



# **Hub da Inovação: Impressão 3D de Metais**

**Observatório  
Nacional da  
Indústria**







# **HUB DA INOVAÇÃO**

## **IMPRESSÃO 3D DE METAIS**



**CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI**

*Antonio Ricardo Alvarez Alban*

Presidente

**Diretoria de Desenvolvimento Industrial**

*Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti*

Diretor

**Diretoria de Relações Institucionais**

*Roberto de Oliveira Muniz*

Diretor

**Diretoria de Tecnologia e Inovação**

*Jefferson de Oliveira Gomes*

Diretor

**Diretoria de Comunicação**

*Ana Maria Curado Matta*

Diretora

**Diretoria Jurídica**

*Alexandre Vitorino Silva*

Diretor

**Diretoria Corporativa**

*Cid Carvalho Vianna*

Diretor

© 2024. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

CNI

**Observatório Nacional da Indústria**

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

C748h

Confederação Nacional da Indústria.

Hub da inovação : impressão 3d de metais / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília : CNI, 2024.

83 p.: il.

1.Inovação. 2. Impressão 3D de Metais. I. Título.

CDU: 330.341.1

---

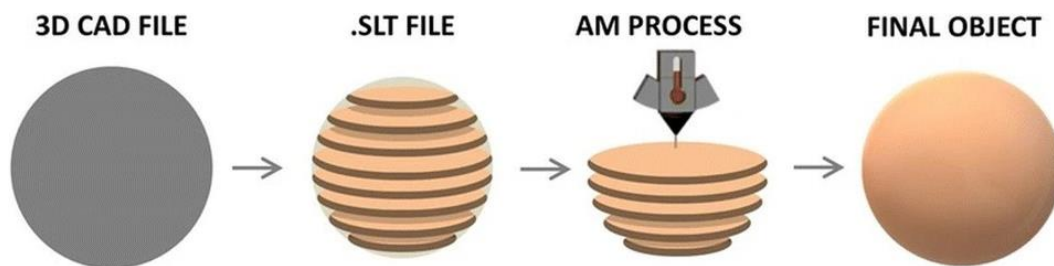
CNI  
Confederação Nacional da Indústria  
**Sede**  
Setor Bancário Norte  
Quadra 1 – Bloco C  
Edifício Roberto Simonsen  
70040-903 – Brasília – DF  
<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC  
Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992  
[sac@cni.com.br](mailto:sac@cni.com.br)

## A Impressão 3D: mudando o paradigma da produção de bens e serviços

A manufatura aditiva (AM), também conhecida como impressão 3D, é um processo de união de materiais para se fazer objetos a partir de modelos 3D, geralmente adicionando camada sobre camada de materiais, em oposição a dados subtrativos das metodologias tradicionais de fabricação.

Processo esquemático de obtenção de uma peça



A impressão 3D ou manufatura aditiva é a grande inovação na produção de objetos, quer sejam metálicos ou não, que estão provocando mudanças rápidas no mercado em geral. Em praticamente todo setor surgem aplicações da tecnologia 3D, tais como: aeroespacial, automobilístico, construção civil, medicina, moda, joias etc.

Os produtos gerados na impressão 3D são customizados, de forma simples ou complexas, a partir de materiais diversos (polímeros, metais e outros), mais leves comparativamente com outros processos, além de apresentarem boa qualidade e boa resistência mecânica, redução de custo de fabricação etc. Dentre os principais processos de produção de manufatura aditiva estão: Fused Deposition Modelling (FDM), Direct Ink Writing (DIW), Inkjet Printing (IP), Digital Light Printing (DLP) e Stereolithography (SLA).

As receitas e as demandas por essa tecnologia têm movimentado o cenário global, tendo a China, os Estados Unidos e o Japão como grandes países nessa área. A demanda global avaliada em 2019 foi de 1848,9 tons e espera-se um crescimento até 10.763,5 tons, um CAGR de 24,6% (Compound Annual Growth Rate - Taxa de Crescimento Anual Composta), considerando 2019 até 2027. Em termos de receita, o mercado foi avaliado em USD 312,6 milhões em 2019 e prevê-se que alcance USD 1548,8 milhões até 2027, com um CAGR de 22,1% no mesmo período.

[Tamanho de Mercado e Previsão de Crescimento da Impressão 3D de Metais \(uri.sh\)](#)

A introdução da impressão 3D está resultando em benefícios significativos, como economia de custos e maior flexibilidade na fabricação de peças. A cadeia de valor no ecossistema da manufatura aditiva é constituída pelos fornecedores de materiais, provedores de equipamentos, empresas de software, fluxo de materiais e de informações, chegando ao consumidor final pela entrega de produtos e serviços.

[Principais Fornecedores da Área de I3D de Metais \[Mundo\] \(uri.sh\)](#)

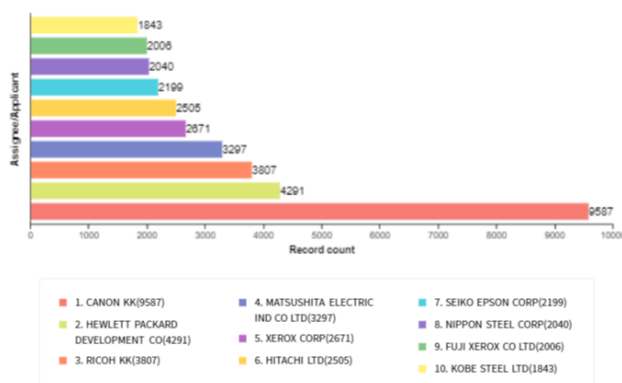
Várias indústrias demonstraram um interesse significativo na adoção de tecnologias de impressão 3D. Isto inclui setores como a aeroespacial, a automobilística, a construção civil e a medicina, que estão a melhorar os seus produtos e a agilizar os seus processos de produção com a ajuda da impressão 3D.

#### [Principais Usuários Finais da I3D de Metais \[Mundo\] \(uri.sh\)](#)

A produção orientada por aplicações está ganhando força, à medida que todos os conceitos de fábrica são orientados por aplicações. Espera-se que esta estratégia de tendências digitalize a produção industrial, incluindo a otimização de impressoras 3D industriais, periféricos e pós-processamento. Além disso, o mercado de Manufatura Aditiva testemunha mais investimentos no espaço de sustentabilidade. Estes investimentos apoiam a tendência atual para um ecossistema amigo do ambiente.

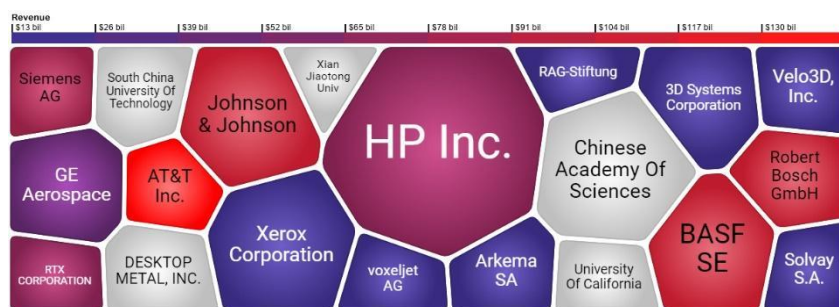
As empresas multinacionais se apresentam como principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais. Verifica-se que dentre os 10 depositantes, encontram-se multinacionais como: Canon, Seiko, Hewlett Packard e a Xerox.

Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais.



Outro aspecto interessante é sobre os depositantes de patente de impressão 3D e sua receita. Entre os principais players estão empresas como HP, Xerox, GE Aerospace, BASF, Bosch e Johnson & Johnson. Além disso, algumas universidades, como a University of California, South China University of Technology e Xian Jiaotong University, também se destacam nesse campo.

Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais x Receita.



Os setores de aviação e saúde são os dois maiores mercados para a impressão 3D em metais, tanto em termos de receita quanto de volume. A previsão é que esses dois setores mantenham suas posições até 2027.

[Mercado e Projeção de Crescimento por Setor da I3D de Metais \(uri.sh\)](#)

[Projeção de Crescimento Global em Volume por Aplicação \[Mundo\] \(uri.sh\)](#)

As empresas fornecedoras de serviços de impressão 3D no Brasil possuem atuação diversa, como: Software, impressoras 3D, consultoria, modelagem e cursos.

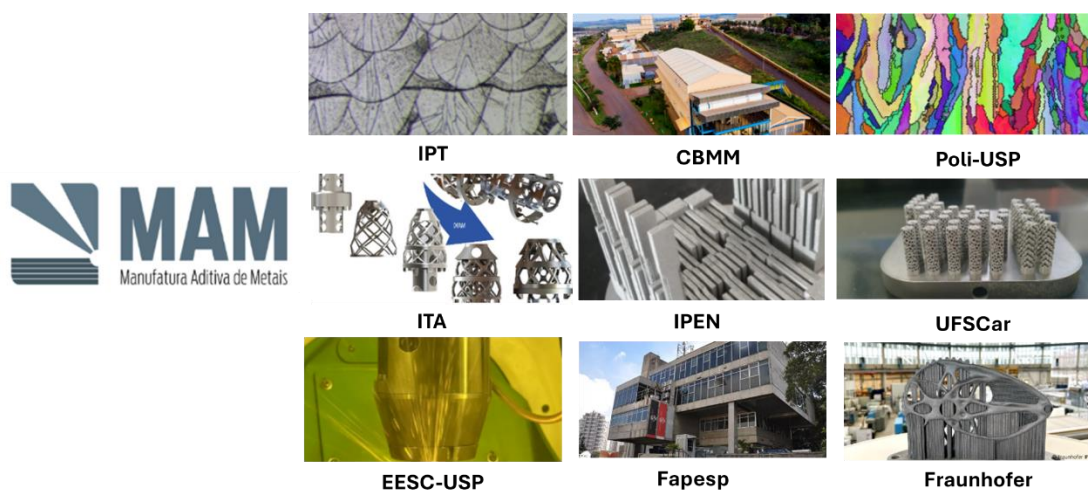
[Empresas que atuam na Área de I3D \[Brasil\] \(uri.sh\)](#)

Em termos de receita, o Brasil registrou USD 171 milhões em 2019, com expectativa de alcançar USD 572 milhões em 2027. O mercado no Brasil pode crescer em um CAGR de 11,6% em receita de 14,4% em volume.

[Projeção crescimento \[Brasil\] \(uri.sh\)](#)

O Núcleo de Pesquisa em Manufatura Aditiva de Metais foi lançado no campus do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para desenvolver a cadeia produtiva de manufatura aditiva de metais a partir do enfrentamento de gargalos tecnológicos ainda existentes em cada etapa da cadeia.

#### Rede MAM



No Brasil as aplicações começam a tomar fôlego, sendo centros de pesquisas, universidades e grandes empresas as propulsoras desse movimento.



## LISTA DE FIGURAS

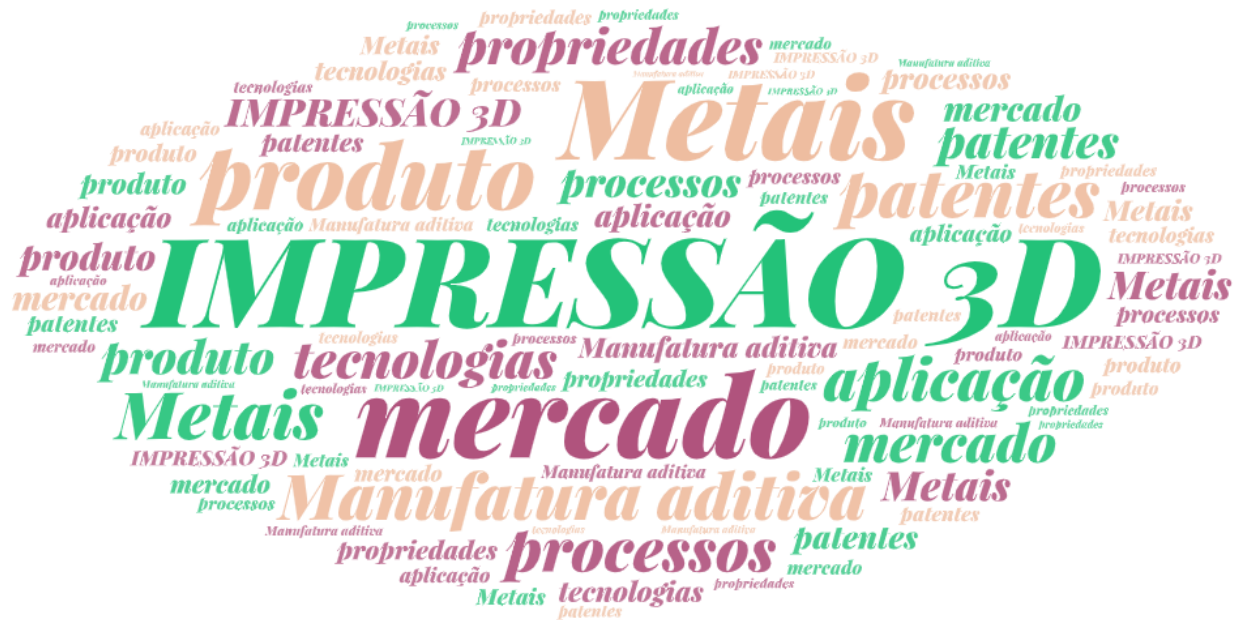
|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - O processo esquemático de obtenção de uma peça. ....                                                                       | 12 |
| Figura 2 - Características para escolha da impressão 3D .....                                                                         | 13 |
| Figura 3 - Cadeia de valor e o ecossistema da manufatura aditiva.....                                                                 | 14 |
| Figura 4 - Processo layer by layer da Impressão 3D.....                                                                               | 15 |
| Figura 5 - Parâmetros do processo AM.....                                                                                             | 15 |
| Figura 6 - Principais processos utilizados para impressão 3D de metais .....                                                          | 16 |
| Figura 7 - Comparação processos PBF e DED .....                                                                                       | 16 |
| Figura 8 - Esquemas de diversos processos, suas potencialidades e fraquezas .....                                                     | 17 |
| Figura 9 - Diagrama síntese sobre técnicas, processos e materiais para impressão 3D .....                                             | 17 |
| Figura 10 - Panorama tecnológico de impressão 3D.....                                                                                 | 21 |
| Figura 11 - Diferença entre impressão 3D e 4D .....                                                                                   | 22 |
| Figura 12 - Tecnologias de Manufatura Aditiva .....                                                                                   | 23 |
| Figura 13 - Manufatura Aditiva por metal e suas características .....                                                                 | 24 |
| Figura 14 - Exemplo de aplicação de gradiente entre Ti-6Al-4V e Nb .....                                                              | 25 |
| Figura 15: Gráfico das Etapas do Ciclo de Inovação Hype-Gartner.....                                                                  | 27 |
| Figura 16 - Hype Gartner Cycle para o mercado de impressão 3D .....                                                                   | 28 |
| Figura 17 - Publicações científicas de 2010-2020 de tecnologias de impressão 3D .....                                                 | 29 |
| Figura 18 - Framework para o entendimento de valor e passos da AM .....                                                               | 30 |
| Figura 19 - Principais países depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais ....                                         | 31 |
| Figura 20 - Principais Áreas de desenvolvimento Tecnológico .....                                                                     | 32 |
| Figura 21 - Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais. ....                                               | 32 |
| Figura 22 - Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais x Receita.<br>.....                                 | 33 |
| Figura 24 - Principais inventores de patentes de Impressão 3D de Metais.....                                                          | 34 |
| Figura 25 - Themescape Map 1 do Impressão 3D de Metais .....                                                                          | 35 |
| Figura 26 - Themescape Map 2 do Impressão 3D de Metais. ....                                                                          | 36 |
| Figura 27 - Principais países que desenvolvem tecnologias/produtos com o Impressão 3D de<br>Metais.....                               | 37 |
| Figura 28 - Principais Mercados para as invenções à base de Impressão 3D de Metais. ....                                              | 37 |
| Figura 29 – Mercado e Projeção de Crescimento da I3D de metais .....                                                                  | 39 |
| Figura 30 - Market Share Global (Receita) por setor, em 2019 .....                                                                    | 40 |
| Figura 31 - Crescimento de volume (tons) por forma no Mundo .....                                                                     | 42 |
| Figura 32 - Projeção de crescimento global (Receita, em USD Mi) por forma de deposição. ....                                          | 43 |
| Figura 33 - Mercado global de I3D de metais por materiais (Volume, em tons) .....                                                     | 44 |
| Figura 34 - Mercado global de I3D de metais por materiais (Receita, em USD Mi).....                                                   | 45 |
| Figura 35 - Mercado global de I3D de metais por setores (Volume, em tons). ....                                                       | 45 |
| Figura 36 - Mercado global de I3D de metais por setores (Receita, em USD Mi).....                                                     | 46 |
| Figura 37 - (a) Bocal do foguete Vulcain 2 (b) Suporte de titânio para aeronave AW350 XWB. 47                                         |    |
| Figura 38 - Implante espinhal (malha - MM) personalizado impresso em 3D em Ti-6Al-4V (MM)<br>pelo CT-CAD.....                         | 48 |
| Figura 39 - Ilustração dos desafios e perspectivas de impressão de implantes em 3D para<br>aplicações ortopédicas.....                | 48 |
| Figura 40 - (a) Componente de suspensão de carro não otimizado e (b) otimizado a partir de<br>algoritmos que minimizam seu peso. .... | 49 |
| Figura 41 - Inserto de molde impresso em aço para injeção de bocais de inaladores médicos. 49                                         |    |

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 42 - CO2 por setor/ambiente e participação das aplicações de construção em aço. a) Consumo global de CO2; b) Consumo na construção civil; c) Uso global de aço. .... | 50 |
| Figura 43 - Nó Nematox renderizado (a) e protótipo de alumínio (b) .....                                                                                                    | 51 |
| Figura 44 - Viga sendo construída utilizando impressão 3D por arame e arco-elétrico (WAAM) com braço robótico. ....                                                         | 51 |
| Figura 45 - Market Share global por região (Receita) .....                                                                                                                  | 52 |
| Figura 46: Mercado e Projeção de Crescimento da Receita (\$Mil) de I3d de Metais por Região .....                                                                           | 53 |
| Figura 47: Projeção de Uso da I3d de Metais por Volume (ton) por Região. ....                                                                                               | 53 |
| Figura 48: Principais Fornecedores da Área de I3D de Metais no Mundo.....                                                                                                   | 55 |
| Figura 49: Principais Fornecedores da Área de I3D de Metais no Mundo.....                                                                                                   | 56 |
| Figura 50 - Startups relacionadas a impressão 3D de metais .....                                                                                                            | 57 |
| Figura 51 - Mercado de I3D de metais no Brasil dividido por setores .....                                                                                                   | 61 |
| Figura 52 - Projeção de crescimento do mercado de I3D de metais no Brasil .....                                                                                             | 62 |
| Figura 53: Mercado e Projeção de Crescimento Global em Receita (\$Mil) por Setor no Brasil .                                                                                | 63 |
| Figura 54: Rede MAM.....                                                                                                                                                    | 65 |
| Figura 55 - Processo de impressão 3D SLM e peças obtidas.....                                                                                                               | 66 |
| Figura 56: Aplicações Médicas de Manufatura Aditiva do CTI Renato Archer. ....                                                                                              | 67 |
| Figura 57: Análise Estrutural de um Osso Implante gerado por Métodos dos Elementos Finitos. ....                                                                            | 68 |
| Figura 58 - Empresas fornecedoras de serviços relacionados a Impressão 3D .....                                                                                             | 68 |
| Figura 59: Startups que atuam no mercado de Impressão 3D de Metais no Brasil.....                                                                                           | 70 |
| Figura 60 - Etapas da Cadeia de Processos da impressão 3D .....                                                                                                             | 71 |
| Figura 61 - Cursos de impressão 3D .....                                                                                                                                    | 76 |

## SUMÁRIO

|      |                                                                  |    |
|------|------------------------------------------------------------------|----|
| 1.   | CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA.....                                | 12 |
| 1.1. | Introdução.....                                                  | 12 |
| 1.2. | Função da Tecnologia.....                                        | 12 |
| 1.3. | Requisitos para funcionamento da Tecnologia.....                 | 14 |
| 1.4. | Diferenciais da Tecnologia .....                                 | 20 |
| 1.5. | Gartner Hype Cycle .....                                         | 26 |
| 1.6. | Indicadores.....                                                 | 28 |
| 2.   | ANÁLISES DE PATENTES.....                                        | 31 |
| 3.   | ESTUDO DE MERCADO .....                                          | 39 |
| 3.1. | Setores nos quais a tecnologia se insere .....                   | 39 |
| 3.2. | Análise de Mercado.....                                          | 40 |
| 3.3. | Detalhamento do Setor Principal.....                             | 54 |
| 3.4. | Principais Players Internacionais de Impressão 3D de Metais..... | 55 |
| 3.5. | Análise de Pestel .....                                          | 58 |
| 3.6. | Legislação / Regulamentação.....                                 | 59 |
| 3.7. | Modelo para captura do potencial de valor da tecnologia.....     | 61 |
| 3.8. | Análise de Mercado no Brasil.....                                | 62 |
| 4.   | ANÁLISE DE DEMANDAS POR TREINAMENTOS E QUALIFICAÇÃO.....         | 70 |
| 5.   | REFERÊNCIAS .....                                                | 77 |

**Palavras-chave: Impressão 3D, mercado, metais, manufatura aditiva, produto, patentes, processos, tecnologias, propriedades e aplicação**





## 1. CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA

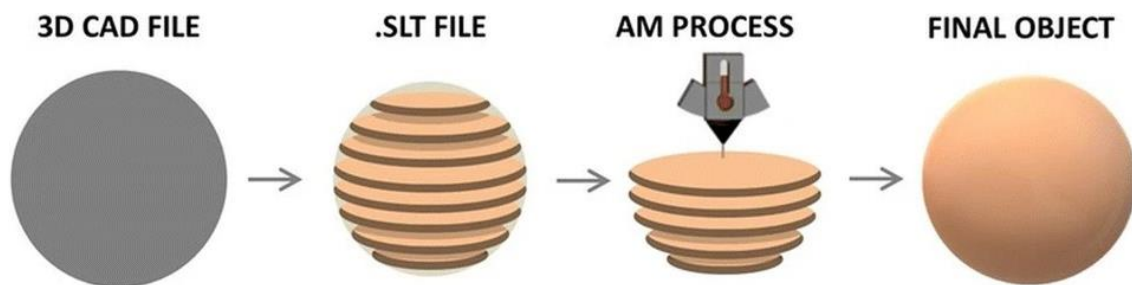
### 1.1. Introdução

A tecnologia de impressão 3D está sendo considerada uma revolução dentro das organizações em geral, pois traz impactos em diversas áreas, tanto para as empresas, seus fornecedores e o próprio mercado. As aplicações estão acontecendo em diferentes ramos de atividades, quer seja em manufatura como em serviços. O vídeo seguinte, traz de forma contundente, as potencialidades dessa tecnologia.

|                   |                                                                                                       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Assista ao vídeo: | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=k0poVtBhIsQ">https://www.youtube.com/watch?v=k0poVtBhIsQ</a> |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Os aspectos sustentáveis da impressão 3D (**Figura 1**), como menos desperdício de material, menos pós-processamento e muito menos custos, mesmo para a fabricação de peças complexas, fazem da impressão 3D uma tecnologia do futuro. Os outros aspectos sustentáveis incluem o potencial da impressão 3D para reutilizar materiais, reciclar e reduzir emissões. A tecnologia também é capaz de produzir projetos com geometrias complexas e otimizadas, que auxiliam no desenvolvimento de peças com leveza e melhor relação resistência/peso. Portanto, o uso da Impressão 3D ajuda a produzir designs sustentáveis (Jandyal et al., 2022).

Figura 1 - O processo esquemático de obtenção de uma peça.



Fonte: Ghilan et. all. 2020 (adaptação)

### 1.2. Função da Tecnologia

O mercado de máquinas de processamento de metais consiste na fabricação e venda de equipamentos, tais quais: ferramentas de corte, máquinas ferramentas de corte e de conformação de metais, acessórios de máquinas ferramentas, máquinas de trefilação de metais, montagem de máquinas, fabricação de máquinas, moldagem e processamento de metais, equipamentos para prensagem, matrizes especiais, ferramentas e dispositivos.

Valor neste mercado, consiste nos produtos vendidos pelos fabricantes ou criadores de produtos, sem outras entidades (incluindo fornecedores de manufaturados, atacadistas, distribuidores e varejistas) ou venda direta aos consumidores. O valor dos produtos no mercado inclui serviços vendidos pelos criadores dos produtos. E de uma outra forma, pode-se definir, que o valor de mercado são as receitas que as empresas ganham, através das vendas de produtos e serviços dentro de um mercado específico e geográfico via vendas, subvenções ou doações, em termos de moeda corrente (Metalworking Machinery Global, 2023)

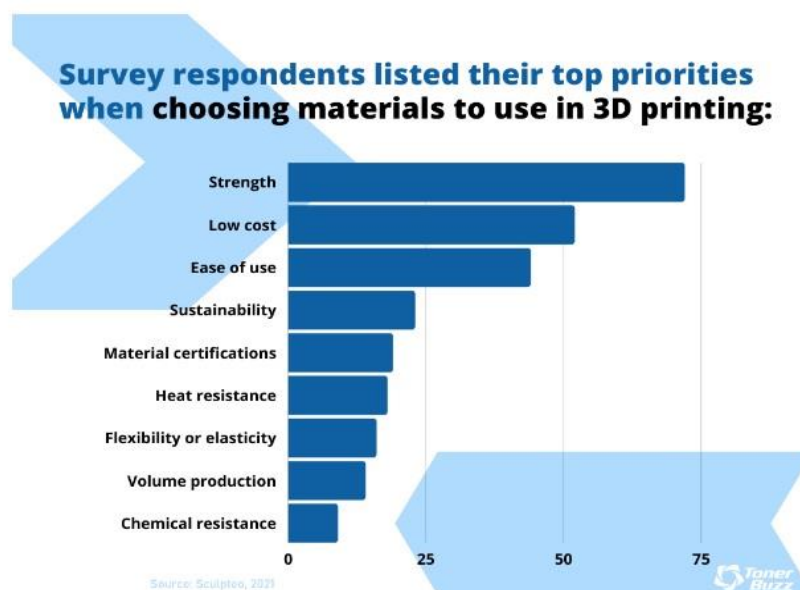
Não há como negar que a impressão 3D se tornou um assunto amplamente discutido no domínio da tecnologia. Não é surpreendente, considerando que apenas algumas décadas atrás, construir uma casa levaria pelo menos um ano, enquanto agora podemos simplesmente imprimir uma em um tempo relativamente curto.

Várias indústrias demonstraram um interesse significativo na adoção de tecnologias de impressão 3D. Isto inclui setores como a aeroespacial, a automobilística, a construção civil, a medicina e até a indústria alimentícia, que estão a melhorar os seus produtos e a agilizar os seus processos de produção com a ajuda da impressão 3D.

|                   |                                                                                                       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Assista ao vídeo: | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=a42znmU6BLE">https://www.youtube.com/watch?v=a42znmU6BLE</a> |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Uma questão que pode ser colocada, é que características dos materiais levam as empresas a escolherem a impressão 3D. A **Figura 2**, fornece a resposta a essa questão.

Figura 2 - Características para escolha da impressão 3D

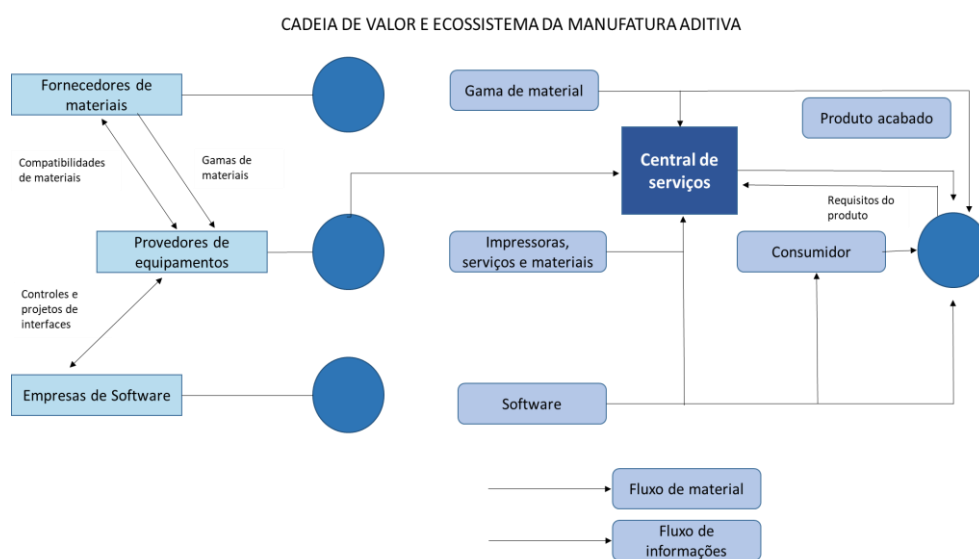


Fonte: 3D Printing Statistics (2023 Additive Manufacturing Data)

A produção orientada por aplicações está ganhando força, à medida que todos os conceitos de fábrica são orientados por aplicações. Espera-se que esta estratégia de tendências digitalize a produção industrial, incluindo a otimização de impressoras 3D industriais, periféricos e pós-processamento. Além disso, o mercado de Manufatura Aditiva testemunha mais investimentos no espaço de sustentabilidade. Estes investimentos apoiam a tendência atual para um ecossistema amigo do ambiente.

Na **Figura 3**, pode-se ver a cadeia de valor no ecossistema da manufatura aditiva, onde se constata fornecedores de materiais, provedores de equipamentos, empresas de software, fluxo de materiais e de informações, chegando ao consumidor final pela entrega de produtos e serviços.

Figura 3 - Cadeia de valor e o ecossistema da manufatura aditiva



Fonte: A Closer Look at the 3D Printing State of the Market. (Adaptada).

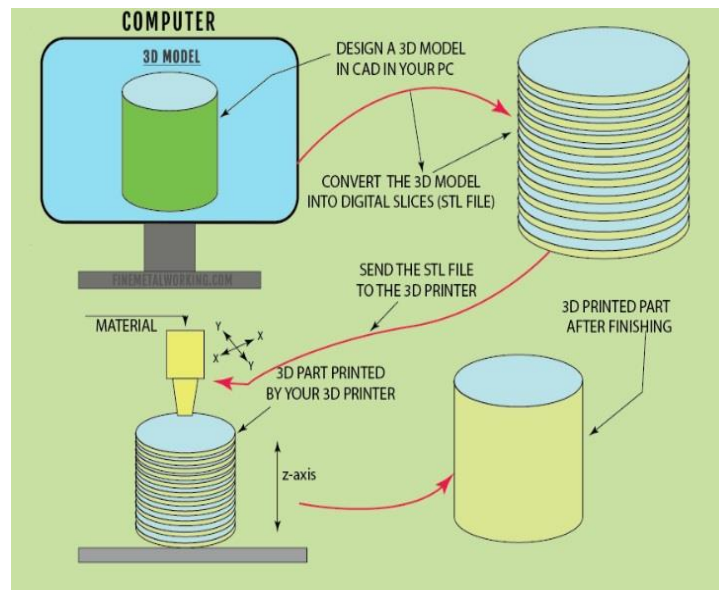
### 1.3. Requisitos para funcionamento da Tecnologia

A manufatura aditiva (AM), também conhecida como impressão 3D, é um processo de união de materiais para fazer objetos a partir de modelo 3D, geralmente adicionando camada sobre camada de materiais (**Figura 4**), em oposição a dados subtrativos das metodologias tradicionais de fabricação.

Esse tipo de abordagem de fabricação (impressão 3D) pode dar à indústria nova flexibilidade de design, reduzir uso de energia e reduzir o tempo de lançamento de produtos no mercado. O vídeo seguinte mostra 5 processos de impressão 3D.

|                   |                                                                                                          |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Assista ao vídeo: | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=HT2aodYuKus">https://www.youtube.com/watch?v=HT2aodYuKus</a> ). |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|

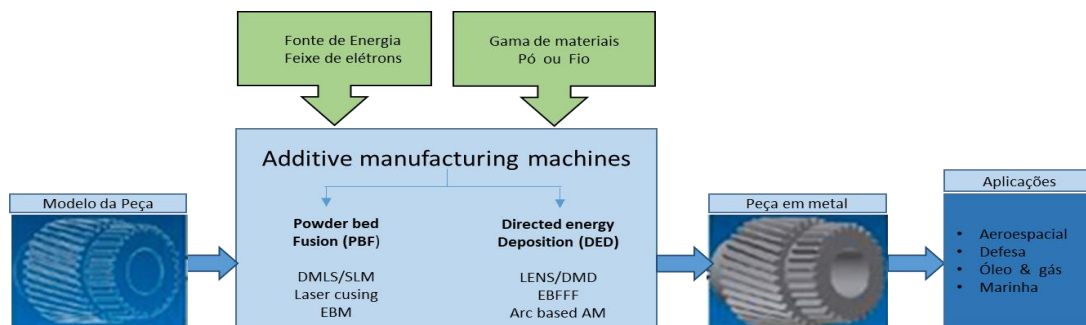
Figura 4 - Processo layer by layer da Impressão 3D



Fonte: Fine Metal Working.

Os dois principais parâmetros de qualquer processo AM de metal são o tipo de matéria-prima de entrada material e a fonte de energia usada para formar a peça. Matéria-prima de entrada pode ser utilizada na forma de pó metálico ou fio, enquanto feixe ou arco de laser/elétrons podem ser usados como fonte de energia (**Figura 5**).

Figura 5 - Parâmetros do processo AM.



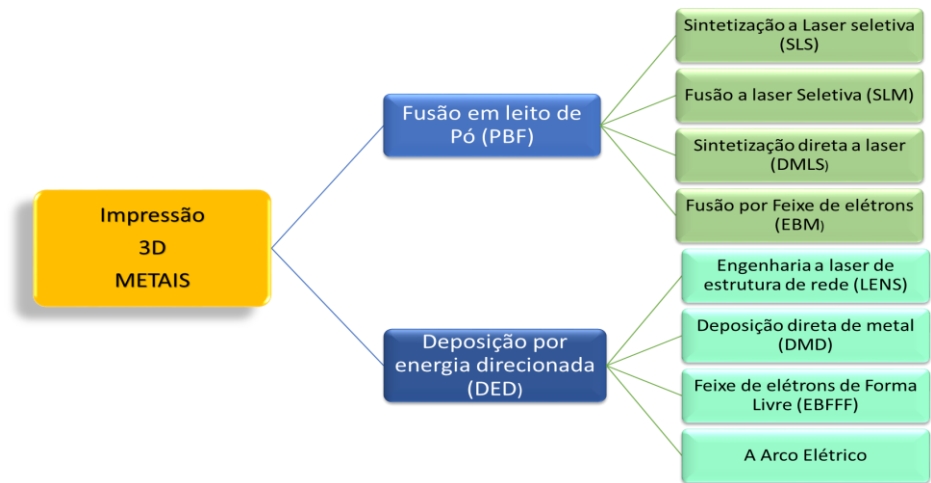
Fonte: 3D Metal Printing Technology (Duda e Raghavan, 2016). (Adaptação)

Os processos AM de metal podem ser amplamente classificados em dois principais grupos: tecnologias baseadas em Powder Bed Fusion (PBF) e tecnologias baseadas em Deposição Direcionada de Energia (DED) (Duda e Raghavan, 2016; Molitch-Hou, 2018, p. 10). Ambas as tecnologias podem ser ainda classificadas com base no tipo de fonte de energia usada (Duda e Raghavan, 2016), conforme mostra a **Figura 6**.

Nas tecnologias baseadas em PBF, a energia térmica funde seletivamente regiões do leito de pó. Sinterização/derretimento seletivo a laser (SLS/SLM), laser de sinterização direta a laser de metal (DMLS) curing e fusão por feixe de elétrons (EBM) são os principais processos representativos de tecnologias baseadas em PBF. No processo PBF, DMLS é um processo de fabricação

aditiva (AM) ou prototipagem rápida (RP) que usa pó metálico e um laser de alta potência para sinterizar uma parte utilizável. Este método é capaz de produzir peças muito densas, mas para obter estanqueidade a gás ou pressão, pós-tratamento muitas vezes é necessário.

Figura 6 - Principais processos utilizados para impressão 3D de metais



Fonte: Duda e Raghavan (2016). (ADAPTAÇÃO)

Nas tecnologias baseadas em DED, a energia térmica focada é usada para fundir materiais (em forma de pó ou fio), derretendo-os à medida que são sendo depositados. Modelagem de rede projetada a laser (LENS), Deposição direta de metal (DMD), forma livre de feixe de elétrons Fabricação (EBFFF) e AM baseada em arco são algumas das tecnologias populares baseadas em DED. DMD é menos difundida para a fabricação aditiva de uma peça inteira (enquanto exceção existe, RPD), principalmente devido à menor precisão e necessidade pós-processamento. Pelo contrário, o DED tem uma longa história em aplicação de reparo de peças.

A **Figura 7** traz uma comparação entre os processos PBF e DED para a manufatura aditiva (AM), considerando os seguintes critérios: velocidade de construção (deposição), acuracidade, capacidade, qualidade da superfície, dimensões máximas das peças, preço médio do sistema (em Euros), área foco e número de sistemas instalados.

Figura 7 - Comparação processos PBF e DED

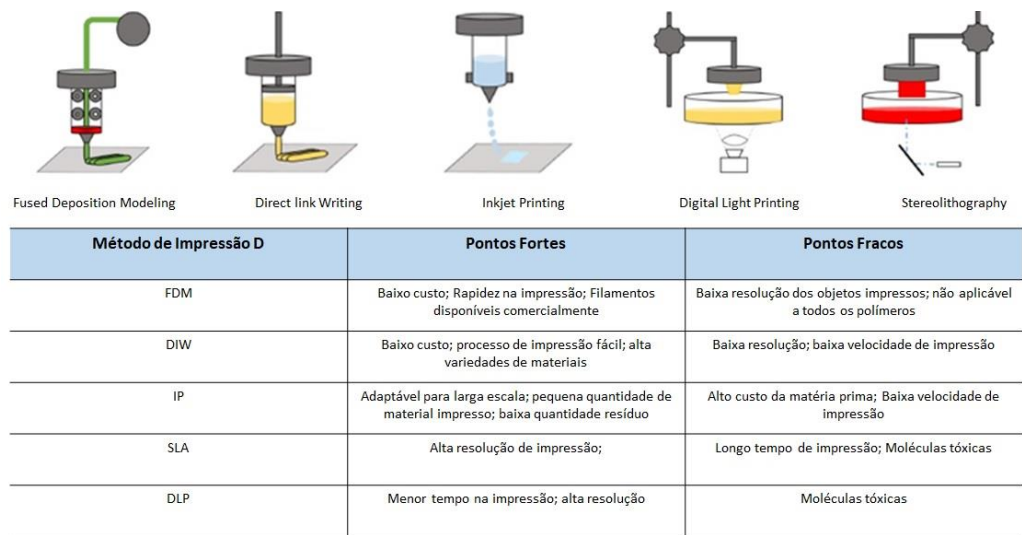
| CRITERIA          | LASER POWDER BED FUSION                                | DIRECTED ENERGY DEPOSITION                                          |
|-------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Build speed       | 5-20 cm³/h (~40-160 g/h)                               | Up to 0.5 kg/h (~70 cm³/h)                                          |
| Accuracy          | +/- 0.02-0.05 mm/25 mm                                 | +/- 0.125-0.25 mm/25 mm                                             |
| Detail capability | 0.04-0.2 mm                                            | 0.5-1.0 mm                                                          |
| Surface quality   | Ra 4-10 µm                                             | Ra 7-20 µm                                                          |
| Max. part size    | 500 mm x 280 mm x 325 mm                               | 2,000 mm x 1,500 mm x 750 mm                                        |
| Avg. system price | EUR 450,000-600,000                                    | EUR 500,000-800,000                                                 |
| FOCUS AREA        | > Rapid prototyping<br>> Direct manufacturing of parts | > Repair of worn components<br>> Modification of tooling for re-use |
| INSTALLED SYSTEMS | ~990                                                   | ~90                                                                 |
|                   | FOCUS OF STUDY                                         |                                                                     |

Fonte: 3D Metal Printing Technology (Duda e Raghavan, 2016).



Ainda se pode verificar, uma breve comparação, entre os diversos processos de obtenção de peças, conforme pode ser visto na **Figura 8**. Nessa figura se pode constatar: os esquemas dos processos, as potencialidades e suas fraquezas.

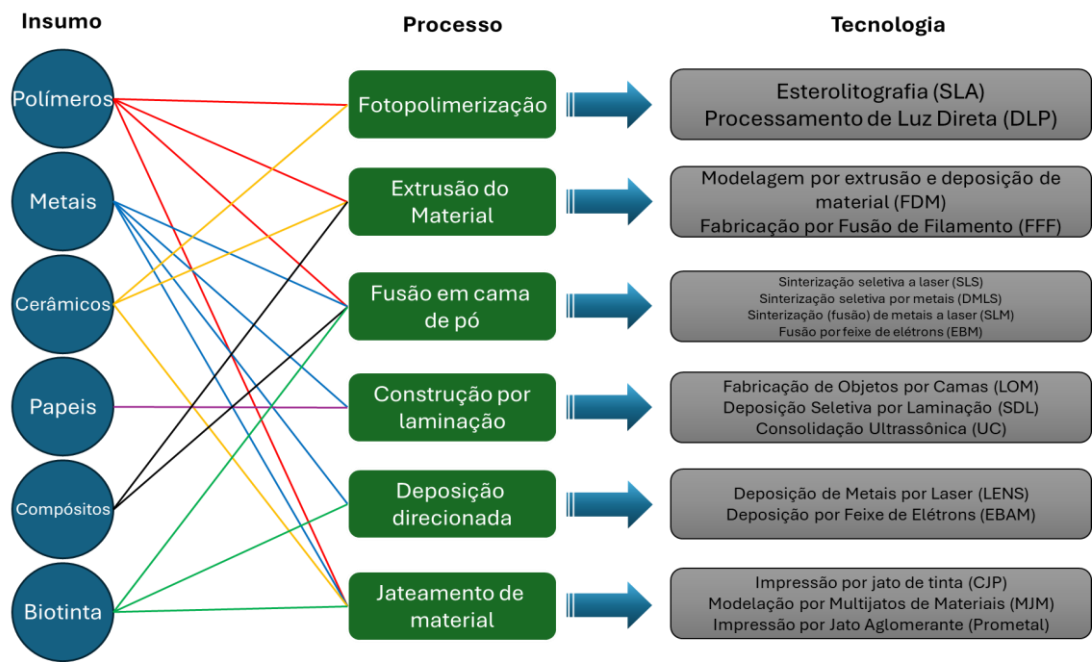
Figura 8 - Esquemas de diversos processos, suas potencialidades e fraquezas



Fonte: 3D Printing of Layered Structures (Martinelli et al, 2023) (ADAPTAÇÃO)

No Brasil, os principais fornecedores de equipamentos e materiais metálicos (pó) estão mostrados no item 3.2 (mercado). Já **Figura 9**, há um esquema da relação entre os insumos, processos e tecnologias da impressão 3D.

Figura 9 - Diagrama síntese sobre técnicas, processos e materiais para impressão 3D



Fonte: Sampaio et al., 2022

### **Pontos críticos:**

Há regulamentações, padrões e guidelines que os vendedores de impressoras 3D precisam atender. Como no cenário atual há mais disponibilidade de impressoras 3D e tornou-se mais fácil para os novos participantes ingressarem no mercado. E dessa forma, os novos entrantes precisam concentrar-se em soluções inovadoras (Mordor Intelligence, 2021b).

Especialistas externos beneficiam e reduzem significativamente os custos de introdução e aplicação de sistemas de manufatura aditiva. A introdução deve ser apoiada por treinamentos adequados passo a passo, juntamente com a integração dos sistemas de desenvolvimento de manufatura aditiva (Hanreich, 2017). No caso das empresas pequenas, o custo de investimento e falta de mão de obra qualificada é um fator crítico (Martinsuo e Luomaranta, 2018). Isto também impulsiona a afirmação anterior quanto à procura de parcerias externas.

Uma solução ser fácil ou não, dependerá dos recursos que a empresa tiver em questão de equipamentos como microscópios, máquinas de testes mecânicos e mão de obra qualificada para avaliar os produtos impressos. Segundo Kabaldin et al. (2023) o método de impressão 3D mais simples, conveniente e rápido é o processo ao arco elétrico. Um material de partida conveniente nesse processo é o fio de metal (incluindo fio produzido a partir de pó). O fio é facilmente produzido, armazenado e transportado. Essa tecnologia permite a produção oportuna dos componentes necessários. A análise realizada mostra que a falha de tais componentes está associada a defeitos estruturais no metal impresso em 3D. As pobres propriedades mecânicas dos metais impressos em 3D podem ser atribuídas à presença de defeitos (poros, inclusões etc.) na estrutura do metal.

A análise realizada evidencia que a densidade de defeitos e a diminuição percentual nas propriedades mecânicas do metal na impressão 3D em comparação com o metal laminado tradicional se correlacionam com a condutividade térmica do metal. Em outras palavras, a perda de resistência é maior para metais menos condutores. Além disso, os grãos de perlita maiores são formados perto do contorno do grão ao invés de ser formado na profundidade da camada. Portanto, a deposição camada por camada de metal é acompanhada pela formação de uma falha macroscópica no contorno da estrutura cristalina e pelo surgimento de altas tensões internas. Isso pode ser considerado o principal fator. Para sanar este problema, o tratamento térmico adicional do componente de metal impresso em 3D diminui as tensões internas e melhora a homogeneidade estrutural, especialmente nos contornos das camadas, melhorando suas propriedades mecânicas.

Em resumo, para este caso de defeito, é necessário avaliar propriedades mecânicas do material com realização de testes (tensão-deformação) e análise metalográfica e verificar a necessidade de tratamento térmico posterior para melhorar as tensões geradas pelo processo.

Pant et al. (2022) explicam que na maioria dos casos, a baixa qualidade é

causada por tolerâncias dimensionais insuficientes, compactação superficial insatisfatória e defeitos, o que restringe o uso em aplicações de alto valor. As deficiências levam à formação de defeitos, tornando-se um obstáculo para a precisão e confiabilidade de sistemas de peça para peça, material para material e máquina para máquina. Compreender o fenômeno da formação de defeitos pode ajudar a melhorar a eficiência do processo e o desenvolvimento do produto.

Muitos estudos foram realizados na otimização de parâmetros do processo, conforme mencionado na seção anterior, sobre como diferentes parâmetros do processo influenciam as qualidades mecânicas das peças de I3D em metal. É necessário otimizar as configurações da máquina para evitar a formação de defeitos. Além disso, é importante interpretar o comportamento em tempo real das peças em software de simulação, como software de análise de elementos finitos, como Simufact ADDITIVE, ANSYS 3D SIM/Additive Print ou Additive Suite, e Virfac Additive. Os softwares de simulação são úteis para examinar a deformação térmica e as propriedades mecânicas antes dos experimentos, mas exigem grande potência computacional e tempo para análise (Pant *et al.*, 2022).

Métodos de teste não destrutivo (NDT) são aplicados para caracterizar a complexidade anisotrópica, geométrica e microestrutural, bem como o comportamento de heterogeneidade. Normalmente, as estruturas de grãos de componentes fabricados aditivamente são aleatoriamente orientadas, e as indústrias precisam trabalhar muito para resolver essas questões (Pant *et al.*, 2022).

Durante o processo de fabricação, é importante inspecionar cada camada por meio de métodos de NDT. Técnicas de NDT, como espectroscopia de fusão de imagem, ultrassom e corrente de Foucault, raios-X, difração de raios-X e Tomografia Computadorizada de Raios-X, moldagem seletiva, revestimento por atrito e usinagem por varredura eletrônica, podem ser usadas para analisar a formação de defeitos. A microtomografia por raios-X (microCT) tem sido usada para detectar porosidade, avaliação da rugosidade superficial e precisão dimensional de componentes de MAM. É a única abordagem adequada para examinar peças geradas de forma aditiva com cavidades internas e porosidade de forma não destrutiva (Pant *et al.*, 2022).

A pesquisa feita por Brennan, Keist e Palmer (2021) também avaliaram os defeitos na manufatura aditiva por metal, os quais envolvem: Falta de fusão do material, colapso da poça de fusão, porosidade do gás, rupturas de solidificação, rupturas em estado sólido, porosidade entre superfícies e impurezas.

Defeitos presentes em componentes metálicos fabricados por meio de Manufatura Aditiva (AM) processada por Fusão por Feixe de Elétrons (PBF) e Deposição Direta de Energia (DED) demonstram deterioração nas propriedades mecânicas e de fadiga se esses defeitos não forem removidos. Embora em algumas aplicações o excesso de pós-processamento não seja necessário, aplicações críticas exigem usinagem pós-processamento extensiva, tratamento de superfície e HIP (Hot Isostatic Pressing) pós-processamento para eliminar defeitos prejudiciais às propriedades na

condição de construção original. Outro meio de compensar a formação de defeitos é projetar as construções de acordo para limitar a susceptibilidade à formação de defeitos em peças de AM (Brennan, Keist e Palmer, 2021).

Shahrubudin, Chuan e Ramlan (2019) realizaram um estudo dos fatores críticos de sucesso na adoção de impressão 3D em processos de manufatura, os quais envolvem aspectos de custo, tecnologia, P&D, ambiental, de demanda, qualidade, materiais, gestão e organização, de negócios e apoios e tecnológicos.

#### **1.4. Diferenciais da Tecnologia**

Strauss e Pelletiers (2020) apresentaram em uma conferência a questão se a impressão 3D e a metalurgia do pó são complementares ou competem entre si. O questionamento é se a manufatura aditiva irá substituir a fundição, os processos de sinterização do pó, injeção de metal ou usinagem. O primeiro ponto é que sem infraestrutura de manufatura e expertise, não terá como uma tecnologia se sobressair perante outra.

O processo da metalurgia do pó é utilizado para produção em larga escala, o que reduz o custo unitário, com tolerâncias que podem chegar a casa de milésimos de polegadas, ótimas condições de superfície e porosidade controlada. No entanto, há custos altos com ferramentas, o que deve fazer jus a produção em grandes volumes, além de limitações geométricas e problemas anisotrópicos (mudança das propriedades conforme varia a direção cristalográfica do material).

O processo de injeção de metal, por exemplo, produz geometrias complexas, com peças de alta densidade, também há alta produtividade, com tolerâncias de 0,003", ótimas qualidades superficiais e propriedades isotrópicas, competindo com a fundição. No entanto, também possui altos investimentos em ferramentais o que deve ser justificado pelo volume alto de peças produzidas, complexidade dos custos envolvidos e lead times longos. Então, estes dois processos já são maturados nas indústrias e possuem vários fabricantes e adotantes, padrões consolidados, porém há os limites geométricos e custos altos.

A manufatura aditiva é algo mais novo, possui flexibilidade alta no design e permite realizar peças customizáveis com alto nível de complexidade geométrica sem custos extras. Os custos envolvidos no processo se referem ao próprio equipamento e sua manutenção, material e o tempo do processo. Possui bom acabamento superficial, também pode chegar a milésimos de polegada de tolerância, porém ainda carece de padrões e normatizações com relação a materiais e especificações. Além disso, é um processo que precisa de pós processamento para acabamentos como jateamento e polimento, e às vezes usinagem de partes mais críticas da peça. Em resumo, a manufatura aditiva não deve ser usada para competir com as tecnologias existentes. A mesma deve ser usada para fabricar peças que as tecnologias existentes não conseguem produzir. O alto custo da manufatura aditiva só pode ser justificado por atributos de design exclusivos e benefícios ao longo do ciclo de vida. Ou seja, a manufatura aditiva é uma adição nova à metalurgia do

pó, assim como a Moldagem por Injeção de Metal (MIM) foi nova para a metalurgia do pó há 20 anos.

Técnicas como Binder Jetting, Extrusão de Material, Jato de Material e Fotopolimerização em Cuba podem fornecer materiais equivalentes ao MIM e podem complementar e expandir as capacidades do MIM. A **Figura 10** mostra as características gerais de tecnologias para impressão 3D.

Figura 10 - Panorama tecnológico de impressão 3D

| Tecnologias                                                                   | Processos                                      | Materiais utilizados                              | Veloc.   | Tamanho máximo da peça (cm) | Acurácia  | Acabamento | Indústria de uso final |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------|-----------------------------|-----------|------------|------------------------|
| <b>Modelagem por Fusão e Deposição</b><br>Fused Deposition Modeling (FDM)     | Camadas de plástico derretido                  | Filamento de ABS                                  | Razoável | 30x30x50                    | Bom       | Bom        | Aeroespacial           |
|                                                                               |                                                | Polícarbonatos                                    |          |                             |           |            | Automotiva             |
|                                                                               |                                                | Nylon                                             |          |                             |           |            | Industrial             |
|                                                                               |                                                |                                                   |          |                             |           |            | Médica                 |
| <b>Sinterização Seletiva a Laser</b><br>Selective Laser Sintering (SLS)       | Pó de plástico derretido por laser             | Papel                                             | Alta     | 34x34x60                    | Bom       | Bom        | Aeroespacial           |
|                                                                               |                                                | Plástico                                          |          |                             |           |            | Automotiva             |
|                                                                               |                                                | Metal                                             |          |                             |           |            | Produtos de Consumo    |
|                                                                               |                                                | Vidro                                             |          |                             |           |            |                        |
|                                                                               |                                                | Cerâmica                                          |          |                             |           |            |                        |
| <b>Estereolitografia</b><br>Stereolithography (SLA)                           | Polimerização escaneada por raios UV           | Fotopolímeros líquidos                            | Alta     | 30x30x50                    | Muito bom | Muito bom  | Aeroespacial           |
|                                                                               |                                                | Compostos                                         |          |                             |           |            | Automotiva             |
|                                                                               |                                                |                                                   |          |                             |           |            | Produtos de Consumo    |
| <b>Jato de Polímero Fotossensível</b><br>Photopolymer Jetting (Polyjet)       | Jato de tinta com fotopolímeros derretidos     | Metais                                            | Alta     | 39x31x19                    | Bom       | Bom        | Dispositivos Médicos   |
|                                                                               |                                                | Plásticos                                         |          |                             |           |            | Protótipos             |
|                                                                               |                                                | Cera                                              |          |                             |           |            | Multimateriais         |
| <b>Fusão Seletiva a Laser</b><br>Selective Laser Melting (SLM)                | Pós metálicos derretidos por laser             | Metais (Cobre, Alumínio, Níquel, Tungstênio, etc) | Razoável | 28x28x36                    | Bom       | Bom        | Odontologia            |
|                                                                               |                                                |                                                   |          |                             |           |            | Maquinários            |
| <b>Fusão por Feixe de Elétrons</b><br>Electron Beam Melting (EBM)             | Pó derretido selecionado por feixe de elétrons | Cerâmica                                          | Razoável | 20x20x20                    | Bom       | Ruim       | Automotiva             |
|                                                                               |                                                | Metais, Plásticos, Areia                          |          |                             |           |            | Odontologia            |
|                                                                               |                                                | Plásticos                                         |          |                             |           |            | Implantes              |
|                                                                               |                                                | Areia                                             |          |                             |           |            | Metálicos              |
| <b>Jato de Material por Feixe de Elétrons</b><br>Electron Binder Jetting (BJ) | Pó distribuído pela máquina de jato.           | Plástico                                          | Razoável | 40x20x10                    | Bom       | Bom        | Arquitetura            |
|                                                                               |                                                | Compósito de Carbono                              |          |                             |           |            | Maquinaria             |
|                                                                               |                                                | Nylon                                             |          |                             |           |            | Estruturas Mecânicas   |
|                                                                               |                                                |                                                   |          |                             |           |            |                        |
| <b>Jato de Material</b><br>Material Jetting (MJ)                              | Jato de tinta com material de cera             | Cera                                              | Baixa    | 30x18x20                    | Muito bom | Bom        | Produtos de Consumo    |
|                                                                               |                                                |                                                   |          |                             |           |            | Prototipagem           |

Fonte: (BIS RESEARCH, 2022)



Além da impressão 3D, existe a impressão 4D que se refere a uma forma mais moderna de impressão 3D que consiste no uso de materiais que conseguem mudar sua forma ou propriedades ao longo do tempo (que é a “quarta dimensão”) na interação com condições específicas de ambiente como alteração de temperatura, campo magnético ou elétrico, pH, pressão ou substâncias químicas.

A **Figura 11** mostra a diferença entre a impressão 3D e a 4D.

Figura 11 - Diferença entre impressão 3D e 4D

|                     |                                                                                                                     |                                                                                                     |                                                                                                  |                                                                                                     |                                                                        |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Impressão 3D</b> | Seção 2D da estrutura 3D são construídas camada por camada de baixo para cima                                       | Termoplástico<br>Metais<br>Cerâmicos<br>Biomateriais, ou nanopartículas                             | 3D Printer<br>Stereolithography<br>Fused Deposition<br>Modelling<br>Selective Laser<br>Sintering | Estável/Sem mudança                                                                                 | Jóias<br>Brinquedos<br>Moda<br>Automobilística<br>Aeroespacial         |
| <b>Descrição</b>    | <b>Processos De Fabricação</b>                                                                                      | <b>Materiais</b>                                                                                    | <b>Métodos de Impressão</b>                                                                      | <b>Objetos</b>                                                                                      | <b>Utilização Dos Objetos</b>                                          |
| <b>Impressão 4D</b> | Produção do mesmo jeito que a impressão dos produtos 3D, com mudança de forma após exposição de estímulo específico | Materiais auto montável, múltiplos materiais; materiais projetados – ex.: liga com memória de forma | 3D Printer - Stereolithography Multi-materiais 3D                                                | A forma do objeto muda constantemente quando a estrutura é exposta a um estímulo externo específico | Mudança dinâmica da configuração para todas aplicações da impressão 3D |

(Shinde et al., 2023)(ADAPTADA)

De acordo com a norma ISO/ASTM 52900-15 de categorização de processos de Manufatura Aditiva (MA), existem sete tipos diferentes de processos que um sistema de MA pode implementar para a impressão 3D (Molitch-Hou, 2018):

- **Aglutinação por Ligante (Binder Jetting):** Um processo no qual um agente de ligação líquido é depositado sobre uma cama de pó. Pode ser usado com materiais como gesso, areia, vidro, metal e outros.
- **Deposição Direcionada de Energia (DED):** Nesse processo, o metal, na forma de pó ou fio de alimentação, é conduzido na frente de uma fonte de energia, como um feixe de elétrons ou laser, montado em um braço robótico de múltiplos eixos. O material é derretido em um substrato camada por camada. Usado com metais como titânio e cobalto-cromo.
- **Extrusão de Material (Material Extrusion):** Um material é depositado a partir de um extrusor em um substrato. Normalmente, um filamento termoplástico é derretido por um mecanismo de aquecimento e extrudado através de uma extremidade quente. No entanto, o mesmo processo pode ser usado com materiais viscosos, como concreto, argila, tecido orgânico ou até mesmo alimentos.

- **Jateamento de Material (Material Jetting):** cabeçotes de impressão especiais, como cabeçotes de impressão piezoelétricas semelhantes às encontradas em impressoras a jato de tinta 2D, pulverizam um material líquido em um substrato. Na maioria das vezes, esse material é uma resina plástica fotossensível (também conhecida como fotopolímero) que é endurecida com uma luz ultravioleta (UV).
- **Fusão em Leito de Pó (Powder Bed Fusion):** Este é um processo no qual uma fonte de energia, como um laser ou feixe de elétrons, é direcionada para uma cama de pó para aquecer as partículas individuais até que se fundam. Normalmente, essa tecnologia está associada a metais como titânio, bem como plásticos como nylon.
- **Laminação de Folhas (Sheet Lamination):** Nesse processo, folhas de material são fundidas juntas, com a forma desejada gravada em cada folha. O objeto final é então removido do bloco de folhas ligadas. Esse processo de impressão 3D raro é atualmente mais frequentemente usado com papel, mas também com metal e plástico.
- **Fotopolimerização em Cuba (Vat Photopolymerization):** Uma cuba de resina fotopolimérica é exposta a uma fonte de energia, como um feixe laser ou projetor de luz digital, que endurece o material camada por camada. Esse processo está geralmente associado a plásticos termorrígidos.

A **Figura 12** mostra estas tecnologias, os materiais, aplicações típicas e a relevância para o uso em metais.

Figura 12 - Tecnologias de Manufatura Aditiva

| TECHNOLOGY                                                                                                                                                                                                       | MATERIALS                      | TYPICAL MARKETS                         | RELEVANCE FOR METAL |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
|  <b>Powder bed fusion</b> – Thermal energy selectively fuses regions of a powder bed                                          | Metals, polymers               | Prototyping, direct part                | ●                   |
|  <b>Directed energy deposition</b> – Focused thermal energy is used to fuse materials by melting as the material is deposited | Metals                         | Direct part, repair                     | ◐                   |
|  <b>Sheet lamination</b> – Sheets of material are bonded to form an object                                                    | Metals, paper                  | Prototyping, direct part                | ◑                   |
|  <b>Binder jetting</b> – Liquid bonding agent is selectively deposited to join powder material                                | Metals, polymers, foundry sand | Prototyping, direct part, casting molds | ◑                   |
|  <b>Material jetting</b> – Droplets of build material are selectively deposited                                               | Polymers, waxes                | Prototyping, casting patterns           | ○                   |
|  <b>Material extrusion</b> – Material are selectively dispensed through a nozzle or orifice                                   | Polymers                       | Prototyping                             | ○                   |
|  <b>Vat photopolymerization</b> – Liquid photopolymer in a vat is selectively cured by light-activated polymerization         | Photopolymers                  | Prototyping                             | ○                   |

AM technologies for metal objects

Fonte: (Duda e Raghavan, 2016)

No caso da impressão 3D por metais, a **Figura 13** apresenta os processos mais utilizados e suas características.

Figura 13 - Manufatura Aditiva por metal e suas características

|                                  |                                             |                        | Energy source [W] | Process efficiency <sup>1</sup> | Material type | Closed chamber | Inert gas (IG) or vacuum    | Weld pool size [mm] <sup>2</sup> | Deposition speed [kg/h] <sup>3</sup> | Comments                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------|---------------------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------|----------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Powder Bed Fusion (PBF)          | Selective Laser Sintering (SLS)             | Laser                  |                   |                                 | Powder        | -              | -                           |                                  |                                      | Similar to SLM, but less used.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                  | Selective Laser Melting (SLM)               | Laser 100-1000         | 2-5%              |                                 | Powder        | x              | IG: argon                   | 0.3                              | 0.1-0.18                             | For small and complex parts. Smoother surface than EBM; higher cooling rates; more mechanical defects and residual stress than EBM. Requires thermal treatment to reduce residual stress.                                                                                                                                             |
|                                  | Electron Beam Melting (EBM)                 | Electron beam 3500     | 15-20%            |                                 | Powder        | x              | vacuum at const. high temp. | 1                                | 0.2-0.36                             | High accuracy: density and mechanical properties close to CM; lower yield stress and higher strain at break than SLM. Usually do not require thermal treatment. Lower fatigue resistance (due to less smooth surface) than SLM. Low energy efficiency (20%)                                                                           |
| Directed Energy Deposition (DED) | Laser Metal Deposition (LMD)                | Laser 500-3000         | 2-5%              |                                 | Powder        | x              | IG: argon                   | Smaller than WAAM                |                                      | Lower power efficiency for very reflective alloys in which reflectance can be 40-95%; better dimensional properties than WAAM, but lower deposition rate and material efficiency. Powder accuracy allow to repair high-value parts (e.g., turbine blades). Reduction of lead time <sup>4</sup> .                                      |
|                                  | Electron Beam Free Form Fabrication (EBFFF) | Electron beam          |                   |                                 | Wire          | x              | vacuum                      |                                  | 2.3-7 < 18                           | High energy efficiency (90%) even with very reflective alloys                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                  | Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)      | Electric arc 2000-4000 | 70%               |                                 | Wire          | -              | IG: e.g., argon             |                                  | 0.5-4 (up to 10)                     | High material efficiency (90%) and energy efficiency (70%). Cost reduction to produce large and less complex parts. Rough surface, lower accuracy than PDF and LMD (subject to distortions, and residual stress), thus, requiring more surface finishing, heat treatment. Cold-high pressure rolling may be used in large components. |
|                                  | Wire Laser Additive Manufacturing (WLAM)    | Laser                  |                   |                                 | Wire          | -              | IG: argon or helium         |                                  |                                      | Better dimensional properties than WAAM but a lower deposition rate and material efficiency.                                                                                                                                                                                                                                          |

Fonte: Monteiro et al., 2022

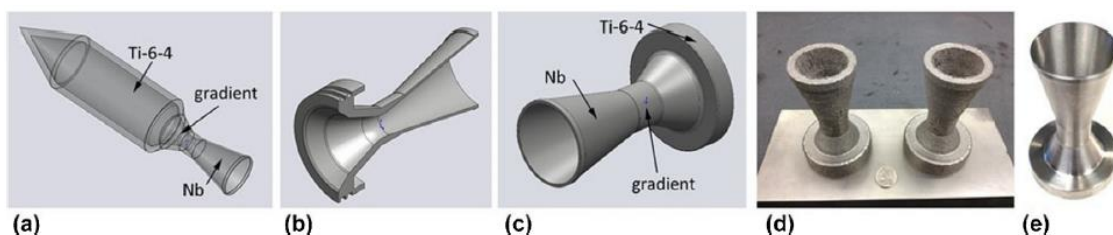
Não somente com apenas um material, a fabricação aditiva de materiais de gradientes funcionais (AM-FGM) envolve a criação de materiais metálicos com propriedades variáveis em um único componente, utilizando a tecnologia AM. Esses materiais podem ter gradientes suaves ou não de composição e são fabricados principalmente por meio da deposição direcionada de energia a laser com alimentação de pó. O AM-FGM oferece a vantagem de combinar as características da fabricação aditiva com a capacidade de personalização para atender a diversas aplicações.

No entanto, esse modo de construção por I3D possui desafios como incompatibilidade das ligas (diferentes temperaturas de fusão, diferentes densidades) que podem causar separação das juntas, rupturas, partículas não fundidas, porosidades e problemas dimensionais. A modelagem do caminho da ferramenta é fundamental na AM-FGM, permitindo o controle da microestrutura e das propriedades. No entanto, essa modelagem é desafiadora devido às diferentes propriedades dos componentes e à mudança contínua da composição na poça de fusão. Para prever as propriedades termofísicas em gradientes, é necessário ajustar dados de todos os constituintes a um polinômio ou usar métodos complexos que considerem a

dependência da composição. Programas termodinâmicos para analisar diagramas de fases também podem ser utilizados para suportar na previsão dessas propriedades.

A **Figura 14** mostra uma possível aplicação de um gradiente que vai do titânio até metais refratários puros em um bocal de foguete. O item (a) apresenta um design esquemático de um foguete. O corpo principal é feito de titânio, mas o bocal é feito de metal refratário, pois o bocal é exposto à carga térmica máxima. A seção do bocal foi fabricada apenas como um protótipo desse design, conforme mostrado nas (b) e (c). O protótipo foi fabricado pelo processo LDED (d) e no item (e) é mostrado a seção do bocal feita de nióbio puro, mas gradua linearmente para Ti-6Al-4V após o “pescoço”.

Figura 14 - Exemplo de aplicação de gradiente entre Ti-6Al-4V e Nb



Fonte: Ansari, Jabari e Toyserkani (2021)

De uma forma geral, as vantagens e desvantagens da manufatura aditiva, podem ser ilustradas na sequência:

#### a) Vantagens da Fabricação Aditiva:

- A Manufatura Aditiva oferece total liberdade para você projetar. Projete qualquer forma com vazio, complexidade geométrica e complexidade e haverá um processo AM para imprimi-la. Peças que você considera impossíveis de fabricar pela fabricação convencional são possíveis no processo AM;
- Você pode projetar uma peça para substituir a montagem de 2 ou mais peças;
- Em contraste com a fabricação subtrativa, o desperdício de material no processo AM é nulo ou mínimo e, portanto, é ecologicamente correto;
- O processo AM reduz drasticamente o tempo de entrega para a fabricação de protótipos. Você pode visualizar uma peça ou desenho, convertê-lo em um modelo 3D geometricamente correto e imprimir a peça real, é quase tão simples quanto isto.
- Com os desenvolvimentos na Tecnologia de Fabricação Aditiva, a qualidade e a resistência mecânica das peças construídas pelo processo AM podem ser quase tão boas quanto as do processo convencional.
- E se precisar fazer alterações, você sempre pode fazer e imprimir uma nova peça. Isso faz com que o desenvolvimento de um novo produto seja mais rápido do que se imaginava;



- Você pode projetar peças leves sem sacrificar a qualidade ou resistência e esse recurso é muito benéfico para a indústria aeroespacial e também para a indústria automotiva;
- Seu processo AM reduz o custo de fabricação, pois o desperdício de material é nulo ou mínimo;
- A aplicação do processo AM cresce a cada dia e atualmente é utilizado na produção de membros artificiais para atendimento a vítimas de acidentes e também peças como stents etc.;
- Para a fabricação da mesma peça, o processo AM consome comparativamente menos energia do que o processo convencional de fabricação;
- Você não precisa de nenhuma ferramenta especial para o processo AM.

#### **b) Desvantagens da Fabricação Aditiva:**

- Atualmente os equipamentos para o processo AM, especificamente aqueles usados para peças metálicas, são caros e podem não ser acessíveis para muitos;
- O processo AM é bom para o desenvolvimento de um protótipo e para fins de P&D, porém, na fase de produção, pode ser mais caro que os processos convencionais;
- O processo AM necessita de matérias-primas especialmente desenvolvidas para ele e é necessário adquiri-las de fonte proprietária (fabricantes de impressoras 3D), portanto a escolha da matéria-prima é limitada;
- A maioria das peças produzidas no processo AM podem necessitar de pós-processamento. Embora as peças metálicas e de grande porte necessitam de tratamento térmico e até mesmo de usinagem CNC, as peças pequenas podem exigir esfregação, lixamento, pintura etc.;
- O processo AM constrói as peças camada por camada e a resistência da peça depende inteiramente da ligação entre as camadas. As peças são geralmente fracas na direção em que as camadas são construídas;
- As peças fabricadas pelo processo AM, especificamente os termoplásticos, são suscetíveis ao encolhimento e devem ser previstas na fase de projeto;
- O acabamento superficial e a textura obtidos no processo AM são inferiores ao processo convencional e necessitam de operações adicionais para melhorá-lo.

#### **1.5. Gartner Hype Cycle**

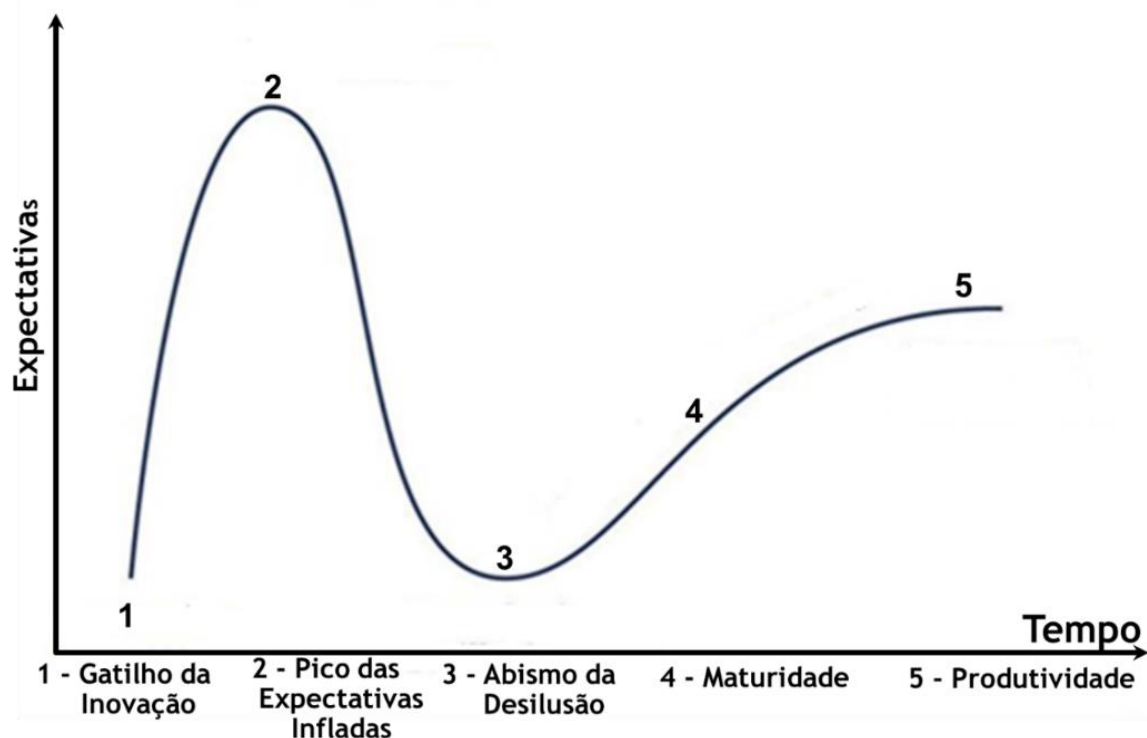
O Hype Cycle é uma apresentação gráfica desenvolvido pela consultoria Gartner para representar os ciclos de aparecimento, adoção, maturidade e aplicação de tecnologias no mercado. É considerado em análise de tendências e investimentos em novas tecnologias. O gráfico considera uma análise de tendências e investimentos em novas tecnologias.



Assista ao vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=jB1RDz9jaj0>

Figura 15: Gráfico das Etapas do Ciclo de Inovação Hype-Gartner



Fonte: Gartner (adaptado).

O gráfico considera uma análise de tendências e investimentos em novas tecnologias.

Após o surgimento (gatilho da inovação) e posterior adoção pelo mercado, uma tecnologia deve ser acompanhada observando os casos de sucesso e fracasso quando atinge um produto. Desse modo, é importante observar o que acontece no Pico de Expectativas Inflacionadas e na sua queda.

O momento seguinte é marcado por uma queda pela desconfiança do mercado e deve ser criteriosamente estudado até chegar o momento em que atinge o Vale da Desilusão.

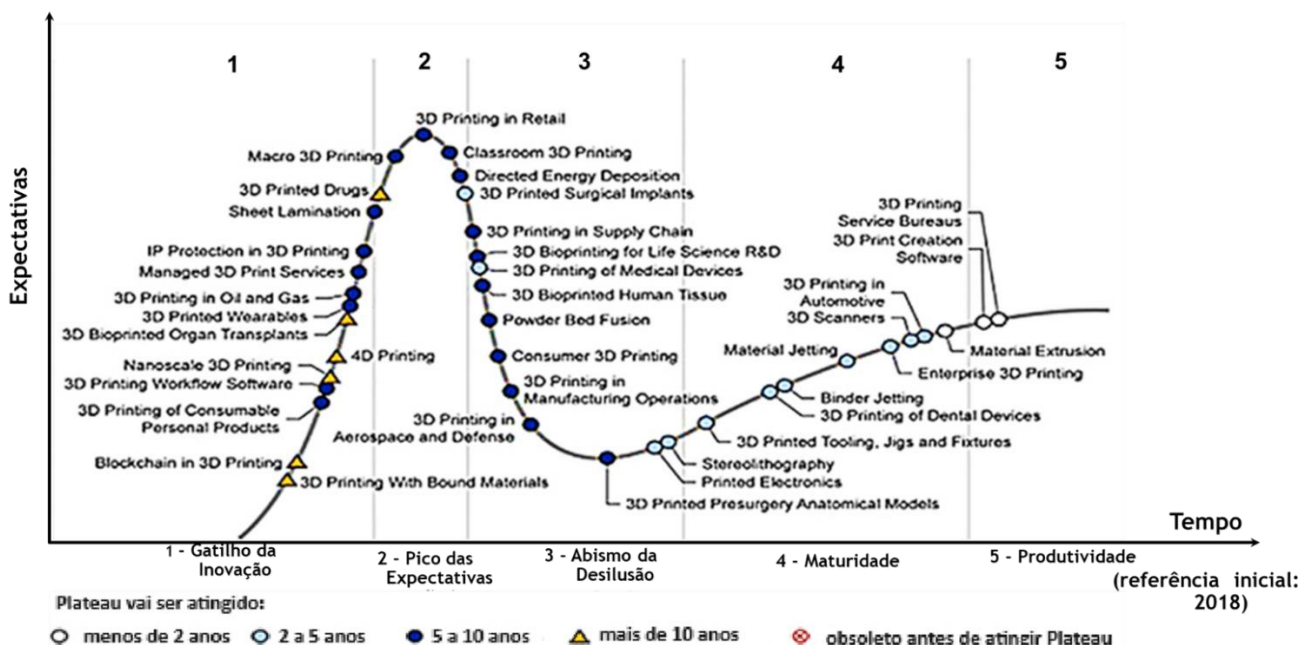
Em seguida começa o momento de maturidade do produto e do mercado, é fácil de observar este momento, pois é marcado por uma subida suave de maturidade.

O final desta curva está o chamado Plateau de Produtividade em que o produto é estável no mercado e não retorna ao período anterior a menos que ocorra uma obsolescência.

De acordo com dados da Gartner, as tecnologias de impressão 3D para prototipagem estão atualmente no patamar de produtividade. Várias tecnologias relacionadas ao uso da impressão 3D, como digitalização 3D, fábricas de impressão 3D, próteses dentárias impressas em 3D e muitas outras, estão superando as limitações (Golunov et al., 2020).

Tudo isso nos permite considerar a tecnologia de impressão 3D como fundamental na prototipagem e na produção final em uma ampla variedade de indústrias altamente lucrativas (Golunov et al., 2020). A **Figura 16** ilustra o Ciclo de Hype da Gartner para o mercado de impressão 3D.

Figura 16 - Hype Gartner Cycle para o mercado de impressão 3D



Fonte: Gartner apud Golunov et al. (2020)

A partir do gráfico da **Figura 16**, cuja referência inicial é de 2018, verifica-se que já existem tecnologias de impressão 3D no Plateau de produtividade, como os serviços de prototipagem rápida (3D Printing Service Bureau) e softwares para desenvolvimento de impressão 3D.

Na etapa de Maturidade destaca-se a presença do uso da tecnologia na indústria automotiva, uso da tecnologia do Binder Jetting (matéria prima em pó e gotículas de materiais aglutinantes) para o desenvolvimento de objetos tridimensionais e aplicações na área de odontologia.

No Abismo da Desilusão, verifica-se a aplicação da impressão 3D na área da saúde com a impressão de modelos anatômicos pré-cirúrgicos e aplicações no setor de defesa e aeroespacial.

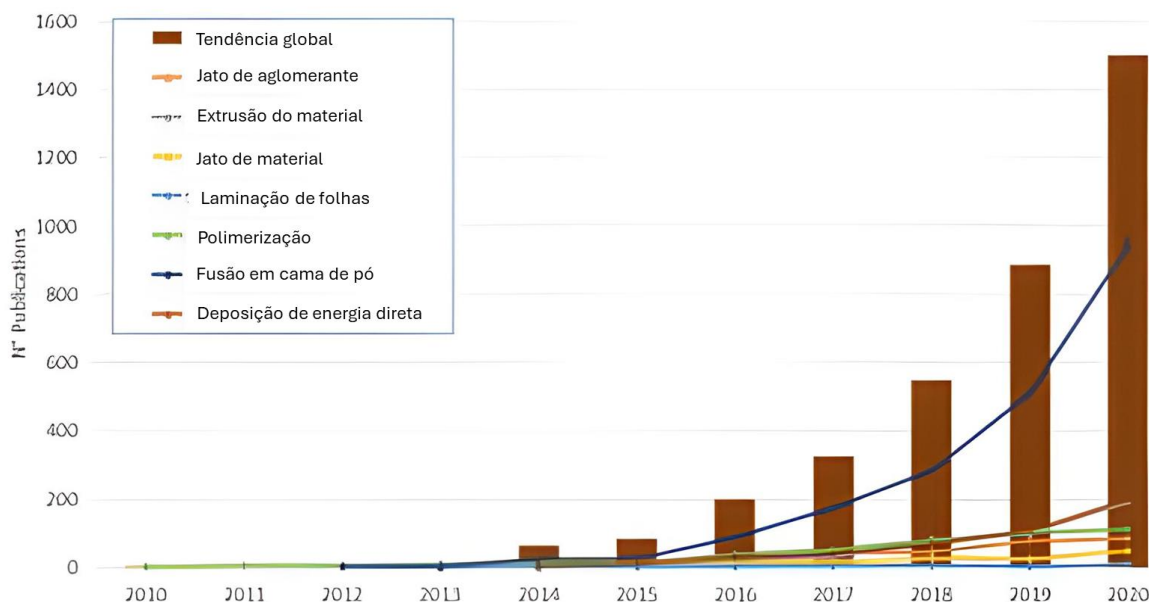
Já no Pico das Expectativas está o uso da tecnologia na indústria de varejo (3D Printing Retail), na educação e na impressão 3D de grandes estruturas (Macro 3D Printing), como em produção de casas ou pontes.

Na etapa de Gatilho da Inovação destaca-se as aplicações em Blockchain, Bio impressão de órgãos transplantados, impressão em nano escala e de drogas.

## 1.6. Indicadores

Como ilustra a **Figura 17**, a partir de 2018, o número de publicações aumentou cerca de 70% a cada ano. Em particular, a fusão por leito de pó é a tecnologia mais investigada. Ela representa cerca de 60% de todas as publicações em todas as aplicações tecnológicas (Scalia et al., 2021).

Figura 17 - Publicações científicas de 2010-2020 de tecnologias de impressão 3D



Fonte: Scalia et al. (2021)

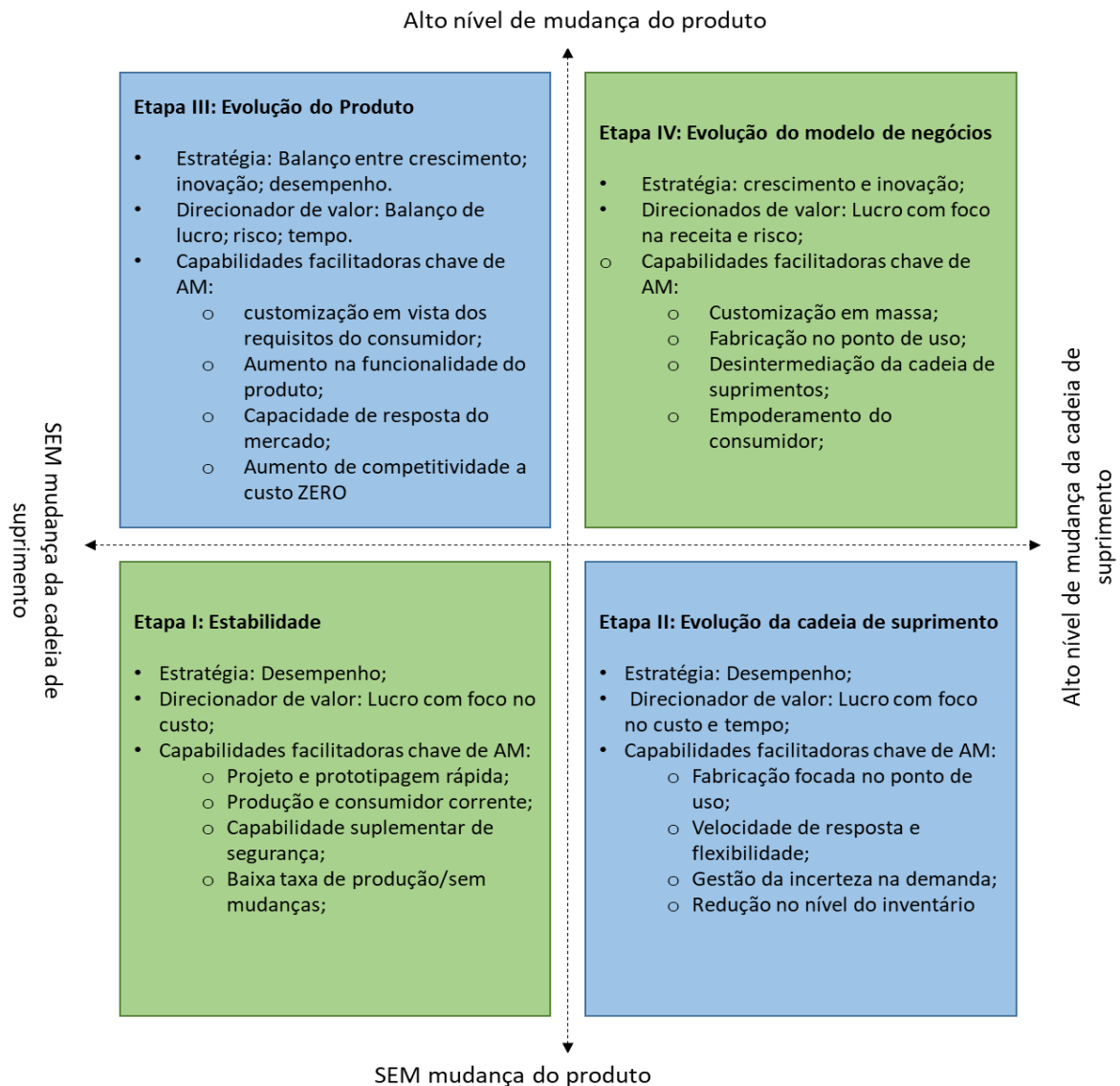
As raízes da impressão 3D remontam a quase três décadas. A sua importância deriva da sua capacidade de quebrar os compromissos de desempenho existentes de duas formas fundamentais: Primeiro, a AM reduz o capital necessário para alcançar economias de escala; segundo, aumenta a flexibilidade e reduz o capital necessário para atingir o âmbito.

Capital versus escala: Considerações sobre uma escala mínima eficiente podem moldar as cadeias de abastecimento. A AM tem o potencial de reduzir o capital necessário para atingir a escala mínima eficiente de produção, reduzindo assim as barreiras de produção à entrada num determinado local.

Capital versus escopo: As economias de escopo influenciam como e quais produtos podem ser fabricados. A flexibilidade da impressão 3D facilita um aumento na variedade de produtos que uma unidade de capital pode produzir, reduzindo os custos associados às mudanças de produção e à personalização e, assim, o montante global de capital necessário.

A alteração da relação capital versus escala tem o potencial de alterar a forma como as cadeias de abastecimento são configuradas, e a alteração da relação capital versus âmbito tem o potencial de alterar os designs dos produtos. Esses impactos oferecem às empresas opções sobre como implantar AM (Aditive Manufacturing – Manufatura Aditiva) em seus negócios. As empresas que buscam capacidades de AM, podem escolher entre caminhos divergentes, conforme pode ser explicitado na **Figura 18**.

Figura 18 - Framework para o entendimento de valor e passos da AM



Fonte: 3D Opportunity for quality assurance (DELLOITE, 2015)  
(ADAPTAÇÃO)

## 2. ANÁLISES DE PATENTES

Uma busca de patentes com a palavra-chave “Metal 3D Printing” foi realizada na plataforma Derwent Innovation (da empresa Clarivate Analytics). Com o objetivo de se levantar um panorama geral dos documentos de patentes foi considerada a opção “*Smart Search*” considerando-se todos os resultados possíveis. Além disso, foi utilizado um filtro que considerou na busca realizada as patentes “vivas” (*alive*) juntamente com as patentes “indeterminadas” (*indeterminates*), ou seja, patentes em que faltam alguma informação a ser considerada, como data de expiração, depósito ou informação de status legal (as patentes “mortas” (*dead*) não foram consideradas). Desse modo, nesse cenário foi detectado cerca de 500.000 patentes.

A **Figura 19** apresenta os principais países depositantes de patentes vinculadas à impressão 3D.

Figura 19 - Principais países depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais



Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes)

A partir da Figura 19, verifica-se que os três países que mais depositam patentes nessa área são: China, Japão e Estados Unidos. O Brasil aparece na 17ª posição com 2248 registros de patentes. É importante mencionar que uma patente com a designação de “WO” se relaciona com as patentes concedidas pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO) e indica que a será administrada por esse órgão. Já a sigla EP (European Patent), refere-se a patentes concedidas pelo escritório europeu e administrado por esse órgão.

A **Figura 20** apresenta as 8 principais tendências tecnológicas existentes nas patentes encontradas. Desse modo, as principais tecnologias nesse cenário relacionam-se com: moldes, compósitos, formação de imagens, deposição, laser, metal e plasma. Segundo o Derwent Innovation, esses temas são encontrados em cerca de 37% dos conjuntos de dados. Porcentagens maiores que esse valor indica saturação nos espaços do cenário considerado, enquanto porcentagens menores indicam uma representação tecnológica diversificada



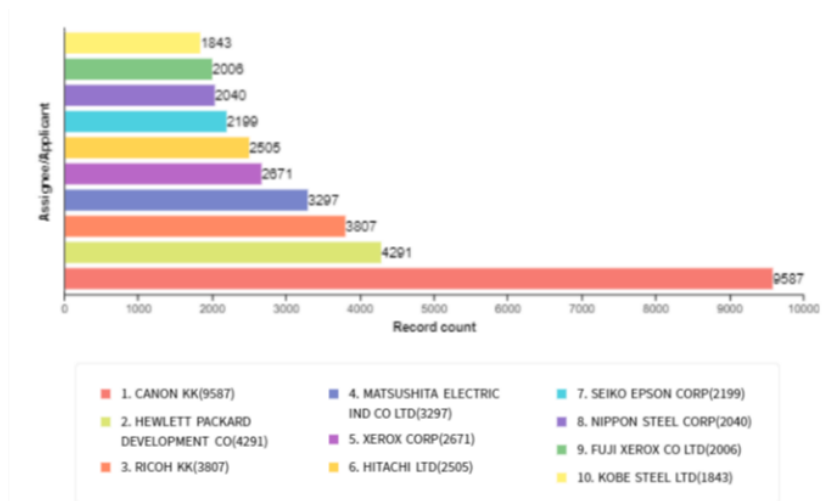
Figura 20 - Principais Áreas de desenvolvimento Tecnológico



Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes)

As empresas multinacionais se apresentam como as 10 principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais (**Figura 21**). Verifica-se que dentre os 10 depositantes, encontram-se multinacionais como: Canon, Seiko, Hewlett Packard e a Xerox.

Figura 21 - Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais.

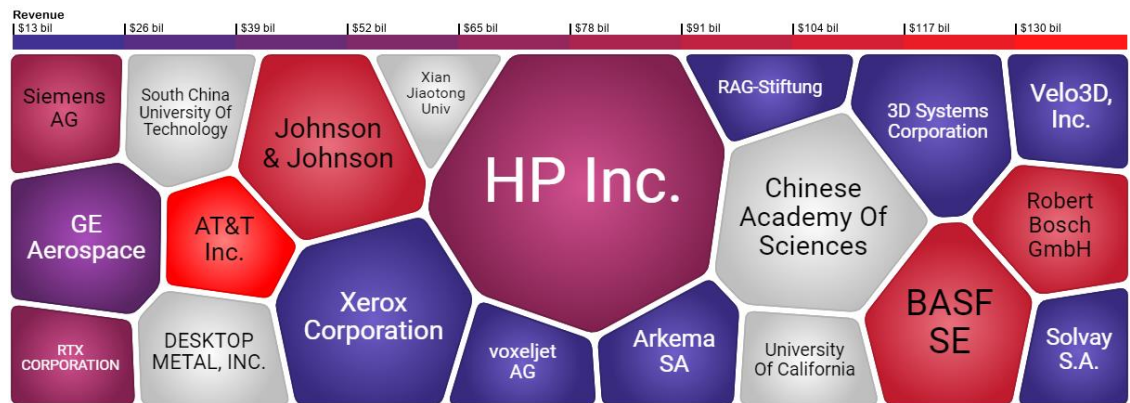


Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes)

Outro aspecto interessante é sobre os depositantes de patente de impressão 3D e sua receita.

A **Figura 22**, mostra esse aspecto a partir de alguns principais players, como a HP, Xerox, GE Aerospace, BASF, Bosch e Johnson & Johnson. Há ainda destaque para as algumas universidades, como a University of California, South China University of Technology e a Xian Jiaotong University.

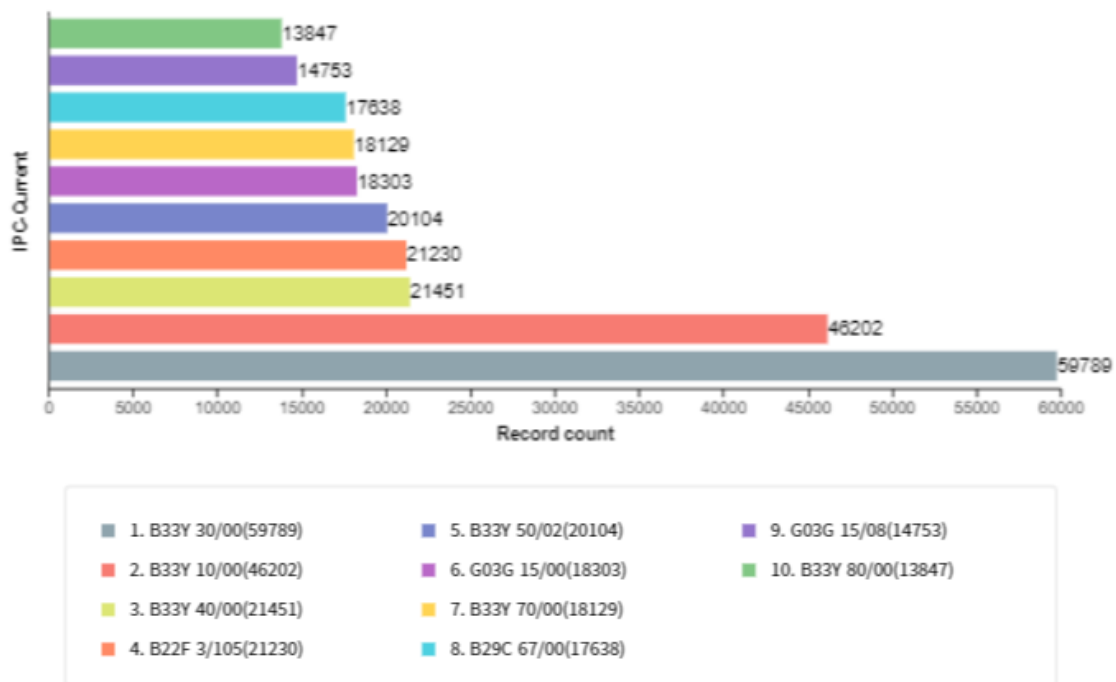
Figura 22 - Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais x Receita.



Fonte: Innography

Conforme apresentado na **Figura 23**, é possível verificar as 10 principais Classificações Internacionais de Patentes (IPCs) das patentes relacionadas com o Impressão 3D de Metais que foram encontradas na busca realizada.

Figura 23 – Principais IPCs das patentes depositadas.



Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes)

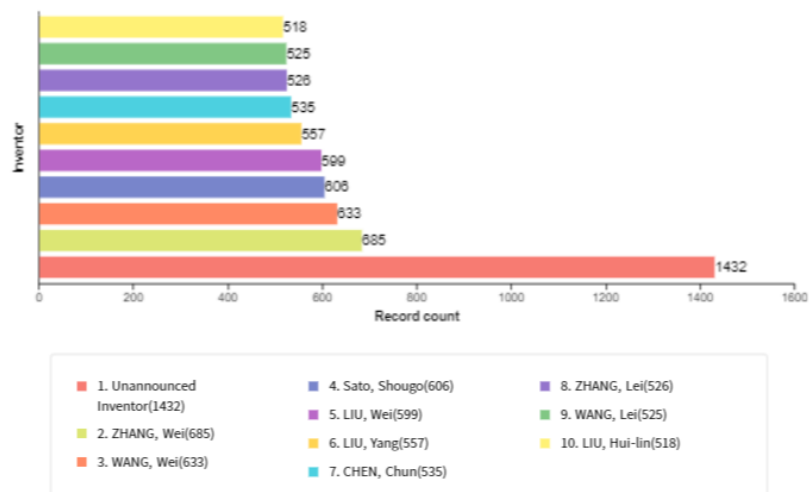
Desse modo, de acordo com a **Figura 23**, os IPCs são:

1. B33Y 30/00: Aparelho para fabricação aditiva (Apparatus for additive manufacturing);
2. B33Y 10/00: Processos de fabricação aditiva (Processes of additive manufacturing);
3. B33Y 40/00: Operações ou equipamentos auxiliares (Auxiliary operations or equipment);
4. B22F 3/105: Fabricação de peças ou artigos a partir de pó metálico caracterizado pela maneira de compactar ou sinterizar; aparelho

- especialmente adaptado para isso usando corrente elétrica, radiação laser ou plasma (Manufacture of workpieces or articles from metallic powder characterised by the manner of compacting or sintering; Apparatus specially adapted therefor by using electric current, laser radiation or plasma);
5. B33Y 50/02: Controle ou regulação de processos de fabricação aditiva. (for controlling or regulating additive manufacturing processes);
  6. B33Y 40/00: Aparelho para processos eletrográficos usando um padrão de carga (G03G001600, G03G001700 têm precedência) Apparatus for electrographic processes using a charge pattern(G03G001600, G03G001700 take precedence);
  7. B33Y 70/00: Materiais especialmente adaptados para fabricação aditiva (Materials specially adapted for additive manufacturing);
  8. B29C 67/00: Moldagem ou junção de plásticos; moldagem de material em estado plástico, não previsto de outra forma; pós-tratamento dos produtos moldados (Shaping or joining of plastics; shaping of material in a plastic, not otherwise provided for; after treatment of the shaped products);
  9. G03G 15/08: Eletrografia; eletrofotografia; magnetografia usando um desenvolvedor sólido, por exemplo, desenvolvedor em pó (Electrography; electrophotography; magnetography using a solid developer, e.g. powder developer);
  10. B33Y 80/00: Produtos feitos por fabricação aditiva (Products made by additive manufacturing).

A **Figura 24**, por sua vez, apresenta os principais inventores das patentes registradas que são relacionados à impressão 3D de metais.

Figura 23 - Principais inventores de patentes de Impressão 3D de Metais.



Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes)

A **Figura 25** apresenta o gráfico do *ThemeScape Map* que é uma representação visual de uma coleção de patentes, organizada por conteúdo temático, que apresenta um agrupamento de acordo com a similaridade usando um critério de proximidade tecnológica. Esse gráfico foi criado com a capacidade máxima de análise da ferramenta, que é de 60.000 patentes

consideradas relevantes pela plataforma, ou seja, patentes de primeiro nível. Desse modo, o *Themescape Map* permite a criação de mapas de panoramas tecnológicos mais rapidamente, a partir da criação de grupos-chaves com o objetivo de encontrar tendências de mercado internacional de quaisquer tecnologias.

Figura 24 - Themescape Map 1 do Impressão 3D de Metais



Fonte: Derwent Innovation (referência de 60.000 patentes)

A **Figura 26** permite identificar 5 temáticas, ou seja, picos que se relacionam com a concentração de depósitos de patentes mostrando uma relação relativa de um registro com o outro. Desse modo, a partir da busca realizada, as temáticas que apresentaram concentração de registros de patentes são:

- Método de soldagem (Welding Method);
- Raio laser (Laser beam);
- Liga / liga em pó (Alloy – Alloy Powder);
- Bateria de Lítio (Battery Lithion);
- Cartucho de toner (Toner Cartridge).

Há ainda destaque para outras temáticas que, no momento não apresentam ainda concentração de registros, e identificam-se como possíveis áreas que desenvolvimento a serem exploradas, como: nozzle body, nozzle structure; printing layer, model printing, printing apparatus surface, powder delivery station; box model, wiring board; alliage alloy.

A partir de outra análise, dessa vez, realizada apenas com 1000 patentes, consideradas como “relevantes” em uma busca denominada de “*Smart Search*” foi encontrada a configuração apresentada na **Figura 27**. Nesse cenário, são encontradas 7 temáticas de concentração de registros de patentes.

Figura 25 - Themescape Map 2 do Impressão 3D de Metais.



Fonte: Derwent Innovation (referência de 1000 patentes)

O Smart Search utiliza inteligência artificial e realiza uma combinação de análise de classificação e citação para expandir a pesquisa de patentes. Ao buscar na plataforma, o algoritmo com inteligência artificial realiza uma busca semântica e faz a extração das principais palavras-chave ou considera os números de publicação para indicar os resultados mais relevantes. Desse modo, a funcionalidade permite potencializar a precisão e abrangência dos resultados, pois encontra facilmente patentes relevantes para um campo tecnológico focados nos primeiros 1000 documentos organizados e classificados de acordo com o critério de relevância (Relevancy) da ferramenta.

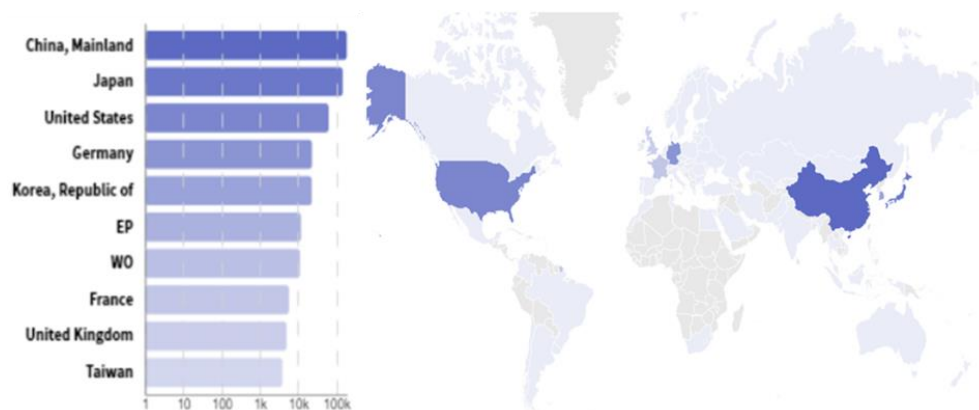
De acordo com a **Figura 26**, as áreas de concentração seguem descritas abaixo: Titanium; Filtercore; Cleaning equipment, Control module; Cent building method

Essa busca de 1000 patentes relevantes, também destacam outras temáticas que, no momento não apresentam ainda concentração de registros, e identificam-se como possíveis áreas que desenvolvimento a serem exploradas, como: laser printing head, laser milling head, configuration air gun; movment melting.

A **Figura 27** apresenta os principais países que desenvolvem tecnologias/produtos com a utilização de Impressão 3D de Metais. Nessa lista, os 4 primeiros países são: China, Estados Unidos, Japão e Alemanha.



Figura 26 - Principais países que desenvolvem tecnologias/produtos com o Impressão 3D de Metais.



Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes)

A **Figura 28** apresenta os principais mercados para as invenções à base de impressão 3D de Metais no mundo. Esses mercados de tecnologias/produtos são dominados pela China com cerca de 39% do mercado mundial, seguido pelo Estados Unidos com cerca de 16%. O Brasil aparece na lista com uma participação no mercado mundial de invenções que utilizam Impressão 3D de Metais em torno de 0,8%.

Figura 27 - Principais Mercados para as invenções à base de Impressão 3D de Metais.



Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes)

De acordo com a plataforma Derwent Innovation, ao redor o mundo, 50% dos depósitos de patentes relacionadas com o Impressão 3D de Metais já foram concedidos. Esse valor de porcentagem indica que tais patentes ativas estão presentes em mercados relevantes das principais economias mundiais. Ademais, cerca de 50% dos depósitos de patentes de Impressão 3D de Metais, são aplicações pendentes. Percentagens mais altas de aplicações apontam para um mercado novo ou em crescimento, enquanto taxas de aplicação mais baixas podem indicar mercados já estabelecidos ou áreas de baixo crescimento.

A alta porcentagem de registros é um indicativo do surgimento de novos



mercados ou ainda podem indicar o crescimento e desenvolvimento dos mercados atuais associados a tecnologias/produtos existentes que utilizam Impressão 3D de Metais.

No geral, 6% das empresas estão registrando em mais de 4 países. Uma estratégia de registro global pode demonstrar um aumento do potencial de mercado neste espaço.

### 3. ESTUDO DE MERCADO

#### 3.1. Setores nos quais a tecnologia se insere

A demanda global avaliada em 2019 foi de 1848,9 tons e espera-se um crescimento até 10763,5 tons, um CAGR de 24,6% (Compound Annual Growth Rate - Taxa de Crescimento Anual Composta), considerando 2020 até 2027. Em termos de receita, o mercado estava avaliado em USD 312,6 milhões em 2019 e prevê-se USD 1548,8 milhões para 2027, um CAGR de 22,1% no mesmo período. A **Figura 29** mostra a evolução e projeção em volume (tons) e Receita (USD Milhões) do mercado de impressão 3D de metais (Grand View Research, 2021).

A impressão 3D por metal é utilizada em várias indústrias, incluindo aeroespacial e defesa, automotiva, médica e odontológica e outras, que podem incluir indústria de brinquedos, construção civil, joias, energia, eletrônicos e de máquinas e equipamentos. O mercado global de impressão 3D de metais está tendo um rápido crescimento, impulsionado pela alta demanda na indústria aeroespacial e de defesa, bem como na área de saúde.

Figura 28 – Mercado e Projeção de Crescimento da I3D de metais

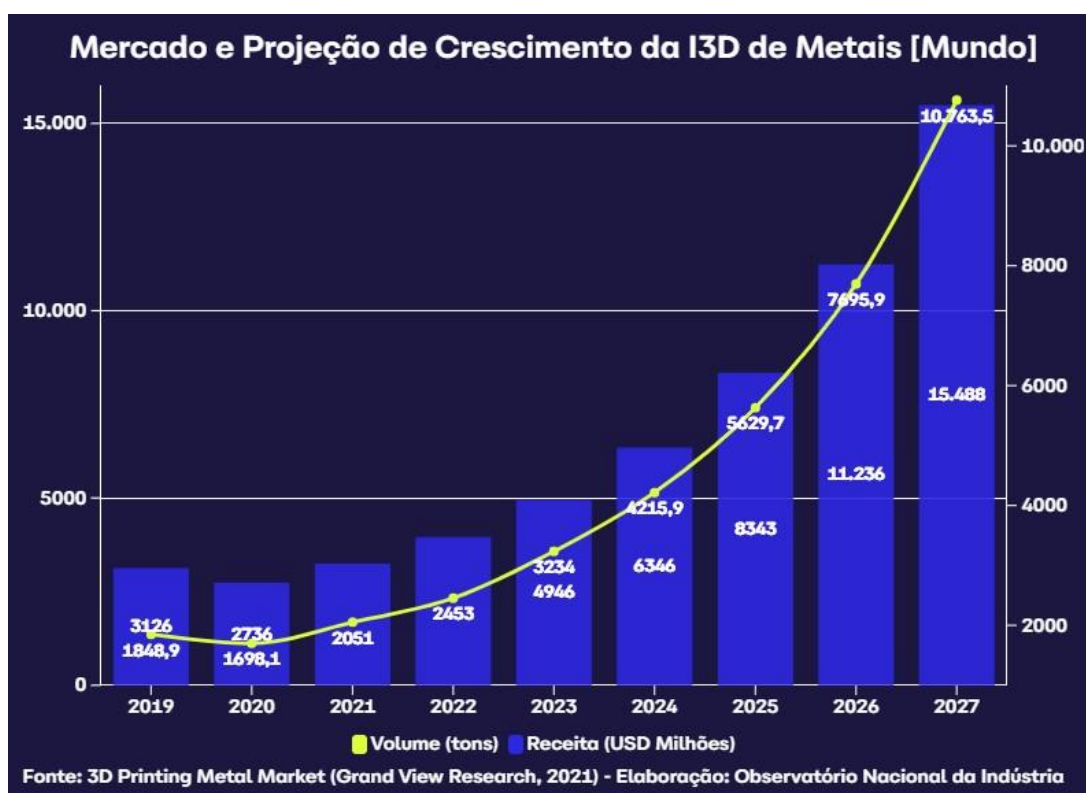


Gráfico animado (clique no link)

[Tamanho de Mercado e Projeção de Crescimento da Impressão 3D de Metais](#)

Assista ao vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=vsIGAQU72Ys>

Em termos de receita, como mostra a **Figura 30**, o setor aeroespacial e de defesa obteve a maior participação, 41,4% em 2019. Espera-se que o crescimento do mercado na indústria seja impulsionado pela extensa pesquisa e desenvolvimento no campo. O mercado é impulsionado principalmente pela cadeia de valor mais curta, baixo desperdício, maior liberdade de design e economia oferecida pela manufatura aditiva.

Figura 29 - Market Share Global (Receita) por setor, em 2019

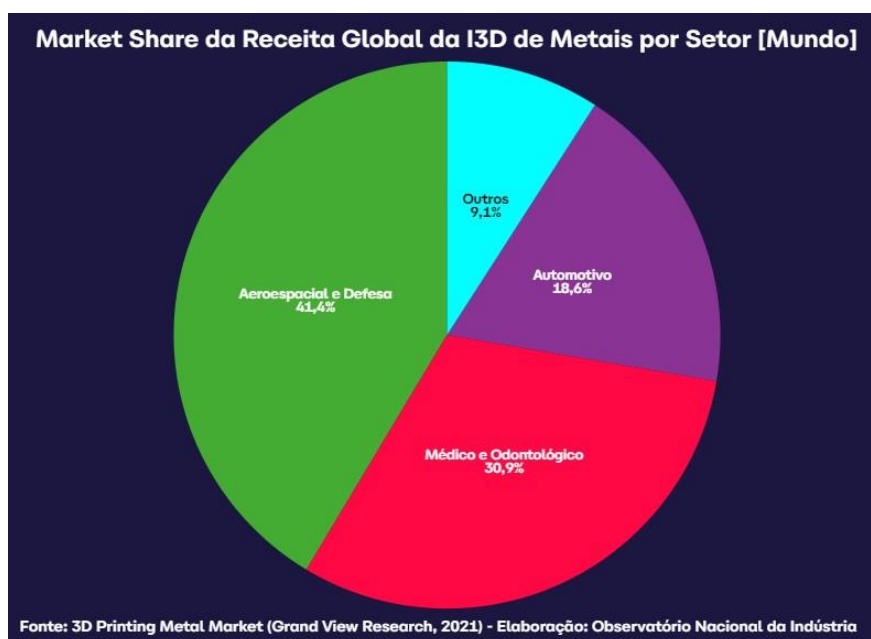


Gráfico animado (clique no link)

[Market Share da Receita Global por Setor \[Mundo\]](#)

### 3.2. Análise de Mercado

A segmentação do mercado de impressão 3D se dá pelos prestadores de serviços, fornecedores de hardware, software e de materiais (Bis Research, 2022):

- Os fornecedores de Hardware incluem impressoras 3D e Scanners. Fornecedores como 3D Systems, EOS e Desktop Metal estão desenvolvendo impressoras 3D para aplicações industriais e produção em lotes. Os Scanners permitem escanear qualquer objeto e extrair o modelo para um software, o que ganha tempo em design. Estima-se que os Hardwares alcancem de 35-40% do market share do mercado de impressão 3D global;
- No segmento de software é estimado até 8-12% da fatia do

mercado global. Ele permite que os usuários executem certa quantidade de tarefas como projeto, preparação de dados, controle da máquina, simulação e controle de qualidade. Empresas como AutoCAD, Creo, Ultimaker Cura, Materialise Magics e TinkerCAD são algumas que lideram o segmento;

- Os materiais de impressão 3D são diferentes dos materiais convencionais, visto que estes são sujeitos a diferentes condições de trabalho nos processos de manufatura convencionais como injeção de plásticos. Polímeros, metais e ligas, cerâmicas e concreto são alguns dos materiais que a impressão 3D utiliza. Os metais estão crescendo sua popularidade, visto a alta demanda e custo das impressoras 3D de metal reduzindo, bem como atividade de P&D das empresas em direção a metais impressos com qualidade. Algumas empresas como Ultimaker, OC Oerlikon Management AG, 3D Systems, Evonik, Exone lideram a oferta de materiais. Estima-se que este segmento atinja até 15-20% da fatia global de mercado;

- Por fim, o segmento de serviços inclui impressão sob demanda (o qual domina o segmento), projeto sob demanda, escaneamento sob demanda, consultoria, otimização de produção e custos e outros, com estimativa de 33-38% do mercado global. O serviço de impressão sob demanda tem grande presença de players no mercado como 3D systems, Stratasys, Xometry, PTC, Protolabs, Oerlikon Management AG, etc.

O mercado de impressão 3D de metais é segmentado por forma de deposição, material, aplicação e região (Grand View Research, 2021):

- ***Segmentação por Forma de Deposição***

O relatório da Grand View Research (2021), a impressão 3D de metais por pó domina o mercado com 92,6% (2019) e há previsão de aumento para 94,6% em 2027, comparado à tecnologia de filamento. Em termos de volume (tons), a impressão 3D por pó utilizou de 1711,5 tons em 2019 e estima-se 10182,1 tons em 2027, como mostra a **Figura 31**, um CAGR de 25,0% neste período. Por outro lado, o mercado de filamentos registrou 137,4 tons em



2019 e estima-se que atinja em torno de 581,4 tons em 2027, um CAGR de 19,8%.

Figura 30 - Crescimento de volume (tons) por forma no Mundo

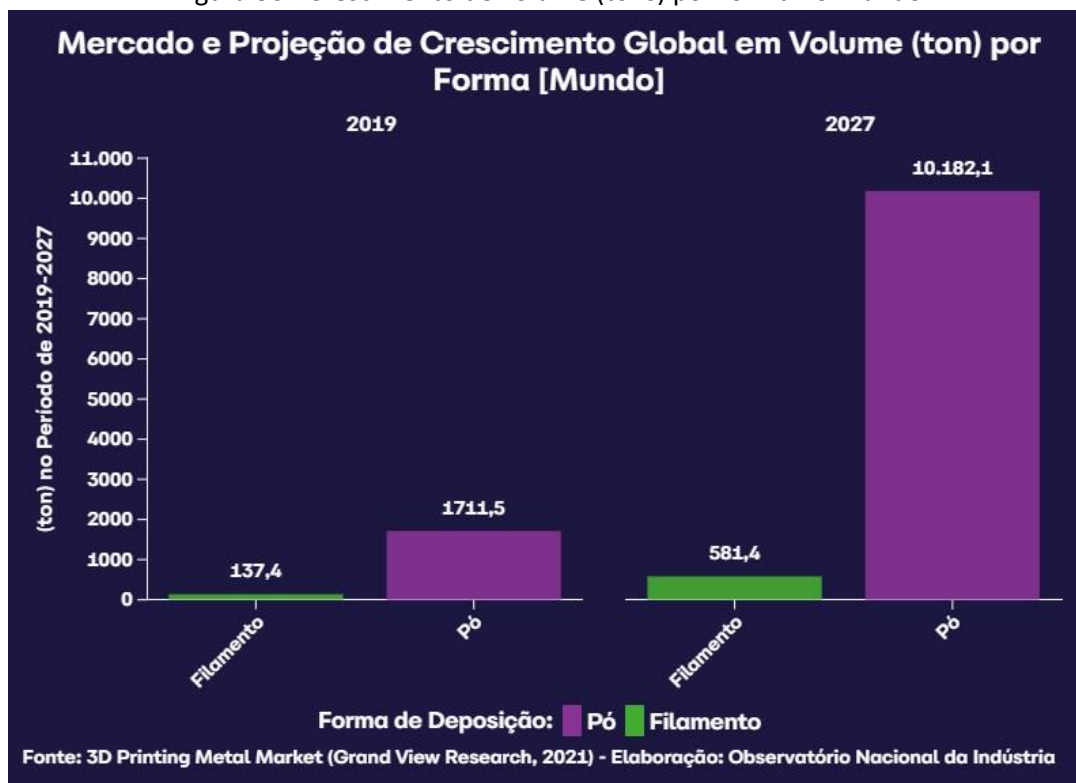


Gráfico animado (clique no link)

[Receita Global em volume por Forma \(uri.sh\)](https://uri.sh)

Relativo à receita, a impressão 3D por pó registrou USD 295,6 milhões em 2019 e estima-se USD 1453,1 milhões em 2027, um CAGR de 22,0% neste período.

O mercado de filamentos registrou USD 16,9 milhões em 2019 e estima-se que atinja em torno de USD 95,7 milhões em 2027, um CAGR de 24,2%, conforme a **Figura 32**.

No caso da impressão 3D por filamento, os metais são o segundo tipo de material mais utilizado, com uma receita global registrada em 2017 de USD 119,85 milhões e com previsão de atingir USD 336,06 milhões em 2027, um CAGR de 15,36%, perdendo apenas dos polímeros (Grand View Research, 2021).

Figura 31 - Projeção de crescimento global (Receita, em USD Mi) por forma de deposição.

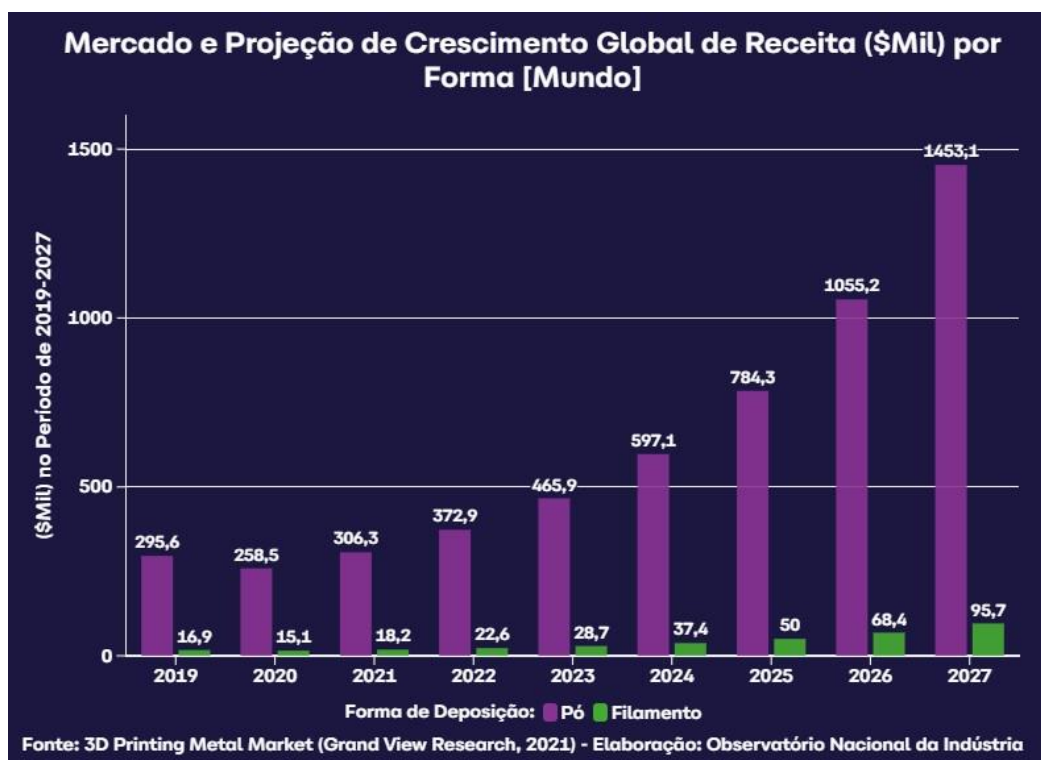


Gráfico animado (clique no link)

[Projeção de Crescimento Global de Receita por Forma \[Mundo\]](#)

- **Segmentação Por Materiais:**

**Aço:** maior volume dentre os materiais utilizados, 545,5 tons em 2019 e previsão de 3911,3 tons em 2027, um CAGR de 27,9%. A fatia do mercado foi avaliada em 29,5% em 2019 e com previsão de alcançar a marca de 36,3% em 2027. Em termos de Receita, o aço gerou USD 41,5 milhões em 2019 e estima-se USD 267,1 milhões para 2027, um CAGR de 26,2%. China, Índia, Japão, EUA e Coreia do Sul foram os cinco principais produtores de aço bruto em 2018. A China responde por quase metade da produção global de aço bruto, com uma participação de mercado que aumentou para 53,3% em 2019, em comparação com 50,9% no ano anterior. Países-chave da União Europeia também viram uma diminuição na produção de aço bruto em comparação com 2018 (Grand View Research, 2021).

**Titânio:** um dos metais mais fortes, é leve, biocompatível e resistente à corrosão. Agora sendo usado para aplicações industriais de impressão 3D. Fornecido na forma de pó pode ser usado no processo de sinterização, fusão ou por feixe de elétrons. Devido a isso, é amplamente usado nas indústrias aeronáutica, aeroespacial e médica. O setor aeroespacial é o maior adotante do titânio. No entanto, aplicações médicas tendem a aumentar o consumo de titânio para impressão 3D. A empresa Concept Laser está incluindo aplicação de titânio em seu portfólio de impressoras 3D. É o segundo mais utilizado, gerou USD 129,4 milhões em 2019 e a expectativa é que alcance

USD 764,1 milhões em 2027, um CAGR de 24,9%. Em termos de volume em 2019 registrou 502,7 tons e previsão de 3395,4 tons em 2027, um CAGR de 27,0% (Grand View Research, 2021).

**Níquel:** elemento de liga importante na fabricação de aço, pois oferece estrutura austenítica aos aços. Possui propriedades como alta ductilidade, reciclabilidade, alto ponto de fusão e resistência à corrosão, sendo útil em diferentes indústrias de uso final, incluindo automobilística e aeroespacial. Foi o terceiro material mais usado com 21,6% do market share em 2019, no entanto, estima-se uma queda para 14,9% para 2027. Em termos de volume, em 2019 foi registrado 48,6 tons com previsão de alcançar 1603,5 tons, um CAGR de 19,0%. Relativo à receita, em 2019 registrou-se USD 48,6 milhões e estima-se USD 177,9 milhões em 2027, um CAGR de 17,6%. A Indonésia foi o maior produtor em 2018 (560k Toneladas métricas). Nos últimos anos, a preferência por ferro gusa níquelado de baixo custo aumentou, o que resultou na diminuição da produção de níquel refinado (Grand View Research, 2021).

**Alumínio:** material de baixo custo e fácil disponibilidade. São usados para componentes funcionais, peças de reposição e joias. São ligas cada vez mais adotadas na indústria aeroespacial devido a leveza. Também combinado com termoplásticos (PLA) para melhorar as propriedades das peças em questão de temperatura. Dentre os materiais, o alumínio registrou 13,5% de utilização em 2019 e 12,6% prevista para 2027 (Grand View Research, 2021). Relativo a volume, em 2019 atingiu cerca de 249,8 tons e estima-se 1355,4 tons para 2027, um CAGR de 23,5% (**Figura 33**). Em termos de receita, em 2019 registrou USD 32,8 milhões com previsão de USD 163,8 milhões para 2027, um CAGR de 22,3% (**Figura 34**) (Grand View Research, 2021).

Figura 32 - Mercado global de I3D de metais por materiais (Volume, em tons)

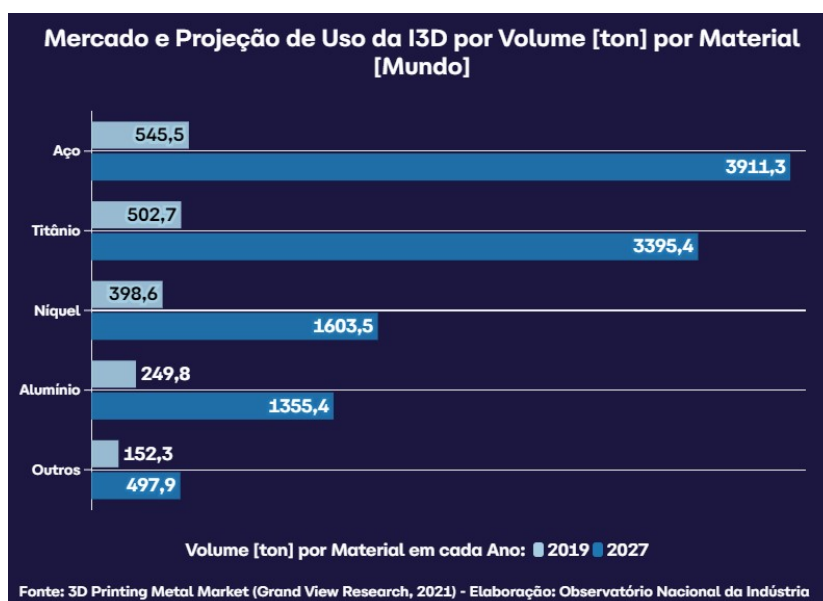


Gráfico animado (clique no link)

[Projeção de Crescimento em Volume por Material \[Mundo\]](#)

Figura 33 - Mercado global de I3D de metais por materiais (Receita, em USD Mi).

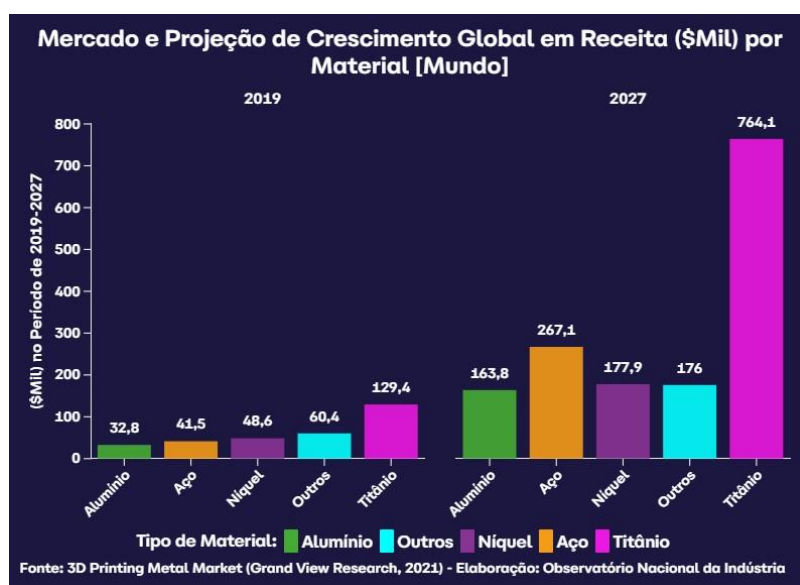


Gráfico animado (clique no link)

[Receita Global \(\\$Mil\) por Material \[Mundo\] \(uri.sh\)](#)

### • Segmentação Por Aplicação

Conforme mostra a **Figura 35** e **Figura 36**, o mercado de aviação e de saúde são os dois maiores, por ordem, para impressão 3D em metais tanto em receita, quanto em volume. Ainda, a previsão é que estes dois setores se mantenham suas posições em 2027 (Grand View Research, 2021).

Figura 34 - Mercado global de I3D de metais por setores (Volume, em tons).

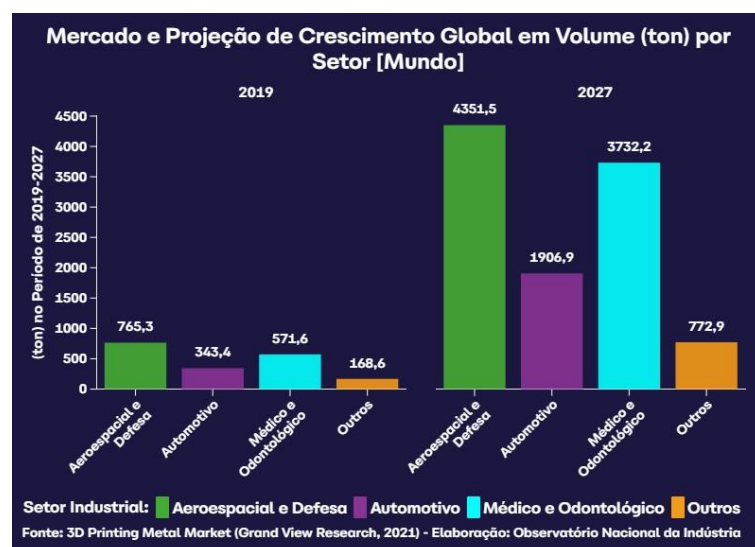


Gráfico animado (clique no link)

[Projeção de Crescimento Global em Volume por Aplicação \[Mundo\] \(uri.sh\)](#)

Figura 35 - Mercado global de I3D de metais por setores (Receita, em USD Mi)

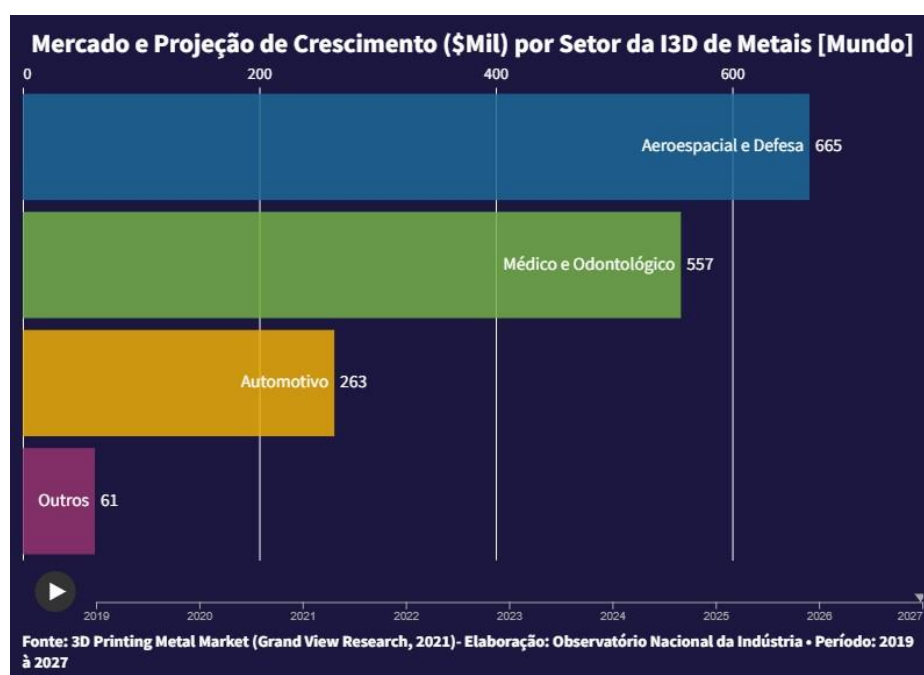


Gráfico animado (clique no link)

[Mercado e Projeção de Crescimento por Setor da I3D de Metais \(uri.sh\)](#)

**a) Setor Aeroespacial:** O setor aeroespacial é o maior em termos de volume, com 41,4% em 2019. Seu consumo foi de 382,7 tons em 2017 e estima-se 4351,5 em 2027, um CAGR de 24,7%. Relativo à receita, em 2017 registrou-se USD 70,5 milhões neste setor, com expectativa de USD 666,4 milhões em 2027, um CAGR de 22,7% (Grand View Research, 2021).

Empresas como a Boeing, Lockheed Martin e Airbus (OEMs-Original Equipment Manufacturer) estão focando no desenvolvimento de protótipos e componentes complexos usando a fabricação em baixo volume. Espera-se que a capacidade da indústria aeroespacial e defesa de suportar altos custos iniciais e se adaptar às novas tecnologias impulse seu desenvolvimento, bem como a abordagem inovadora auxiliada pela demanda por estruturas geométricas complexas (Grand View Research, 2021).

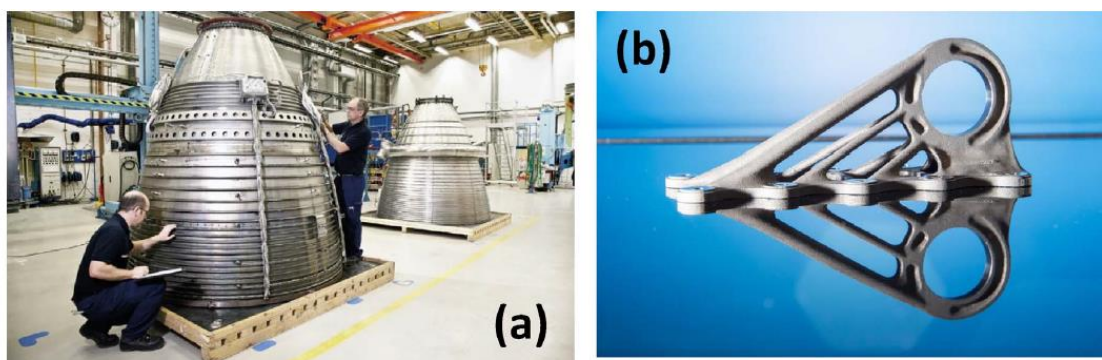
O mercado global de fabricação de peças aeroespaciais deve avançar em um CAGR de 3,8% de 2018 a 2025. O tamanho do mercado foi de USD 877 bilhões em 2018 e deve atingir USD 1.143,7 bilhões até 2025. Em 2018, a América do Norte representou a maior participação de mercado de 51,3% no mercado global de fabricação de peças aeroespaciais, seguida pela Europa e Ásia. Isso se deve principalmente a um grande número de fabricantes de componentes de aeronaves e OEMs no continente (Grand View Research, 2021).



O setor é um dos primeiros a adotar a manufatura aditiva, que deve ajudar a manter uma alta participação no mercado geral nos próximos anos. Além disso, empresas como Boeing, NASA, SpaceX e outras organizações estão se beneficiando da tecnologia de impressão 3D, pois facilita a produção de protótipos com alta precisão geométrica, menos tempo e desperdício mínimo de material, reforçando assim o crescimento do mercado (Grand View Research, 2021).

**A Figura 37** ilustra duas peças fabricadas em impressão 3D no setor aeroespacial.

Figura 36 - (a) Bocal do foguete Vulcain 2 (b) Suporte de titânio para aeronave AW350 XWB.



Fonte: Ngo et al. (2018)

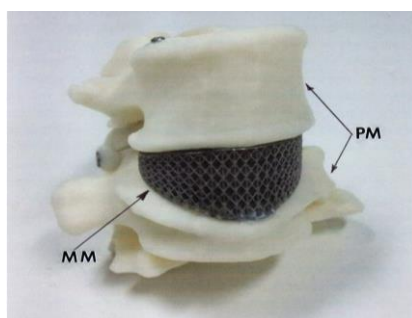
**b) Setor médico e odontológico:** O setor médico e odontológico é o segundo maior com 30,9% do volume de mercado no mesmo período. Seu consumo foi de 293,1 tons em 2017 e estima-se 3732,2 em 2027, um CAGR de 26,0%. Relativo à receita, em 2017 registrou-se USD 53,3 milhões neste setor, com expectativa de USD 557,5 milhões em 2027, um CAGR de 23,8%. O segmento médico e odontológico é projetado para manter o seu crescimento rápido no período previsto. A necessidade para suprir esse rápido crescimento em dispositivos médicos e próteses personalizadas contribuem para a demanda do mercado de impressão 3D de metal (Grand View Research, 2021).

A consciência de saúde e disposição do cliente a pagar são os fatores que impulsionam a indústria da saúde o que promove o crescimento do mercado de manufatura aditiva. No entanto, as empresas menores não conseguem adotar tecnologia devido ao custo. No ramo odontológico é usado para produzir itens customizados como dentaduras, pontes e coroas. O método tradicional é devagar visto que o equipamento varia em tamanho, o que agora é feito pela tecnologia de impressão 3D (Grand View Research, 2021). Embora limitados, componentes de implantes metálicos porosos fabricados por impressão 3D têm sido utilizados em milhares de substituições de quadril em todo o mundo ao longo da última década. Muitos ensaios clínicos para implantes porosos 3D (fabricados aditivamente) também foram conduzidos recentemente nos Estados Unidos e na China. Na China, há uma tendência de começar a produzir implantes personalizados em instalações dedicadas

dentro de hospitais, e os produtores comerciais de implantes nos Estados Unidos também se comprometeram com o desenvolvimento de instalações de impressão 3D (Murr, 2016).

Um exemplo de um inserto espinhal impresso em 3D de Ti-6Al-4V é ilustrado na **Figura 38**, e representa uma ampla variedade de inserções espinais personalizadas fabricadas principalmente por SLM, seja em pontos de atendimento, em instalações de impressão 3D em hospitais, ou por fabricantes comerciais familiares de dispositivos de implantes biomédicos (por exemplo, Stryker, Zimmer-BioMet, etc.), onde a aprovação da FDA foi obtida para uma série de inovadores implantes espinais (Murr, 2016).

Figura 37 - Implante espinhal (malha - MM) personalizado impresso em 3D em Ti-6Al-4V (MM) pelo CT-CAD



Fonte: (Murr, 2020)

A pesquisa realizada por Wu et al (2023) aprofunda as aplicações da impressão 3D na área médica, que incluem ombros, punhos, quadris, joelhos, pés e tornozelos, espinha dorsal e região pélvica, bem como as topologias usadas na criação do produto impresso. A **Figura 39** ilustra os desafios a serem enfrentados nas aplicações ortopédicas bem como suas perspectivas.

|                   |                                                                                                       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Assista ao vídeo: | <a href="https://www.youtube.com/watch?v=A2sX52_jd0w">https://www.youtube.com/watch?v=A2sX52_jd0w</a> |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Figura 38 - Ilustração dos desafios e perspectivas de impressão de implantes em 3D para aplicações ortopédicas

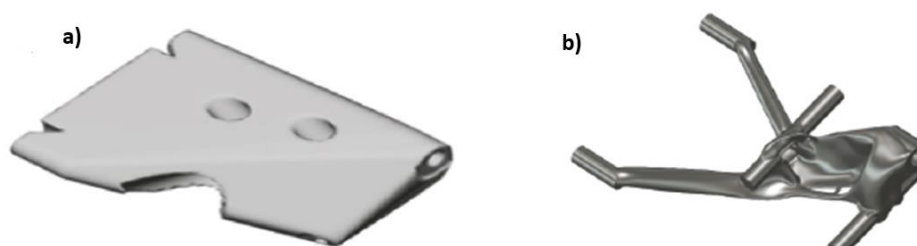


Fonte: Wu et al (2023)

**c)Setor automotivo:** O setor automotivo registrou 18,6% do volume de mercado no mesmo período. Seu consumo foi de 186,2 tons em 2017 e estima-se 1906,9 em 2027, um CAGR de 23,6%. Relativo à receita, em 2017 registrou-se USD 31,3 milhões neste setor, com expectativa de USD 263,9 milhões em 2027, um CAGR de 21,9%. É esperado muitos benefícios no setor automotivo para a produção de componentes ocios com paredes mais finas, e misturar várias matérias-primas durante a fabricação. Isto cria um impacto positivo no desenvolvimento do crescimento do mercado (Grand View Research, 2021).

O uso de manufatura aditiva de metais produz peças mais leves e com maior acuracidade geométrica. Reproduzir peças em massa com tecnologia 3D é benéfico em termos de tempo e custo de produção. A **Figura 40** mostra um componente impresso em 3D para a indústria automotiva.

Figura 39 - (a) Componente de suspensão de carro não otimizado e (b) otimizado a partir de algoritmos que minimizam seu peso.



Fonte: (Fernando Velásquez-García e Kornbluth, 2021)

**d)Setor de máquinas e ferramentas:** Fabricantes de máquinas estão desenvolvendo tecnologias de manufatura aditiva para oferecer projetos customizados aos clientes. Um exemplo é a utilização de um inserto impresso em aço H13 para confecção de bocais para inaladores (**Figura 41**). O crescimento rápido da atividade manufatureira aumentou a demanda global do mercado de máquinas metal mecânica e. Países desenvolvidos e emergentes promoveram este crescimento, incentivando a produção local. O comércio de itens manufaturados representa 71% do mercado de exportação mundial em 2020 (USD 12,1T) (THE BUSINESS RESEARCH COMPANY, 2023).

Figura 40 - Inserto de molde impresso em aço para injeção de bocais de inaladores médicos



Fonte: Desktop Metal (2023)

No entanto, há algumas restrições como problemas com falta de mão de obra qualificada relacionada à eletrônica e software, volatilidade dos preços de matéria-prima (por exemplo o aço é extensivamente usado na de fabricação) e a pandemia do COVID. A receita global é estimada em USD 10612,5M com CAGR de 43,37% entre 2024 e 2029 (THE BUSINESS RESEARCH COMPANY, 2023).

Para a indústria de máquinas, os 5 países com maior receita de vendas são (THE BUSINESS RESEARCH COMPANY, 2023):

- China (USD 3672M) – CAGR 25,47%;
- EUA (USD 1928M) – CAGR 23,56 %;
- Japão (USD 795M) – CAGR 22,24%;
- Alemanha (USD 493M) – CAGR 20,19%
- Coreia do sul (USD 315M) – CAGR 20,99%

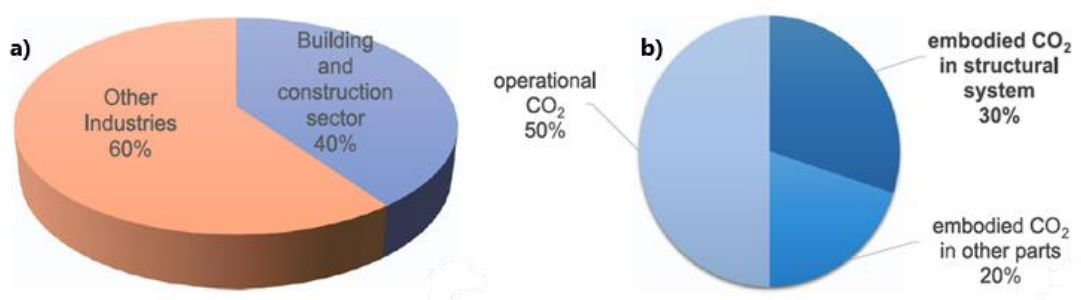
Por outro lado, os 5 países com menor receita de vendas são:

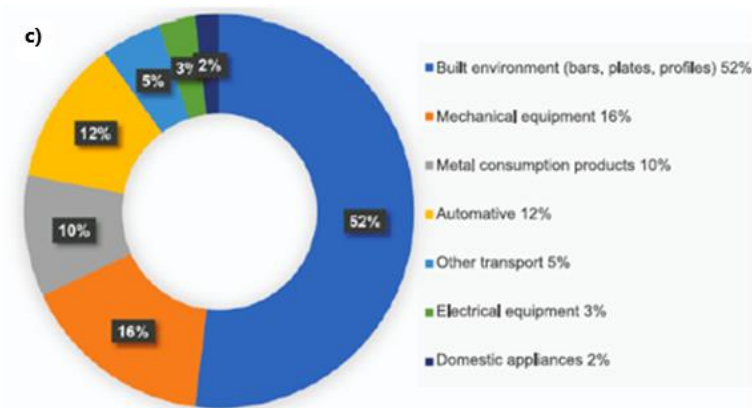
- Argentina (USD 8,1M) – CAGR 1,21%
- Noruega (USD 13,1M) – CAGR 17,61%

A receita global é estimada em USD 10612,5M com CAGR de 43,37% entre 2024 e 2029. A Ásia-Pacífico lidera com um valor de USD 5966,5M de valor de mercado, com um CAGR de 24,7%, seguido da América do Norte com valor de mercado de USD 2256,6 e CAGR de 22,78% no período previsto (THE BUSINESS RESEARCH COMPANY, 2023).

**e) Setor construção civil:** O setor da construção civil domina as emissões de carbono global com uma participação de 40% (**Figura 42**) entre todos os setores. Metade dessa parcela se deve ao CO<sub>2</sub> incorporado nos elementos de construção, e um terço é coberto pelo sistema estrutural. Como as emissões de energia operacional estão diminuindo graças ao aumento do design passivo de edifícios e à descarbonização das redes elétricas, espera-se que a parcela já significativa do sistema estrutural nas emissões de carbono aumente ainda mais à medida que a população global pode crescer em 2,5 bilhões até 2050 (Kanyilmaz et al., 2022).

Figura 41 - CO<sub>2</sub> por setor/ambiente e participação das aplicações de construção em aço. a) Consumo global de CO<sub>2</sub>; b) Consumo na construção civil; c) Uso global de aço.





Fonte: (Kanyilmaz et al., 2022)

Os primeiros usos da fabricação aditiva de metal na construção têm apresentado principalmente componentes em pequena escala, como nós e conexões de fachadas (**Figura 43**) e vigas (**Figura 44**).

Figura 42 - Nó Nematox renderizado (a) e protótipo de alumínio (b)

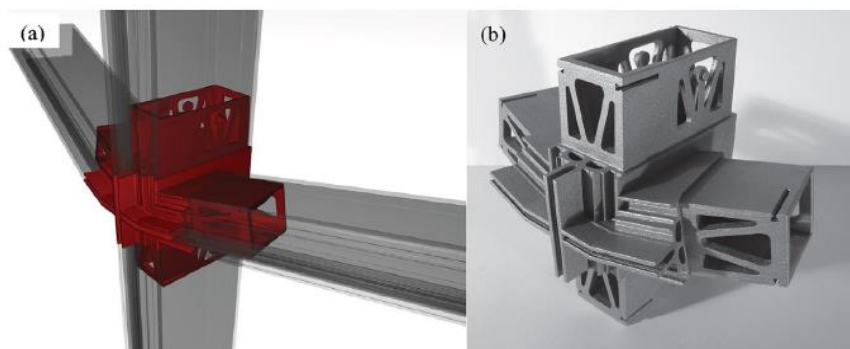
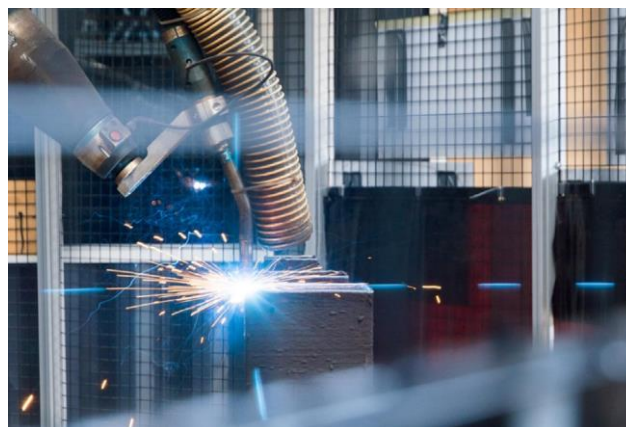


Fig. 6. (a) A rendering of a Nematox façade node and (b) a full size aluminium prototype node [43].

Fonte: (Buchanan e Gardner, 2019)

Figura 43 - Viga sendo construída utilizando impressão 3D por arame e arco-elétrico (WAAM) com braço robótico.



Fonte: (Buchanan e Gardner, 2019)



- **Segmentação Por Regiões**

América do norte foi o maior mercado regional em 2019 com market share de 34,1% em termos de volume. Seu crescimento pode ser atribuído pela adoção precoce e sua incessante demanda do setor aeroespacial e defesa. Estima-se que em 2027 ainda mantenha sua posição com 33,3%, seguido pela Europa e Ásia-Pacífico (Grand View Research, 2021).

A América do Norte lidera o mercado (**Figura 45**) devido à sua adoção precoce da tecnologia. A introdução da impressão 3D está resultando em benefícios significativos, como economia de custos e maior flexibilidade na fabricação de peças. No entanto, existem desafios, como altos custos de desenvolvimento e falta de padrões e regulamentos. A economia de custos é um fator importante para o crescimento, especialmente na indústria aeroespacial e de defesa, onde a tecnologia está sendo amplamente adotada. A impressão 3D também está sendo usada na indústria odontológica e médica, oferecendo benefícios como produção personalizada e cadeias de suprimentos (Grand View Research, 2021).

O crescimento do número de joint ventures, aumento de aquisições, aumento de investimento por grandes empresas como a General Electrics e HP são fatores que vão impulsionar a dinâmica competitiva do mercado de impressão 3D de metais (Grand View Research, 2021).

Figura 44 - Market Share global por região (Receita)

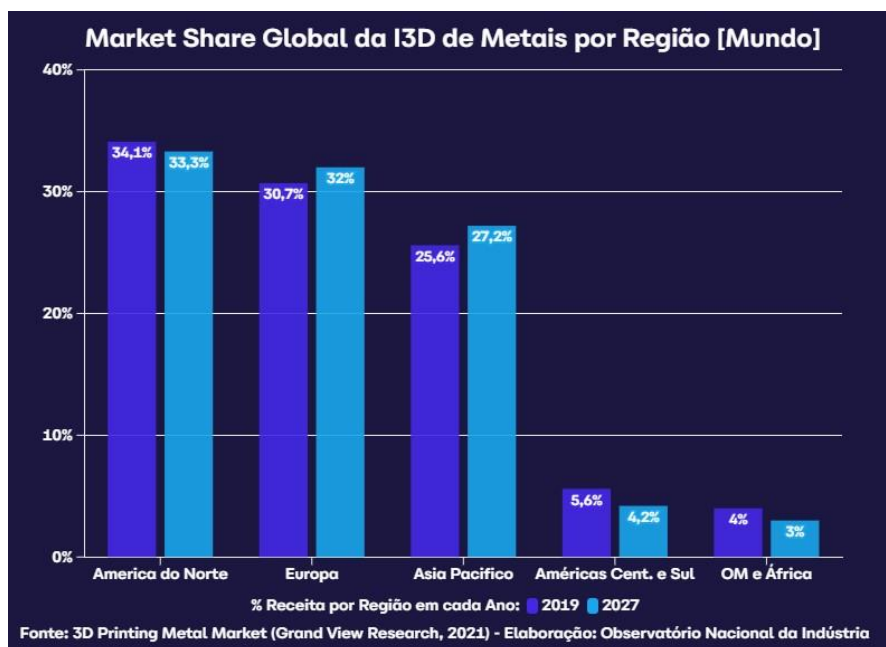


Gráfico animado (clique no link)

[Projeção crescimento mercado de I3D de Metais por Região \[Mundo\]](#)

As **Figuras 46** e **47** evidenciam que a Europa é a região que lidera o mercado

de impressão 3D de metais em receita. No entanto, em questão de volume, a América do Norte sai à frente. A previsão é que estas regiões mantenham suas posições até 2027, elevando de forma considerável o uso desta tecnologia.

Figura 45: Mercado e Projeção de Crescimento da Receita (\$Mil) de I3d de Metais por Região

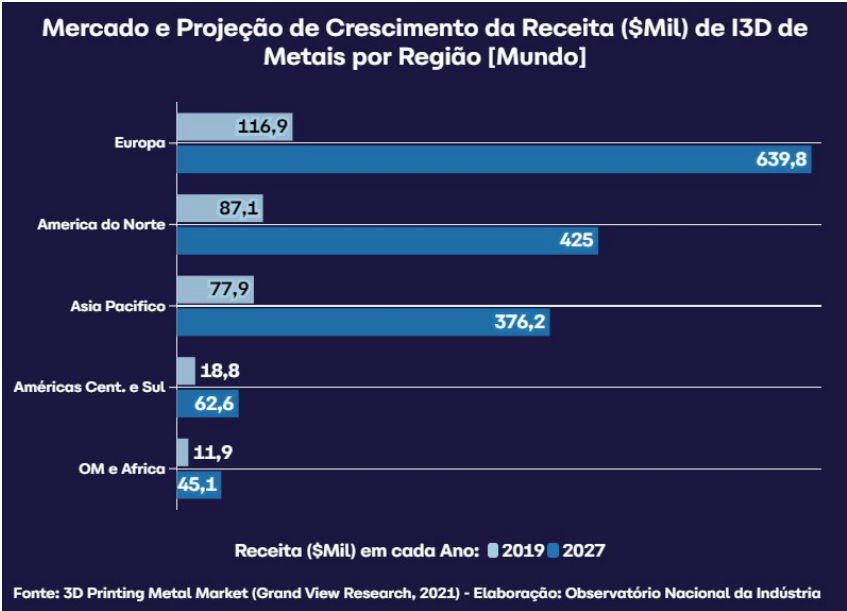


Gráfico animado (clique no link)

[Projeção crescimento mercado de I3D de Metais por Região \[Mundo\]](#)

Figura 46: Projeção de Uso da I3d de Metais por Volume (ton) por Região.

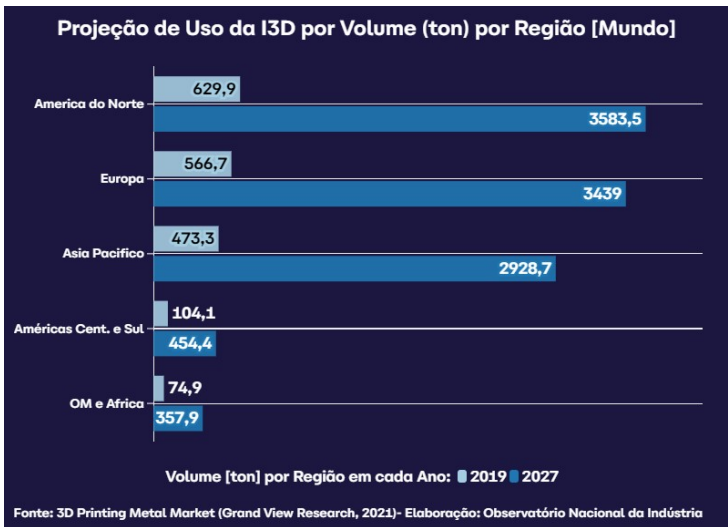


Gráfico animado (clique no link)

[Projeção de Crescimento em Volume por Material \[Mundo\]](#)

- ***Impressão 3D automatizada***

A impressão 3D também é aplicada em conjunto com robôs de forma a automatizar o processo de impressão 3D, sendo utilizado em processos de na manufatura, manuseio de materiais, manuseio de peças, pós-processamento ou multiprocessamento. Este mercado também é segmentado por oferta (envolvendo fornecedores de hardware, software e serviços), por setores de uso final (manufatura industrial, automotiva, aeroespacial e defesa, produtos de consumo, saúde, energia e outros) e por região (Mordor Intelligence, 2021b).

Em termos de oferta, o segmento de hardware possui mais da metade do market share global, o qual gerou USD 265,66 milhões de receita em 2020 e com previsão de alcançar USD 2736,90 milhões em 2027, um CAGR de 39,40%. Na sequência, software com previsão de USD 1991,50 milhões para 2027 (CAGR 44,95%) e serviços com previsão de USD 1150,17 milhões e CAGR de 42,53% (Mordor Intelligence, 2021b).

Relacionado a processos, o uso de impressão 3D automatizada em manufatura liderou o mercado com USD 141,76 milhões em 2020, com previsão de USD 1499,15 milhões para 2027, um CAGR de 39,92%. Manuseio de materiais e uso em pós processamento ficaram com 23,67% e 19,87% da fatia do mercado, com expectativa de CAGR de 41,11% e 43,30%, respectivamente (Mordor Intelligence, 2021b).

A América do Norte é a região que lidera em termos de receita, com 34,31% do mercado, chegando a USD 176,10 milhões em 2020 e com previsão de alcançar USD 1877,03 em 2027, um CAGR de 40,08%. Em segundo lugar vem a Europa, com 27,25% do market share, podendo atingir USD 1707,17 milhões em 2027, um CAGR 43,27%. A Ásia-Pacífico ocupa o terceiro lugar com 23,62% da receita global, com previsão de alcançar USD 1458,99 milhões em 2027, atingindo um CAGR de 42,94% (Mordor Intelligence, 2021b).

### **3.3. Detalhamento do Setor Principal**

No segmento aeroespacial, as empresas estão realizando joint ventures e parcerias como por exemplo a Launcher, Orbex e Ariane Group para utilizar impressão 3D em motores de foguetes. Também houve acordo entre a NASA e a Relativity Space para iniciar uma fábrica robotizada que utiliza manufatura aditiva. Na Índia, a empresa Hindustan Aeronautics está usando I3D em metal para fabricar componentes de motor de aviões. Aquisições também estão sendo realizadas, a Allegheny Technologies Incorporated (ATI) adquiriu a Addaero, uma fornecedora de manufatura aditiva baseada em ligas metálicas para a indústria aeroespacial e de defesa. A Aerojet Rocketdyne Holdings, Inc. adquiriu a 3D Materials Technology, Inc. (3DMT), uma fornecedora de soluções de manufatura aditiva sediada na Flórida, EUA (Grand View Research, 2021).

No caso da indústria de saúde, implantes feitos com I3D usando laser ou

sistemas de fusão por feixe de elétrons se mostraram promissores tanto na compatibilidade biomecânica quanto na integração óssea, que envolvem dentes, enxertos e implantes cranianos, substituições de ossos do queixo, substituições totais de quadril e uma variedade de outras substituições ortopédicas, incluindo joelhos (Murr, 2016).

A Lima Corporate (EUA) comercializou implantes de quadril utilizando manufatura aditiva, iniciando trabalhos de manufatura aditiva em um hospital em Nova Iorque (Grand View Research, 2021).

**3.4. Principais Players Internacionais de Impressão 3D de Metais**

A **Figura 48** apresenta os principais fornecedores internacionais relacionados com a área de Impressão 3D de Metais com localização na América do Norte, Europa e Ásia.

Figura 47: Principais Fornecedores da Área de I3D de Metais no Mundo.

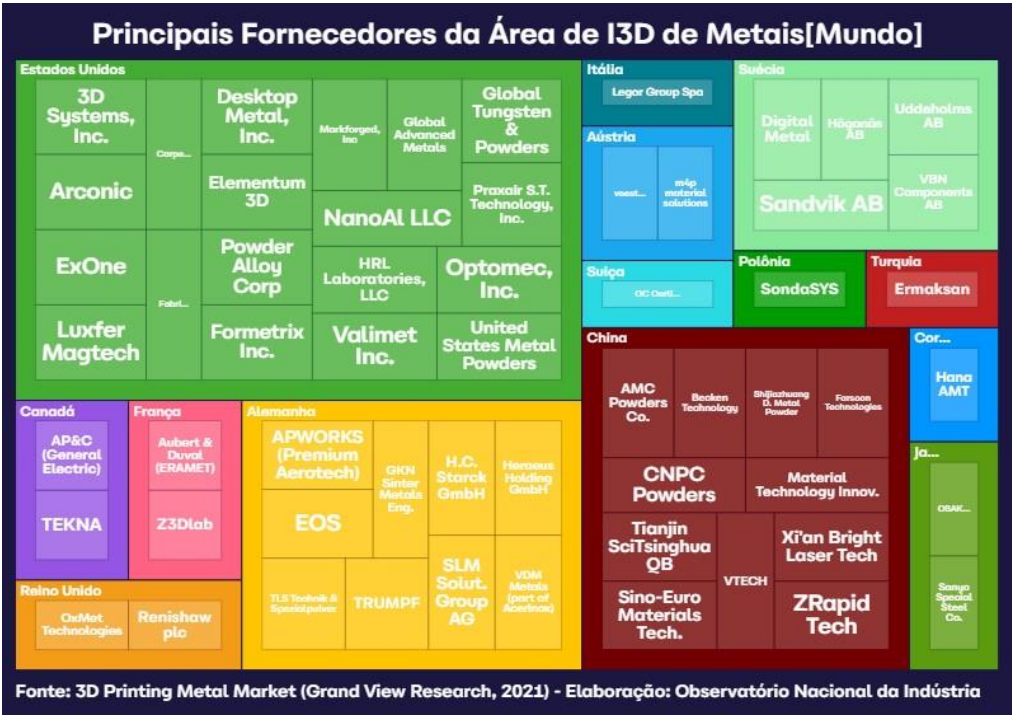


Gráfico animado (clique no link)

[Principais Fornecedores da Área de I3D de Metais \[Mundo\]](#)

A **Figura 49** apresenta os principais usuários finais da tecnologia de I3D fornecedores internacionais relacionados com a área de Impressão 3D de Metais com localização em diversos países no mundo.

Figura 48: Principais Fornecedores da Área de I3D de Metais no Mundo.

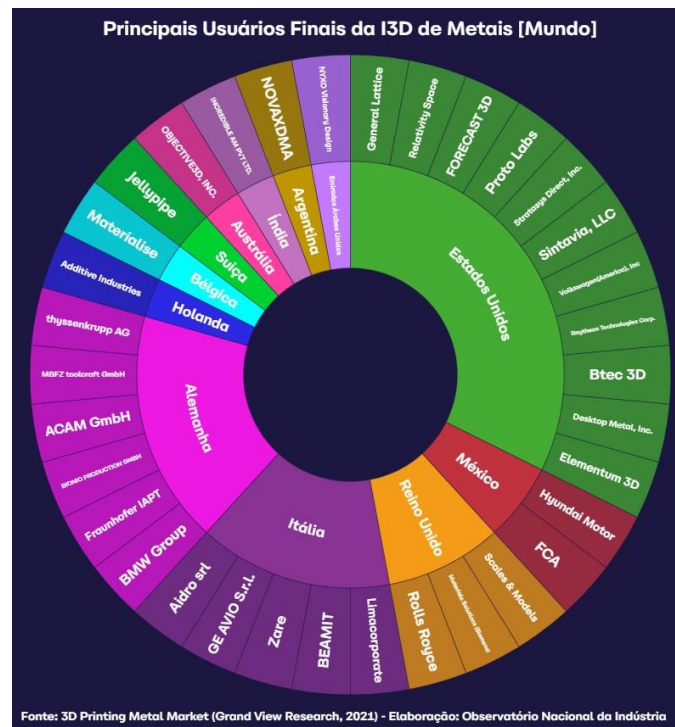


Gráfico animado (clique no link)

## Principais Usuários Finais da I3D de Metais [Mundo]

O mercado de impressão 3D está testemunhando um crescente número de startups na indústria em todo o mundo, devido à natureza altamente fragmentada. O mercado global de impressão 3D pode ser segmentado em hardware, software, serviços e materiais de impressão (Bis Research, 2022).

De acordo com a análise da BIS Research (2022), as atividades de startups no mercado de impressão 3D obtiveram mais de USD 1,1 bilhão em 2019, com financiamento recorde para startups no mercado de impressão 3D ultrapassando USD 3,0 bilhões. Mais de 66% do financiamento total foi para fabricantes de impressoras 3D, enquanto startups que trabalham com materiais, software, serviços e outros segmentos têm uma participação de 8-12% do financiamento total arrecadado.

A onda de financiamento de startups continuou em 2021 e 2022, com várias startups levantando fundos para expandir suas operações. Por exemplo, a 9T Labs levantou USD 17 milhões em uma rodada de financiamento da Série A liderada pela Stratasys, Inc. em fevereiro de 2022. A Nexa3D também fechou uma rodada de financiamento de USD 55 milhões em maio de 2021, com OurCrowd e Saudi Aramco Energy Ventures investindo na empresa. A Essentium, uma startup com foco em impressoras 3D baseadas em polímeros, também fechou uma rodada de financiamento da Série A de USD 17 milhões em janeiro de 2021 (BIS RESEARCH, 2022).



O mercado de impressão 3D está testemunhando um crescente número de startups na indústria em todo o mundo, devido à natureza altamente fragmentada. O mercado global de impressão 3D pode ser segmentado em hardware, software, serviços e materiais de impressão (Bis Research, 2022).

De acordo com a análise da BIS Research (2022), as atividades de startups no mercado de impressão 3D obtiveram mais de USD 1,1 bilhão em 2019, com financiamento recorde para startups no mercado de impressão 3D ultrapassando USD 3,0 bilhões. Mais de 66% do financiamento total foi para fabricantes de impressoras 3D, enquanto startups que trabalham com materiais, software, serviços e outros segmentos têm uma participação de 8-12% do financiamento total arrecadado.

A onda de financiamento de startups continuou em 2021 e 2022, com várias startups levantando fundos para expandir suas operações. Por exemplo, a 9T Labs levantou USD 17 milhões em uma rodada de financiamento da Série A liderada pela Stratasy, Inc. em fevereiro de 2022. A Nexa3D também fechou uma rodada de financiamento de USD 55 milhões em maio de 2021, com OurCrowd e Saudi Aramco Energy Ventures investindo na empresa. A Essentium, uma startup com foco em impressoras 3D baseadas em polímeros, também fechou uma rodada de financiamento da Série A de USD 17 milhões em janeiro de 2021 (BIS RESEARCH, 2022).

Na **Figura 50** é possível observar algumas de startups relacionadas a Impressão 3D de metais em alguns países no Mundo.

Figura 49 - Startups relacionadas a impressão 3D de metais

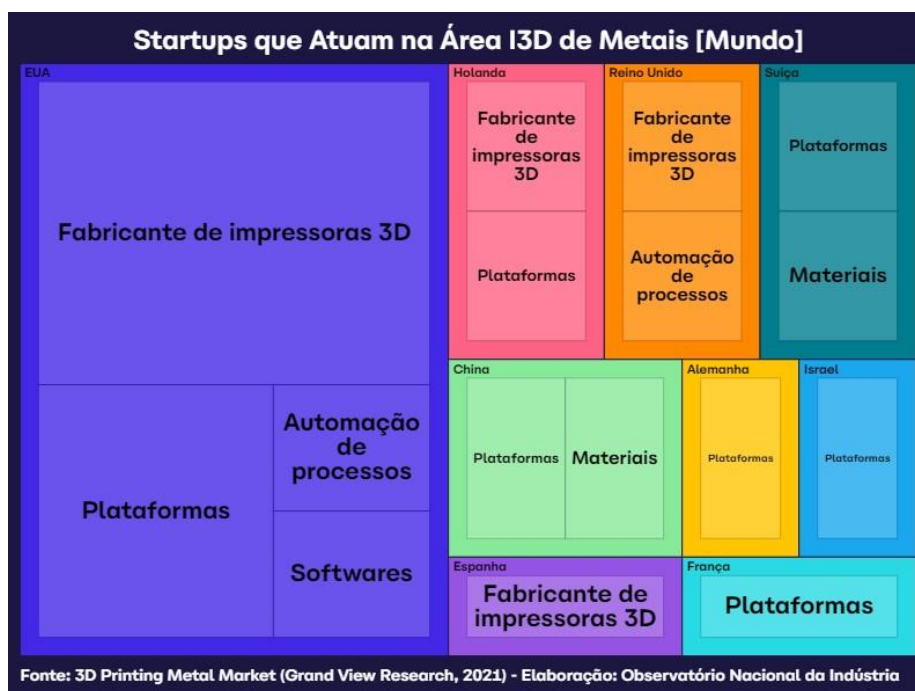


Gráfico animado (clique no link)

[Startups que Atuam na Área de I3D de Metais \[Mundo\]](#)

### **3.5. Análise de Pestel**

#### ***Político***

O aumento do interesse dos governos no mundo potencializa o crescimento do mercado. A implementação de várias políticas e propostas de leis está ajudando o crescimento do mercado de impressão 3D (Grey Views, 2022).

A guerra comercial entre países como China e Estados Unidos e Austrália e China provavelmente tem implicações nos preços de metais. Isto pode causar uma interferência no fornecimento de matéria-prima e no seu preço no curto prazo (Grand View Research, 2021).

No caso do Brasil, existe a questão de incentivos fiscais (como redução de IPI), necessidade de investimento em combate à falsificação e investimentos em educação profissionalizante (Betim et al., 2019)

#### ***Econômico***

Como o conceito de impressão 3D já existe há algum tempo e novos avanços tecnológicos já reduziram o custo dos processos para níveis em que é mais viável para usuários finais, a sua adoção se torna mais fácil (Mordor Intelligence, 2021b).

A pandemia do COVID causou problemas na economia global o que impactou negativamente a demanda por impressão 3D de metal em 2020 (Grand View Research, 2021).

Voltando o olhar ao Brasil, fatores como a taxa do dólar (influencia diretamente no preço de matérias primas e equipamentos importados de manufatura aditiva), inflação (impacta nos tributos governamentais, custo de mão de obra e matéria prima, onde o índice IPCA é utilizado), tarifas aduaneiras (adesão ou rompimento de acordos internacionais, como exemplo o Mercosul) e tributos sobre operações financeiras devem ser levados em consideração. Além disso, existe a influência do governo federal com relação a políticas econômicas que impactam relações comerciais e câmbio, além dos prazos dos projetos (Betim et al., 2019).

#### ***Social***

A falta de regulamentações relativas à verificação de segurança de produtos fabricados com tecnologia de impressão 3D é uma grande preocupação. Muitos consumidores acreditam que a tecnologia provavelmente terá uma maior penetração se os benefícios puderem ser transmitidos de forma eficiente (Grand View Research, 2021).

#### ***Tecnológico***

O P&D de novos materiais para a manufatura aditiva de metal ganhou popularidade nos últimos anos. Seu desenvolvimento na ciência dos materiais provavelmente impulsionará os preços das matérias-primas em nível

econômico levando ao maior uso da tecnologia (Grand View Research, 2021).

Avanços no setor de saúde levaram ao desenvolvimento de ferramentas inovadoras como métodos para personalizar e levar conforto a tratamentos terapêuticos. No setor automotivo também implicou em redução de peso de componentes (Grey Views, 2022).

### ***Legal***

Vários órgãos reguladores estão pressionando por novas políticas para regular e monitorar o desenvolvimento da impressão 3D de metal. A aprovação de novos materiais para imprimir componentes do setor aeroespacial deve aumentar ao longo do tempo previsto (Grand View Research, 2021).

Especialmente com o surgimento de novos equipamentos com a capacidade de imprimir uma ampla gama de materiais, desde titânio à cartilagem humana, ocorre uma revolução na cadeia produtiva. Uma ferramenta para manter o equilíbrio é a regulamentação do setor (Betim et al., 2019).

No Brasil, o governo federal influencia no custo e prazo dos projetos, mediante a regulamentação do setor por meio de leis (Betim et al., 2019).

### ***Ambiental***

O processo oferece menos emissões de carbono comparado ao forjamento e fundição. Além disso, reduz o desperdício e, por consequência, promove uma fabricação ambientalmente sustentável (Grand View Research, 2021).

Por outro lado, consome bem mais energia elétrica comparado ao CNC ou outros maquinários, portanto, impacta o ambiente particularmente em países que utilizam combustível fóssil como maior gerador de eletricidade (Grey Views, 2022).

## **3.6. Legislação / Regulamentação**

No Brasil, em 2015, os Ministérios da Indústria, Comércio Exterior e Serviços e da Ciência, Tecnologia e Inovação criaram uma força tarefa para elaboração da Estratégia Nacional para Manufatura Avançada, que engloba, entre outros temas, a Manufatura Aditiva. Em 2017, foi lançado o Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Manufatura Avançada do Brasil, que tem como meta, dentre outras, propor adequações na legislação e regulamentação técnica (Betim et al., 2019)

Ainda não há nenhuma legislação ambiental especificamente voltada para a Manufatura Aditiva. Porém, em que pese tal legislação seja fundamental, o excesso de normas burocráticas pode representar um entrave para o setor. Atualmente, podem estar sujeitas ao licenciamento quaisquer atividades que têm alguma possibilidade de causar poluição. Na prática, é difícil distinguir as atividades que denigrem o meio ambiente daquelas que apenas utilizam os recursos ambientais como matéria prima (Betim et al., 2019)

Segundo Costa e Lins (2023), a impressão 3D levanta preocupações sobre a proteção de direitos de pessoas e empresas. A propriedade intelectual desempenha um papel crucial nisso. Existem várias formas de proteção, incluindo desenhos industriais e patentes (LEI Nº 9.279, DE 14 DE MAIO DE 1996), direitos autorais (LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998) e a Lei do Software (LEI Nº 9.609, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998), todas leis federais. Cada uma delas pode ser aplicada de forma independente para proteger aspectos ornamentais, técnicos, obras literárias, artísticas e código de computador relacionados à impressão 3D. No entanto, a combinação dessas estratégias é frequentemente a melhor abordagem, pois a complexidade da proteção exige uma abordagem holística. A legislação de propriedade industrial permite aos titulares o direito de impedir terceiros de usar, comercializar ou reproduzir os objetos protegidos. Em última análise, a proteção da propriedade intelectual pode ser assegurada através de uma abordagem combinada de diversas medidas de proteção.

- **Regulamentação**

O relatório da Grand View Research (2021) menciona que FDA (Food and Drug Administration), agência reguladora ligada ao departamento de saúde do governo norte-americano, recomenda a seguir o seu *guideline*, como parte dos requisitos do sistema de qualidade, com relação a considerações técnicas para produzir itens da área da saúde com impressão 3D.

De acordo com a FAA (*Federal Aviation Administration*), agência de aviação civil norte-americana, as peças produzidas por impressão 3D devem atender aos padrões que normalmente são estabelecidos para produtos fabricados pelo processo tradicional. Isso inclui (Grand View Research, 2021):

- *Certificado de Tipo (TC) – Itens 23, 25, 27, 29 e 33*
- *Certificado de Produção (PC)*
- *Aprovação do Fabricante de Peças (PMA)*
- *Autorização de Padrão Técnico (TSOA)*

Relativo à fabricação de impressoras 3D, os fabricantes devem garantir o cumprimento das impressoras 3D com os requisitos essenciais de saúde e segurança aplicáveis da Diretiva de Máquinas 2006/42/EC – união europeia, sendo os padrões mais citados por relevância para a impressão 3D de metais baseada em laser (Market Research Future, 2022):

- *EN ISO 12100 (Segurança de máquinas - Princípios gerais para o projeto - Avaliação de riscos e redução de riscos)*
- *EN 60204-1 (Segurança de máquinas - Equipamento elétrico de máquinas)*
- *EN 13849-1 (Segurança de máquinas - Partes relacionadas à segurança de sistemas de controle)*
- *EN 13850 (Segurança de máquinas - Função de parada de emergência - Princípios de projeto)*
- *EN ISO 11553-1 (Máquinas de processamento a laser)*

- *EN 1127-1 (Atmosferas explosivas - Prevenção e proteção contra explosões)*
- *EN ISO 19353 (Segurança de máquinas - Prevenção e proteção contra incêndios)*

Ainda de acordo com o mesmo relatório, princípios gerais do direito penal e civil também se aplicam ao uso da impressão 3D, da mesma forma que se aplicariam a outras atividades e áreas da vida. Isso pode incluir responsabilidade penal por usos maliciosos da impressão 3D, como a fabricação de medicamentos sem licença ou outros materiais proibidos.

### • Especificações de manufatura aditiva por metal - SAE

A SAE International está entre as principais instituições pioneiras que emitem especificações de materiais aeroespaciais (AMS). As políticas e diretrizes estruturadas pela SAE são amplamente reconhecidas pelas autoridades de aviação dos Estados Unidos (Grand View Research, 2021).

Em junho de 2018, a SAE International emitiu as primeiras quatro séries de especificações relacionadas ao uso da fabricação aditiva de metal na indústria aeroespacial e de aviação. Os padrões estabelecidos pela SAE provavelmente terão um grande impacto no futuro da tecnologia de fabricação aditiva de metal nos próximos anos (Grand View Research, 2021).

### 3.7. Modelo para captura do potencial de valor da tecnologia

Um conceito importante que deve ser explicado é a cadeia de valor de Porter. O que é essa cadeia de valor? Toda empresa é uma reunião de atividades que são executadas para projetar, produzir, comercializar, entregar e sustentar seu produto e todas estas atividades podem ser representadas, fazendo-se uso de uma cadeia de valores (Porter, 1985). Ou posto de forma mais estratégica, é um conjunto de atividades relevantes que criam valor para as empresas e geram uma vantagem competitiva. Na **Figura 51**, pode-se visualizar esse modelo de cadeia de valor.

Figura 50 - Mercado de I3D de metais no Brasil dividido por setores



Fonte: Porter (1985).



E para o caso da impressão 3D, qual é essa cadeia de valor? De uma maneira sintética pode-se enunciar que a cadeia de valor é composta pela gestão de ordens, pedidos e fornecedores; desenvolvimento do produto (projeto by manufatura aditiva, engenharia generativa, validação do projeto by manufatura aditiva); planejamento da manufatura (planejamento, simulação e pós-processamento) e produção (programação e execução, conectividade de máquinas, qualidade e análise).

A hipótese a ser explorada para a captura de valor da tecnologia impressão 3D é fornecer peças e componentes de metais com custo, prazo e qualidade competitiva frente aos demais concorrentes tradicionais ou não.

As aplicações a serem exploradas podem ser vistas nos itens 3.2 (Mercado) e 3.3 (Detalhamento do Setor Principal), devendo-se posicionar como uma empresa inovadora, atuando no estado da arte da tecnologia. Desse modo, há quatro formas ou caminhos para a empresa entrar e conquistar o mercado. Em cada caminho escolhido há três aspectos relevantes a considerar no modelo de negócios: a estratégia, os direcionadores do valor e as capacidades facilitadoras chaves da manufatura aditiva.

### 3.8. Análise de Mercado no Brasil

O mercado de impressão 3D por metal no Brasil é bem pequeno, crescendo em passos pequenos comparado a países desenvolvidos. Um dos principais motivos para isso é que a tecnologia requer altos investimentos e os players do mercado local não estão dispostos a isso. A falta de especialistas no país também é outro desafio para o crescimento do mercado. A projeção realizada pela Grand View Research mostra que o mercado no Brasil pode crescer em um CAGR de 14,4% em volume e 11,6% em receita (**Figura 52**). Já na **Figura 53**, pode-se ver o crescimento do mercado no Brasil por setores.

Figura 51 - Projeção de crescimento do mercado de I3D de metais no Brasil

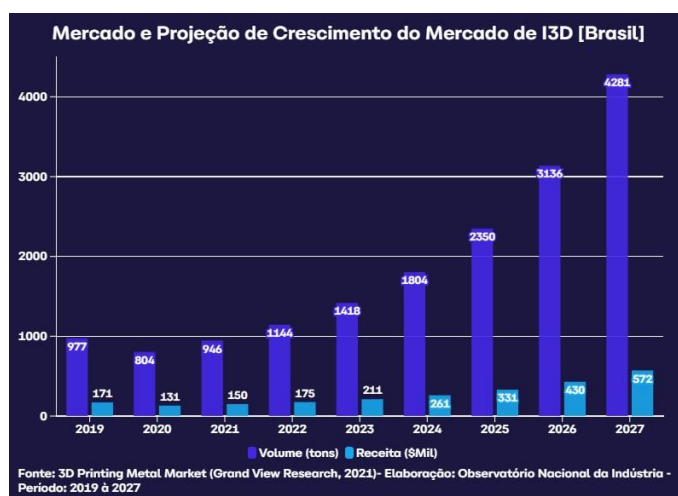


Gráfico animado (clique no link)

[Projeção crescimento \[Brasil\] \(uri.sh\)](https://uri.sh)

O setor aeroespacial e defesa é o que lidera no uso de I3D de metais, seguido pelo setor de saúde, automotivo e outros. A projeção para 2027 é que estas posições se mantenham (Grand View Research, 2021)

Figura 52: Mercado e Projeção de Crescimento Global em Receita (\$Mil) por Setor no Brasil

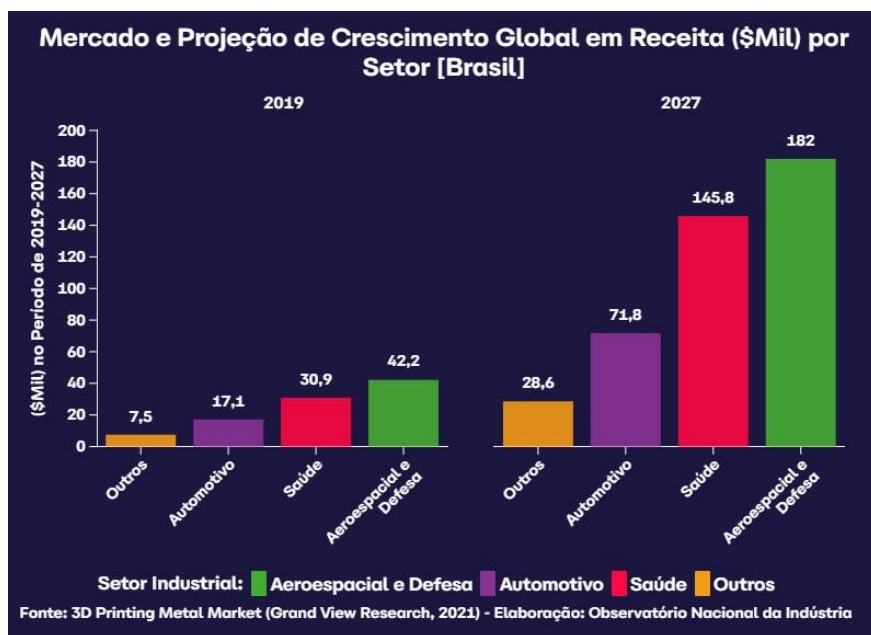


Gráfico animado  
(clique no link)

[Projeção de Crescimento Global em Receita por Setor \[Brasil\] \(uri.sh\)](https://uri.sh)

No Brasil, atualmente, o foco está sendo dado em soluções para P&D e prototipagem. Áreas chave como médica e odontológica estão atraindo significativamente, principalmente, soluções centradas no paciente. Parcerias e joint ventures são projetadas para beneficiar o mercado de manufatura aditiva no Brasil, de modo a impulsionar as vendas dos sistemas e serviços. Por exemplo, a Sciaky Inc. fez um acordo com a Farcco Tecnologia (um dos principais fornecedores de impressoras para OEMs como Lockheed Martin e Airbus) para aumentar sua receita através de impressoras 3D (Grand View Research, 2021).

No mercado de filamentos, de acordo com o relatório da Mordor Intelligence (2021a), estima-se que o Brasil tenha a maior receita da América do Sul em 2027 com USD 4,23 milhões. No resto do continente, estima-se USD 1,53M e USD 0,75 milhões na Argentina. No total, CAGR de 10,07% na América do Sul (Grand View Research, 2021).

No setor de eletrônicos, possui grandes fábricas de eletrônicos, incluindo

Samsung, LG, Foxconn, Dell e outros. Os consumidores brasileiros estão cautelosos com compras caras, mas Samsung e LG estão fortalecendo suas posições. A fabricação de equipamentos de computador e produtos eletrônicos mostrou recuperação recente (Mordor Intelligence, 2021a).

A indústria aeroespacial brasileira está encomendando novas aeronaves, o que deve impulsionar a demanda por filamentos de impressão 3D. A Embraer, líder na fabricação de aeronaves, está localizada em um cluster aeroespacial com mais de 130 empresas no Brasil (Mordor Intelligence, 2021a).

Na área da saúde, é o sétimo maior mercado de saúde do mundo, com mais de USD 42 bilhões gastos anualmente em saúde privada. A pesquisa crescente e a população idosa em crescimento impulsionam a demanda por filamentos de impressão 3D em aplicações médicas (Mordor Intelligence, 2021a).

O setor automotivo teve um crescimento significativo no mercado de veículos elétricos e híbridos. A produção de veículos aumentou em 2021, apesar do declínio no setor automotivo convencional. A proibição planejada de carros a gasolina e diesel até 2030 deve beneficiar o mercado de veículos elétricos e, por extensão, a demanda por filamentos de impressão 3D (Mordor Intelligence, 2021a).

A impressão 3D por pó no Brasil lidera em receita e em volume, com USD 48,4 milhões em 2017 e 9 tons, respectivamente. Estima-se que em 2027 estes números aumentem para USD 401,4 milhões e 53,1 tons, gerando um CAGR de 21,2% e 17,5%, respectivamente (Grand View Research, 2021).

No caso da indústria de máquinas industriais no Brasil, de acordo com a Perry Hoper Partners (2023), estima-se que em 2029 a receita de vendas seja de 77,2M US\$, com um CAGR de 18,2% entre 2024 e 2029 e com 0,73% da fatia global do mercado. Os 5 estados Brasileiros com maior valor de vendas estimado em 2029 são:

- *São Paulo – USD 16,8M; Minas Gerais – USD 7,6M; Rio de Janeiro – USD 6,2M*
- *Bahia – USD 5,2M e Paraná – USD 4,1M.*

Por outro lado, os 5 estados com menor valor de vendas estimado em 2029 são: *Roraima – USD 0,27; Acre – USD 0,37M; Amapá – USD 0,40M; Tocantins – USD 0,61M e Rondônia – USD 0,67M*

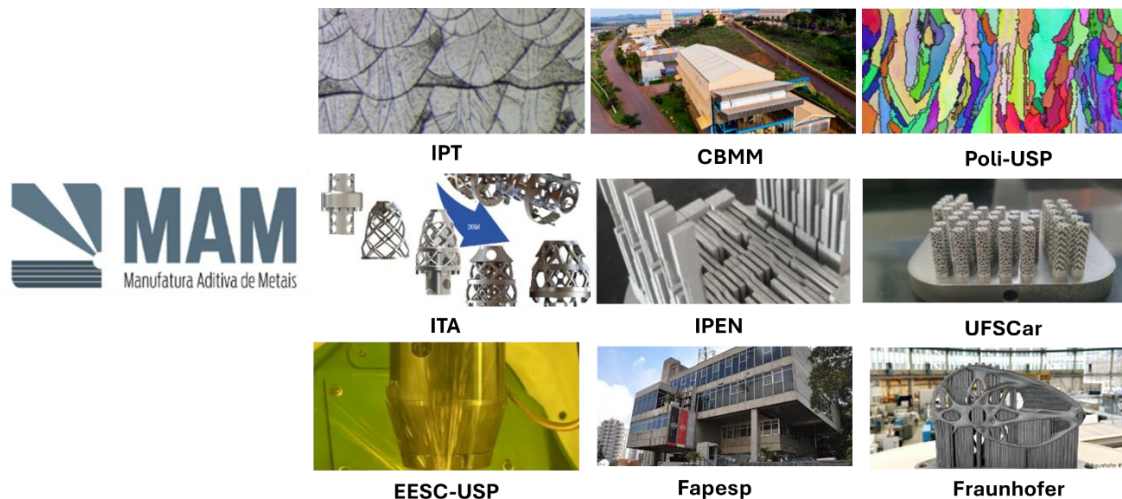
- **Atores do Ecossistema Nacional da Impressão 3D de Metais**

O Núcleo de Pesquisa em Manufatura Aditiva de Metais foi lançado oficialmente no campus do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), para desenvolver a cadeia produtiva de manufatura aditiva de metais a partir do enfrentamento de gargalos tecnológicos ainda existentes em cada etapa da cadeia. A cadeia completa do processo inclui o estudo do projeto de liga para

manufatura aditiva; da matéria-prima; do processo de impressão 3D; do pós-processamento; das propriedades e dos componentes.

A iniciativa reúne sete ICTs e universidades, além da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) (Manufatura Digital, 2023): IPT; POLI-USP; ITA; EESC-USP; UFSCAR; Fraunhofer IPK (Alemanha); Universidade Federal de São Carlos (Ufscar); Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) (**Figura 54**).

Figura 53: Rede MAM



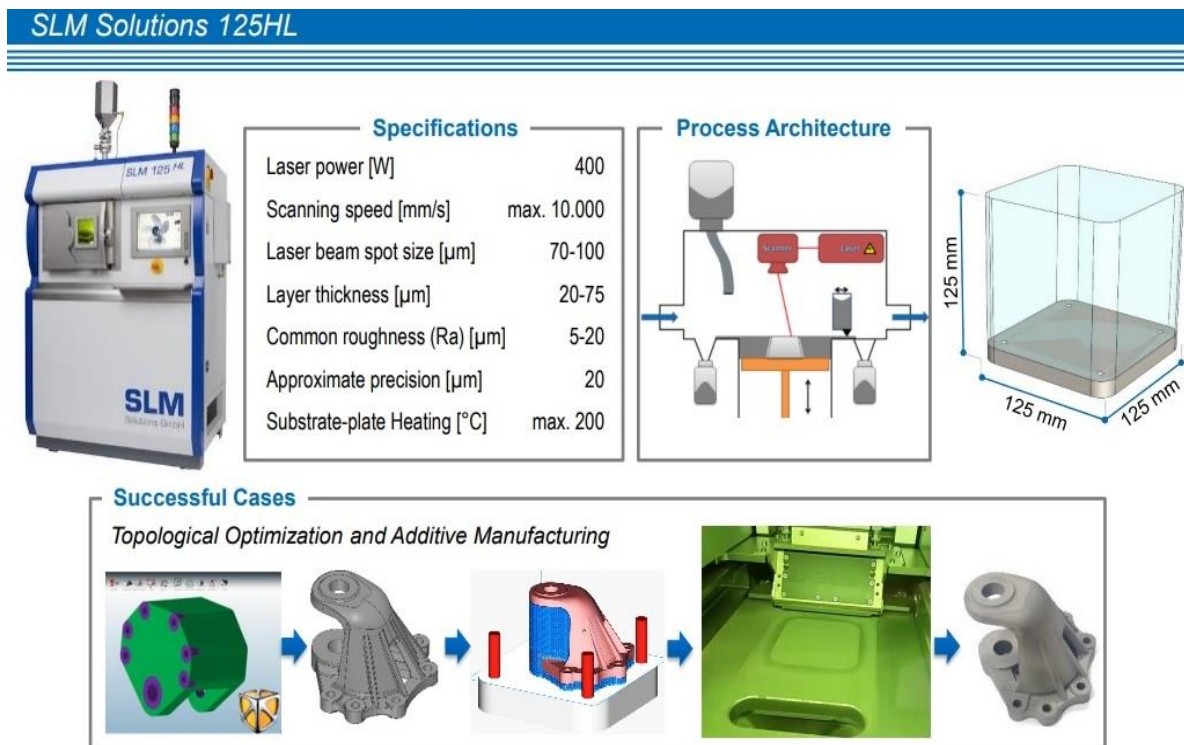
Fonte: <https://mam.ipt.br/>

Um importante centro de inovação e desenvolvimento é o Instituto Senai de Inovação de Joinville/SC. Nesse centro há diversos processos de impressão 3D (o SLM está mostrado na Figura 54), voltados para metais.

O instituto conta com 140 profissionais, com doutores, mestres, graduados e técnicos. A plataforma de manufatura aditiva a laser atua no desenvolvimento de parâmetros de processamento, protótipos e demonstradores funcionais. Também realizamos o reparo de componentes por meio de métodos de impressão 3D de materiais metálicos, como a fusão seletiva a laser e a deposição de metais a laser. A fabricação de componentes camada a camada permite a obtenção de protótipos de produtos com geometrias complexas, as quais não são possíveis de se obter com métodos convencionais de fabricação. Serviços oferecidos (SENAI,2023):

- Deposição de metais a laser: fabricação e reparo de componentes
- Fusão seletiva a laser: design e fabricação de peças leves, complexas e customizadas;
- Design for Additive Manufacturing (DfAM);
- Manufatura híbrida;
- Pesquisa e definição do ciclo de vida da cadeia de manufatura aditiva;
- Imersão e capacitação em AM, através da Academia de Manufatura Aditiva (AMA).

Figura 54 - Processo de impressão 3D SLM e peças obtidas



Fonte: Instituto SENAI de Inovação - Joinville/SC

O Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer – CTI é uma instituição de pesquisa do MCTI que apoia projetos de PD&I na área de Tecnologias 3D, nas linhas de atuação: Competências Digitais – Desenvolvimento de novos materiais e processos; Competências Físicas – Desenvolvimento de tecnologias e modelos.

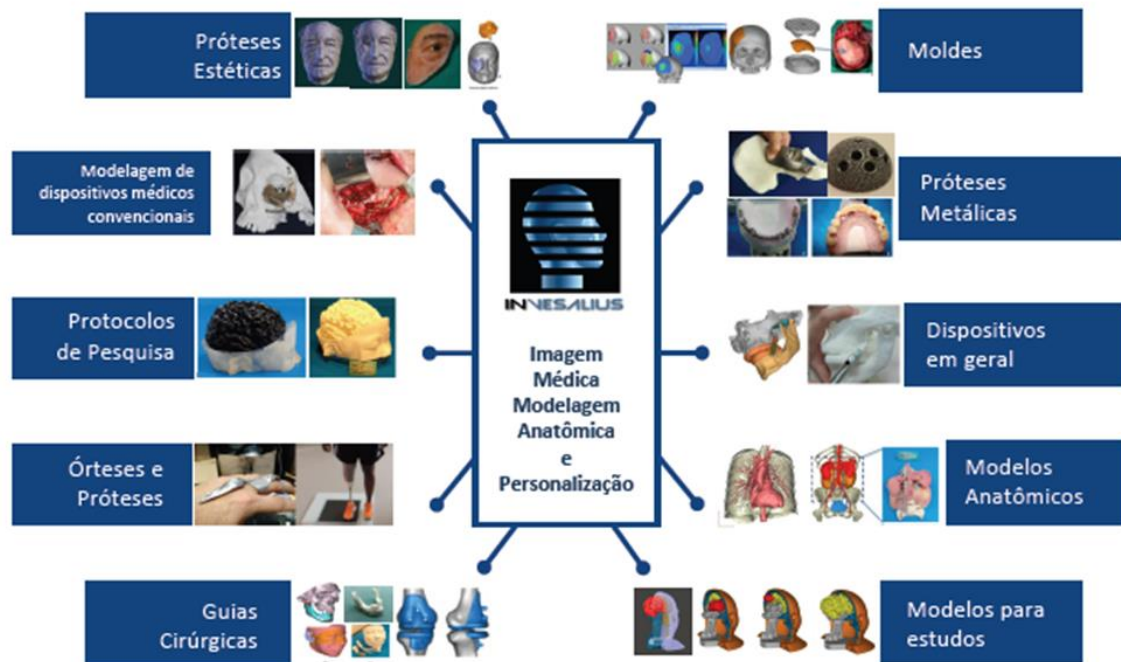
Essa infraestrutura e capacitação técnica permitem à unidade de Tecnologias 3D desenvolver soluções para demandas de diversas áreas, como:

- Aplicações na área de próteses personalizadas;
- Planejamento de cirurgias de alta complexidade;
- Desenvolvimento de implantes personalizados e instrumental cirúrgico;

Desenvolveu próteses customizadas e de baixo custo para cranioplastia, entre muitas outras soluções aplicadas e científicas como a ferramenta computacional InVesalius para a visualização, reconstrução e tratamento de imagens médicas; modelagem e simulação computacional de propriedades mecânicas e interação de próteses e órteses com sistemas biológicos, além da simulação do crescimento de tecidos e órgãos e desenvolvimentos na área estratégica de biofabricação como pioneiro na América Latina (**Figura 56**).



Figura 55: Aplicações Médicas de Manufatura Aditiva do CTI Renato Archer.



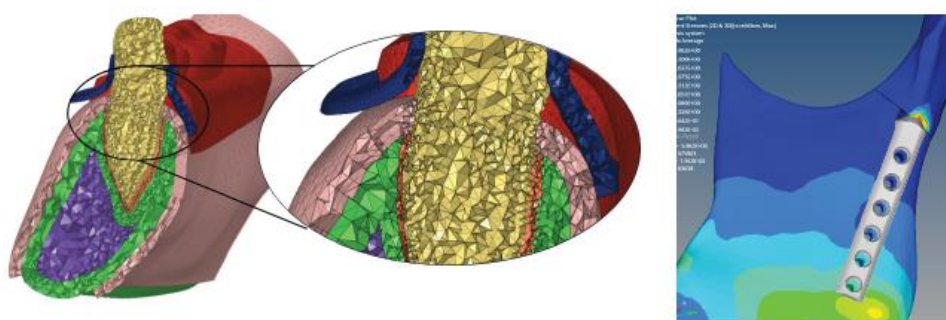
Fonte: Relatório de Atividades CTI Renato Archer.

A Biomodelagem é uma das ações dentro do Programa de Tecnologias Tridimensionais Aplicadas à Saúde (ProMED). O Programa aporta soluções para o setor de saúde por meio da pesquisa, desenvolvimento e aplicações das tecnologias 3D físicas e virtuais, notadamente para auxiliar o planejamento de cirurgias de alta complexidade, com destaque para a região craniomaxilofacial.

O CTI colaborou por mais de 10 anos, por meio de quatro projetos-piloto com o Ministério da Saúde na pesquisa, desenvolvimento, aplicações e inovações nas tecnologias 3D para a redução de custos para o Sistema Único de Saúde (SUS). Além de atender políticas públicas o CTI inova com o setor privado, notadamente nas empresas de base tecnológica. As colaborações incluem mais de 300 hospitais de todo o Brasil, cujos resultados de custo-efetividade demonstrados propiciam excelente integração social e ao mercado de trabalho dos pacientes, segurança para o cirurgião e consequente redução da pressão sobre os custos do sistema previdenciário.

Desde 2005, o ProMED desenvolve ações em bioengenharia por meio de métodos de simulação computacional como uma área estratégica para estudos e aplicações de modelos 3D em áreas como projeto e otimização de dispositivos como próteses e órteses, como uma ferramenta para avaliar o comportamento e a interação entre estruturas como ossos, dentes e outras, com dispositivos odontológicos e ortopédicos, por exemplo.

Figura 56: Análise Estrutural de um Osso Implante gerado por Métodos dos Elementos Finitos.



A **Figura 58** mostra algumas empresas que fornecem serviços relacionados a Impressão 3D no Brasil relacionados com consultoria, serviços técnicos, equipamentos e processos.

Figura 57 - Empresas fornecedoras de serviços relacionados a Impressão 3D

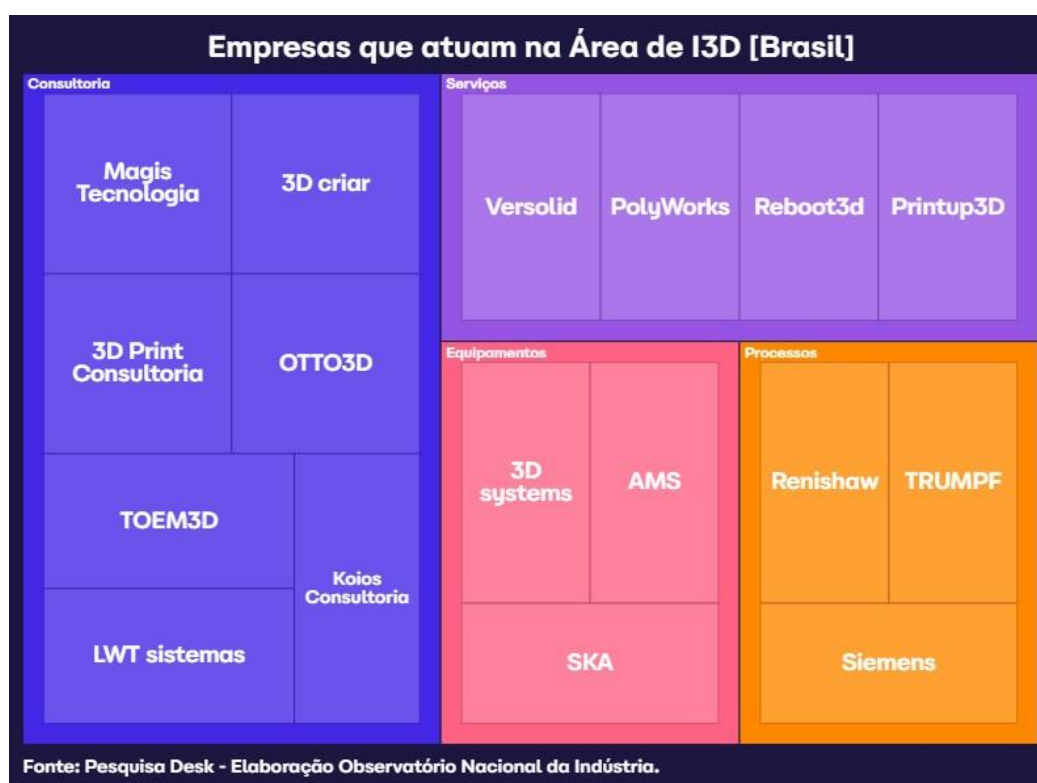


Gráfico animado (clique no link)

[Empresas que atuam na Área de I3D \[Brasil\] \(uri.sh\)](https://uri.sh)

O BNDES possui linhas de financiamento do BNDES para máquinas e equipamentos, como por exemplo o BNDES Finame Máquinas 4.0) (Brasil, 2023a). Além disso, financiamentos para exportações de equipamentos com tecnologia 4.0 também estão sendo realizados (BRASIL, 2023b). A Finep Inovacred 4.0 é um financiamento para tecnologias para digitalização (inclusive manufatura aditiva). Reembolsável, operado por agentes financeiros credenciados, utilizando recursos do FNDCT (Fundo Nacional de

Desenvolvimento Científico e Tecnológico) (FINEP, 2023).

O Banco da Amazônia possui financiamento de projetos incubados em instituições públicas de ensino e pesquisa, permitindo sua implantação após a saída da incubadora e apoio de empreendimentos inovadores do segmento empresarial (BASA - BANCO DA AMAZÔNIA, 2023). Critérios percebidos para a obtenção de financiamento:

- Compatibilidade estratégica entre as partes de modo a aumentar suas vendas e serviços.
- Complementaridade de recursos.
- Percepção de oportunidade de mercado.

Exemplo de parcerias:

- Renishaw e a Infosys, as duas empresas estão combinando sua expertise em engenharia e recursos globais para ajudar os clientes a acelerarem a implementação da manufatura aditiva (AM) (Grand View Research, 2021).
- Voxeijet AG em parceria com ART (empresa Mexicana) para marcar sua presença na oportunidade do mercado automotivo mexicano (Grand View Research, 2021).
- Launcher, Orbex e Ariane Group na fabricação de motores de foguetes, compartilhando expertise de engenheiros (Grand View Research, 2021).
- Sciaky e Farcco Tecnologia para aumentar as vendas no mercado brasileiro (Grand View Research, 2021).

Os principais e relevantes parceiros em investir na tecnologia 3D, de uma maneira geral, são: Agências de fomento governamentais (exemplos: FINEP, EMBRAPPII, FAPESP-SP), Institutos de Pesquisa Tecnológica (ICTs - exemplos: CTI Renato Archer-SP, I.P. Eldorado-SP, CIMATEC-BA, Atlântico-CE, I. SENAI INOVAÇÃO-SC), universidades (maioria públicas: USP, UNICAMP, COPPE/UFRJ, UFSC, UFGS, UFSM e algumas privadas: PUC-PR, UNISINOS-RS), Incubadoras de Empresas (Cietec/USP, Inova/UNICAMP, Gênese/PUC-RJ, Inova/UFGM, Sinova/UFSC) e Aceleradoras de empresas (Startup Farm-SP, Tropos Lab - BH, Ace- SP, Artemisia - SP, Cesar Labs - PE, Venture Hub - SP).

A **Figura 59** apresenta exemplos de startups brasileiras que atuam no mercado de Impressão e 3D e realizam algum serviço associado com a impressão de Metais.

Figura 58: Startups que atuam no mercado de Impressão 3D de Metais no Brasil

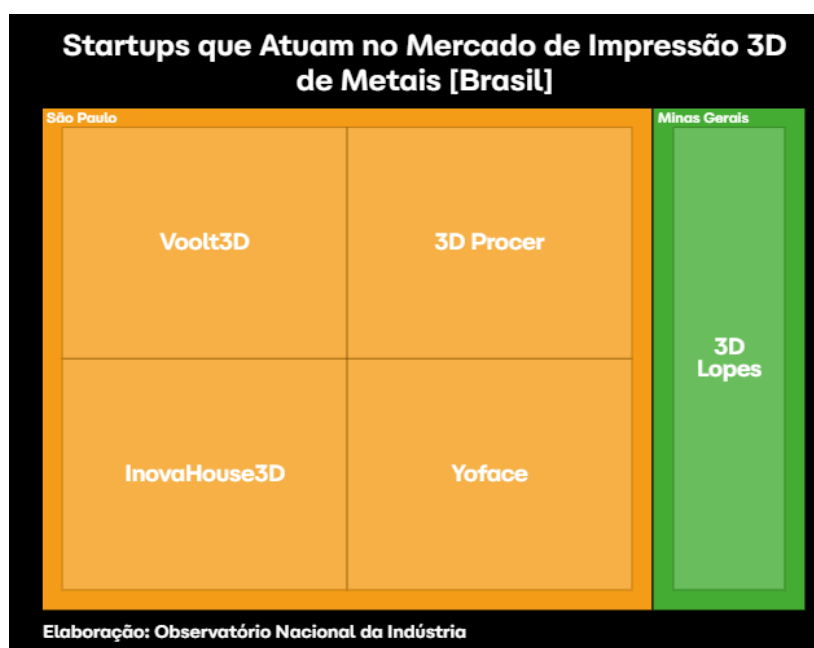


Gráfico animado (clique no link)

[Startups Brasileiras que atuam no Mercado de Impressão 3D de Metais](#)

#### 4. ANÁLISE DE DEMANDAS POR TREINAMENTOS E QUALIFICAÇÃO

A impressão 3D industrial oferece às empresas um imenso potencial no desenvolvimento de novas aplicações. O conhecimento necessário varia desde a compreensão básica da tecnologia até a seleção de componentes para produção, bem como design e engenharia, até o dimensionamento e validação da produção. Um dos principais recursos para o bom funcionamento de qualquer processo é o recurso humano.

Esse é um problema recorrente no Brasil e em boa parte do mundo, ou seja: a necessidade de investimentos na qualidade da mão de obra. Alguns aspectos relacionados a essa questão são:

- *Incompatibilidades na oferta de mão de obra:*
  - *Qualidade da educação:* A qualidade da educação no Brasil deve corresponder às demandas do mercado, preparando os alunos com habilidade e competências.
  - *Rápida mudança tecnológica:* Muitos trabalhadores podem não acompanhar as mudanças devido à falta de informação, oportunidades de treinamento e requalificação.
  - *Disparidades regionais:* Diferenças entre qualificação entre regiões do Brasil com relação a mão de obra, podendo levar a concentração de mão de obra qualificada para apenas uma região.
  - *Falta de investimento em treinamento:* Empresas podem não estar investindo o suficiente em programas de treinamento para seus

funcionários.

- **Sugestão de Medidas políticas:**
  - *Reforma educacional:* Tornar o sistema mais relevante para as necessidades do mercado de trabalho (revisão de currículos), inclusive na capacitação de professores.
  - *Parcerias público-privadas:* estimular parcerias entre governo, empresas e instituições de ensino.
  - *Incentivos fiscais:* oferecer incentivos para empresas que investem em treinamento e desenvolvimento de funcionários.
  - *Apoio a setores estratégicos:* Priorização das habilidades em setores estratégicos para a economia brasileira.

No contexto da impressão 3D, alguns requisitos de habilidades dos profissionais que vão atuar nessa área são (EOS, 2021):

- Compreender as tecnologias 3D: Primeiro, os interessados na fabricação aditiva precisam de uma visão abrangente das etapas da cadeia de processo e das diferentes tecnologias. Na **Figura 61**, pode-se ver as diversas etapas da cadeia de processo.

Figura 59 - Etapas da Cadeia de Processos da impressão 3D



Fonte: 10 Key Skills for Industrial 3D Printing (EOS, 2021) (ADAPTAÇÃO)

- **Projeto e simulação:** O design é uma das partes mais importantes da cadeia do processo de fabricação aditiva. Sem um bom design, todas as outras etapas são imprevisíveis. Um designer preparado e criativo pode contribuir muito para diminuir o consumo de pó, reduzir o tempo de construção e diminuir o custo geral por peça, tornando-os uma parte vital da equipe.
- **Engenharia de aplicação:** Para criar um ótimo elemento, você precisa dominar os sistemas e o software. Para selecionar os parâmetros de peça de qualidade corretos para cada caso, você precisa de conhecimento sobre parâmetros de processo como propriedades do material, sobreposição e contornos. Você precisa de um conjunto de habilidades para decidir qual parte se encaixa melhor econômica e tecnicamente para garantir sucesso e lucratividade da AM.
- **Processo e materiais:** Cada material tem suas propriedades únicas e se comporta de maneira diferente no processo. Portanto, você precisa de treinamento em conhecimentos de parâmetros específicos do material para compreender os valores e as implicações para os processos.



- Habilidades de preparação de dados
- Compreender o processo de preparação de dados: permitirá otimizar a preparação do trabalho e reduzir construções com falha, contribuindo para a fabricação. Você precisa saber como projetar estruturas de suporte bem-sucedidas, como escolher os materiais apropriados e como selecionar os parâmetros mais benéficos para cada tipo de peça.
- Operação da máquina: Antes de poder operar um sistema, você precisa de treinamento intensivo sobre a operação segura e eficiente da própria máquina e de seus periféricos. Isto inclui o manuseio do software de processamento, a configuração, o início do trabalho e a observação do processo e o conhecimento dos procedimentos de pós-processamento, bem como a limpeza e manutenção da máquina.
- Pós-processamento e acabamento superficial: A manufatura aditiva não envolve apenas projetar e preparar seu projeto para impressão 3D. Uma característica profissional distintiva é o nível de habilidades de pós-processamento necessárias para fazer representações de modelos realistas e precisos. Portanto, você precisa conhecer diferentes métodos e tecnologias para pós-processamento de peças e ser capaz de aplicar abordagens de remoção de pó, corte de peças da plataforma, bem como métodos de remoção de suporte e acabamento superficial.
- Definição de qualidade: Reconheça a definição de qualidade na indústria de impressão 3D e como medi-la durante cada etapa do processo. Você precisa aprender sobre critérios de qualidade, como precisão dimensional, resistência à tração, dureza, densidade e condutividade elétrica.
- Desenvolver competências para negócios: Finalmente, você precisa aprender como realizar adequadamente uma análise de caso de negócios. Este será o momento de integrar o seu conhecimento de toda a cadeia de processos. Conheça o impacto das principais alavancas de custo e como reduzir o custo geral por peça.
- Produção distribuída: Antes de iniciar a produção em série, você deve simular sua produção usando um gêmeo digital. Como resultado, você pode prever o rendimento e a produção do seu local de produção com base nos equipamentos do parque de máquinas, turnos de operadores, procedimentos de manutenção de máquinas, etc. Por manufatura distribuída, entendemos centros de produção pequenos e flexíveis, distribuídos globalmente, que produzem onde os clientes estão e onde surge a demanda.

Para preencher esse quesito de qualificação dos recursos humanos, tomando como base a cadeia de processo da Figura 57, procurou-se fazer uma pesquisa, nas diversas fontes disponíveis, primeiro, em nível mundial e, posteriormente, no Brasil.

Os principais atores na formação de mão de obra qualificada são universidades, faculdades, centros de pesquisas e escolas técnicas. Nas universidades e faculdades se tem a formação de engenheiros e tecnólogos, nas diversas áreas relacionadas à cadeia de processo da impressão 3D. Esses profissionais não têm formação em impressão 3D, especificamente, mas nas diversas ferramentas, técnicas e tecnologia (hardware e software), que podem ser aplicadas a essa cadeia. Já nos centros de pesquisa, se tem a

formação de especialistas em dada área e nas escolas técnicas, a formação de técnicos que serão responsáveis pela parte de operação dos processos.

O desafio deste relatório é identificar quais unidades de formação de mão de obra, se tem foco em impressão 3D. A priori, se sabe que muitas dessas unidades têm laboratórios em automação e robótica, possuindo máquinas de impressão 3D (ou compradas no mercado ou montada internamente, adquirindo as partes separadamente e adaptando-as à realidade).

### **Em nível mundial**

A consultoria internacional Deloitte (2016) apresenta um relatório denominado de “Oportunidade 3D para a lacuna de talentos: Fabricação aditiva e força de trabalho do futuro”, onde discute importantes tópicos sobre as necessidades e conhecimentos necessários para o enfrentamento da impressão 3D, que estão em consonância com a cadeia de processos da **Figura 57.**

Uma das aplicações de impressão 3D é na construção de casas e na Gâmbia/África a UNESCO (2023) tem um projeto para a introdução dessa tecnologia lá. Este projeto financiado pela KOICA permite à UNESCO fornecer uma gama completa de apoio, desde a aquisição de equipamento moderno (impressão 3D), à capacitação de formadores mestres, até ao desenvolvimento de uma estratégia de implementação. Em segundo lugar, é essencial reconhecer que a construção de uma força de trabalho competitiva e competente exige um compromisso de longo prazo por parte do país. O sistema de TVET precisa de uma reorientação para que todos os alunos atinjam o seu pleno potencial, os professores estejam atualizados em termos de conhecimento e informação da indústria e as instituições e centros de formação ofereçam programas de qualidade.

A Comunidade Europeia (2021) apresentou um trabalho intitulado “O impacto da IoT e da impressão 3D na qualidade do trabalho e organização do trabalho: um retrato da Espanha”, realizado por dois pesquisadores da Universidade de Málaga e um pesquisador do Centro de Pesquisa de Sevilha. Os resultados mostram que as tecnologias digitais selecionadas têm um impacto positivo no modelo de negócio da TTI-Algeciras e da Airbus, quer pelo aumento da eficiência e da competitividade, quer pela melhoria da organização do trabalho. As principais conclusões em termos de qualidade do emprego são: melhorias no ambiente físico resultante da redução dos riscos profissionais: a requalificação da mão-de-obra, devido à necessidade de novas competências técnicas; o aumento da responsabilidade e autonomia do trabalhador em detrimento das tarefas rotineiras; e, pelo lado negativo, uma intensificação do trabalho que agora é determinado pela tecnologia.

### **No Brasil**

O Conselho Nacional de Educação, do Ministério da Educação, aprovou em 2022 diretrizes sobre computação na educação básica, que servem como complemento à base nacional comum (BNCC). Neste complemento é incluso a habilidade de saber utilizar software ou impressora 3D para produzir

protótipos, recursos para editoração gráfica, organização de banco de dados etc. (Brasil, 2022).

Alguns principais treinamentos e qualificações associadas com a impressão 3D de metais são:

- Treinamento em Design 3D: Este é um dos principais treinamentos associados à impressão 3D de metais. Ele envolve o aprendizado de softwares de design 3D como AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360, entre outros, que são usados para criar modelos digitais para impressão 3D.
- Treinamento em Manuseio de Impressora 3D: Este treinamento envolve o aprendizado de como operar e manter uma impressora 3D. Isso inclui o conhecimento de como preparar a impressora, carregar os materiais, configurar os parâmetros de impressão e solucionar problemas comuns.
- Treinamento em Ciência dos Materiais: Este é um treinamento importante para os conhecimentos dos metais e de suas propriedades, visando à operação das máquinas de impressão 3D.

No Brasil, existem vários cursos técnicos, de graduação e pós-graduação que podem preparar os estudantes para trabalhar com a impressão 3D de metais. Aqui estão alguns deles:

- Curso Técnico em Mecatrônica: Este curso oferece uma base sólida em mecânica, eletrônica e informática, que são fundamentais para entender e operar impressoras 3D.
- Graduação em Engenharia Mecânica: Este curso abrange uma ampla gama de tópicos, incluindo design de produto, ciência dos materiais e processos de fabricação, que são diretamente aplicáveis à impressão 3D de metais.
- Graduação em Design de Produto ou Design Industrial: Estes cursos ensinam os alunos a projetarem produtos, muitas vezes usando software de design 3D. Eles também podem cobrir tópicos como prototipagem rápida e fabricação aditiva.
- Pós-Graduação em Engenharia de Materiais: Este curso pode oferecer uma especialização em materiais para impressão 3D, incluindo metais. Os alunos podem aprender sobre as propriedades dos materiais, como eles interagem com diferentes processos de impressão 3D e como otimizar esses processos.
- Pós-Graduação em Engenharia de Produção: Este curso pode incluir tópicos como fabricação aditiva, otimização de processos de produção e controle de qualidade, todos relevantes para a impressão 3D de metais.
- Cursos de Extensão ou Especialização em Impressão 3D: Alguns institutos e universidades oferecem cursos de curta duração focados especificamente na impressão 3D, abrangendo tópicos como design para impressão 3D, operação de impressoras 3D, pós-processamento e muito mais.
- Curso de Prototipagem Rápida e Impressão 3D no SENAI/GO com o seguinte objetivo: Realizar a fabricação rápida de modelos físicos usando dados tridimensionais de CAD para transformar de maneira rápida e eficientemente ideias inovadoras em produtos finais. - <https://senaigoias.com.br/servico-automacao-inovacao->

### prototipagem-rapida

No Portal da Indústria (CNI, SESI, SENAI e IEL, 2022) há um detalhamento do Novo Ensino Médio estabelecido pelo Governo Federal. O que é esse Novo Ensino Médio? O Novo Ensino Médio é um modelo de aprendizagem por áreas de conhecimento que permitirá ao jovem optar por uma formação técnica e profissionalizante. Ao final do ensino médio, o aluno receberá, além do certificado do ensino médio regular, também o certificado do curso técnico ou profissionalizante que cursou. Além disso, em 2020, o SESI e o SENAI formaram a primeira turma do Novo Ensino Médio, numa experiência pioneira no Brasil. São 198 jovens, dos quais 13% da classe C e 87% da classe D, que chegam ao mercado de trabalho com um diploma técnico.

O SENAI é referência em educação profissional na América Latina. O Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, 2023) é o principal parceiro da indústria na formação de trabalhadores e na inovação. Maior rede privada de educação profissional do país e uma das maiores do mundo, está presente nos 26 estados e no DF, com cerca de 2,8 milhões de matrículas/ano. Em 81 anos de história, formou mais de 80 milhões de pessoas em cursos técnicos, de qualificação, nível superior, aperfeiçoamento e especialização, sempre alinhados às demandas do setor produtivo. No Instituto SENAI de Inovação tem o curso WP1 - Imersão em Manufatura Avançada por meio da AMA com duração de 3 dias (24 horas de imersão presencial: Fluxo de Manufatura Geral; Manufatura Aditiva (Tecnologias, Máquinas, Aplicações, Tendências de Mercado, Escalabilidade e Materiais); Introdução à Manufatura Avançada; Modelagem Virtual; Projeto para Manufatura Aditiva; Parâmetros e Estratégias de Fabricação; Pós Metálicos com Foco nos Requisitos de MA (Fabricantes, Ligas e Características); Pós-processamentos e Inspeções; Arquitetura das Máquinas, Funcionamento e Infraestrutura; Funcionalização de Superfícies por Texturização e Tratamento Térmico Localizado por Laser; Revestimento e Reparo com Foco em Aplicações da Ferramentaria (Laser Cladding e Alloying). Entregas: Imersão Presencial com Especialistas e Conteúdo Digital das Apresentações (PDF).

O modelo do ensino médio nas escolas paulistas, que foi implantado recentemente, há o que são denominados itinerários técnicos são os seguintes: administração, agronegócios, ciência de dados, desenvolvimento de sistemas, educação básica, enfermagem, farmácia e, finalmente, hotelaria e eventos. Uma análise rápida verifica que há dois itinerários que podem interessar aos estudantes que estão à procura de aspectos relacionados à tecnologia: ciência de dados e desenvolvimento de sistemas.

O Centro Paula Souza oferece cursos técnicos (integrados ao ensino médio ou modulares) e de graduação gratuitos. Nas Etecs (Escola Técnica), mais de 226 mil estudantes estão matriculados nos Ensinos Técnico, Integrado, Médio e Especialização Técnica, incluindo habilitações nas modalidades presencial, semipresencial e online. O curso de automação industrial aborda a manufatura aditiva na ementa, bem como outras disciplinas como CAD, CAM e programação. Ementa de uma Etec: [http://www.etectm.com/images/Matriz\\_Curricular/2022\\_1sem/Matriz\\_curricular\\_Modular\\_Automação\\_Industrial\\_1Sem.pdf](http://www.etectm.com/images/Matriz_Curricular/2022_1sem/Matriz_curricular_Modular_Automação_Industrial_1Sem.pdf)

Na **Figura 63** podemos observar outros cursos ministrados referentes ao assunto.

Figura 60 - Cursos de impressão 3D

| <b>Nome</b> | <b>Cidade</b>        | <b>Site</b>                                                                                                                                                         |
|-------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Senai       | Várias               | <a href="https://www.sp.senai.br/curso/programacao-e-impressao-3d/88065">https://www.sp.senai.br/curso/programacao-e-impressao-3d/88065</a>                         |
| UERJ        | RJ Zona Oeste        | <a href="https://www.uerj.br/agenda/curso-de-impressao-3d-na-uerj-zo/">https://www.uerj.br/agenda/curso-de-impressao-3d-na-uerj-zo/</a>                             |
| UniSenai PR | São José dos Pinhais | <a href="https://www.unisenaipr.com.br/cursos/extensao/impressao-3d-de-prototipos">https://www.unisenaipr.com.br/cursos/extensao/impressao-3d-de-prototipos</a>     |
| Senac       | Várias               | <a href="https://www.sp.senac.br/cursos-livres/curso-de-prototipacao-e-impressao-3d">https://www.sp.senac.br/cursos-livres/curso-de-prototipacao-e-impressao-3d</a> |



## 5. REFERÊNCIAS

A Closer Look at the 3D Printing State of the Market - <https://www.fortunebusinessinsights.com/thoughtleadership/a-closer-look-at-the-3d-printing-state-of-the-market-10864>

Ansari, M; Jabari, E. e Toyserkani, E. - Opportunities and challenges in additive manufacturing of functionally graded metallic materials via powder-fed laser directed energy deposition: A review, **Journal of Materials Processing Technology**, Volume 294, 2021, 117117, ISSN 0924-0136, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117117>.

BASA - BANCO DA AMAZÔNIA (Brasil). **FNO - Ciência, Tecnologia e Inovação**. Disponível em: <https://www.bancoamazonia.com.br/financiamentos/fno-ciencia-tecnologia-e-inovacao>. Acesso em: 25 set. 2023.

BIS RESEARCH (USA). **3D Printing**: future of manufacturing?. Freemont: Bis Research, 2022.

BRASIL. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. . **BNDES Finame Máquinas 4.0**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-maquinas-40/>. Acesso em: 28 set. 2023a.

BRASIL. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. . **BNDES financia a produção de equipamentos eficientes para exportação**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-financia-a-producao-de-equipamentos-eficientes-para-exportacao>. Acesso em: 28 set. 2023b.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Normas sobre Computação na Educação Básica**: complemento à base nacional comum curricular (bncc). Complemento à Base Nacional Comum Curricular (BNCC).. 2022. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/programa-saude-da-escola/33371-cne-conselho-nacional-de-educacao/90991-parecer-ceb-2022>. Acesso em: 22 set. 2023.

BRASIL. CENTRO PAULA SOUZA. . **Plano de Curso Etim**. Disponível em: <https://www.cps.sp.gov.br>. Acesso em: 25 set. 2023.

BRENNAN, M. C.; KEIST, J. S.; PALMER, T. A. Defects in Metal Additive Manufacturing Processes. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 30, n. 7, p. 4808–4818, jul. 2021.

BUCHANAN, C.; GARDNER, L. **Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges** *Engineering Structures* Elsevier Ltd, , 1 fev. 2019.

Comunidade Europeia (2021) - The impact of IoT and 3D printing on job quality and work organisation: a snapshot from Spain. JRC Working Papers Series on Labour, education and Technology. <https://joint-research-centre.ec.europa.eu/system/files/2021-06/jrc125612.pdf>

COSTA, Rodrigo Moraes; LINS, João Pedro. **Panorama da impressão 3D no campo da propriedade intelectual**. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2022-dez-19/costae-lins-impressao-3d-propriedade-intelectual>. Acesso em: 25 set. 2023.

DESKTOP METAL. **Metal 3D printing for manufacturing tooling**. 2023. Disponível em: <https://www.desktopmetal.com/resources/metal-3d-printing-for-manufacturing-tooling>. Acesso em: 17 set. 2023.

Duda, T.; Raghavan, L. V. **3D Metal Printing Technology** IFAC-PapersOnLine. **Anais...** Elsevier B.V., 2016

EMBRAPII (Brasil). **Lista-de-Projetos-EMBRAPII**. 2023. Disponível em: <https://embrapii.org.br/wp-content/images/2023/02/2023.02.07-Lista-de-Projetos-EMBRAPII.pdf>. Acesso em: 25 set. 2023.

Ensino Medio Paulista - <https://ensinomediopaulista.educacao.sp.gov.br/>

EOS (2021) - **10 Key Skills for Industrial 3D Printing**. <https://www.eos.info/en/blog/industrial-3d-printing~b~8501>

Fine Metal Working - <https://finemetalworking.com/additive-manufacturing>

FERNANDO VELÁSQUEZ-GARCÍA, L.; KORNBLUTH, Y. **Biomedical Applications of Metal 3D Printing** *Annual Review of Biomedical Engineering*. Annual Reviews, , jul. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-082020->>

FINEP (Brasil). **Finep Inovacred 4.0**. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/inovacred4-0>. Acesso em: 25 set. 2023.

Ghilan et. all. 2020- Trends in 3D printing processes for biomedical fluid: Opportunities and challenges. *Journal of Polymers and the Environment* (2020) 28:1345–1367  
<https://doi.org/10.1007/s10924-020-01722-x>

GOLUNOV, A. V.; SHCHEGLOV, S. A.; GOLUNOVA, A. S.; KOLOZOVA, O. A.; TRAPEZNIKOVA, O. V. **Control and testing of the additive systems color gamut in engineering** *Journal of Physics: Conference Series*. **Anais...** Institute of Physics Publishing, 26 may 2020.

GRAND VIEW RESEARCH (USA). **3D Printing Metal Market**: market analysis, 2020. [S. L.]: Grand View Research, Inc., 2021.

GREY VIEWS. **Global 3D Printing Market Size By Offering, Technology, Process, Application and Industrial Vertical, Regions, Segmentation and Projection till 2028**. Disponível em: <<https://greyviews.com/reports/global-3d-printing-market/5>>. Acesso em: 19 set. 2023.

HANREICH, K. The Incredible Additive Manufacturing Creates Movement. **Laser Technik Journal**, v. 14, n. 5, p. 28–30, nov. 2017.

IBGE 2023 - 84,9% das indústrias de médio e grande porte utilizaram tecnologia digital avançada. Agência IBGE Notícias.

<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37973-84-9-das-industrias-de-medio-e-grande-porte-utilizaram-tecnologia-digital-avancada>

Instituto SENAI de Inovação. Joinville/SC. <https://institutos.sc.senai.br/unidades/>

Jandyal, et al. (2022) - 3D printing: A review of processes, materials and applications in industry 4.0. *Sustainable Operations and Computers* 3, 33–42.

KABALDIN, Y. G.; ANOSOV, M. S.; KOLCHIN, P. V.; SHATAGIN, D. A. Improving the Mechanical Properties of 3D-Printed Metal. **Russian Engineering Research**, v. 43, n. 8, p. 976–979, 1 ago. 2023.

KANYILMAZ, A. *et al.* Role of metal 3D printing to increase quality and resource-efficiency in the construction sector. **Additive Manufacturing**, v. 50, 1 fev. 2022.

MANUFATURA DIGITAL. **IPT lança oficialmente o Núcleo de Pesquisa em Manufatura Aditiva de Metais**. 2023. Disponível em: <https://www.manufaturadigital.com/ipt-lanca-nucleo-de-manufatura-aditiva/>. Acesso em: 25 set. 2023.

MARKET RESEARCH FUTURE. **GLOBAL 3D PRINTING MATERIALS MARKET RESEARCH REPORT**: forecast to 2032. [S.I.]: Market Research Future, 2022.

Martinelli et al. (2023) 3D Printing of Layered Structures of Metal-Ionic Polymers: Recent Progress, Challenges and Opportunities. 16, 5327. <https://doi.org/10.3390/ma16155327>

MARTINSUO, M.; LUOMARANTA, T. Adopting additive manufacturing in SMEs: Exploring the challenges and solutions. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 6, p. 937–957, jul. 2018.

Metalworking Machinery Global Market Competitor Briefing 2023. The Business Research Company, February 2023.

MOLITCH-HOU, M. Overview of additive manufacturing process. *Em: Additive Manufacturing: Materials, Processes, Quantifications and Applications*. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 1–38.

MONTEIRO, H.; CARMONA-APARICIO, G.; LEI, I.; DESPEISSE, M. Energy and material efficiency strategies enabled by metal additive manufacturing – A review for the aeronautic and aerospace sectors. **Energy Reports**, v. 8, p. 298–305, 1 jun. 2022.

MORDOR INTELLIGENCE (Índia). **Global 3D Printing Filament Market**. Hyderabad, 2021a.

MORDOR INTELLIGENCE (Índia). **Automated 3D Printing Market: 2022-2027**. Hyderabad: Mordor Intelligence, 2021b.

MURR, L. E. Frontiers of 3D Printing/Additive Manufacturing: from Human Organs to Aircraft Fabrication. **Journal of Materials Science and Technology**, v. 32, n. 10, p. 987–995, 1 out. 2016.

MURR, L. E. Metallurgy principles applied to powder bed fusion 3D printing/additive manufacturing of personalized and optimized metal and alloy biomedical implants: An overview. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 1, p. 1087–1103, 1 jan. 2020.

NGO, T. D.; KASHANI, A.; IMBALZANO, G.; NGUYEN, K. T. Q.; HUI, D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, v. 143, p. 172–196, 15 jun. 2018.

PANT, M.; NAGDEVE, L.; KUMAR, H.; MOON, G. A contemporary investigation of metal additive manufacturing techniques. **Indian Academy of Sciences**, v. 47, n. 18, 2022.

PERRY HOPER PARTNERS (USA). **2023 Global Innovative Markets Forecast**. Naples: Perry Hoper Partners, 2023.

Portal da Indústria (CNI, SESI, SENAI, IEL, 2022) - Novo Ensino Médio 2022: entenda tudo o que muda. <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/novo-ensino-medio/#:~:text=S%C3%A3o%20eles%3A%20Matem%C3%A1ticas%20e%20suas,a%20Forma%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnica%20e%20Profissional>

PORTER, M.E. **Competitive advantage, creating and sustaining superior performance**. The Free Press, Macmillan, New York, 1985, 557 p.

SAMPAIO, I. S.; JORGE, E. M. F.; SOUZA, J. G.; CARDOSO, H. S. P. IMPRESSÃO 3D: da pesquisa ao setor produtivo um estudo exploratório sobre

sua evolução histórica, origem, tecnologias, aplicações e inovações. **Revista Gestão e Planejamento**, Salvador,, v. 23, n. 1, p. 751-777, dez. 22.

SCALIA, T.; BONVENTRE, L.; VECCHIARELLI, P.; PIZZARELLI, M.. ADDITIVE MANUFACTURING: SCIENTIFIC & PATENT TRENDS IN THE AEROSPACE SECTOR. In: 72ND INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS (IAC), 72., 2021, Dubai. **Anais [...]** . Dubai: International Astronautical Federation (Iaf), 2021. p. 1-10.

SENAI (2023) - SENAI abre 8,6 mil vagas para cursos gratuitos e pagos. <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/educacao/senai-abre-86-mil-vagas-para-cursos-gratuitos-e-pagos/>

SHAH RUBUDIN, N.; CHUAN, L. TE; RAMLAN, R. An overview of critical success factors for implementing 3D printing technology in manufacturing firms. **Journal of Applied Engineering Science**, v. 17, n. 3, p. 379–385, 2019.

SHINDE, S.; MANE, R.; VARDIKAR, A.; DHUMAL, A.; RAJPUT, A. 4D printing: From emergence to innovation over 3D printing. **European Polymer Journal**, v. 197, 10 out. 2023.

THE BUSINESS RESEARCH COMPANY. **Metalworking Machinery Global Market Competitor Briefing 2023**. [S. L.]: The Business Research Company, 2023.

3D Printing Statistics (2023 Additive Manufacturing Data) - <https://www.tonerbuzz.com/blog/3d-printing-statistics/>

UNESCO 2023 - The introduction of 3D printing technology to a Gambian training institute gives hope to students, teachers and the country. <https://www.unesco.org/en/articles/introduction-3d-printing-technology-gambian-training-institute-gives-hope-students-teachers-and>

VAYRE, B.; VIGNAT, F.; VILLENEUVE, F. Metallic additive manufacturing: State-of-the-art review and prospects. **Mechanics and Industry**, v. 13, n. 2, p. 89–96, 2012.

VINICIUS BETIM, D.; HORÁCIO DE S. DE B. TEIXEIRA, L. F.; FRANCISCO SIMÕES GOMES, C.; LUIZ GONÇALVES QUELHAS, O.; SANTOS, M. DOS. **Análise de cenários prospectivos: um estudo sobre a manufatura aditiva no Brasil em 2024** Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. **Anais...**2019

WU, Y.; LIU, J.; KANG, L.; TIAN, J.; ZHANG, X.; HU, J.; HUANG, Y.; LIU, F.; WANG, H.; WU, Z. An overview of 3D printed metal implants in orthopedic applications: Present and future perspectives. **Heliyon**, p. e17718, jul. 2023.



## **CNI**

*Antonio Ricardo Alvarez Alban*  
Presidente

## **DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL**

*Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti*  
Diretor de Desenvolvimento Industrial

## **Observatório Nacional da Indústria**

*Marcio Guerra Amorim*  
Superintendente do Observatório Nacional da Indústria

## **Gerência de Estudos e Prospectiva Industrial**

*Rafael Silva e Sousa*  
Gerente de Estudos e Prospectiva Industrial

*Valdir Antonio de Assis Junior*  
*Juliano Antonio Sebben*  
*Tainá de Mesquita Sigmaringa Seixas*  
*Gabriel Marques da Silva*  
Equipe Técnica

## **DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO**

*Ana Maria Curado Matta*  
Diretora de Comunicação

## **Superintendência de Publicidade e Mídias Sociais**

*Mariana Caetano Flores Pinto*  
Superintendente de Publicidade e Mídias Sociais

## **DIRETORIA CORPORATIVA**

*Cid Carvalho Vianna*  
Diretor Corporativo

## **Superintendência de Desenvolvimento Humano**

*Renato Paiva*  
Superintendente de Desenvolvimento Humano

## **Gerência de Educação Corporativa**

*Priscila Lopes Cavichioli*  
Gerente de Educação Corporativa

*Alberto Nemoto Yamaguti*  
Normalização

---

*Antonio Batocchio*  
*Lisley C. Gomes da Silva*  
*Fábio Rogério Muzarinho Junior*  
Consultoria