83 apresentada pela CNI Confederação Nacional das Indústrias, em abril de 2022.

Foco	Tecnologia	2016*	2021
Processo de produção/ gestão dos negócios	Automação digital com sensores para controle de processo	27	46
	Automação digital sem sensores, uso de Controlador Lógico Programável (CLP) sem sensores		39
	Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis	8	27
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados ( <i>big data</i> ) do processo produtivo		21
	Inspeção da qualidade automatizada ou avançada		18
	Sistemas integrados de manufatura, como comunicação M2M (máquina-máquina)		17
	Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES** e SCADA	7	17
	Manufatura aditiva, robôs colaborativos (cobots)		12
	Ferramentas digitais que aumentam as capacidades dos trabalhadores ( <i>smart glasses, smart watches, etc.</i> )		11
	Aplicações de Inteligência Artificial para soluções na fábrica		9
Desenvolvimento de produto	Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos	19	33
	Prototipagem rápida, impressão 3D e similares		16
	Simulações/análise de modelos virtuais para projeto e comissionamento (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.)	5	13
	Simulação de processos e gêmeos digitais ( <i>Digital Twins</i> )		3
Produto/novos modelos de negócios	Ferramentas digitais de relacionamento com o cliente (chatbots, atendimento ao cliente interativo, etc.)		25
	Incorporação de serviços digitais nos produtos (Internet das Coisas ou <i>Product Service Systems</i> )	4	14
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados ( <i>big data</i> ) sobre o mercado; monitoramento do uso dos produtos pelos consumidores		13
	Design assistido por inteligência artificial		4

Nota: A soma dos percentuais supera 100% devido a possibilidade de múltiplas escolhas.

\*Os dados de 2016 são de pesquisa de 2016 da CNI (ver Referências). Em 2016, 10 tecnologias foram listadas contra 18 em 2021. A tabela compara apenas as tecnologias que estavam listadas nas duas pesquisas realizadas.

\*\*MES – Manufacturing Execution Systems; SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition.

Tabela 1 – Utilização das tecnologias digitais na Indústria.  
Fonte: CNI, 2022 (p. 10).

De acordo com a CNI (2022), após a utilização das tecnologias digitais, as empresas reconhecem como benefícios o aumento da produtividade, a diminuição dos custos de produção e o aumento da qualidade dos produtos. Entretanto, para a maioria, os maiores entraves para a digitalização, estão nos altos custos para implantação e o desconhecimento sobre quais retornos a digitalização pode trazer (p. 7).

## 2.3 Impressora 3D

### 2.3.1 Nomenclatura

No decorrer da evolução da tecnologia de impressão 3D, várias normas foram surgindo, como pode ser visto na figura 3, apesar disso, os termos mais utilizados são impressora 3D, “Prototipagem Rápida” ou “Manufatura Aditiva” (VOLPATO et al., 2017, p. 18). O termo “prototipagem rápida” tem como origem o fato de todas as impressoras 3D produzirem de

maneira relativamente rápida um objeto. O termo “manufatura aditiva” advém da forma de construção do protótipo, que de maneira geral, é feita camada por camada.

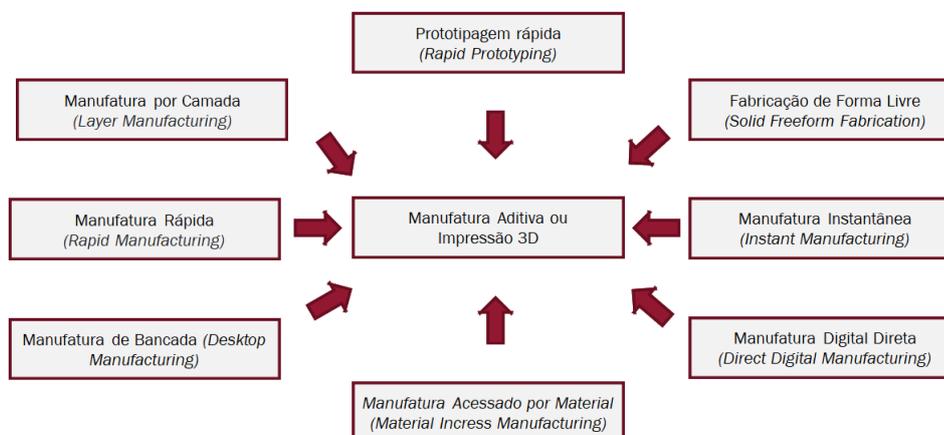


Figura 3 – Variação da nomenclatura da manufatura aditiva.

Fonte: Adaptado de VOLPATO, 2017 (p. 17).

A expressão “impressora 3D” surgiu devido a manufatura aditiva (MA) ser uma versão 3D para as tecnologias presentes na impressora 2D, no entanto, apesar dessa expressão ser popularizada, no meio acadêmico e técnico se utiliza normalmente os termos “Prototipagem Rápida” ou “Manufatura Generativa” ( Bourell 2016, GEBHARDT, 2011 *apud* (BATISTA, 2021, p. 18).

VOLPATO et al. (2017) define impressão 3D ou MA como “...um processo de fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente”. Com a utilização da MA, é possível produzir objetos contando com um tempo menor de fabricação do que no processo tradicional, podendo ter variados modelos e matérias primas (p. 16).

Alguns autores fazem a distinção entre os termos “Manufatura Aditiva” e “impressora 3D”, no entanto, segundo a norma ISO/ASTM 52900:2021 (2021), a MA é definida como “processo de união de materiais para fabricação de objetos a partir de dados de modelos computacionais 3D, geralmente utilizando a sobreposição de camadas, em contrapartida a metodologias de fabricação subtrativas, como a usinagem tradicional” e de acordo com a mesma norma, o termo “impressora 3D” é um sinônimo utilizado para MA e muitas vezes associado as máquinas usadas para fins não industriais e uso pessoal.

Para melhor entendimento, o trabalho se desenvolveu aplicando o termo “Manufatura Aditiva” para se referir ao processo e o termo “Impressora 3D” foi associado as máquinas de impressão 3D.

### 2.3.2 Histórico

Os primeiros registros sobre objetos 3D datam de 1860, foi idealizado por meio da técnica de fotoescultura pelo francês François Willème. O francês utilizou sua habilidade de esculpir e fotografar para a criação de esculturas 3D. Para criar essa técnica, ele disponibilizou 24 câmeras ao redor de uma plataforma de maneira circular, onde cada câmera tinha o objetivo de registrar uma posição e ao associar as imagens captadas, ele conseguia uma visão de 360° do objeto (LIRA, 2021, p. 22). A Figura 4 é a patente da técnica e a Figura 5 a representação da cúpula de François Willème.

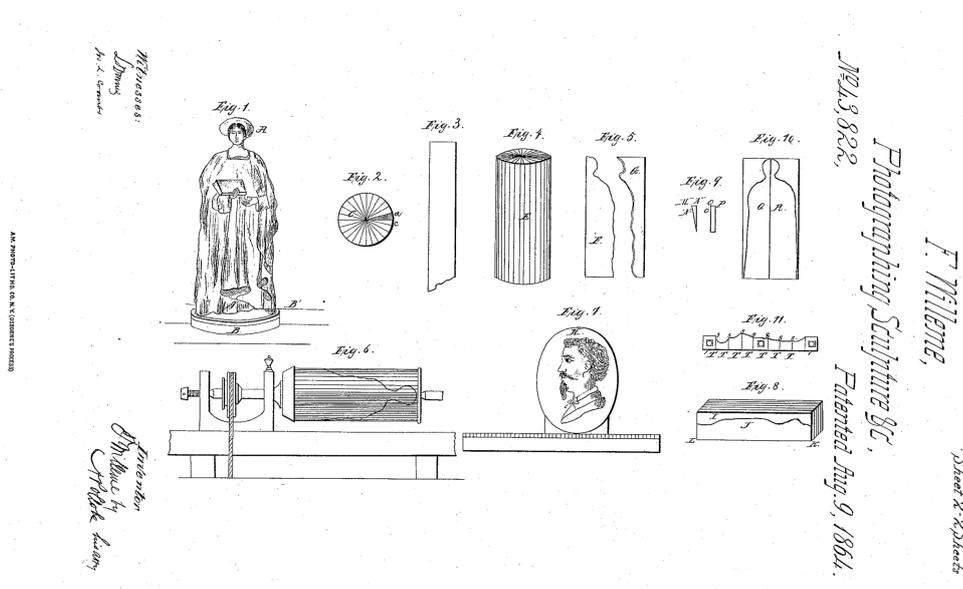


Figura 4 – Técnica de fotoescultura de François Willème.  
Fonte: WILLÈME, 1864.

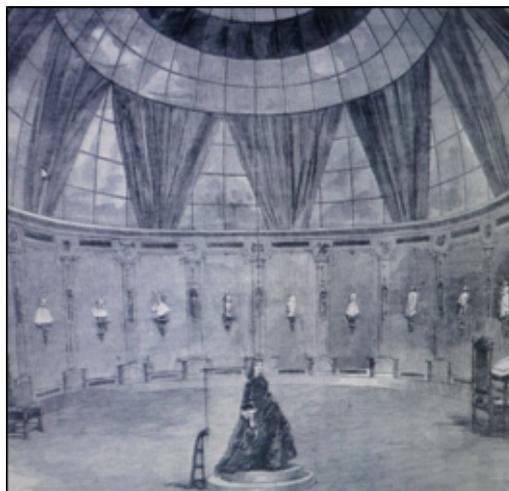


Figura 5 – A cúpula de vidro de François Willème, abrigando um anel de câmeras de perímetro direcionado para um sujeito localizado ao centro.  
Fonte: WILLÈME, 1864.

No ano de 1892, o australiano Joseph E. Blather produziu mapas de relevo topográfico em 3D, para isso, ele utilizou folhas de cera cortadas e empilhadas e depois alisadas. (SOUSA, 2022, p. 20). O australiano conseguiu impressões positivas e negativas ao pressionar um mapa de papel impresso entre os dois. Com esse processo, Blather conseguia mostrar as elevações e depressões que representam os montes e vales (LIRA, 2021, p. 22). A Figura 6 é a representação dessa técnica.

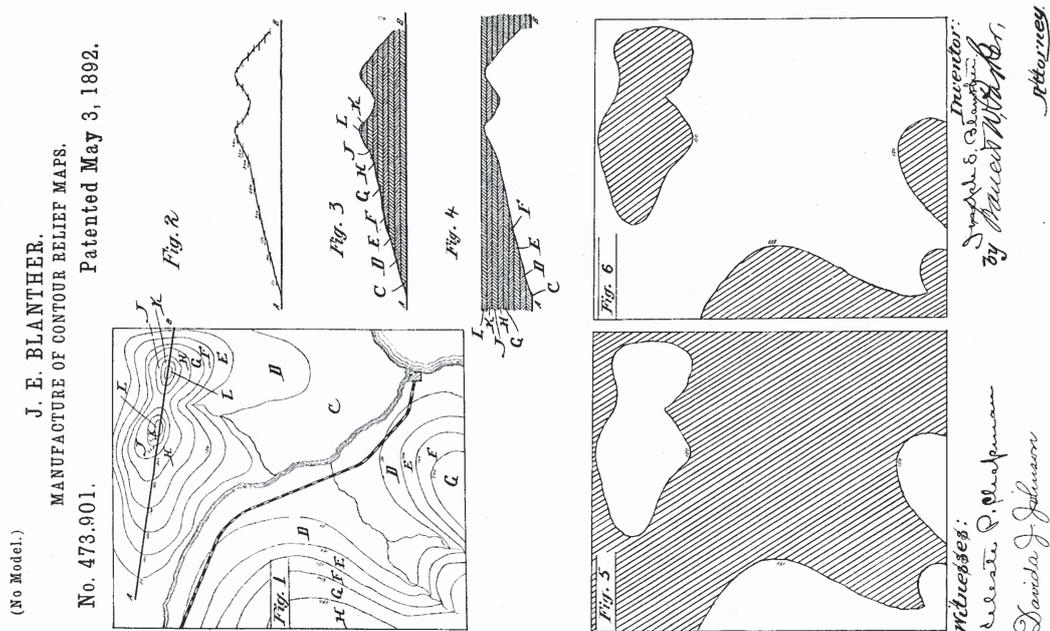


Figura 6 – Técnica desenvolvida por Joseph E. Blather.  
 Fonte: BLANTHER,1892.

Segundo LIRA (2021), em 1922 Frederick Hutchison Monteath, nativo da Austrália, desenvolveu um processo fotomecânico para a produção de baixo-relevos. O processo tinha como princípio, obter uma camada superficial do objeto com a utilização de gesso, cera ou substâncias similares cobertas em bronze (p. 22). A Figura 7 mostra a patente desse processo.

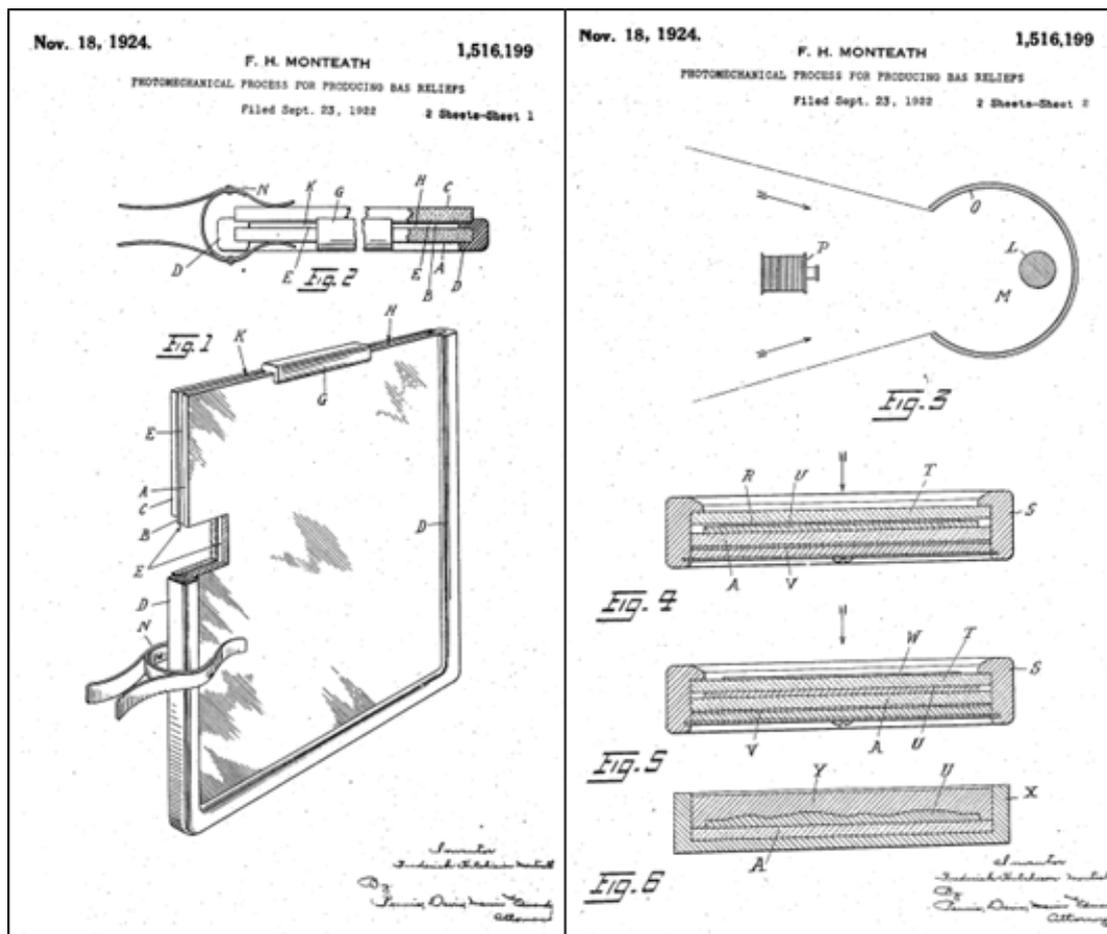


Figura 7 – Técnica desenvolvida por Jrederick H. Monteath.  
 Fonte: MONTEAH, 1924.

Em 1933, o japonês Morioka Isao, patenteou um processo híbrido com as técnicas de foto escultura e topologia. A intenção era reproduzir estátuas análogas aos objetos fotografados (LIRA, 2021, p. 22). FERNANDES (2019), explica que o método se caracterizava pela “... utilização de luz estruturada para criação de linhas de contorno do objeto desejado, sendo estas transferidas para folhas que posteriormente cortava-se e empilhava-se sobre o material a ser esculpido” (p. 30). A Figura 8 demonstra esse processo.

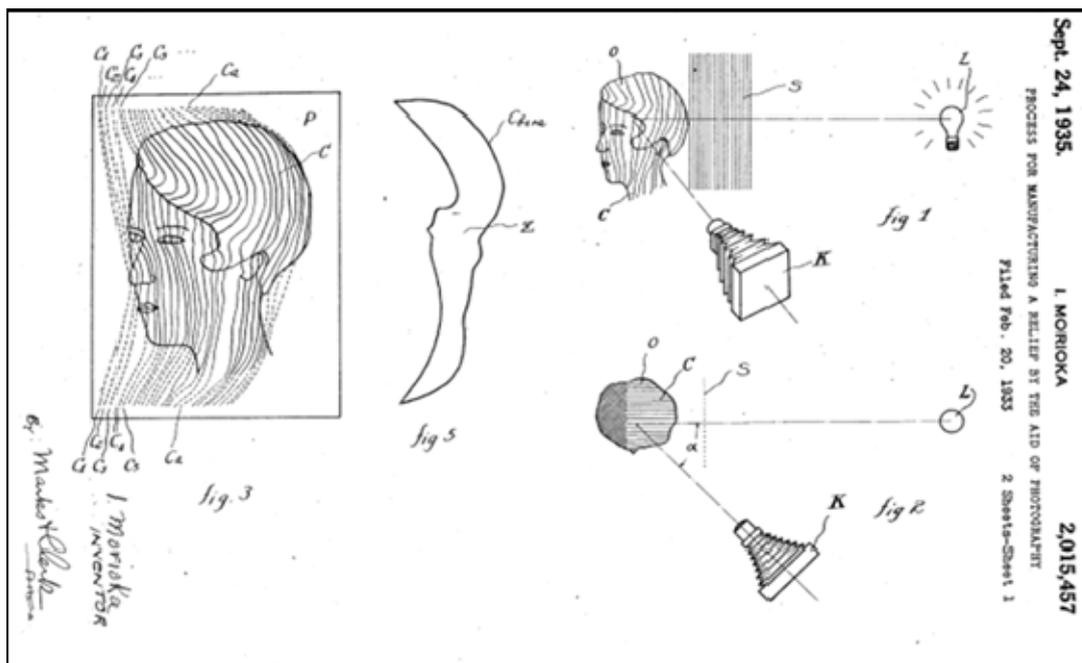


Figura 8 – Técnica desenvolvida por Morioka Isao.  
 Fonte: MORIOKA, 1935.

Segundo LIRA (2021), Morioka em 1940 realizou outras atividades sobre fotoescultura e em 1951, Otto John Munz, patenteou um dispositivo que era ligado por um pistão e movia uma plataforma como mostra a Figura 9 (p. 23). De acordo com FERNANDES (2019), nessa plataforma “...um objeto era digitalizado em seções transversais e por meio de uma emulsão foto-transparente as camadas eram construídas sequencialmente, ..., era obtido via esculpimento ou solução fotoquímica.”(p. 31).

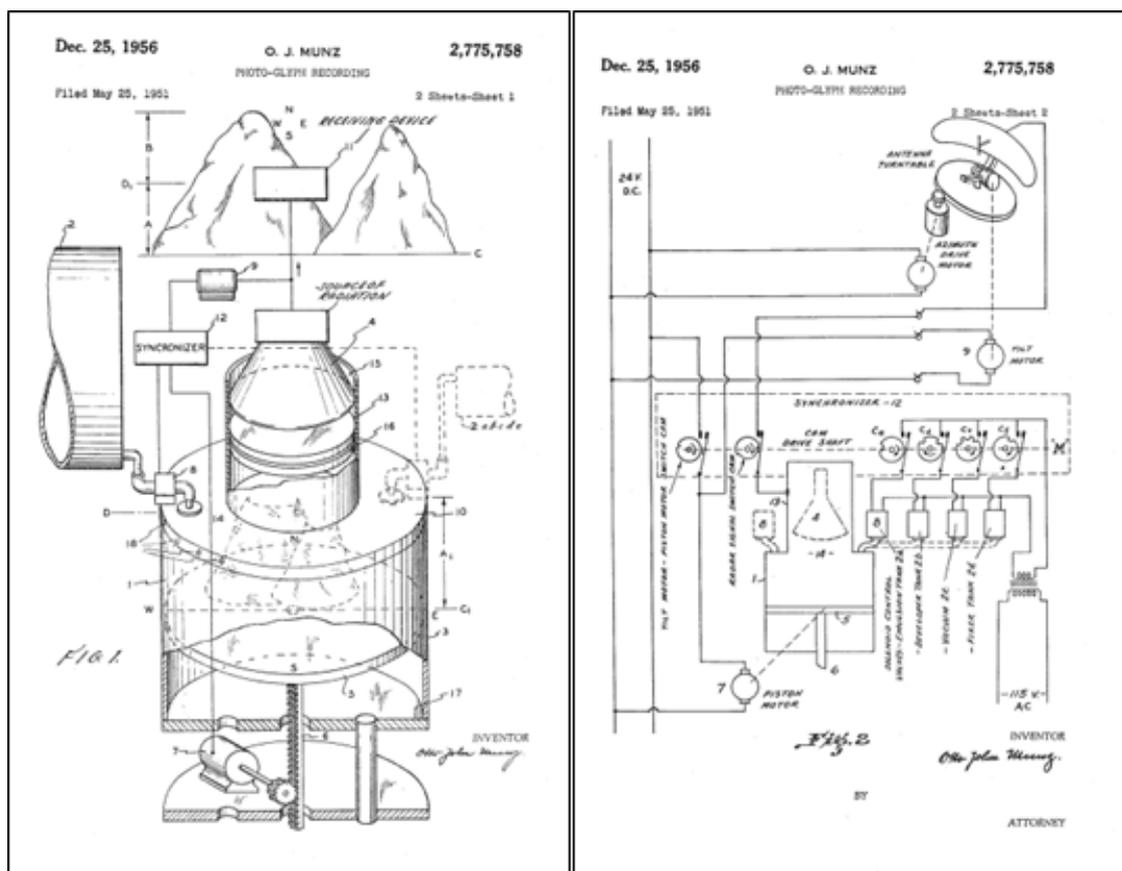


Figura 9 – Técnica desenvolvida por Otto John Munz.  
Fonte: MUNZ, 1951.

Os estudos sobre impressora 3D se intensificaram a partir da década de 80, com base nos estudos citados. Empresas, como a 3D Systems por exemplo, foi fundada em 1983 e a empresa Heliysis, nasceu 1985 tendo como negócio a fabricação de peças 3D. O método utilizado era a sobreposição de folhas de papel e utilização do laser para o corte das peças. A DTM é fundada em 1987 e a EOS (Electro Optical Systems) em 1989. Ambas tinham como intuito a sinterização das peças fabricadas por meio de laser, método conhecido como *elective laser sintering* (SLS) (LIRA, 2021, p. 23.)

Scott Crump, que também era um dos fundadores da Stratasys Ltda, desenvolveu em 1990 o método FDM - *fused Deposition modeling* que tinha como princípio o processo de impressão por meio depósito de material fundido. O processo 3DP- *three dimensional printing* foi implementado pela empresa Soligen em 1991, onde a fabricação era feita com o material em pó, que sofria a injeção de material liquefeito e após ser absorvido, ele se solidificava (LIRA, 2021, p. 23).

A ModelMaker é fundada em 1994 com o método Solid Center, que consiste em um sistema de jato de cera (LIRA, 2021, p. 23). Nesse mesmo ano, é criada a empresa japonesa Kira Corp que, de acordo com LIRA (2021), tinha como método um “...sistema de laser guiado e um plotter XY para a produção de moldes e protótipos por laminação

de papel” (p. 23). Esse método por sinterização também foi utilizado nos sistemas de estereofotografia da empresa alemã Fockele & Schwarze, e no EOSINT, da também alemã EOS (LIRA, 2021, p. 23). A Figura 10, resume os acontecimentos históricos ocorridos a partir de 1780.

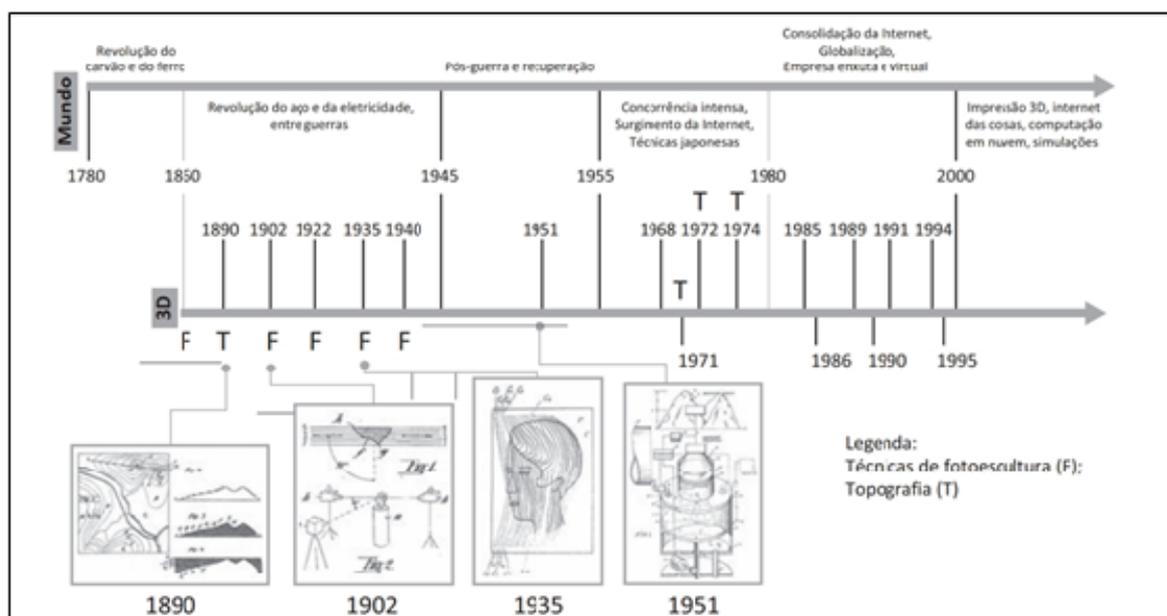


Figura 10 – Evolução da técnica de impressão 3D a partir de 1780.  
Fonte: LIRA, 2021(p. 23).

Segundo Frabasile (2018) *apud* PAIVA e NOGUEIRA (2021), a tecnologia de MA chegou ao Brasil há cerca de 20 anos, no entanto, somente agora elas estão se tornando populares. As tecnologias que utilizam como matéria-prima líquidos e pós, são as mais difundidas no país ( p. 199).

De acordo com PUPO (2008), os fatores que influenciaram e ainda dificultam o desenvolvimento da MA no Brasil, são de ordem econômica e social. A necessidade de importação da matéria prima e de equipamentos dos Estados Unidos, da Europa e da China, elevam os custos de impressão 3D e a escassez de mão de obra qualificada para o emprego das técnicas de fabricação digital, limitam evolução dessa tecnologia no Brasil(p. 13).

### 2.3.3 Percepção da Tecnologia do Processo de Fabricação por Meio da Impressora 3D

LIRA (2021) explica que, com a fabricação da primeira máquina em 1983, teve início a aplicação prática da impressora 3D. No entanto, os altos custos e o elevado tempo para a fabricação dos protótipos, assim como a escassez da disponibilidade das matérias primas

utilizadas no processo, fizeram com que o mercado não aceitasse de imediato o emprego da MA na indústria e em outras áreas (p. 25).

Para atender às necessidades do mercado, a impressora 3D se aprimorou e passou a contar com aplicação do *rapid tooling*, que é definido como a fabricação de maneira rápida, em que os produtos gerados estão prontos para o uso (LIRA, 2021, p. 26).

Atualmente, as impressoras trabalham de forma a definir as matérias primas em padrões bidimensionais com a utilização de uma mesa, aumentando depósito do material gradativamente, para empilhar camada por camada até a finalização do protótipo (TRAN, 2016 *apud* (FORNASIER; KNEBEL; SILVA, 2022, p. 195).

FORNASIER, KNEBEL e SILVA (2022), afirmam que as impressoras 3D se assemelham as impressoras 2D, no entanto, necessitam de um arquivo de desenho auxiliado por computador (arquivo CAD - *Computer-aided design*). Esse arquivo pode ser criado desde o início ou ao digitalizar um objeto (p. 195).

### 2.3.4 Principais Vantagens e desvantagens da Impressora 3D

Segundo VOLPATO et al. (2017) as principais vantagens da utilização da impressora 3D ao se comparar aos processos de fabricação tradicionais, são:

- Possibilidade de construção de geometrias complexas que até então não poderiam ser fabricadas devido a alta complexidade;
- Minimização do custo e desperdício de materiais e melhor utilização da energia;
- Independência de suporte para sua fixação;
- Ao contrário do CNC, não é necessário, do início ao fim, uma troca de ferramentas, pois é comum ser utilizado somente um tipo de processamento de material;
- O protótipo, na maioria dos casos e dependendo da sua finalidade, sai acabado da impressora 3D, não sendo necessário a utilização de outras máquinas pós-processamento;
- Os cálculos necessários para as trajetórias das ferramentas não são complexos, uma vez que o mesmo se limita a obtenção da mesma no plano 2D;
- Maior agilidade na fabricação de menores quantidades de produtos, quando comparado aos convencionais;
- Principalmente ao se empregar no processo produtivo técnicas embasadas em materiais metálicos ou polímeros de engenharia, a impressora 3D possibilita a produção de peças finais;

- A manufatura aditiva possibilita a mudança das propriedades físicas ao longo da peça, podendo mudar assim sua resistência, pureza, porosidade, flexibilidade, entre outras características. Isso é possível, porque algumas impressoras 3D permitem a mistura de matérias-primas e também possibilitam a mudança da densidade do material no decorrer do processo de fabricação do produto (p. 25, 26 e 27).

De acordo com [VOLPATO et al. \(2017\)](#), a impressora 3D possui algumas limitações no seu processo de fabricação quando comparado aos processos tradicionais, algumas delas são:

- Pelo processo de impressão 3D ser por adição de camadas, muitas vezes as propriedades dos produtos processados não são as mesmas dos obtidos pelos processos convencionais, tendo como consequência a limitação da sua empregabilidade;
- O acabamento das peças produzidas, quando comparadas aos processos convencionais, é inferior. Fato que se deve ao processo de MA ser por adição de camadas, o que pode causar degraus de camadas nas superfícies inclinantes e curvas;
- Limitação das matérias-primas empregadas a depender da tecnologia empregada na impressora 3D;
- As técnicas de MA presentes nas grandes indústrias possuem alto custo, principalmente no que tange a aquisição de matérias primas e equipamentos e a operação. No entanto, com o surgimento de impressoras 3D de baixo custo, esse cenário está passando por modificações (p. 27).

### 2.3.5 Classificação das Tecnologias empregadas na impressora 3D

Segundo [FERNANDES \(2019\)](#), as manufaturas aditivas são padronizadas em 7 categorias, como ilustrado na Figura 11, de acordo com a norma norma ISO/ASTM 52900, criada em 2015. Esse documento tem como objetivo demonstrar as semelhanças entre máquinas e não a sua ampla lista de variações comerciais (p. 40).

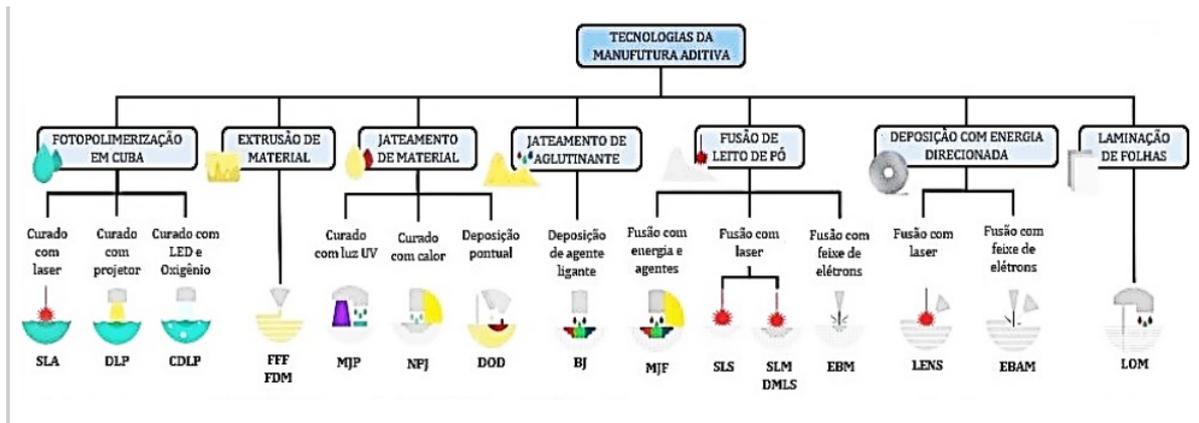


Figura 11 – Classificação das tecnologias de MA de acordo com a norma ISO/ASTM 52900.

Fonte: Adaptado de 3D HUBS *apud* FERNANDES, 2019 (p. 40).

As classificações das Manufaturas Aditivas são: fotopolimerização em cuba, extrusão de material, jateamento de material, jateamento de aglutinante, fusão de leito em pó, adição de laminas e deposição com energia direcionada. A Tabela 2 mostra a classificação das tecnologias de acordo com o princípio de processamento.

O processo de impressão 3D, se inicia com o projeto da estrutura a ser impressa, por meio de um *software* CAD, *scanner* 3D ou fotogrametria. Ao se obter êxito na criação do *design*, o arquivo é convertido para o formato de arquivo estereolítico (STL). Após a conversão, os arquivos são submetidos ao processo de corte e são convertidos para um arquivo de código, contendo as informações sobre as características do projeto (KUMAR; PUMERA, 2021, p. 2). A Figura 12 apresenta as etapas envolvidas para a impressão 3D de um objeto de interesse.

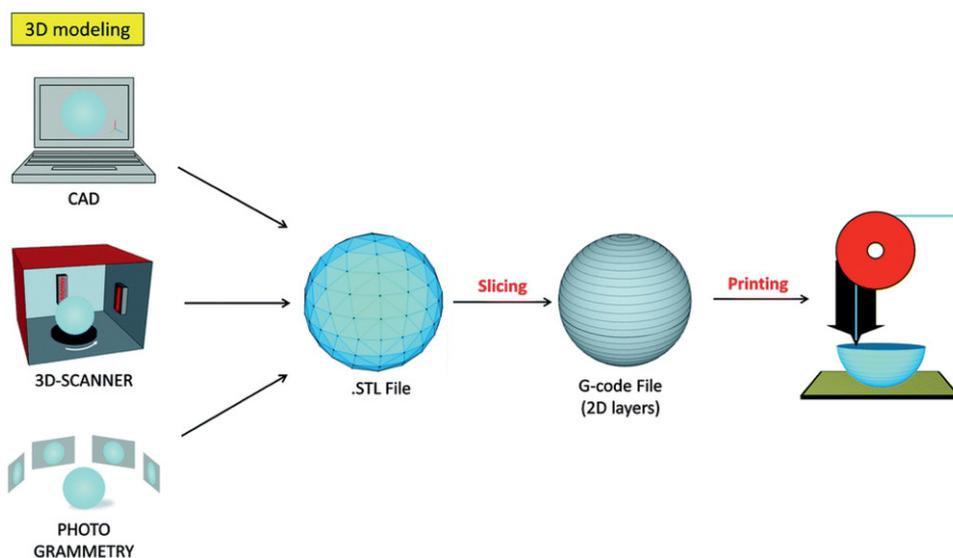


Figura 12 – Etapas envolvidas na impressão 3D.

Fonte: KUMAR PUMERA, 2021 (p. 2).

Classificação das tecnologias AM	Descrição dos princípios	Algumas tecnologias na categoria
Fotopolimerização em cuba	Polímero fotossensível líquido é curado seletivamente em uma cuba por polimerização ativada por luz*	Estereolitografia ( <i>stereolithography</i> – SL), produção contínua com interface líquida ( <i>continuous liquid interface production</i> – CLIP), tecnologia da empresa Invision-TEC, outros
Extrusão de material	Material é extrudado através de um bico ou orifício, sendo seletivamente depositado	Modelagem por fusão e deposição ( <i>fused deposition modeling</i> – FDM), MakerBot, RepRap, Fab@Home, outros
Jateamento de material	Material é depositado em pequenas gotas de forma seletiva	PolyJet, impressão por múltiplos jatos ( <i>Multijet printing</i> – MJP), tecnologia da Solidscape, outros
Jateamento de aglutinante	Um agente aglutinante líquido é seletivamente depositado para unir materiais em pó	Impressão colorida por jato (ColorJet Printing – CJP), tecnologia da VoxelJet, tecnologia da ExOne, outros
Fusão de leito de pó	Energia térmica funde seletivamente regiões de um leito de pó	Sinterização seletiva a laser ( <i>selective laser sintering</i> – SLS), sinterização direta de metal a laser ( <i>direct metal laser sintering</i> – DMLS), fusão seletiva a laser ( <i>selective laser melting</i> – SLM), LaserCUSING, fusão por feixe de elétrons ( <i>electron beam melting</i> – EBM), outros
Adição de lâminas	Lâminas recortadas de material são unidas (coladas) para formar um objeto	Manufatura laminar de objetos ( <i>laminated object manufacturing</i> – LOM), tecnologia da Solido, deposição seletiva de laminados ( <i>selective deposition lamination</i> – SDL), outros
Deposição com energia direcionada	Energia térmica é usada para fundir materiais à medida que estes são depositados	Forma final obtida com laser ( <i>laser engineered net shaping</i> – LENS), deposição direta de metal ( <i>direct metal deposition</i> – DMD), revestimento a laser tridimensional ( <i>3D laser cladding</i> ), outros

Tabela 2 – Tecnologias de MA de acordo com o processamento.

Fonte: VOLPATO, 2018 (p. 24).

Realizada a criação do projeto eletrônico, que detém as informações do protótipo que deverá ser criado, o processo segue de acordo com HARRIS (2015) citado por FORNASIER, KNEBEL e SILVA (2022) da seguinte maneira:

Assim, o design é dividido em seções transversais horizontais, produzindo essencialmente peças bidimensionais (2D) que se agregam ao objeto original; assim as matérias-primas são posicionadas para corresponder ao padrão de seção transversal 2D e, em seguida, são formadas juntas usando uma técnica de uma das sete categorias, como a sinterização a laser. Esse processo se repete com a próxima seção transversal colocada na parte superior. Inicialmente, a prototipagem foi a principal aplicação dessa tecnologia (p. 195).

## 2.4 Tecnologias Disruptivas

### 2.4.1 Tecnologia

A tecnologia é definida por [MATTOS e GUIMARÃES \(2013\)](#), como “...conjunto organizado dos conhecimentos científicos, empíricos ou intuitivos empregados na produção e na comercialização de bens e de serviços.” ( p. 4). Apesar da tecnologia ser muito influenciada pela ciência, a mesma não se trata de uma ciência aplicada, pois é ampla e as inovações tecnológicas podem ocorrer mesmo sem o conhecimento científico ([MATTOS; GUIMARÃES, 2013](#), p. 5).

De acordo com [DA SILVA, LIMA e ALVES \(2018\)](#) , para que se gere tecnologia é necessário conhecimento e ideias, que podem ter origens tanto da ciência, do mercado, da produção ou da própria tecnologia. A tecnologia ela pode ser explícita, quando tem relação ao saber ou aptidão e também é relacionada a documentações, ou implícita, quando ela é agregada a bens e serviços (([MATTOS; GUIMARÃES, 2013](#), p. 5).

A tecnologia pode ser classificada segundo REIS (2008) *apud* [DA SILVA, LIMA e ALVES \(2018\)](#) como materializada, documentada e imaterial. Tecnologia materializa se refere aos equipamentos pertencentes ao meio de produção, que fazem parte da etapa final da produção do produto, garantindo ao mesmo suas características funcionalidade, qualidade, longevidade, preço ou confiança ( p. 80).

Tecnologia documentada, se refere aquela que tem como princípio os meios de documentação e tecnologia imaterial se relaciona com o conhecimento que podem ser conceituais ou práticos, que são necessário para se obter a tecnologia. (REIS 2008 *apud* ([DA SILVA; LIMA; ALVES, 2018](#), p. 80)). A tabela 3 apresenta o resumo dos tipos de tecnologia.

Dimensões	Disponibilidade	
	Imediata	Não imediata
Materializada	Uso imediato	Adaptabilidade
Documentada	Manuais, livros, revistas, publicações da especialidade	Protegida por patentes e direitos intelectuais
Imaterial	Acesso a pessoas e equipes com experiência no domínio em causa	Implícita ou tácita, requer esforço de formação ou assimilação

Tabela 3 – Tipos de Tecnologia.

Fonte: REIS, 2008 *apud* [DA SILVA et al., 2002](#) ( p. 81).

Segundo [BURGELMAN, CHRISTENSEN e WHEELWRIGTH \(2012\)](#), a tecnologia fundamenta ou facilita as inovações ( p. 2). Para que uma inovação tecnológica seja considerada um caso de sucesso, é necessário que se tenha um retorno do investimento inicial e se gere lucro ([BURGELMAN; CHRISTENSEN; WHEELWRIGTH, 2012](#), p. 2).

## 2.4.2 Inovação

A inovação, de acordo com ([MATTOS; GUIMARÃES, 2013](#)) é definida como:

”A inovação tecnológica é o processo pelo qual se transpõe uma ideia ou invenção para a economia, ou seja, ela percorre o trajeto que vai desde essa ideia, fazendo uso de tecnologias existentes ou perseguidas para tanto, até criar o novo produto, processo ou serviço e colocá-lo em disponibilidade para o consumo ou uso.”( p. 65).

De acordo com [CHRISTENSEN \(2006\)](#), existem 2 grupos distintos de inovação. O primeiro grupo é o das inovações sustentadora, que engloba a inovação incremental e a radical e o segundo grupo é o das inovações de ruptura, na qual temos a inovação disruptiva ( p. 29).

As inovações sustentadoras buscam atender ao mercado que está inserido, de maneira a aumentar a qualidade dos produtos e o seu lucro, de maneira gradativa sem assumir grandes risco ([CANDIDO, 2011](#), p. 6). A inovação de ruptura, também chamada de inovação disruptiva, tem como objetivo romper com os padrões e tecnologias existentes, alterando as formas de competição do mercado ([CANDIDO, 2011](#), p. 5). As principais características das inovações sustentadoras e disruptivas estão descritas na Tabela 4.

Inovações Disruptivas	Inovações Sustentadoras
- Normalmente apresentam menor performance em produtos estabelecidos	- Pretendem melhorar o desempenho de produtos já estabelecidos no mercado
- Possui novos atributos que os novos e potenciais consumidores valorizam	- Atender às procuras dos principais mercados “tradicionalis”
- Custo menos, simplicidade, menor, mais conveniente para o uso	- Alguns atributos são menos atractivos: custo, tempo, etc.
- Empresas entrantes no mercado	- Empresas estabelecidas no mercado

Tabela 4 – Características das Inovações Disruptivas e Inovações Sustentadoras.  
Fonte: CÂNDIDO, 2011 ( p. 7).

De acordo com [DA SILVA, LIMA e ALVES \(2018\)](#), a inovação radical é pouco estudada, uma vez que é de consenso a existência de uma grande dificuldade para o seu gerenciamento nos grandes empreendimentos ( p. 89). Ela diz respeito a um produto, processo ou serviço, que tem como características de desempenho sem precedentes ou que possam promover melhorias significativas, de forma a transformar ou criar novos mercados ([LEIFER; O'CONNOR; RICE, 2002](#), p. 21) .

A inovação incremental, até a atualidade foi a mais estudada, sendo aquela que tem como característica promover pequenas mudanças em empresas que já possuem seus processos consolidados ([TIPOS, 2017 apud \(DA SILVA; LIMA; ALVES, 2018, p. 89\)](#)). Essa tecnologia é a mais difundida, devido às características do mercado serem conservantista e darem preferência para pequenas mudanças graduais, por terem menor risco e menor custo. ([MACIEL, 2020 apud \(FARIAS et al., 2021, p. 106\)](#) ) .

Os conceitos sobre inovações disruptivas foram aprimorados a partir dos estudos de Clayton Christensen ([CANDIDO, 2011, p. 6](#)). Em sua publicação, Christensen esclarece que assim como a inovação radical, a inovação disruptiva também compreende a quebra de paradigmas, no entanto, enquanto a primeira tem como fundamento a adaptação na qual o mercado está inserida, tendo em vista a continuidade do modelo de negócio existente, a segunda tem como objetivo a mudança desse modelo ([DA SILVA; LIMA; ALVES, 2018, p. 34](#)) .

### 2.4.3 Inovação e Tecnologias Disruptivas

Segundo [CANDIDO \(2011\)](#), o professor Clayton Christensen foi o principal estudioso a propor teorias acerca das inovações disruptivas, tendo contribuído de maneira essencial para o seu amadurecimento (p. 9). Apesar de Christensen ter sido o pesquisador que formulou a teoria de tecnologias disruptivas, é possível achar outros trabalhos relacionados ao tema. Os primeiros registros acerca das inovações disruptivas datam de 1942, onde ao abordar o conceito de Destruição Criadora, Joseph Schumpeter em sua obra “Capitalismo, Socialismo e Democracia”, esclarece mudanças observadas no mercado que também podem ser vistas com a concorrência de inovações disruptivas ([SERRANO; BALDANZA, 2017, p. 2](#)) . A Figura 13 mostra as principais evoluções que o conceito de inovações disruptivas sofreu durante o tempo.

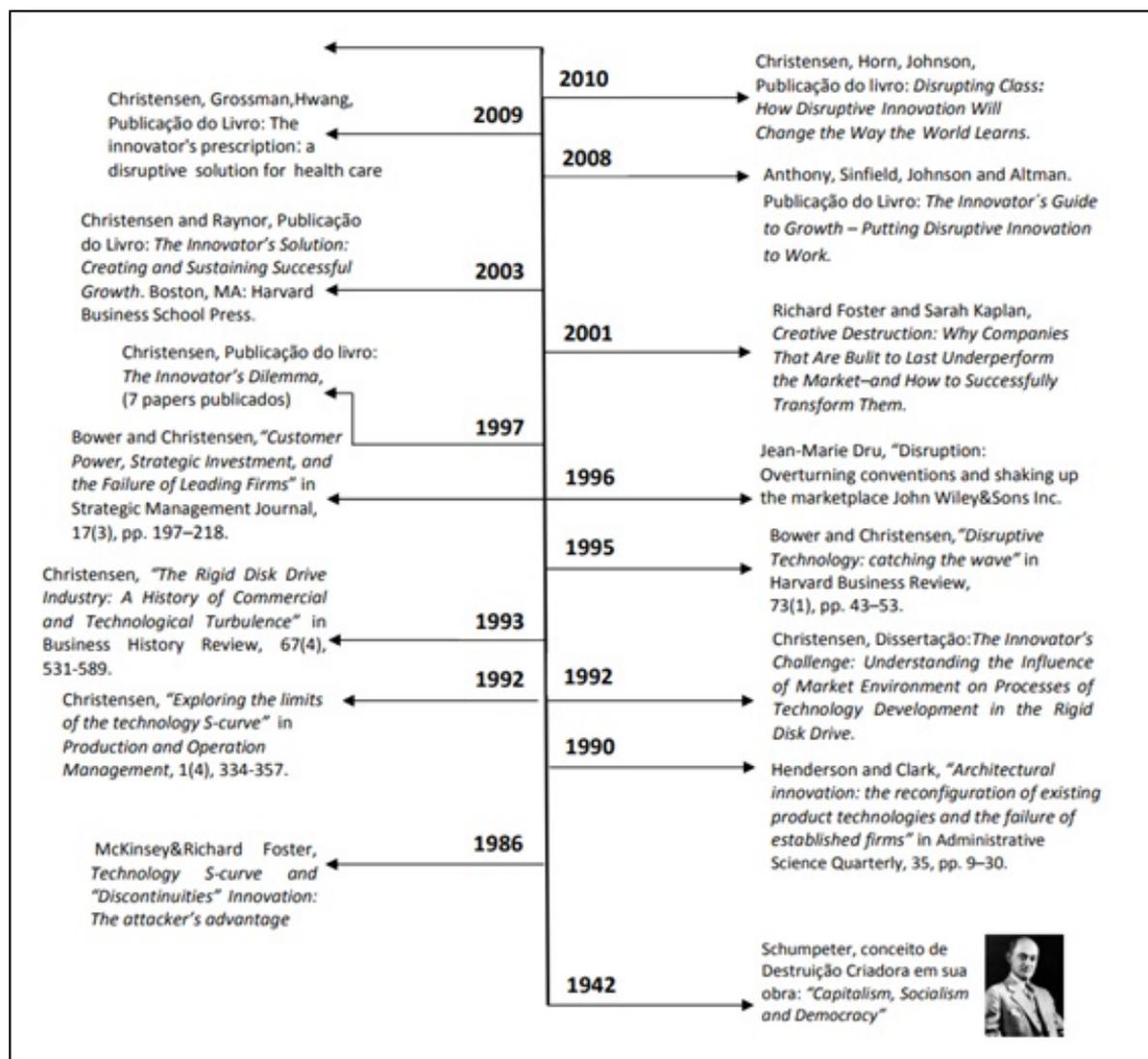


Figura 13 – Evolução do Conceito de Inovação Disruptiva.

Fonte: adaptado por CANDIDO, 2011 de YU e HANG, 2010 ( p. 11).

CHRISTENSEN (2006) explica que as inovações disruptiva nascem de aplicações simples e de maneira gradativa. Dessa maneira com o tempo vão se estabelecendo no mercado, eliminando a concorrência. As suas características proporcionam que as pessoas que até então não tinham acesso ao produto ou serviço, possam vir a ter ( p. 51).

A tecnologia disruptiva, segundo Christensen (1997) citado por BARROS (2020) , é composta por 2 tipos: a *new-market* e a *low-end*. A disrupção *new-market* está relacionada a busca de novos mercados, agregar novas características e a percepção de valor pelo público, já a disrupção *low-end* tem, especialmente, características de inovações de baixo custo, direcionada ao um público menos exigente ou que não possuem renda suficiente para adquirir tecnologias com valores mais elevados (p. 11). A tabela 5, ilustra as características desses dois tipos de disrupção.

<b>Inovações Disruptivas</b>		
	<b>Low - end</b>	<b>New – market</b>
<b>Desempenho</b>	Desempenho muito bom com base nos critérios tradicionais de avaliação do desempenho do segmento inferior do mercado dominante.	Baixo desempenho nos atributos tradicionais, mas melhorias em novos atributos – simplicidade e conveniência.
<b>Cientes-alvo</b>	Desempenho muito bom com base nos critérios tradicionais de avaliação do desempenho do segmento inferior do mercado dominante.	Consumidores que anteriormente não tinham poder aquisitivo ou habilidades para comprar e usar o produto.
<b>Modelo de negócio</b>	Capacidade para gerar retornos atraentes a preços mais baixos.	Lucrativo a preços unitários mais baixos, inicialmente com volumes de produção menores.

Tabela 5 – Inovações Disruptivas (Low-end e New-market) .

Adaptado de CHRISTENSEN E RAYNOR (2003) *apud* CANDIDO, 2011, (p. 15).

Essas inovações não são limitadas a criação de novos produtos e serviços, uma vez que também podem ser aplicadas a negócios já existente (MARKIDES, 2006 *apud* (BARRA, 2021, p. 8)). No entanto, muitas organizações não investem em tecnologias com características disruptivas e devido a isso, muitas vezes essas tecnologias acabam criando novos negócio (BARRA, 2021, p. 7).

## 3 Discussões

### 3.1 As Tecnologias Disruptivas Aplicadas nas Impressoras 3D

Desde a revolução industrial, a produção em massa conseguiu diminuir os custos da produção, tendo como consequência o aumento dos consumidores que conseguiriam ter acesso àquele produto, no entanto, para isso teve que abrir mão da individualidade.

A revolução 4.0, compreende os processos autônomos, versáteis e especialmente, um mundo de troca de informações. Esse conceito pode ser observado em várias aplicações da MA, onde é possível produzir peças complexas, de forma a romper com os entraves de *design* e sem as dificuldades relacionadas ao transporte.

Essa nova revolução industrial, reporta a uma necessidade atual de personalização do produto, onde as demandas de cada cliente são respeitadas, no entanto, é importante manter a velocidade de produção. A impressora 3D possibilita que o mercado produza em massa produtos customizados, que até então só era possível por meio de artesões, o que demandava muito tempo na produção. A Tabela 6, adaptada de [AYDIN et al. \(2021\)](#), resume os principais métodos de MA e também, alguns setores em que essas tecnologias são aplicadas.

[RAYNA e STRIUKOVA \(2014\)](#), explica que uma tecnologia disruptiva, tem como elemento principal uma mudança na sua proposta de valor, uma vez que os principais elementos impactados são os produtos e serviços. Mesmo a MA já tendo conduzido a essas inovações, o seu maior impacto é nos seus itens de criação de valor (p. 48). Com a personalização, clientes se tornam integrantes robustos nessa rede de valores, uma vez que as empresas e cliente passam a ser cocriadores dos produtos, aumentando muito o valor agregado no produto ao se comparar com os meios de produção em massa.

As tecnologias proporcionaram que consumidores e fornecedores estabelecessem uma relação de proximidade por meio da comunicação, já as tecnologias disruptivas aplicadas na impressora 3D, possibilitam que o sistema de produção se desloque geograficamente. Essa transformação trás a possibilidade de que até mesmo o próprio consumidor final, produza o seu produto.

É possível analisar que as características disruptivas da impressoras 3D possuem a capacidade de modificar as relações comerciais existentes, devido à possibilidade de suprimir a previsão de demanda. [FORNASIER, KNEBEL e SILVA \(2022\)](#) explicam que essas características poderiam promover a “... redução sensível na utilização dos meios de transporte para a distribuição da produção; elevação do grau de satisfação do cliente em termos de agilidade de atendimento e customização de bens; e a redução de custos por

Resumo dos Principais Métodos de Impressão 3D				
Métodos	Materiais	Aplicação	Benefícios	Inconvenientes
<b>Fused deposition modelling</b>	Filamentos de polímeros termoplásticos	Brinquedos de prototipagem rápida	Baixo custo	Propriedades mecânicas fracas
	Polímeros reforçados com fibra de vidro - GFRP	Peças compostas avançadas	Alta velocidade	Materiais limitados (apenas termoplásticos)
			Simplicidade	Acabamento camada por camada
<b>Powder bed fusion - PBF (SLS, SLM, 3DP)</b>	Pós finos compactados	Biomédico	Resolução de multa	Impressão lenta
	Metais, ligas e polímeros limitados (SLS ou SLM)	Eletrônica	Alta qualidade	Caro
	Cerâmica e polímeros (3DP)	Aeroespaço		Alta porosidade no método de aglutinante (3DP)
		Estruturas leves (treliças)		
		Trocadores de calor		
<b>Inkjet printing e contour crafting</b>	Uma dispersão concentrada de partículas em um líquido (tinta ou pasta)	Biomédico	Capacidade de imprimir grande	Manutenção da capacidade de trabalho
	Cerâmica, concreto e solo	Grandes estruturas	Impressão rápida	Resolução grosseira
		Edifícios		Falta de adesão entre camadas
<b>Estereliografia</b>	Uma resina com monômeros foto-ativos	Biomédico	Resolução de multa	Materiais muito limitados
	Polímero híbrido-cerâmica	Prototipação	Alta qualidade	Impressão lenta
				Caro
<b>Deposição com energia direcionada</b>	Metais e ligas na forma de pó ou fio	Aeroespaço	Fabricação reduzida	Baixa precisão
	Cerâmica e polímeros	Retromontagem	tempo e custo	Baixa qualidade da superfície
		Reparar	Excelentes propriedades mecânicas	Necessidade de uma estrutura de suporte densa
		Revestimento	Microestrutura controlada	Limitação na impressão de formas complexas com detalhes finos
		Biomédico	Controle preciso da composição	
<b>Fabricação de objetos laminados</b>	Compostos de polímeros	Fabricação de papel	Redução do tempo de fabricação e ferramentas	
	Cerâmica	Indústrias de fundição	Uma vasta gama de materiais	Qualidade inferior da superfície e precisão dimensional
	Papel	Eletrônica	Baixo custo	Limitação na fabricação de formas complexas
	Fitas cheias de metal	Estruturas inteligentes	Excelente para fabricação de estruturas maiores	
	Rolos de metal			

Tabela 6 – Principais Métodos de impressão 3D.

Fonte: Adaptado de AYDIN et al., 2021(p. 366).

simplificação de processos.” ( p. 13).

Estudos preveem que até 2025 as manufaturas aditivas, proporcionem uma economia de U\$ 56 a 219 bilhões na área de transporte ((MAZZALI, 2022))( p. 3). MEHRPOUYA *et al.* (2019) *apud* MAZZALI (2022) acreditam que a utilização da impressão 3D tem o potencial de economizar 370 bilhões de dólares em 2025, e que o seu custo de produção e da sua tecnologia tendem a ser os menores nos próximos anos(p. 4).

Segundo WANG *et al.* (2021), de acordo com a Figura 14, “Pode-se observar que as demandas de combustível aeroespacial, produção aeroespacial, dispositivos médicos e ferramentas apresentaram maior redução no fornecimento total de energia e concentrações de CO<sub>2</sub>, com redução percentual de 9-35 %, 8-19 %, 5-19 % e 3-10 % respectivamente, em 2025”. Assim percebe-se que a utilização da MA, diminui a emissão de CO<sub>2</sub> para setores estratégicos do mercado.

Outro fator interessante, é que com a utilização da impressora 3D, se tem a possibilidade de reutilizar matérias primas e em seu sistema de produção há um menor desperdício de insumos, o que colabora ainda mais para que a MA tenha um grande potencial de se tornar uma tecnologia verde, especialmente ao se comparar com os meios de produção atuais.

A impressora 3D está além de uma tecnologia disruptiva que influencia apenas a engenharia industrial e manufatura, como pode ser visto na Tabela 7, ela influencia em vários aspectos econômicos e sociais (WANG *et al.*, 2021, p. 714).

## 3.2 Versatilidade da Matriz de Produção da impressora 3D no Combate a COVID-19

O surgimento da COVID-19, no final do ano de 2019, fez com que todos esforços fossem voltados para o seu combate. No início da pandemia, com a falta de medicações e vacinas contra o vírus, as únicas armas eram a prevenção e a manutenção da vida das pessoas contaminadas. Dessa forma, além da corrida para encontrar uma solução definitiva para sua contenção, o setor de saúde e a população, sofreram com a escassez de suprimentos básicos de saúde para lutar contra a doença.

Os governos e as indústrias concentraram esforços para conseguirem cumprir as demandas de provimento de produtos necessários para o controle da síndrome respiratória. Entretanto, mesmo com todos os esforços, itens para o combate da COVID-19 começaram a faltar no mercado. Nesse sentido, muitas universidades e empresas iniciaram o abastecimento desses produtos por meio da utilização da MA (WANG *et al.*, 2021, p. 724). O desabastecimento de itens básicos para o combate da COVID-19, foi consequência do aumento da demanda, fechamento das fronteiras e o isolamento dos países.

Expectativa de mudanças relativas ao custo por meio da utilização da impressora 3D por mercado na indústria em 2025

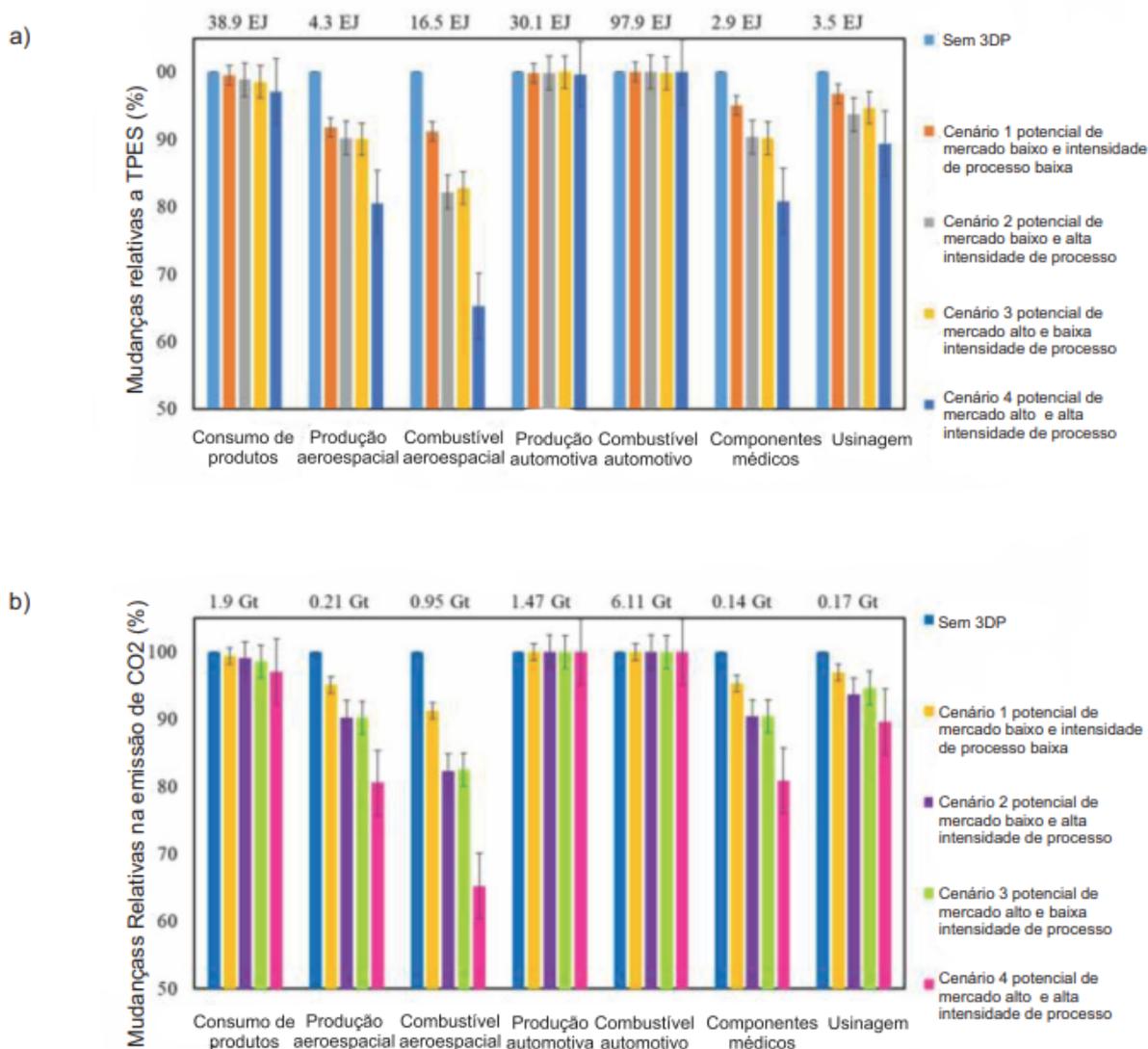


Figura 14 – Impacto do 3DP no fornecimento total de energia primária (TPES) e CO2 emissões: (a) redução do TPES e (b) redução no CO2 emissões com 3DP. Fonte: Adaptado de GLEBER *et al.*, 2014 *apud* WANG *et al.*, 2021 , ( p. 714).

Aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais da impressão 3D	
Aspectos do 3DP	Descrição
<b>Tecnológico</b>	Pesquisa, documentação, preservação, patrimônio cultural e fins educacionais.
	Fabricação de casas e inovação de modelo de negócios.
	Eletrônicos impressos em 3D.
	Fabricação de trocadores de calor funcionais e pás de turbina.
	Colheita de energia (oceano, vento, corpo humano, vibrações etc.).
	Sensores sem fio internet-de-coisas (IoT) eficientes em termos de energia.
	Impressão aditiva de joias e produtos de moda.
	Planejamento cirúrgico, próteses, impressão de órgãos, implantes, engenharia de tecidos e andaimes.
	Reparo de componentes aeroespaciais complexos, como lâminas/palhetas do motor e câmara de combustão.
<b>Econômico</b>	Cotonetes nasofaríngeos impressos em 3D para diagnóstico e dispositivo de respiração de emergência.
	Espera-se que o 3DP seja um mercado de 230 a 550 bilhões de dólares até 2025, com impactos econômicos significativos para produtos de alto valor, baixo volume e personalizados.
	O 3DP é considerado uma influência de cinco mercados significativos até 2025, incluindo bens de consumo, aeroespacial, automotivo, equipamentos médicos e ferramentas
	O 3DP permite geometrias complexas e projetos leves, levando a redução dos custos do ciclo de vida do produto e à economia de combustível na aviação.
	A alta automação do 3DP muda os padrões de trabalho, a força de trabalho é necessária apenas no pré-processamento e pós-processamento (adequado para países desenvolvidos).
	Um declínio esperado nas exportações e importações.
	Cadeias de suprimentos mais curtas, necessidade reduzida de ferramentas e fabricação centralizada, projetos digitais substituem bens físicos nas cadeias de suprimentos.
	Tempo reduzido da fabricação para o mercado e consumo de transporte.
	Demandas de energia de manufatura, material e ciclo de vida significativamente reduzidas de produtos e de suas emissões de CO <sub>2</sub> , devido à fabricação encurtada e mais direta.
	Demandas de energia reduzidas e emissões de CO <sub>2</sub> de aviões e carros devido a projetos leves baseados em 3DP, fabricação econômica de geometrias complexas.
<b>Ambiental</b>	Na fabricação aeroespacial, o 3DP tende a uma relação compra-voos de quase 1:1, levando a uma redução significativa nas demandas de recursos e quantidades de resíduos.
	3DP não precisa de lubrificantes, refrigerantes ou outras substâncias ambientalmente prejudiciais.
	3DP pode reutilizar até 95-98 % da matéria-prima não ausente e até 40 % de economia de material-desperdício.
	Demandas energéticas e emissões de CO <sub>2</sub> devido à fabricação industrial devem reduzir em máxima 5% até 2025.
	Maior disponibilidade de meios de produção localizados nos países consumidores.
	A educação em tecnologia da informação é necessária como consequência de uma rápida mudança das empresas em direção a projetos/ideias digitais baseadas em 3DP.
<b>Social</b>	Desenvolvimento socioeconômico nas áreas rurais devido à fácil acessibilidade dos objetos.
	Peças de reposição ou equipamentos de laboratório podem ser fabricados sob demanda em qualquer lugar devido a um 3DP de código aberto.
	Precisa de um controle rigoroso das tecnologias 3DP devido à disponibilidade de armas de fogo de código aberto e projetos de projetos de armas.
	Compatível para emergências como a pandemia COVID-19 devido à mobilização de projetos e à redução da

Tabela 7 – Aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais da impressão 3D.  
 Fonte: Adaptado de WANG, 2021 p.714

A impressora 3D, devido as suas características disruptivas, teve a função de auxiliar na fabricação de variados produtos com características geométricas diversas. De acordo com FRANÇOIS et al. (2020), os produtos, fabricados pela Impressora 3D, que mais se destacaram na luta contra a crise de saúde, foram: equipamentos para a proteção individual (EPI); abridores de portas fixos com mãos-livres, ganchos para portas, empurradores de botão, dispositivos médicos; entre outros ( p. 381).

Segundo WAGELS e HUTMACHER (2020), mesmo antes da pandemia, a medicina já estava trabalhando com as impressoras 3D. A possibilidade de personalização, fez com que a mesma fosse aplicada em vários itens da medicina clínica, o que foi iniciado com fabricação de biomodelos de referência, a partir de dados de imagem e, em seguida, no planejamento cirúrgico virtual( p. 267).

A tecnologia presente na Impressora 3D, possibilita que a sua matriz de produção mude de acordo com a necessidade, o que permite produzir itens médicos complexos, com menor tempo e custo. Ela possibilita que produtos de diferentes complexidades, sejam projetados em uma região e estes mesmos produtos, podem ser baixados em lugares longínquos e produzidos de acordo com a demanda. A Figura 15 apresenta a sua versatilidade na produção no enfrentamento da COVID-19.

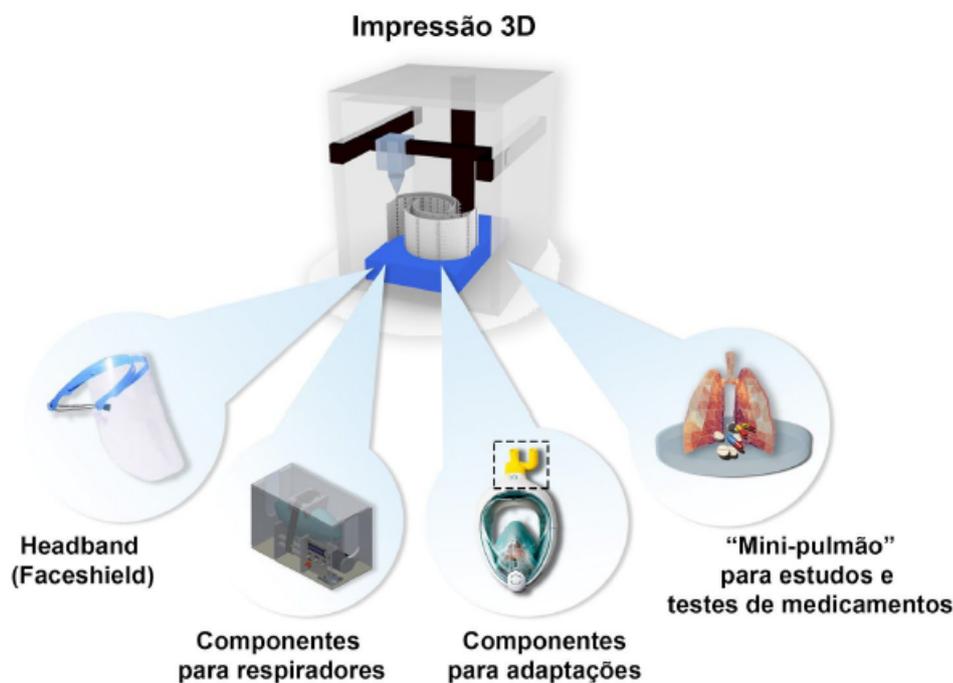


Figura 15 – Impressão 3D e sua versatilidade na luta contra a COVID-19.

Fonte: DAGUANO, 2020 ( p. 1).

Várias empresas reconhecidas no mercado de impressão 3D, contribuíram fabricando peças e enviando a hospitais, dentre elas: tratasy Ltd; 3D Systems Corp; Proto

Labs Inc; e HP Inc.(WANG et al., 2021) ( p. 709). Segundo WANG et al. (2021), a empresa Tinkerine Studios, consolidada no mercado por projetar e fabricar impressoras 3D, além *softwares* e conteúdo educacional, ao perceber o aumento da demanda, direcionou os seus esforços para equipamentos médicos( p. 724).

Com a essa iniciativa, de acordo com WANG et al. (2021), “...o preço da ação de mercado e o interesse dos investidores subiram 70 % de fevereiro a abril 2020, exibindo uma demanda crescente para o mercado de impressão 3D”. A Figura 16 mostra esse aumento nos preços das ações. ( p. 725).

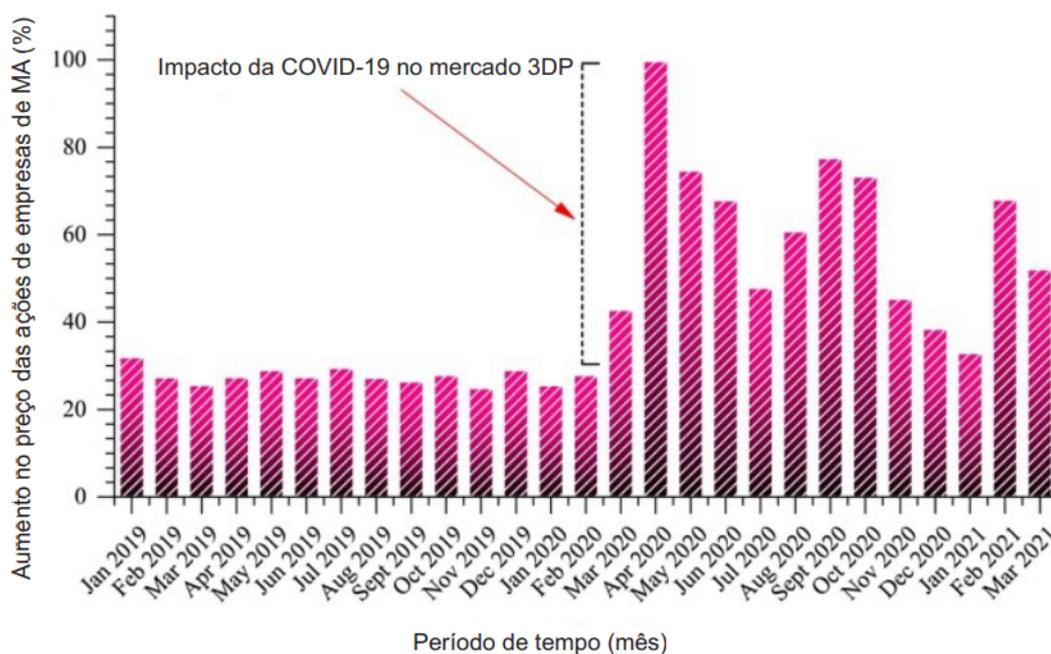


Figura 16 – Efeito da pandemia COVID-19 nos preços das ações de mercado da empresa canadense de impressão 3D Tinkerine Studios Ltda.

Fonte: (WANG et al., 2021, ( p. 725).

Os desafios enfrentados pela impressora 3D, desde do início da pandemia da COVID-19, podem ser categorizados em relação ao projeto, segurança, fabricação, certificação e questões legais. Durante os primeiros estágios, podem ocorrer reverses em relação ao *design* e os componentes que devem ser utilizados em contato direto com os tecidos humanos, devem cumprir normas rígidas de segurança. Esses critérios precisam ser obedecidos durante todo o projeto de impressão 3D (WANG et al., 2021, p. 727).

De acordo WANG et al. (2021), além dos itens para o setor de saúde, a pandemia causada pelo coronavírus, atribuiu à indústria de manufatura aditiva outros desafios que abrangem setores de fabricação, segurança, certificação, *design* e questões legais ( p. 729).

De acordo com A.T. KEARNEY apud FERNANDES (2019), existe uma tendência do mercado que pode ser visualizada analisando a sua cronologia, como ilustrado na

Figura 17, a economia mundial sofrerá um aumento, nos próximos 10 anos, na ordem 4 a 6 trilhões de dólares ( p. 34).



Figura 17 – Cronologia da MA.

Fonte: A.T. KEARNEY *apud* Fernandes, 2019 ( p. 34).

## 4 Considerações finais

A crise causada pela COVID 19, atestou que o mundo e as instituições de saúde estavam despreparados para lidar com uma pandemia. A emergência de saúde, causou uma grande pressão nos governos e nos sistemas de saúde global. Medida em que a doença se expandia, os profissionais de saúde e pacientes pressionavam as autoridades para que fossem supridas as necessidades de insumos, equipamentos de proteção e matérias primas essenciais.

Essa crise teve como consequências, a enorme perda de vidas em todo mundo, o pânico generalizado, e a interrupção dos meios de subsistências de milhares de famílias, acarretando uma crise mundial não só na saúde mas também de caráter econômico. Com o desenvolvimento dessa pesquisa, foi possível fazer uma análise bibliográfica e constatar como a impressora 3D, tecnologia fundamental da Revolução 4.0, foi uma ferramenta essencial para o enfrentamento da pandemia.

A Revolução 4.0 permitiu que determinados projetos realizados em impressoras 3D, que até então eram dispendiosos e demorados, fossem replicados e compartilhados pela internet, sem prejuízo de sua qualidade. Nesse sentido, contribui para viabilizar as ferramentas necessárias, para a urgente reconstrução do sistema de saúde, que ainda precisa se tornar mais resiliente e com maior qualidade, de maneira a permitir que cada vez mais pessoas tenham acesso com menores custos e profissionais mais capacitados.

Sendo assim, verificou-se que a impressora 3D por ser uma tecnologia disruptiva, se torna uma ferramenta capaz de responder a diferentes demandas do mercado, inclusive em situações de emergência sanitária, como a pandemia. Sua propriedade de produzir componentes com rapidez, fácil distribuição ao mercado e com características altamente personalizáveis, a tornaram uma ferramenta adequada para ser usada em situações que demandam respostas rápidas.

Um ponto importante a ser observado, é a necessidade de maiores estudos sobre matérias-primas com melhor eficácia, de acordo com cada finalidade. Os países em desenvolvimento, como o Brasil, necessitam de pesquisas e investimentos para a produção de seu próprio suprimento. Isso diminuiria os preços e aceleraria a evolução da tecnologia de impressão 3D, dando um maior poder de resposta para situações emergenciais, além de ser um aliado para o desenvolvimento social e econômico.

É crucial que os países elaborem um planejamento para resposta rápida, com a colaboração de todos os setores e dos órgãos internacionais, com a finalidade de controle de emergências. Um plano de respostas para essas situações, dará subsídio para melhorar qualidade de vida e progresso econômico e social, sendo que quando bem elaboradas, essas políticas terão o potencial de intervir de maneira satisfatória na saúde, de forma a

minimizar os impactos causados por emergências, como a COVID.

Nesse trabalho é possível identificar que a impressora 3D democratiza o processo de fabricação, diminui o tempo de resposta a demandas, além de ter uma versatilidade em relação as matérias-primas. A sua praticidade é imprescindível para o enfrentamento de situações como emergências de saúde. Fica evidente, que a descentralização da produção de itens essenciais em situações de calamidade, ajuda no abastecimento dos países e os municia para o controle e a mitigação da emergência

O desenvolvimento dessa pesquisa, por meio do estudo bibliográfico, permite que outros trabalhos se aprofundem no tema, e se tornem ferramentas, para melhorar a resposta dos países quando acometidos por situações de emergência. Uma vez que ainda não estamos com a COVID-19 controlada, e já se tem registros no mundo de patologias com o grande potencial de disseminação, é possível fazer o aprofundamento das técnicas empregadas na MA e o estudo de matérias-primas que teriam melhores respostas quando empregadas no campo de saúde.

Outra proposta para trabalhos futuros, seria como melhorar a resposta a emergências de saúde, por meio da impressora 3D, em países com baixo desenvolvimento econômico.

## Referências

- ALLEN, GREGORY C. Understanding China's AI Strategy: Clues to Chinese Strategic Thinking on Artificial Intelligence and National Security. *Center for a New American Security*, February 2019. Citado 1 vez na página 21.
- ARRAIS, DAIANY LINO; MARQUEZ, CAROLINNE DE OLIVEIRA. Desafios dos profissionais da saúde na linha de enfrentamento à pandemia de Covid-19: revisão integrativa. *Scire Salutis*, v. 12, p. 262–269, 1 set. 2021. ISSN 2236-9600. DOI: [10.6008/CBPC2236-9600.2022.001.0029](https://doi.org/10.6008/CBPC2236-9600.2022.001.0029). Citado 1 vez na página 18.
- AYDIN, AYCA et al. 3D printing in the battle against COVID-19. *Emergent Materials*, v. 4, p. 363–386, 1 fev. 2021. ISSN 2522-5731. DOI: [10.1007/s42247-021-00164-y](https://doi.org/10.1007/s42247-021-00164-y). Citado 1 vez na página 40.
- BARRA, João Vitor da Rocha. Inovação tecnológica e a disrupção na área contábil: uma visão geral. Goiânia, jun. 2021. Citado 2 vezes na página 39.
- BARROS, WALLAS BRUNO DA SILVA. *Inovações disruptivas e economia compartilhada: O Caso Uber na Cidade Araguaína-TO*. Dez. 2020. F. 1–27. Universidade Federal do Tocantins. Citado 1 vez na página 38.
- BATISTA, RAMON SALES DE ARAÚJO. Influência das Variáveis de Processamento na Acuracidade Dimensional e no Descolamento De Camadas em Corpos de Prova Fabricados Via Modelagem por Fusão e Deposição. Campinas Grande, 2021. Citado 1 vez na página 24.
- BELHOUIDEG, SOUFIANE. Impact of 3D printed medical equipment on the management of the Covid19 pandemic. *The International Journal of Health Planning and Management*, v. 35, p. 1014–1022, 5 set. 2020. ISSN 0749-6753. DOI: [10.1002/hpm.3009](https://doi.org/10.1002/hpm.3009). Citado 1 vez na página 19.
- BRANDÃO, ALEXANDRE; NEVES, RODOLPHO. *Agricultura e indústria 4.0. : automação e controle de processos agrícolas e industriais*. Universidade Federal de Viçosa -UFV, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 19, 20.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. *CabineProtecao-COVID19*. 2020. Citado 1 vez na página 12.
- BURGELMAN, Robert A; CHRISTENSEN, Clayton M; WHEELWRIGTH, Steven C. *Gestão Estratégica da Tecnologia e da Inovação*. 9788580550917, 2012. Citado 2 vezes na página 36.
- CANDIDO, Ana Clara. Inovação Disruptiva: Reflexões sobre as suas características e implicações no mercado. Lisboa, mai. 2011. Citado 4 vezes nas páginas 36, 37.

- CARVALHO, ANDRÉ CUTRIM; CASTRO, AURISTELA CORREA. *Implicações Socioeconômicas da COVID-19 no Brasil e no Mundo*. Editora Científica Digital, 2022. P. 0-269. ISBN 9786553600577. DOI: [10.37885/978-65-5360-057-7](https://doi.org/10.37885/978-65-5360-057-7). Citado 4 vezes nas páginas [18](#), [19](#).
- CASAS, CARMEN PHANG ROMERO et al. Avaliação de tecnologias em saúde: tensões metodológicas durante a pandemia de Covid-19. *Estudos Avançados*, v. 34, n. 99, p. 77-96, ago. 2020. ISSN 1806-9592. DOI: [10.1590/s0103-4014.2020.3499.006](https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.3499.006). Citado 1 vez na página [12](#).
- CHRISTENSEN, C. M. *The ongoing process of building a theory of disruption*. Boston, 2006. Citado 2 vezes nas páginas [36](#), [38](#).
- CNI, CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA -. Sondagem especial. In. Citado 3 vezes nas páginas [19](#), [22](#), [23](#).
- DA SILVA, Fabiane Padilha; LIMA, Aline P. Lins D; ALVES, Aline. *Gestão da inovação*. 9788595028005, 2018. Citado 6 vezes nas páginas [35](#), [37](#).
- DESDELANDES, Suely Ferreira; GOMES, Romeu. *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. Edição: Maria Cecília de Souza MINAYO. 1. ed. Petrópolis - RJ: Editora Vozes, ago. 2009. v. 1, p. -124. Citado 2 vezes nas páginas [14](#), [15](#).
- DINIZ, Eduardo H. Tecnologia em Tempos de Covid-19. *GV EXECUTIVO*, v. 19, n. 4, p. 47-47, 2020. Citado 1 vez na página [12](#).
- FARIAS, Fabricio Rocha et al. Inovações Tecnológicas nas Cooperativas de Crédito:: Investigação do Atendimento Mobile em uma Cooperativa de Crédito da Cidade de Guanhães-MG. *Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí*, Itajaí, p. 102-124, ago. 2021. Citado 1 vez na página [37](#).
- FERNANDES, Ramon Packer. Avaliação da exatidão geométrica de processo de manufatura aditiva. Florianópolis, jul. 2019. Citado 4 vezes nas páginas [27](#), [28](#), [32](#), [46](#).
- FORNASIER, MATEUS DE OLIVEIRA; KNEBEL, NORBERTO; SILVA, FERNANDA VI-ERO DA. 3D Printing: Opportunities, Risks and Regulation. *Revista Paradigma*, v. 30, p. 192-217, 1 mar. 2022. Disponível em: <https://revistas.unaerp.br/paradigma/article/view/1954>. Citado 4 vezes nas páginas [31](#), [34](#), [40](#).
- FRANÇOIS, PIERRE-MARC PIERRE-MARC et al. 3D-printed contact-free devices designed and dispatched against the COVID19 pandemic: the 3D COVID initiative. *eng. Journal of stomatology, oral and maxillofacial surgery*, Published by Elsevier Masson SAS, 2020. ISSN 2468-8509. Citado 1 vez na página [45](#).
- GOLDENBERG, Mírian. *A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais*. 8. ed. Rio de Janeiro: Editara Record, 2004. Citado 1 vez na página [14](#).

- ISO/ASTM 52900:2021. Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary. *International Organization for Standardization*, 2021. Citado 1 vez na página 24.
- KUMAR, KANDAMBATH PADINJAREVEETIL AKSHAY; PUMERA, MARTIN. 3D-Printing to Mitigate COVID-19 Pandemic. *Advanced Functional Materials*, v. 31, p. 2100450, 22 mai. 2021. ISSN 1616-301X. DOI: [10.1002/adfm.202100450](https://doi.org/10.1002/adfm.202100450). Citado 1 vez na página 33.
- LEIFER, Richard; O'CONNOR, Gina Colarelli; RICE, Mark. A implementação de inovação radical em empresas maduras. *Revista de Administração de Empresas*, v. 42, n. 2, p. 17–30, jun. 2002. ISSN 0034-7590. DOI: [10.1590/S0034-75902002000200016](https://doi.org/10.1590/S0034-75902002000200016). Citado 1 vez na página 37.
- LEMONS, ALBERTO DOS SANTOS D et al. *Covid-19: guia prático de infectologia*. Edição: Walter Luiz COUTINHO e Patrícia Alves SANTANA. 1. ed.: Editora Manole, 2020. P. - 109. Citado 4 vezes na página 17.
- LIRA, Valdemir M. *Processos de fabricação por impressão 3D: Tecnologia, equipamentos, estudo de caso e projeto de impressora 3D*. [ Editora Blucher, 2021. Citado 12 vezes nas páginas 25–31.
- LIU, FENG-CHAO et al. China's innovation policies: Evolution, institutional structure, and trajectory. *Research Policy*, v. 40, p. 917–931, 7 set. 2011. ISSN 00487333. DOI: [10.1016/j.respol.2011.05.005](https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.05.005). Citado 1 vez na página 21.
- LUCENA, FELIPE ANDRADE; ROSELINO, JOSÉ EDUARDO. A Indústria 4.0: Uma análise comparativa entre as experiências da: Alemanha, EUA, China, Coréia do Sul e Japão. In: p. 1227–1237. DOI: [10.5151/iv-enei-2019-6.6-005](https://doi.org/10.5151/iv-enei-2019-6.6-005). Citado 1 vez na página 21.
- MANERO, Albert et al. Leveraging 3D Printing Capacity in Times of Crisis: Recommendations for COVID-19 Distributed Manufacturing for Medical Equipment Rapid Response. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, p. 1–4634, 13 jun. 2020. ISSN 1660-4601. DOI: [10.3390/ijerph17134634](https://doi.org/10.3390/ijerph17134634). Citado 1 vez na página 19.
- MATTOS, João Roberto Loureiro D; GUIMARÃES, Leonam dos S. *Gestão da tecnologia e inovação: uma abordagem prática* -. 2. ed.: Editora Saraiva, 2013. P. 5–65. Citado 4 vezes nas páginas 35, 36.
- MAZZALI, Gabriela Banin. *Potencialidades da manufatura aditiva*. Abr. 2022. Universidade Federal de São Carlos. Citado 2 vezes na página 42.
- OLIVEIRA, Elton Henrique Alves de. Coronavírus: prospecção científica e tecnológica dos fármacos em estudo para tratamento da Covid-19. *Cadernos de Prospecção*, v. 13, n. 2, p. 412, abr. 2020. ISSN 2317-0026. DOI: [10.9771/cp.v13i2.36153](https://doi.org/10.9771/cp.v13i2.36153). Citado 1 vez na página 12.

- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAUDE, OMS. *Doença coronavírus (COVID-19)*. 2022. Disponível em: [https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1). Citado 1 vez na página 18.
- PAIVA, THIAGO NEVES; NOGUEIRA, CÁSSIO CIPRIANO. Estudo Comparativo das Principais Tecnologias de impressão 3d no Brasil. *JNT-Facit Business And Technology Journal*, v. 1, p. 193–2012, 2526-4281 mar. 2021. Citado 1 vez na página 30.
- PORTO NETO, VALDEMAR DE OLIVEIRA. *Indústria 4.0 – os desafios e oportunidades no Brasil em meio à pandemia de Covid-19*. Dez. 2021. F. 1–58. Universidade Federal de Ouro Preto. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20.
- PUPO, REGIANE TREVISAN. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 1, p. 80, 3 nov. 2008. ISSN 1980-6809. DOI: [10.20396/parc.v1i3.8634511](https://doi.org/10.20396/parc.v1i3.8634511). Citado 1 vez na página 30.
- RAYNA, Thierry; STRIUKOVA, Ludmila. *Digital Enterprise Design & Management*. Edição: P.-J Benghozi. Springer International Publishing, jan. 2014. P. 119–130. Citado 1 vez na página 40.
- SACOMANO, JOSÉ BENEDITO et al. *Indústria 4.0 : conceitos e fundamentos*. 2018. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21.
- SERRANO, Paulo Henrique Souto Maior; BALDANZA, Renata Francisco. Tecnologias disruptivas: o caso do Uber. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração*, v. 11, n. 5, p. 37–48, dez. 2017. ISSN 1982-2596. DOI: [10.12712/rpca.v11i5.1078](https://doi.org/10.12712/rpca.v11i5.1078). Citado 1 vez na página 37.
- SOUSA, José Guilherme Queiroz. Efeito dos parâmetros de impressão 3D na resistência à tração de peças impressas com filamento ABS. Russas, 2022. Citado 1 vez na página 26.
- SOUZA, ALEX SANDRO ROLLAND et al. Errata: General aspects of the COVID-19 pandemic. *Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil*, v. 21, p. 565–565, suppl 2 2021. ISSN 1806-9304. DOI: [10.1590/1806-9304202100s100003](https://doi.org/10.1590/1806-9304202100s100003). Citado 2 vezes nas páginas 17, 18.
- TCE, TRIBUNAL DE CONTAS EUROPEU -. TCE-Relatório "Digitalização da Indústria Europeia: uma iniciativa ambiciosa cujo êxito depende do empenho constante da UE, dos governos e das empresas". *Relatório Especial*, 2020. Citado 1 vez na página 21.
- TEIXEIRA JÚNIOR, F. *Análise dos métodos de pesquisa utilizados em artigos de administração da informação: levantamento dos artigos publicados nos ENANPAD's de 1999 a 2001*. Salvador, 2002. Citado 1 vez na página 15.
- VERGARA, Sylvia Constant. *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 2016. ed.: Editora Atlas, 1998. Citado 1 vez na página 15.

VOLPATO, NERI et al. *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. Edição: NERI VOLPATO. 1. ed.: Editora Edgard Blücher Ltda., 2017. P. -417. Citado 4 vezes nas páginas 23, 24, 31, 32.

WAGELS, MICHAEL; HUTMACHER, DIETMAR. Three-dimensional printing in a pandemic: panacea or panic? *Medical Journal of Australia*, v. 213, n. 6, p. 267–268, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5694/mja2.50753>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.5694/mja2.50753>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.5694/mja2.50753>. Citado 1 vez na página 45.

WANG, YANEN et al. Applications of additive manufacturing (AM) in sustainable energy generation and battle against COVID-19 pandemic: The knowledge evolution of 3D printing. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 60, p. 709–733, jul. 2021. ISSN 02786125. DOI: [10.1016/j.jmsy.2021.07.023](https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.023). Citado 9 vezes nas páginas 18, 42, 46.