

Andersan S Paula; Danilo A C Gonçalves; Fabio S Oliveira; Naiara V Le Sénéchal; Rafael Ramos. Desafios e Avanços na Pesquisa e Desenvolvimento de Implantes e Próteses por Manufatura Aditiva no Brasil. In Propriedades e Aplicações dos Biomateriais, Editores Carlos Nelson Elias, Ana Karine Rocha de Andrade Nattrodt e Roberto Hirsch Monteiro. Edição digital 2022. *definir pela organização ISBN XXX, DOI YYY e pág.*

DESAFIOS E AVANÇOS NA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE IMPLANTES E PRÓTESES POR MANUFATURA ADITIVA NO BRASIL

Andersan S. Paula, Instituto Militar de Engenharia, andersan@ime.eb.br, ORCID 0000-0002-0904-4240

Danilo A.C. Gonçalves, Instituto Militar de Engenharia, danilocorrea@ime.eb.br, ORCID 0000-0002-4715-9233

Fábio S. Oliveira, Instituto Nacional de Tecnologia e Instituto Militar de Engenharia, fabio.silva@int.gov.br, ORCID 0000-0002-1453-4869

Naiara V. Le Sénéchal, Instituto Militar de Engenharia, naiara@ime.eb.br, ORCID 0000-0003-4992-5656

Rafael Ramos, Instituto Militar de Engenharia, ramos_rr@ime.eb.br, ORCID 0000-0001-6711-7674

RESUMO

A Manufatura aditiva, também popularmente conhecida como Prototipagem Rápida, é comumente conhecida como o processo de fabricação por Impressão, que consiste em um mecanismo de fabricação de uma peça por meio da união de materiais, partindo de um modelo de informações digitais (aspectos geométricos), pela deposição dos materiais por camada. As tecnologias atualmente disponíveis para fabricação por manufatura aditiva trazem a possibilidade de produção de peças com formatos complexos como uma realidade factível a frente dos processos convencionais, os quais por vezes podem ser dispendiosos financeiramente para determinados materiais, principalmente quando se colocam em voga a necessidade de obtenção de geometrias específicas e número reduzido de peças. Particularmente ao setor da saúde, o uso da manufatura aditiva, com domínio profundo da tecnologia selecionada que possa prover as exigências dimensionais, de propriedades e de comportamento biomecânico e biocompatibilidade, permite a fabricação de implantes e próteses de qualidade e formatos únicos, baseados na anatomia e condição clínica de cada paciente, que além de trazer uma solução célere resulta em uma recuperação mais rápida do mesmo somada ao menor número de intervenções cirúrgicas. No entanto, o desenvolvimento científico e tecnológico de pesquisa e uso da manufatura aditiva para o setor da saúde e outros setores que se observa ao redor do mundo não se dá de forma homogênea e acessível a todos, como é o caso do Brasil.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Implantes. Próteses. Mercado Brasileiro.

1 Introdução

Nos anos 80 surgiu um processo de fabricação denominado de “prototipagem rápida” que se baseava na adição de material em camadas planas em função da crescente necessidade da indústria daquela época em reduzir custos no processo de desenvolvimento de produto. As primeiras tecnologias de impressão 3D surgiram praticamente no mesmo período, assim como os primeiros modelos de impressoras 3D, e ficaram conhecidas por Tecnologias de Prototipagem Rápida, referindo-se ao fato de que os processos foram originalmente concebidos como um método rápido e mais rentável para a criação de protótipos para o desenvolvimento de produtos dentro da indústria. Porém o termo “impressora 3D” foi batizado em 1995 por Jim Bredt e Tim Anderson, alunos do Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Nessa década, os objetos poliméricos criados apresentavam deformidades/empenamentos no material, uma vez que endurecido, e as máquinas eram muito caras para pequenos empreendedores, porém o potencial da tecnologia era inegável [1].

Ao longo dos anos foram observados significativos desenvolvimento e as percepções evoluíram de tão simplesmente processos de Prototipagem Rápida para a concepção de Manufatura Aditiva (AM), a qual ganhou uma significativa atenção na área acadêmica e no setor industrial no que diz respeito a possibilidades de fabricação de componentes / peças de responsabilidade além de tão somente protótipos. Tudo isto motivado pela comparação com a fabricação subtrativa ou formativa (Figura 1), os processos AM utilizam apenas a quantidade necessária de matéria-prima para a confecção de peças, o que pode resultar na redução do custo e do tempo associados à produção geral [2].

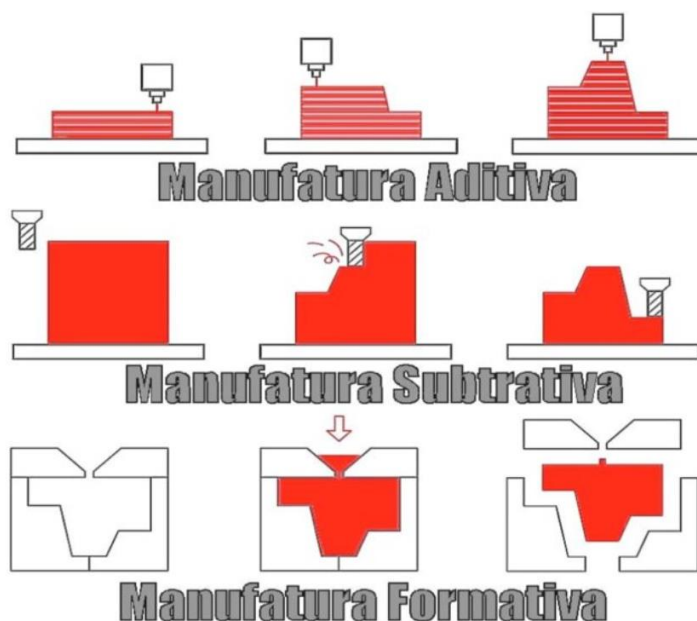


Figura 1 – Manufatura Aditiva, subtrativa e formativa [2].

A essência da AM é em depositar os materiais camada por camada, com base em um projeto auxiliado por computador (CAD), também conhecido como impressão tridimensional (3D), conforme Figura 2 [3,4]. As vantagens desse processo incluem a capacidade de produzir geometrias versáteis com alta precisão, com uso eficiente de materiais, a flexibilidade de projeto e a capacidade de personalização, sem a necessidade de ferramentas complexas.

Inicialmente, os processos de AM em sua grande parte eram feitos de materiais poliméricos, nenhuma das tecnologias até então eram capazes de processar metais ou materiais cerâmicos. Atualmente suas aplicações na indústria não mais se limitam a

modelos reduzidos, mas também a produtos finais de grande complexidade, com o desenvolvimento de máquinas capazes de imprimir em qualquer material, desde titânio até a cartilagem humana [Z]. Os equipamentos de AM disponíveis no mercado baseiam-se no diferencial do material/insumo mais adequado a ser processado, tornando possível uma escolha entre tipo de processo, método de aplicação, como descrito na Figura 3 [4].

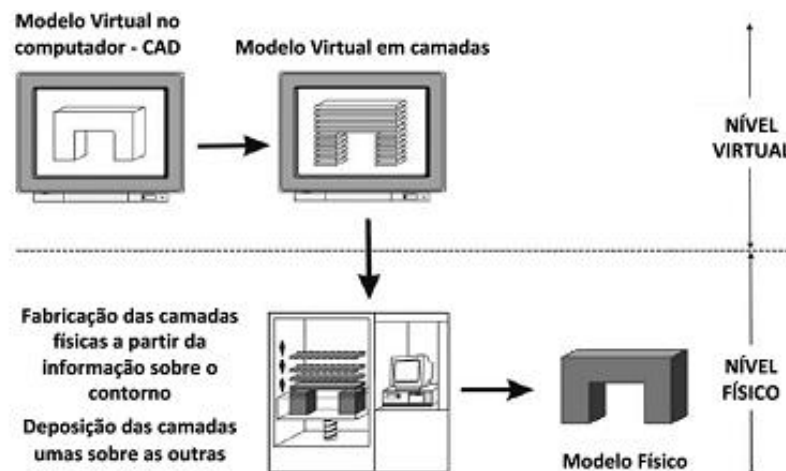


Figura 2 – Etapas do processo de manufatura aditiva [4].

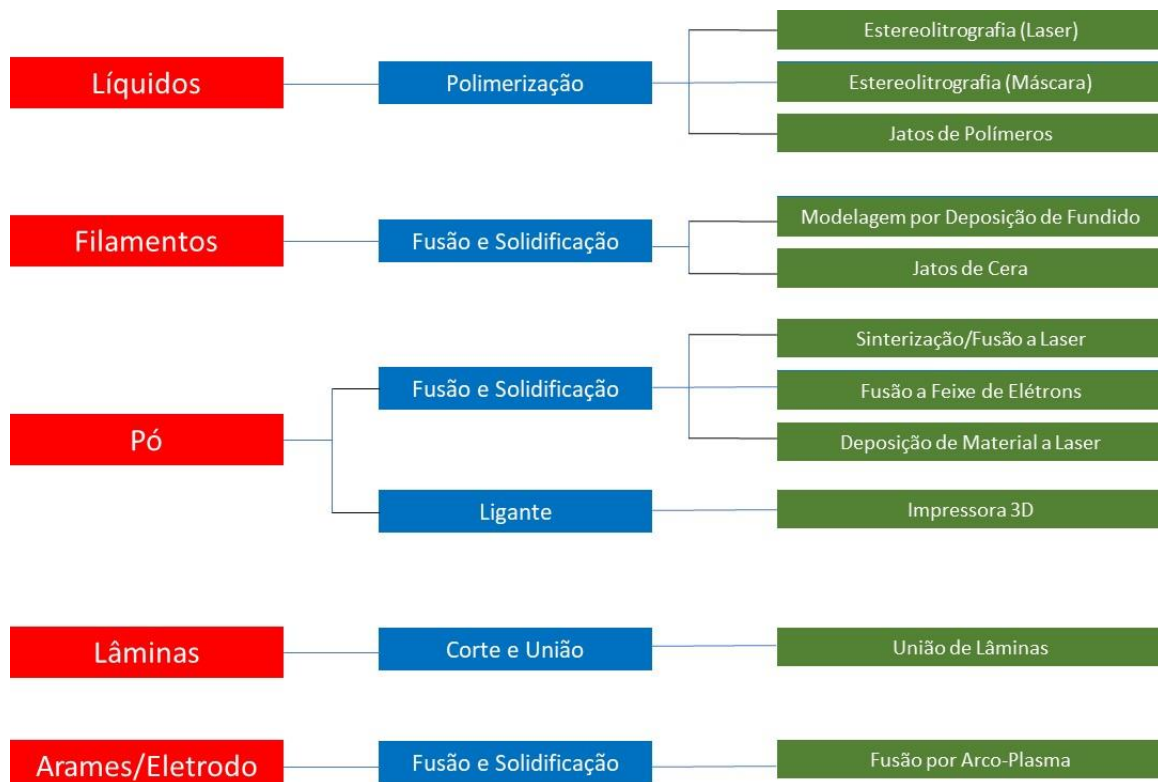


Figura 3 – Equipamentos de Manufatura Aditiva (AM) versus insumos [5].

Normalmente as tecnologias economicamente mais acessíveis de manufatura aditiva estão relacionadas à impressão 3D de peças poliméricas, como as tecnologias: a jato de polímeros (polyjet), estereolitografia (SLA) e de processamento digital de luz (DLP). Em todas essas técnicas, a matéria-prima em uso é uma resina na forma líquida que polimeriza por ação de uma fonte específica de luz para sua formação e consolidação para formar a peça camada a camada. Existem ainda a tecnologia de baixo custo de modelagem por deposição de materiais fundidos (FDM) que se beneficia da baixa temperatura de fusão de polímeros termoplásticos, no formato de filamentos, para construção camada por camada de peças ou

protótipo almejado, porém com acabamento e precisão dimensional inferiores aos dos produtos obtidos por SLA, DLP e polyjet [3].

Outras alternativas tecnológicas também garantem alta precisão dimensional e bom acabamento, porém demandam um investimento muito mais alto, começando pela produção da matéria-prima em forma de pó, com características específicas (granulométrica, física e reológica) para a manufatura a se adotar, quer ser a técnica de cama de pó (metálico, cerâmico ou polímero fundido/sinterizado por ação de uma fonte de laser (SLM/SLS) ou elétrons (EBM)) ou de deposição de energia direcionada (DED) (por ação de uma fonte laser ou arco-plasma) restrita a metálicos e cerâmicos [3].

2 Processos de Manufatura Aditiva

Dois grupos de processos de manufatura aditiva são amplamente utilizados em aplicações para medicina e odontologia: via polimerização e via sinterização ou fusão e solidificação.

2.1 Processos via Polimerização

No processo de polimerização de cuba tem-se a impressão 3D em uma cuba que contém uma resina de fotopolímero que é seletivamente curada por uma fonte de luz. Este processo tem duas formas mais comuns de concepção de equipamentos, sendo elas: SLA (Estereolitografia) e DLP (*Digital Light Processing*, ou em português Processamento de Luz Direta, que se diferenciam pelo fato das impressoras SLA usarem um laser em pontos (conforme Figura 4) e a impressora DLP uma máscara para exposição da resina camada a camada [3].

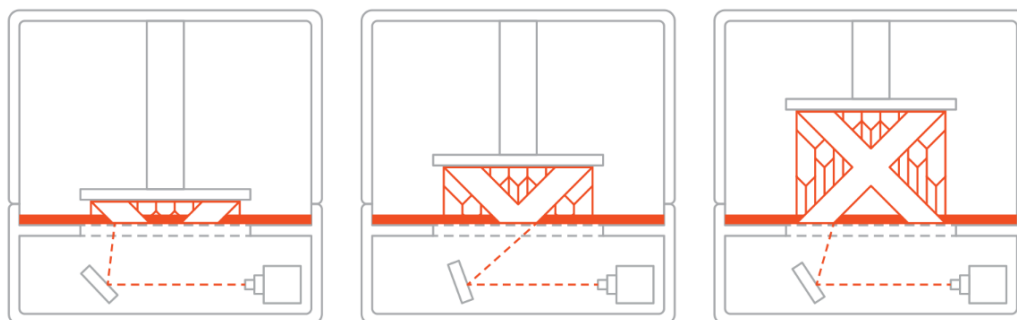


Figura 4 – Desenho esquemático do funcionamento de uma impressora SLA [6].

Com estas tecnologias e uso resino de fotopolímero (*Standard, Transparent, High Temperature*) é capaz produzir peças com precisão dimensional de $\pm 0,5\%$ (limite inferior $\pm 0,15$ mm) com acabamento superficial suave e detalhes fino, em aplicações não exigidos requisitos mecânicos significativos, a citar: protótipos de polímeros tipo injeção, joias (fundição de investimento), aplicações dentárias, aparelhos auditivos, etc. [3,6].

2.2 Processos via Sinterização ou Fusão e Solidificação

Um processo que utiliza o princípio da fusão e solidificação para produção de peças poliméricas é o processo de impressão 3D de extrusão de material, neste processo um filamento de material polimérico termoplástico sólido é empurrado através de um bocal aquecido de modo que este se funda ao sair pelo bocal. Desta forma, a impressora ao deslocar o bocal depositará o material em uma plataforma ao longo de um percurso pré-definido camada a camada, com isto o filamento fundido resfria-se e solidifica-se para formar ao final do processamento um objeto sólido (Figura 5). A tecnologia de impressão

3D para este processo é a modelagem por deposição de fundido (FDM – *Fused Deposition Modeling*), também conhecida como fabricação de filamento fundido (FFF – *Fused Filament Fabrication*), a qual faz uso de filamento termoplásticos de polímeros de PLA, ABS, PET e PTU, resultando em peças com uma precisão dimensional de $\pm 0,5\%$ (limite inferior $\pm 0,5$ mm) para produção de carcaças elétricas; testes de forma e ajuste; jigs e acessórios e padrão de fundição de investimento, com custo mais alto que a SLA/DLP para fins visuais. Também é possível o uso de filamento de compósitos a base de um polímero termoplástico ou tinta altamente preenchidas com carga de pós de metais ou cerâmicos [7].

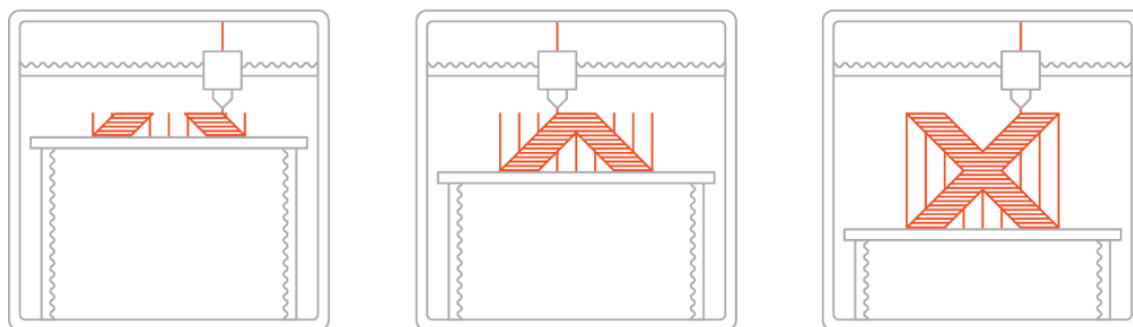


Figura 5 – Desenho esquemático do funcionamento de uma impressora FDM [6].

No que diz respeito a manufatura aditiva aplicada a metais se fazem presentes através de duas concepções de equipamentos: fusão/sinterização de cama de pó (Figura 6), e deposição com energia direcionada (Figura 7). Neste ponto a manufatura aditiva de materiais metálicos com uso de fontes de laser ou de feixes de elétrons para sinterizar ou fundir tem se mostradas promissoras, principalmente com uso de laser por ter associados equipamentos de menor custo quando comparados aos de feixe de elétrons. Por outro lado, em termos de precisão dimensional os equipamentos de fusão de cama de pó são a opção a ser fazer uso, processo que também pode ser aplicado para pós cerâmicos e poliméricos, além dos metálicos já citados [3].

Porém é sabido que normalmente as características finais do produto tão somente processado via manufatura aditiva não apresenta as características microestruturais e propriedades das rotas convencionais normalmente adotadas para produção de uma determinada liga, e que neste caso busca-se realizar etapa adicional de pós-tratamento de natureza térmica para promover as modificações microestruturais necessárias para se atingir as propriedades almejadas. No entanto, muito pesquisa se faz necessária para chegar a este resultado final tanto no que diz respeito aos parâmetros de processo na manufatura aditiva como do tratamento térmico pós-manufatura em função da liga que se tem em mãos e das propriedades necessárias para a aplicação.

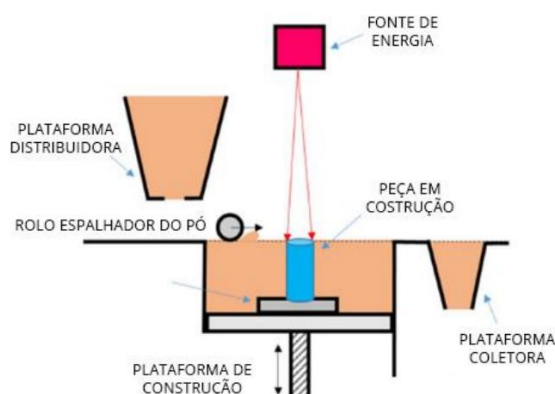


Figura 6 – Desenho esquemático do funcionamento de uma impressora de fusão/sinterização em cama de pó [8].

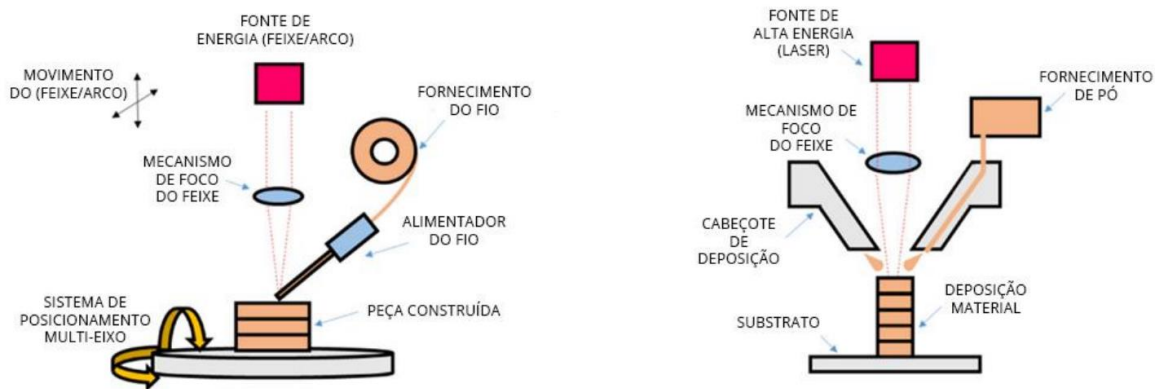


Figura 7 – Desenho esquemático do funcionamento de impressoras de deposição com energia direcionada com a matéria-prima fornecida em formato de fio (esquerda) e de pó (direita) [8].

3 Desenvolvimento Tecnológico no Setor da Saúde

Na literatura a nível mundial observa-se pesquisas de ponta e ofertas diversos produtos ao mercado substituindo os processos de clássicos de manufatura por aqueles que conceituam como sendo de manufatura aditiva para fabricação de implantes e próteses a partir de biomateriais (poliméricos, cerâmicos e metálicos), inclusive fazendo uso da possibilidade construção de geometrias internas não massivas que garantam a redução da densidade da peça de ligas metálicas com a devida resistência mecânica necessária aplicação [9,10,11], conforme exemplificado na Figura 8. Até mesmo observa-se ações para desenvolvimento de próteses funcionais para aplicação oftalmológica, no sentido de desenvolver estruturas oculares customizadas para cada paciente, no caso de reconstruções desta [12].

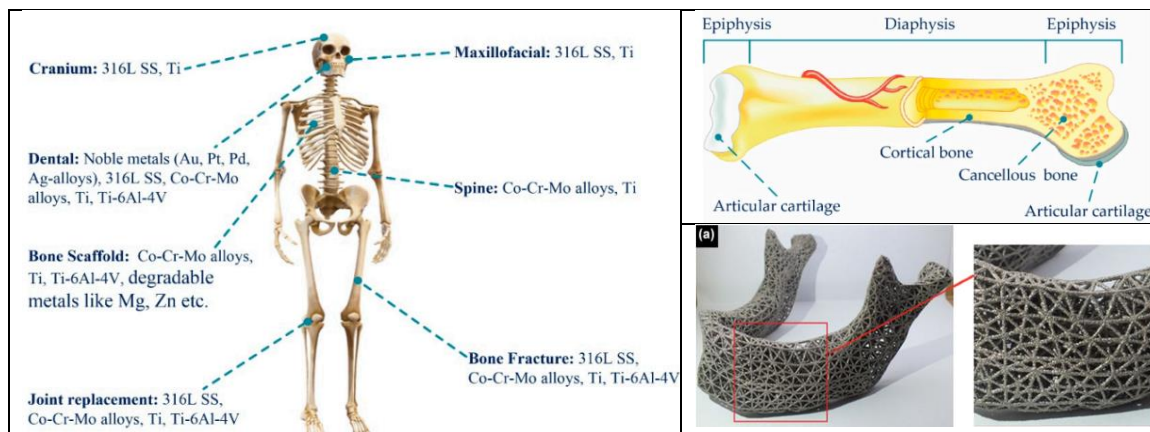


Figura 9 – Distintos metais e ligas aplicados em implantes e próteses para substituição de estruturas ósseas em peças com volumes de construção menos densos [9,11].

Fontes da literatura destacam que o Brasil apesar de ter unidades acadêmicas e outras fabris, que debruçam esforços na pesquisa, desenvolvimento e aplicação desta tecnologia em termos de produção de insumos e equipamentos para processamento, na visão mundial é invisível face às expressões dos esforços desempenhados para desenvolver a pesquisa por países como Estados Unidos da América, China, Reino Unido, Alemanha, Austrália, Itália, Singapura, Espanha, França, Canadá, Suíça e Coreia do Sul (Figura 9a) [13]. Esta pesquisa também destaca uma expectativa no crescimento global em impressão 3D em 45 bilhões de dólares no mercado americano e a participação por cada tipo de processo (Figura 9b,c).

Essas evidências destacam a carência brasileira de investimento para ofertas de insumos nacionais e das diversas vertentes destas tecnologias, que no exterior não é uma realidade só na pesquisa acadêmica, mas como uma realidade de oferta de mercado e de aplicação nos mais diversos setores com menor ou maior requisitos de desempenho, a citar os setores da indústria automobilística, aeronáutica, aeroespacial, biomédica (medicamentos, equipamentos e órgãos) e até mesmo o setor alimentício que começa a se desenvolver. No entanto observa-se várias iniciativas nacionais, sejam em instituições de ensino e pesquisa, em empresas de capital nacional ou até mesmo que multinacional que se implantaram no país.

No que tange o desenvolvimento de implantes e próteses e as iniciativas para normatizar as suas condições de fabricação, no Brasil algumas iniciativas são dignas de mérito, a citar o pioneirismo do Centro de Tecnologia da Informação (CTI) Renato Archer [14], do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) [15] e do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) [16]. Outra iniciativa é empresa Plenium, fruto de 13 anos de pesquisas e desenvolvimento tecnológico que resultaram na criação de biomateriais sintéticos e implantes customizados em máquinas 3D [17]. A empresa também desenvolve biomateriais como enxertos ósseos, uma membrana 100% sintética e reabsorvível de alta resistência, além de ser a primeira fábrica da América Latina a produzir blocos customizados de biomaterial cerâmico com tecnologia 3D.

Porém, estas ações não são suficientes frente a grandiosidade do país, que em termos fabris/comerciais possui um número reduzido de empresas brasileiras que têm como nicho de produtos implantes e próteses, e insignificante frente ao cenário internacional no que tange o uso da manufatura aditiva para este fim e com poder de competir com as opções importadas, em termos da tríplice meta em qualidade, custo e oferta.

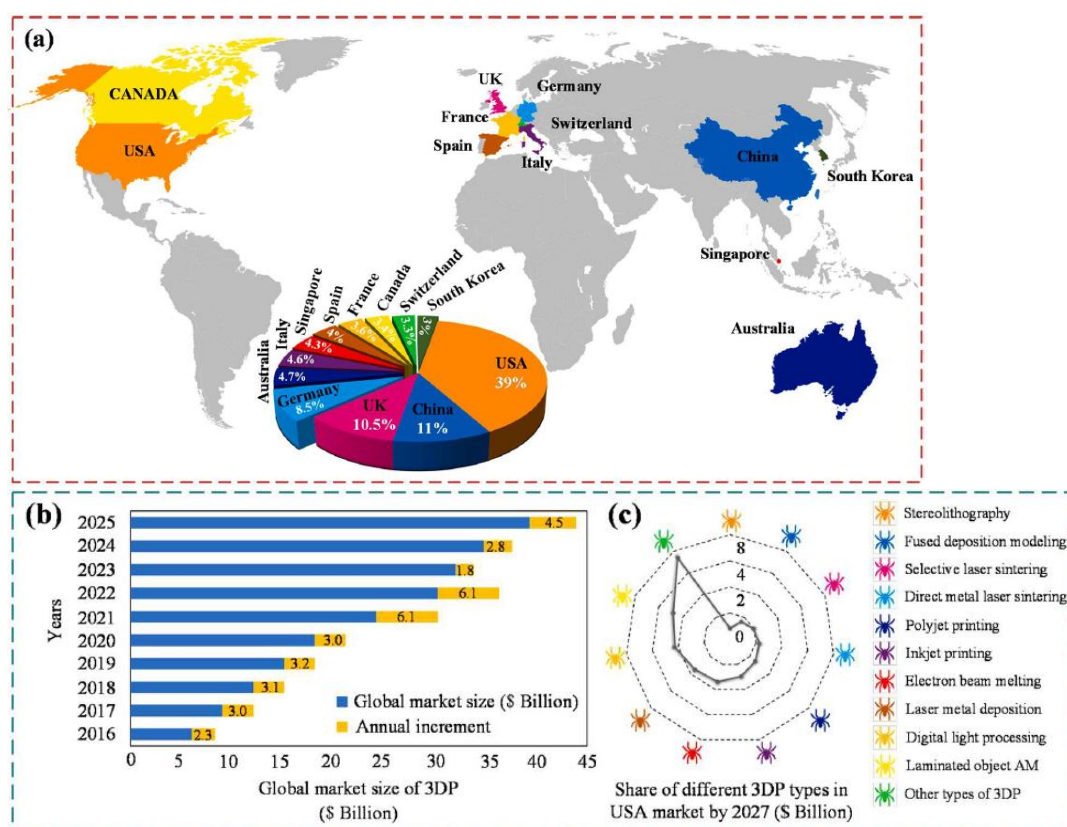


Figura 9 – (a) Os países mais prolíficos envolvidos no avanço da pesquisa de impressão 3D; (b) Progresso anual no mercado global de impressão 3D em bilhões de dólares americanos; e (c) Participação estimada de vários tipos de manufatura aditiva na impressão 3D geral dos EUA marcada para 2027. Dados extraídos de [13].

4. Considerações Finais

Apesar de existir uma lista extensa de fornecedores dos insumos das mais diversas naturezas para prototipagem rápida 3D e manufatura aditiva avançada, como também equipamentos para realizar processamentos com a concepção aditiva para obtenção de produtos, estes na maioria são oriundos de empresas estrangeiras que trabalham com a filosofia de “caixa-preta”, ou seja, a operação está otimizada para consumíveis importados de fornecedor(es) específico(s) determinado(s) pelo fabricante de cada equipamento de tecnologia de impressão 3D. Qualquer tentativa de alteração é inibida pela impossibilidade de ajustes de parâmetros de impressão por uma configuração de operação restrita, ou então por regras que consideram esta prática com uma violação da garantia. Mesmo em caso de contratos de aquisição de equipamentos com tecnologia aberta, tanto para programação flexível de ajustes das variáveis de processamento e liberdade na escolha dos insumos, o investimento é muito alto tanto para se adquirir os equipamentos como os insumos, pois mantém-se a política de desmotivação ao uso de insumos não licenciados por parte dos fabricantes de equipamentos de impressão 3D importados. Somado a isto, a complexidade no Brasil dos processos de aquisição de materiais de consumo e permanente importados nos diversos seguimentos de geração de conhecimento e tecnologia (ensino, pesquisa e indústria) do setor público nacional, incluindo a instabilidade cambial e as políticas internacionais de comércio exterior nos países potenciais fornecedores do Brasil, geram uma vulnerabilidade para um investimento tão grande de implantação e consolidação de uso em um tipo de tecnologia, que é a prototipagem rápida e a manufatura aditiva rápida, de forma ampla em todos os setores da indústria nacional e inúmeras possibilidades de aplicação. No entanto, o setor associado a aplicações em biomateriais tem tido uma evolução mais expressiva com empresas multinacionais e nacionais de grande, médio e pequeno porte, principalmente no que diz respeito a produção de próteses e implantes mais diversas segmentações da odontologia. Porém muito investimento e incentivo precisa ser feito para destacar com visibilidade mundial os esforços dos empresários e pesquisadores que atuam em organizações e instituições instaladas em território nacional.

Referências

- 1 3D Print.com: The Voice of the 3D Printing. <https://3dprint.com/182753/jim-bredt-robotic-3d-printer/>
- 2 WILTGEN, F., Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF). São Carlos, 5 a 7 agosto, pp.1-5, 2019.
- 3 Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D, Organizador: Neri Volpato, Editora Edgar Blucher Ltda, 2017.
- 4 A. Gebhardt, et al.: Additive Manufacturing: 3D printing for Prototyping and Manufacturing, Hanser Publish (2016) Deutschland.
- 5 <http://moldeinjecaoplasticos.com.br/prototipagem-rapida-ou-manufatura-aditiva/>
- 6 <https://engiprinters.com.br/os-tipos-de-tecnologia-de-impressao-3d/>
- 7 <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/11960>
- 8 <http://www.pos.cps.sp.gov.br/files/artigo/file/967/d493d6b779a3995567b0a509db1ac467.pdf>
- 9 S. Liu, Y.C. Shin, Materials and Design 164 (2019) 107552.
- 10 X. Yan, et al. Journal of Alloys and Compounds 764 (2018) 1056-1071.
- 11 L. Bai, et al. Metals 9 (2019) 1004.
- 12 J.K.S Tsui, et al. Survey of Ophthalmology 67 (2022) 1287-1310.
- 13 Y. Wang, et al. Journal of Manufacturing Systems, 60 (2021) 709-733.
- 14 <https://www1.cti.gov.br/pt-br>

- 15 <https://www.gov.br/int/pt-br>
- 16 <https://www.gov.br/inmetro/pt-br>
- 17 <https://www.abopr.org.br/empresa-brasileira-emprega-tecnologia-3d-em-implantes-e-blocos-customizados/>