

UMA INTRODUÇÃO ÀS TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA EM ACORDO COM A ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018

Alexandre Sheremetieff Jr* e Afrânio A. G. Gonçalves

Centro de Engenharia e Computação, Universidade Católica de Petrópolis, Petrópolis, 25.685-070, RJ, Brasil

Palavras-chave: Prototipagem Rápida, Manufatura Aditiva, Processos de Prototipagem.

Resumo. A explicação do que é manufatura aditiva inicia esse trabalho. Conhecida como impressão 3D tem ganho considerável destaque no cenário industrial, devido a versatilidade para fabricação de peças com perfil complexo e a larga gama de materiais que podem ser empregados na fabricação dos modelos. Esse trabalho apresenta um resumo das principais tecnologias presentes no mercado de manufatura aditiva, e expõe a visão geral dos processos de manufatura aditiva de acordo com a norma ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018, com o objetivo de correlacionar a classificação tradicional dos processos de prototipagem rápida com a nova classificação estabelecida pela norma.

*Endereço de e-mail: alexandre.sheremetieff@ucp.br.

AN INTRODUCTION TO ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES IN ACCORDANCE WITH ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018

Keywords: Rapid Prototyping, Additive Manufacturing, Prototyping Process.

Abstract. The explanation of what is additive manufacturing starts this work. Known as 3D printing, it has gained considerable prominence in the industrial scenario, due to the versatility to manufacture parts with complex profile and the wide range of materials that can be used in the manufacture of the models. This work presents a summary of the main technologies present in the additive manufacturing market and exposes the overview of additive manufacturing processes according to ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018, to correlate the traditional classification of rapid prototyping processes with the new classification established by the standard.

1 INTRODUÇÃO

Manufatura aditiva, prototipagem rápida, impressão 3D, são todos termos utilizados para denominar um grupo de tecnologias usadas para construir modelos físicos, protótipos, componentes de ferramentas e peças acabadas, a partir de um modelo tridimensional desenhado em um software para projetos. Esses processos vêm ganhando espaço no cenário industrial atual e essas tecnologias têm sido utilizadas de forma intensiva pela indústria aeroespacial e automobilística.

O presente trabalho objetiva correlacionar a classificação dos processos de manufatura aditiva, comumente utilizada e relacionadas em [17], com nova classificação estabelecida pela norma ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018 [1]. Assim, pretende-se comparar e atualizar a classificação tradicional das tecnologias existentes no mercado, originalmente feita em função do estado ou forma da matéria prima com a classificação estabelecida pela ABNT ISO/ASTM 52900:2018 [1], feita de acordo com o tipo de ligação atômica dos materiais.

O termo prototipagem rápida refere-se, usualmente, aos métodos de produção de sistemas aditivos [6], e pode ser definido como qualquer processo utilizado para fabricar rapidamente um protótipo físico ou uma peça em escala, a partir de um modelo tridimensional desenhado em um software de projeto, exemplo: CAD (*Computer-aided design*) [12]. Segundo a norma ABNT ISO/ASTM 52900:2018 [1], manufatura aditiva é processo de união de materiais para obtenção de peças a partir de dados digitalizados de modelos 3D, geralmente camada por camada, diferentemente das metodologias de manufatura subtrativa e formativa.

A GE Additive inovou com a fabricação de peças aeronáuticas utilizando a manufatura aditiva. Um dos exemplos mais recentes projetados pela companhia, foi a produção dos bicos de combustível dos motores LEAP. Tal peça é responsável pela pulverização de combustível no motor, e precisa ser capaz de resistir a altas temperaturas, sem contar a exatidão necessária de suas dimensões e forma para que possa liberar a quantidade certa de combustível na taxa correta [23]. É um componente complexo, que costumava ser composto de muitas partes, e essas partes tinham que ser fabricadas separadamente e depois soldadas. Ao usar a impressão 3D, a GE Additive conseguiu produzir todo o componente, sem preocupação com processos de fabricação adicionais [4].

Os processos convencionais, como o CNC, fresagem ou usinagem, descartam até 95 % de material para criar a peça final. Os sistemas de manufatura aditiva são capazes de imprimir componentes funcionais, muitas vezes com geometria complexa, sem a necessidade do uso de ferramentas e produzem um desperdício mínimo [13].

Segundo Volpato *et al.* [19], as etapas do processo nas técnicas de manufatura aditiva compreendem: 1) Modelagem tridimensional, geralmente feita em um sistema CAD; 2) Obtenção do modelo geométrico 3D em um formato específico, ou seja, o modelo é convertido em uma linguagem cuja máquina (impressora) seja capaz de interpretar, como por exemplo o STL – *StereoLithography* ou o AMF - *Additive Manufacturing Format*; 3) Planejamento do processo para a fabricação por camada, caracterizado pelo fatiamento e definição de estruturas de suporte e estratégias de deposição de material; 4) Fabricação da peça no equipamento escolhido e 5) Pós-processamento, que são tratamentos com tecnologias convencionais aplicados às peças para conferir-lhes algum tipo de propriedade adicional.

Segundo [14], o pós-processamento pode ser dividido em: acabamento e funcionalidade. O primeiro visa dotar a superfície com algum elemento estético, como cor, textura e brilho, e o segundo busca dotar a superfície com propriedades físico-químicas para aplicações diversas.

2 PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA

A abordagem encontrada na literatura referenciada sobre manufatura aditiva leva em conta

apenas o estado ou forma inicial da matéria, e não a composição química do material utilizado no processo de fabricação [14]. Segundo Swift e Booker [17], os processos de prototipagem estão classificados em três grupos de acordo com estado ou forma inicial da matéria-prima: estado líquido, em forma de pó ou estado sólido. A classificação proposta em [17] pode ser observada na Figura 1.

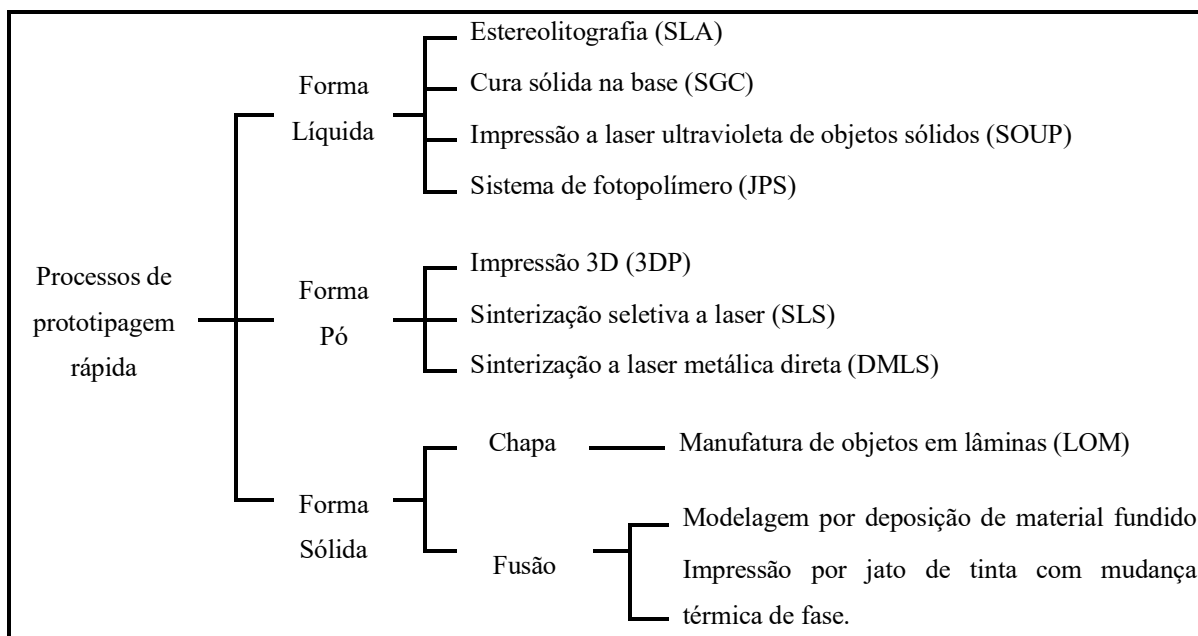


Figura 1: Classificação geral dos processos de prototipagem rápida [17]

Para cada uma das formas da matéria, foram desenvolvidas tecnologias comerciais que resultaram em diversos processos de manufatura aditiva. Assim, uma empresa que deseje inserir a prototipagem rápida nos seus processos de manufatura, deve buscar uma estratégia simples e eficaz para selecionar a tecnologia que se enquadre em seu segmento. Essas estratégias de seleção podem ser formuladas concentrando-se em fatores importantes, de ordem econômica e técnica [17]. A seguir, será apresentada uma breve descrição de processos de manufatura aditiva, de acordo com a classificação de [17], mas não restrita a essa metodologia.

2.1 Processos com material de alimentação na forma líquida

2.1.1 Estereolitografia (SLA)

O processo SLA ou SL (*Stereolithography*) de manufatura por fotopolimerização baseia-se na construção da peça por solidificação camada a camada, a partir de uma resina líquida fotossensível que forma um polímero sólido quando exposto à um feixe de luz ultravioleta (UV) ou raio laser. O sistema é composto por uma cuba, na qual se armazena a resina líquida, uma plataforma de construção e uma fonte de radiação UV hélio-cádmio ou laser de íon argônio [10, 18].

2.1.2 Cura Sólida na Base (SGC)

O processo SGC (*Solid Ground Curing*) de fabricação das peças, desenvolvida pela empresa Cubital Ltd, possui três passos relevantes: O primeiro passo é a criação do modelo em software CAD e a geração de cortes transversais, camada a camada [7]. No segundo

passo, uma foto-máscara é impressa, a partir de uma resina fotossensível borrifada sobre uma placa de vidro, acima da plataforma de construção. Essa foto-máscara correspondente ao negativo da camada da peça a ser gerada. O terceiro passo constitui a formação da peça, quando uma intensa lâmpada UV é acionada, enrijecendo a resina nos locais não cobertos pela foto-máscara. Repete-se o processo para cada camada da peça [11].

2.1.3 Impressão a Laser Ultravioleta de Objetos Sólidos (SOUP)

A tecnologia SOUP (*Solid Object Ultraviolet Laser Printer*) usa um espelho galvanômetro com um mecanismo plotter XY para direcionar o raio laser para a superfície da resina líquida, de modo que a fonte do raio laser fique perpendicular à superfície da resina para minimizar o efeito do espalhamento dinâmico da luz [20]. O processo consiste na criação de um modelo tridimensional em software CAD, seguida do processamento de dados da peça em camadas, por meio de software. Na máquina, ocorre a formação da peça, que será gerada pela sobreposição das camadas, quando o laser entra em contato com a resina ocorre a solidificação de uma camada da peça. Após a formação de uma camada, o sistema da máquina é responsável por movimentar a plataforma de formação da peça no eixo Z para baixo, com isso a resina líquida cobre a parte superior da peça em formação, preparando para uma próxima camada, os passos são repetidos até que a peça seja finalizada [7].

2.1.4 Sistema Fotopolímero Jateado (JPS)

O processo JPS (*Jetted Photopolymer System*) combina duas tecnologias, a impressão por jato de tinta e a estereolitografia. Nesse processo, utiliza-se um cabeçote de impressão para depositar os materiais da peça e de suporte, de acordo com o modelo projetado em um software CAD. Os materiais depositados são então expostos à luz UV, solidificando cada camada em um processo conhecido como fotopolimerização. Os fotopolímeros são “curados” instantaneamente quando entram em contato com a radiação gerada por uma fonte de luz UV. O produto é uma peça sólida produzida camada por camada [16]. Uma vez finalizado o processo, um pós-processamento é requerido para remoção do material de suporte, utilizando água pressurizada ou por imersão em um banho ultrassônico [23].

2.2 Processos com material de alimentação na forma pó

2.2.1 Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

O processo SLS (*Selective Laser Sintering*) utiliza um pó fino que é fundido, após entrar em contato com um laser de CO₂. A alta temperatura do laser faz com que a tensão superficial das partículas seja superada e elas se fundam. As substâncias utilizadas podem ser termoplásticas, ceras, pós metálicos e misturas de pós metálicos e pós cerâmicos [10]. O processo também é conhecido como SLS indireto, pois o pó é constituído de grãos metálicos misturados ou revestidos com um polímero que serve como aglutinante [14]. O processo inicial não difere das demais técnicas de prototipagem [19].

2.2.2 Sinterização Direta de Metal a Laser (DMLS)

Os processos DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*) e SLM (*Selective Laser Melting*) produzem, exclusivamente, peças de metal [23]. Esse método de manufatura aditiva utiliza um feixe de laser que sinteriza o pó metálico e cria peças por fusão seletiva, consolidando finas camadas de pó [3]. O processo DMLS não difere dos demais processos de manufatura aditiva na sua etapa inicial. Essa técnica de prototipagem tem sido utilizada pelo ramo aeronáutico [3].

2.2.3 Fusão Seletiva a Laser (SLM)

O processo SLM (*Selective Laser Melting*) é mais uma técnica de manufatura que utiliza um feixe de alta energia que funde completamente um pó metálico. Este solidifica rapidamente formando uma peça uniforme. Uma atmosfera protetora é utilizada ao longo do trajeto do laser para evitar a oxidação e a degradação do pó metálico [22]. As peças fabricadas pelo processo SLM têm excelente qualidade e desempenho. Esse método permite a fabricação de peças metálicas com alto grau de complexidade e propriedades comparáveis à do material fabricado convencionalmente [23].

2.2.4 Fusão por Feixe de Elétrons (EBM)

O processo EBM (*Electron Beam Melting*) de manufatura aditiva baseado em pó metálico, utiliza um feixe de elétrons em vez de laser para fundir o material. A velocidade de construção das peças do processo EBM é maior em virtude da maior velocidade de varredura do feixe de elétrons e da elevada temperatura alcançada no processo de formação da peça. A tecnologia denominada MultiBeam utilizada pela empresa Arcam, permite uma melhoria no acabamento superficial, na precisão e na velocidade de construção da peça [19]. Assim como os demais processos de prototipagem, o feixe de elétrons é orientado por um software, que previamente fatia o modelo CAD, e, no momento da fabricação, direciona o feixe de acordo com as camadas, solidificando o material. Cada camada da peça é sequencialmente preenchida com linhas alongadas (filetes) de pó fundido [21].

2.2.5 Impressão Tridimensional (3DP)

A manufatura aditiva via 3DP (*Three-Dimensional Printing*) permite fabricar modelos ou protótipos funcionais a partir dos dados de um desenho projetado em CAD (*Computer Aided Design*). No processo 3DP, utiliza-se uma cabeça de impressão, que deposita um agente aglutinante ao pó metálico ou no material cerâmico, da mesma forma que uma impressora a jato libera a tinta no papel [23]. O processo 3DP imprime peças funcionais em múltiplas camadas. Cada camada começa com uma distribuição fina de material em forma de pó espalhado sobre a superfície da câmara de construção. O cabeçote de impressão percorre o trajeto definido pelo modelo 3D e imprime somente os pontos específicos. O agente aglutinante tem como função agregar e solidificar as partículas [8, 17].

2.3 Processos com material de alimentação na forma sólida

2.3.1 Manufatura de Objetos em Lâminas (LOM)

No método LOM (*Laminated Object Manufacturing*), é possível fabricar objetos através da aglutinação progressiva do material e a sobreposição de camadas resulta na peça final [10]. O material utilizado na construção da peça, se encontra enrolado em uma bobina que alimenta a máquina para construção da peça. Após a deposição de uma folha, um rolo aquecido é passado sobre a sua superfície ativando o aglutinante na parte inferior da folha e unindo-a com a anterior [14]. Um feixe de luz, orientado por espelhos e controlado por um software, é utilizado para cortar o perfil da camada em questão [15]. Adicionalmente, o laser também corta em pequenos retângulos o material que não faz parte da peça, facilitando assim, a sua posterior retirada. Objetos impressos em papel assumem propriedades semelhantes à madeira e podem ser lixados e finalizados adequadamente. Objetos de papel são geralmente selados com uma tinta ou verniz para preservar a peça da umidade [15].

2.3.2 Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM)

A Modelagem por deposição de material fundido, FDM (*Fused Deposition Modeling*), é um processo de manufatura rápida, também conhecido por Fabricação digital direta, DDM (*Direct Digital Manufacturing*). A partir de um modelo 3D criado em CAD, o método se inicia com a obtenção de curvas de níveis 2D que definirão em qual local o material será adicionado [19]. O processo consiste na deposição de um material termoplástico em uma mesa pré-aquecida. O material contido em um carretel, alimenta uma cabeça extrusora que aquece e derrete o material. O material termoplástico é aquecido após sua temperatura de transição, de sólido para líquido, sendo depositado pela cabeça extrusora camada a camada, até obter-se a peça com a forma desenhada. Pesquisas têm mostrado que o processo de impressão realizado sob um ambiente controlado com uso de gases inertes, tal como nitrogênio e argônio, pode aumentar significativamente a adesão entre as camadas e as propriedades mecânicas dos objetos impressos [9]. O processo de manufatura aditiva DDM tem alcançado os mais diversos mercados, inclusive o caseiro.

3 PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA DE ÚNICA ETAPA

A norma ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018 [1] estabelece que a manufatura aditiva pode ser realizada em uma única etapa, pela fusão de materiais similares metálicos, polímeros, cerâmicos e alguns compósitos, ou então, em múltiplas etapas, para adesão de materiais não similares, por processamento secundário por sinterização e/ou infiltração. A norma cita os diferentes tipos de ligações atômicas existentes e sua relação com a forma como o material pode ser unido em um processo aditivo: “os materiais metálicos são normalmente mantidos unidos por ligações metálicas, moléculas de polímero normalmente por ligações covalentes, materiais cerâmicos normalmente por ligações iônicas e/ou covalentes e materiais compósitos por qualquer combinação dos acima mencionados”. A partir disso, a norma estabelece as características para classificação de manufaturas aditivas, de acordo com os critérios que aparecem na primeira coluna da Tabela 1.

Essa forma de classificação, não encontra consonância nas outras referências bibliográficas citadas nesse trabalho. Assim, no próximo capítulo é apresentada uma correlação dos processos de manufatura aditiva, ordenados por estado ou forma da matéria prima, com a norma ABNT, que estabelece uma classificação com base nas ligações atômicas: metais, polímeros e cerâmicos.

Tabela 1: Visão geral dos princípios do processo de manufatura aditiva. Adaptado de ABNT NBR ISO/ASTM 59200:2018 [1]

CRITÉRIOS	CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO		
	Metálico	Polímero	Cerâmico
TIPO DE MATERIAL			
ESTADO DE FUSÃO	Fundido, fundido + sólido, sólido.	Ligação por reação térmica ou reação química	Fundido + sólido ou sólido
MATERIAL DE ALIMENTAÇÃO	Filamento, pó ou folha.	Filamento, material fundido ou em pó com aglutinante, material líquido ou em folhas.	Suspensão de pó e líquido ou material em pó
DISTRIBUIÇÃO DO MATERIAL	Bico de deposição, leito em pó ou pilha de folha.	Bico de deposição, cabeçote de impressão, leito em pó com aglutinante em cabeçote de impressão, cabeçote de impressão, cuba ou pilha de folha.	Compacto verde de alta densidade ou leito em pó
PRINCÍPIOS BÁSICOS DE MANUFATURA ADITIVA	Deposição seletiva de material para um substrato, fusão seletiva em um leito de pó ou fusão de folhas empilhadas.	Extrusão de material fundido, impressão de material por múltiplos jatos, fusão seletiva de material em um leito de pó, cura reativa, cura por fotopolimerização reativa à luz, fusão de folhas empilhadas	Fusão seletiva de partículas em: um compacto verde de alta densidade ou em um leito em pó.
FONTE DA FUSÃO	Feixe de elétrons, laser ou ultrassom.	N/A	N/A
CATEGORIA DO PROCESSO	Aplicação de energia direcionada, fusão em leito de pó ou laminação de folhas.	Extrusão de material, jateamento de material, fusão em leito de pó, jateamento de aglutinante, fotopolimerização em cuba ou laminação em folha.	Fusão em leito de pó

4 CORRELAÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES DOS PROCESSOS

Em [17], os processos de prototipagem rápida (PR) foram divididos em 3 categorias, assim como em [19]. Os processos de prototipagem são comumente divididos pelo seu estado ou forma inicial da matéria-prima utilizada para fabricação, sendo classificados em líquido, sólido ou pó. Entretanto, essas subdivisões referentes a forma do material não fornecem informações sobre os meios de adição e adesão [19].

Assim, a Tabela 2 relaciona os principais processos de manufatura aditiva, classificados de acordo com o estado/forma do material por [17], com esses mesmos processos classificados de acordo com a norma ABNT ISO/ASTM 52900:2018 [1], a qual, além da forma do material, considera aspectos do processo.

Tabela 2: Correlação das classificações dos processos de manufatura aditiva

PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA			
ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018	CLASSIFICAÇÃO PELO MATERIAL DE ALIMENTAÇÃO (SWIFT & BOOKER, 2014.)		
	LÍQUIDO	PÓ	SÓLIDO
METÁLICOS. Aplicação de energia direcionada por feixe de elétrons ou laser.		Impressão 3D - (3DP)	
METÁLICOS. Fusão em leito de pó, por feixe de elétrons ou laser.		Sinterização seletiva a laser (SLS)	
		Sinterização a laser metálica direta - (DMLS)	
		Fusão seletiva a laser (SLM)	
		Fusão por feixe de elétrons - (EBM)	
METÁLICOS. Laminação de folhas, fusão por ultrassom.			Manufatura de objetos em lâminas (LOM)
POLÍMEROS. Extrusão de material, por fusão.			Modelagem por deposição de material fundido (FDM)
POLÍMEROS. Jateamento de material por impressão de material fundido.			Modelagem por deposição de material fundido (FDM).
POLÍMEROS. Fusão em leito de pó, por fusão.		Sinterização seletiva a laser (SLS)	
POLÍMEROS. Jateamento de aglutinante.		Impressão 3D - (3DP)	
POLÍMEROS. Jateamento de material por impressão de material líquido.	Sistema de fotorpolímeros (JPS)		
POLÍMEROS. Fotopolimerização em cuba.	Estereolitografia (SL)		
	Cura sólida na base (SGC)		
	Impressão a laser ultravioleta de objetos sólidos (SOUP)		
POLÍMEROS. Laminação de folhas.			Manufatura de objetos em lâminas (LOM)
CERÂMICOS. Fusão em leito de pó, por aglutinante polimérico.		Impressão 3D - (3DP)	
CERÂMICOS. Fusão em leito de pó, por fusão seletiva.		Sinterização seletiva a laser (SLS)	

5 CONCLUSÕES

As tecnologias de prototipagem rápida são de grande utilidade quando se observa o setor industrial, devido à economia de recursos, principalmente na produção em baixa escala. A possibilidade real e atual de poder “imprimir” qualquer tipo de componente, tendo em mãos o material adequado, um desenho na forma virtual e uma impressora 3D, consolida a ideia de que a gestão de processos de manufatura ganhou um aliado versátil.

Dentre os fatores que favorecem a aceitação deste tipo de metodologia, cita-se a facilidade de produzir peças com geometrias complexas, a diminuição do tempo de produção de um protótipo e a gama de materiais que podem ser aplicados. Na “indústria inteligente”, máquinas e insumos “conversam” ao longo das operações industriais com escala e, devido à manufatura aditiva, a flexibilidade do processo de fabricação pode ocorrer de forma relativamente autônoma e integrada com a internet [2].

Neste trabalho, pode-se observar como os principais processos de manufatura aditiva, inclusive os mencionados em [17] e expostos de forma resumida nesse trabalho, puderam ser classificados de acordo com a norma ABNT ISO/ ASTM 52900:2018 [1], acrescentando à classificação os princípios básicos da manufatura aditiva assim como as categorias de processos, necessidade já apontada por [19].

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR ISO/ASTM 52900:2018 – Manufatura Aditiva — Princípios Gerais — Terminologia*. ABNT/CEE-261 Manufatura Aditiva, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2018.
- [2] A. Becker, A. Schneider, J. Ercico e R. Werlang. Os conceitos da indústria 4.0 associados a abordagem da capacidade dinâmica. *Anais da Engenharia de Produção*, 2(1):123–136, 2018. Disponível em <<https://uceff.edu.br/anais/index.php/engprod/article/view/203>>. Acessado em maio de 2019.
- [3] A. Binele, A. Peres e A. Jardini. Direct metal laser sintering (DMLS): Technology for design and construction of microreactors. In 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Caxias do Sul – RS, Brasil, 2011.
- [4] Y. Bovalino e T. Kellner. *Fit to print: See firsthand how GE’s additive business is changing the way we make jet engines, jewelry and more*. GE Reports, 2017. Disponível em <<https://www.ge.com/reports/fit-print-inside-look-ge-additive-business-transforming-manufacturing>>. Acessado em março de 2019.
- [5] L. M. Braga. *Manufatura aditiva: uma análise de aplicações atuais*. Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2017.
- [6] R. Buswell, R. Soar, A. Gibb e A. Thorpe. Freeform Construction: Megascale Rapid Manufacturing for construction. *Automation in Construction* 16:224–231, 2007.
- [7] C. K. Chua, K. F. Leong, C. S. Lim. *Rapid Prototyping: Principles and applications*. World scientific publishing Co. Pte. Ltda, 2nd edition, 2003.
- [8] C. K. Chua, K. F. Leong e Z. H. Liu. Rapid tooling in manufacturing. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Springer-Verlag, 1st edition, 2537–2538, 2015.

- [9] I. G. Daier. Utilização da impressora 3D na indústria aeronáutica. Trabalho de conclusão de curso de graduação, Universidade Católica de Petrópolis, Petrópolis – RJ, Brasil, 2018.
- [10] L. A. Dobrazanski, K. Golombek, K. Lukaszewicz. Physical Vapor Deposition in Manufacturing. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Springer-Verlag, 1st edition, 2720–2752, 2015.
- [11] A. Gorni. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. *Revista Plástico Industrial*, 230–239, 2001. Disponível em <<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>>. Acessado em outubro de 2018.
- [12] J. Hanssen, Z. H. Moe, D. Tan e O. Y. Chien. Rapid Prototyping Manufacturing. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Springer-Verlag, 1st edition, 2506- 2503, 2015.
- [13] L. E. Murr, E. Martinez, K. N. Amato, S. M. Gaytan, J. Hernandez, D. A. Ramirez, P. W. Shindo, F. Medina e R. B. Wicker. Fabrication of Metal and Alloy Components by Additive Manufacturing: Exemples of 3D Materials Science. *SciTechnol*, 28:1–14, 2012.
- [14] M. F. Oliveira. Aplicação da Prototipagem Rápida em Projetos de Pesquisa. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, Brasil, 2008.
- [15] E. Palermo. *What is Laminated Object Manufacturing?* Livescience, 2013. Disponível em <<https://www.livescience.com/40310-laminated-object-manufacturing.html>>. Acessado em maio de 2019.
- [16] R. Pandey. *Photopolymers in 3D printing applications*. Trabalho de conclusão de curso de graduação, Universidade de Ciências Aplicadas da Arcada, Helsinque, Finlândia, 2014. Disponível em <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/80083/pandey_ramji.pdf?sequence=1PHAM>. Acessado em março de 2019.
- [17] K. G. Swift e J. D. Booker. Seleção de Processos de Manufatura. Elsevier Editora Ltda, 1^a edição, 2014.
- [18] M. Vandresen. *Aplicação da técnica do núcleo perdido na injeção de peças complexas, em moldes de ferramental rápido, a partir da estereolitografia*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil, 2004.
- [19] N. Volpato, C. Ahrens, C. Ferreira, G. PETRUSIF, J. CARVALHO, J. SANTOS e J. SILVA. *Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações*. Edgard Blucher, 1^a edição, 2007.
- [20] T. Wohlers. *The world of rapid prototyping*. Wohlers Associates, 1992. Disponível em <<https://wohlersassociates.com/mr.html>>. Acessado em abril de 2019.
- [21] I. Yadroitsev e I. Smurov. Surface morphology in selective laser melting of metal powders. *Physics Procedia*, 12:264–270, 2011.
- [22] J. Zhang, B. Song, Q. Wei, D. Bourell, Y. Shi. A review of selective laser melting of aluminum alloys: Processing, microstructure, property and developing trends. *SciTechnol* 35(2):270–284, 2018.
- [23] 3Dilla. *3D PRINTING: A tecnologia*. Disponível em <<http://pt.3dilla.com/impressora-3d/three-dimensional-printing/>>. Acessado em novembro de 2019.