

MANUFATURA ADITIVA APLICADA AO ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Jéssica Crauss Rilko¹

Marcelo Augusto Rozan dos Santos²

RESUMO

Atualmente, a pesquisa em Manufatura Aditiva (MA) tem incluído uma interface cada vez maior, entre áreas da engenharia. Esses avanços contribuíram de forma significativa, para diversos setores como automotivo e o aeroespacial, e também, nos projetos de implantes odontológicos. Mais conhecida como impressão 3D é vislumbrada por sua capacidade de imprimir geometrias complexas e por sua flexibilidade. Na engenharia mecânica, em questão, sua funcionalidade é ideal para a produção de protótipos em projetos na fase de testes. A MA não substitui a usinagem, no entanto, é viavelmente mais barata e mais completa (em casos de geometrias mais complexas). Identificada à necessidade de aprofundar o estudo, o presente texto, tem como objetivo nortear a importância do uso dessa tecnologia na Engenharia mecânica, abrangendo desde as suas características evolutivas até suas diversas aplicações funcionais da atualidade, pertinentes ao ramo da engenharia em questão. Pretende-se também, analisar a estrutura de um projeto mecânico de uma impressora 3D de baixo custo, na busca pela sugestão de um equipamento financeiramente mais atraente. Os resultados obtidos na pesquisa foram satisfatórios, e comprovaram, que o uso da tecnologia em MA é fundamental, para a evolução dos projetos mecânicos, e tende a contribuir cada dia mais.

Palavras-chave: Impressão 3D. Protótipos. Evolução. Projeto Mecânico.

¹ Graduanda em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Rio Verde, GO.

² Orientador, Mestre em Engenharia Mecânica, Linha de Pesquisa: Materiais e Processos de Fabricação.

1 INTRODUÇÃO

O uso das tecnologias da manufatura aditiva (MA) se encontra em alta nos diversos campos do mercado industrial. Proveniente de um processo de impressão de objetos visivelmente palpáveis, a manufatura aditiva é utilizada em diversas áreas, atualmente tem destaque nos setores automotivos e aeroespacial, e também nos projetos de implantes odontológicos (MARQUES, 2014).

O princípio dessa tecnologia é a prototipagem, por meio da modelagem de objetos a partir de desenhos gerados em CAD ou de dados digitalizados por varrimento (engenharia reversa). Assim, as impressoras 3D podem gerar o protótipo sem a necessidade de moldes, até mesmo para a fixação, pois, a própria tecnologia cria o suporte do objeto (RAULINO, 2011).

Na engenharia mecânica, em questão, a sua funcionalidade é ideal, para a produção de protótipos, para projetos em fase de testes ou até mesmo utilizá-los como, produto final. A impressão 3D não substitui a usinagem, no entanto, é viavelmente mais barata e mais completa, pois, em casos de geometrias mais complexas, não é possível usinar (LEONEL, 2011).

Identificada à necessidade de aprofundar o estudo, o presente texto, tem como objetivo nortear a importância do uso dessa tecnologia na Engenharia mecânica, abrangendo desde as suas características evolutivas até suas diversas aplicações funcionais da atualidade, pertinentes ao ramo da engenharia em questão.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Pesquisar e estudar os processos de Manufatura Aditiva, para identificar a melhor técnica para utilização na Engenharia Mecânica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Pesquisar o que é Manufatura Aditiva;
- Pesquisar quais são as técnicas mais utilizadas na Manufatura Aditiva e

- Analisar e comparar as técnicas de Manufatura Aditiva por método de estudos de casos, assim definir qual é a mais indicada para Engenharia.

1.2 EVOLUÇÃO E CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS

Em meados da década de 1980, esse tipo de tecnologia já era conhecido comercialmente. No entanto, era denominada de prototipagem rápida e não havia um ferramental específico. Devido aos novos avanços tecnológicos da eletrônica, no início de 2000 essa tecnologia ganhou um novo conceito, englobando a filosofia de manufatura e todas as tecnologias pertinentes. Porém, o nome somente foi redefinido em 2010, pela Sociedade Americana para Ensaio e Materiais (ASTM, sigla em inglês), por considerarem um termo mais amplo (MARQUES, 2014).

Inicialmente, o principal objetivo da prototipagem era o de aprimorar o processo de produção. Porém, à medida que as inovações foram se instalando a qualidade final do processo de impressão de objetos tridimensionais (3D), começou a ser determinante (VOLPATO, 2007).

Mesmo com toda a funcionalidade da prototipagem, o fator tempo de produção era determinante para sua evolução. Dessa forma, o desafio dos engenheiros especializados nesse ramo era de melhorar a tecnologia já existente, a fim de agilizar o processo de produção dos protótipos.

Desde então, as evoluções das tecnologias de MA não pararam. A empresa Stratasys (na época ainda nova no mercado), fundada em 1989 inovou em 1991 ao inserir no mercado a modelagem por fusão e deposição (FDM – Fused Deposition Modeling), uma tecnologia que prometia agilizar o processo de prototipagem e que é altamente utilizada até os dias atuais. Logo após a FDM introduziu a sinterização seletiva a laser (SLS – Selective Laser Sintering), que utiliza o calor de um laser para fundir metais pulverizados. E ao longo dos anos várias outras tecnologias foram surgindo (RAULINO, 2011).

Desde então, o processo de MA ou prototipagem rápida se constituiu no mercado como um grupo de alternativas de soluções para melhorar o desenvolvimento e adaptações das utilidades dos materiais produzidos por ela (MA). Esse ambiente dinâmico de troca de informações produtivas entre as equipes desenvolvedoras das tecnologias é o que irá trazer ao mercado produtos com mais qualidade, com menos tempo e custo de fabricação (VOLPATO, 2007).

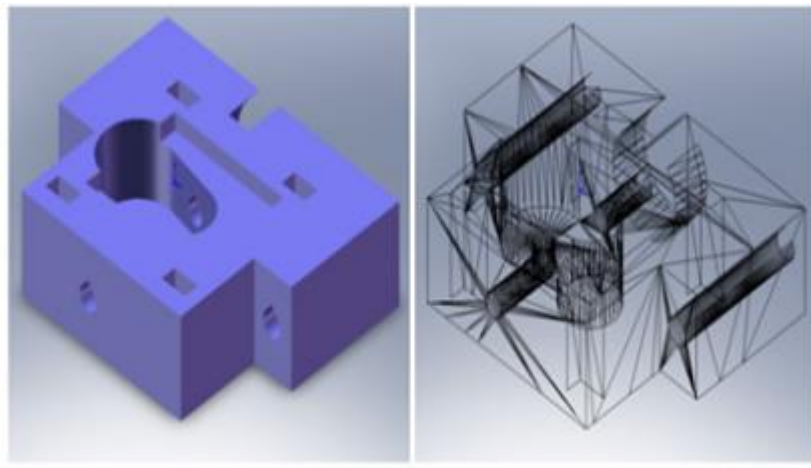
Todas as tecnologias de MA, possuem pontos em comum nas etapas do planejamento, mas a principal diferença delas está no material físico de construção do protótipo. Para Wozny (1997) apud raulino, (2011), o processo de planejamento é dividido em três etapas: pré-processamento, processamento do protótipo rápido e pós-processamento.

No entanto, Gorni (2001), divide esse processo, em cinco etapas consecutivas, que são expostas a seguir:

1. criação de um modelo CAD da peça que está sendo projetada;
2. conversão do arquivo CAD em formato STL, próprio para estereolitografia;
3. fatiamento do arquivo STL em finas camadas transversais;
4. construção física do modelo, empilhando-se uma camada sobre a outra e
5. limpeza e acabamento do protótipo.

Na etapa do pré-processamento, é a fase de criação do modelo da peça em software CAD 3D ou pela obtenção dos dados digitalizados por varrimento (engenharia reversa). Após isso, esse arquivo gerado é convertido para um padrão aceito pela máquina. Esse formato é denominado de arquivo STL, que se forma basicamente, na apresentação geométrica da superfície do modelo, em malha triangular, sem cores ou textura como nos sistemas CAD (RAULINO, 2011). A Figura 1 representa as fases dessa primeira etapa.

FIGURA 1 - Modelo sólido em CAD 3D convertido para representação STL



Fonte: Raulino (2011).

Essa técnica de digitalização é utilizada em diversos segmentos, para o melhor aprimoramento do designer dos produtos, como por exemplo: Joalheria, vestuário, equipamentos de segurança e acessórios personalizados diversos (SILVA et al., 2010).

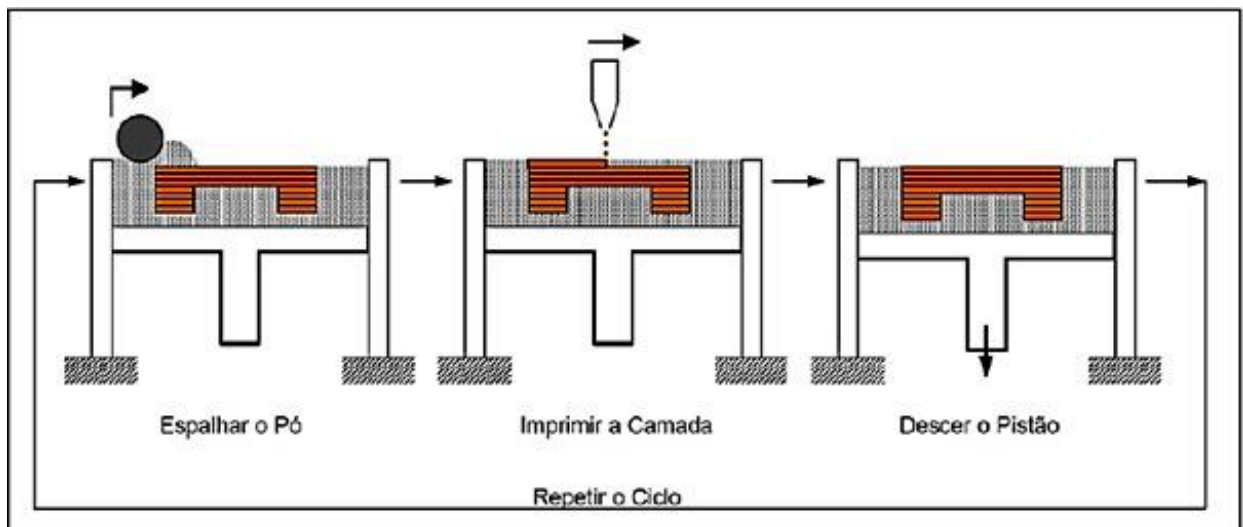
Por meio da análise do desenho pode-se definir qual o melhor produto, para cada segmento de consumidor.

Uma das técnicas mencionadas, para a obtenção do modelo digitalizado para criação do protótipo é a tecnologia da engenharia reversa. Esta por sinal segue o conceito de medição tridimensional, utilizadas em casos onde o modelo a ser criado já existe, porém necessita de ajustes. É o caso dos moldes e próteses da medicina e da odontologia, dos artigos de artes, algumas indústrias, etc. (LIMA, 2003; SANTOS, 2016).

Na fase do processamento das informações contidas no arquivo STL, são feitas uma série de ajustes, no modelo, para validação e correção. Esses triângulos que definem as coordenadas do sistema cartesiano tridimensional que permitem a sua reprodução real (RAULINO, 2011).

Ainda na fase do processamento, o material sólido é dividido em camadas, que serão produzidas pela máquina de prototipagem rápida, mostrado na Figura 2. Cada camada é escaneada pela impressora 3D com exatidão para que o processo de adição de material seja perfeitamente igual ao modelo (RAULINO, 2011).

FIGURA 2 – Esquema da Manufatura Aditiva 3D



Fonte: Volpato (2007).

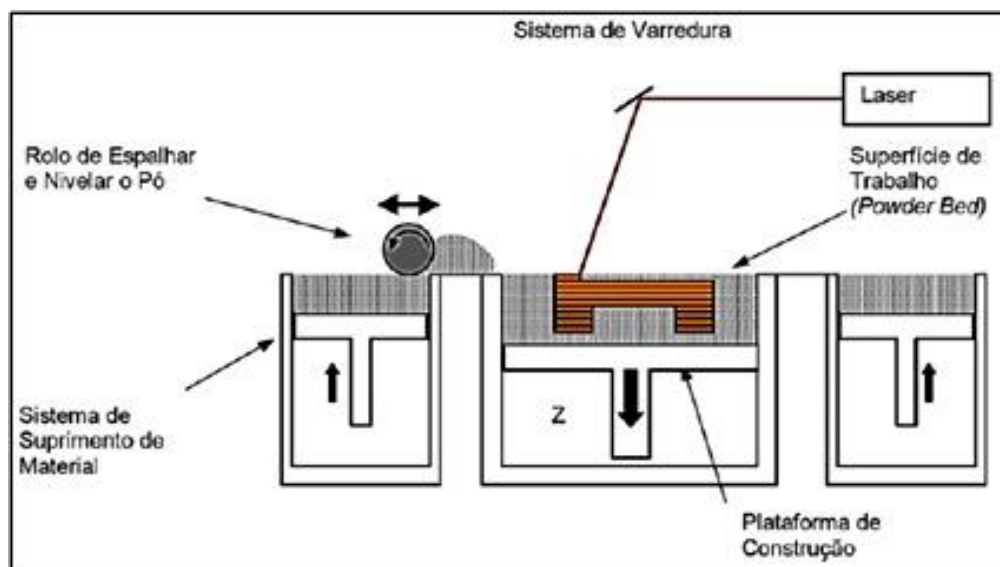
A fase do pós-processamento, consiste na remoção dos excessos de material, cura e limpeza do objeto quando for necessário e conferência do produto final (RAULINO, 2011). Mesmo com características semelhantes entre as etapas do desenvolvimento, cada tecnologia impõem uma característica própria, deve-se então analisá-las.

1.2.1 Principais tecnologias

Para Marques (2014), dentre as dezenas de tecnologias de manufatura aditivada existentes no mundo, quatro estão em destaque: a (FDM) Fused Deposition Modeling, com a utilização de filamentos de polímeros como matéria-prima; a (SLA) Stereolithography Apparatus, que utiliza luz ultravioleta para curar resinas líquidas; e a (SLS) Selective Laser Sintering, que projeta objetos em 3D, por meio de materiais granulados de plásticos, cerâmicas e metais.

Cabe também mencionar, a tecnologia chamada 3DP ou Impressão 3D, mostrado na Figura 3. Esse nome é constantemente atribuído ao sinônimo de manufatura aditiva, porém, poucos mencionam que esse nome na realidade é uma das tecnologias na MA existentes e utilizadas atualmente.

FIGURA 3 – Esquema da impressão tridimensional (3DP)



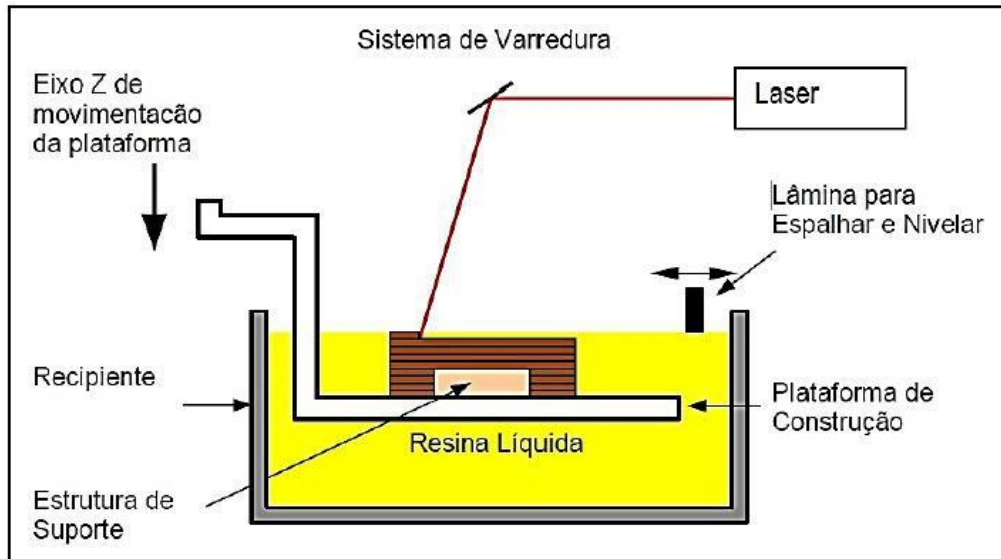
Fonte: Volpato (2007).

Essa tecnologia (3DP) tem um diferencial produtivo bem atraente, um deles é a agilidade do processo de fabricação, podendo chegar a produzir quatro camadas por minuto. O outro diferencial, não menos importante é a sua capacidade de produzir peças coloridas em até 24 bits de cores (CUNICO, 2013).

A tecnologia SLA-1 foi lançada comercialmente em 1987 pela 3D Systems, que desenvolveu e patenteou o processo de estereolitografia. Logo após a empresa também desenvolveu o formato STL (arquivo de modelagem triangular), que é utilizado até os dias de hoje (RAULINO, 2011).

A tecnologia de estereolitografia (SLA), demonstrada na Figura 4, é muito utilizada na prototipagem em benefício à medicina, no entanto, o seu alto custo ocasionado pela falta de fornecedores nacionais de equipamentos e materiais, impede o crescimento do índice de utilização desse tipo de tecnologia (CUNICO, 2013).

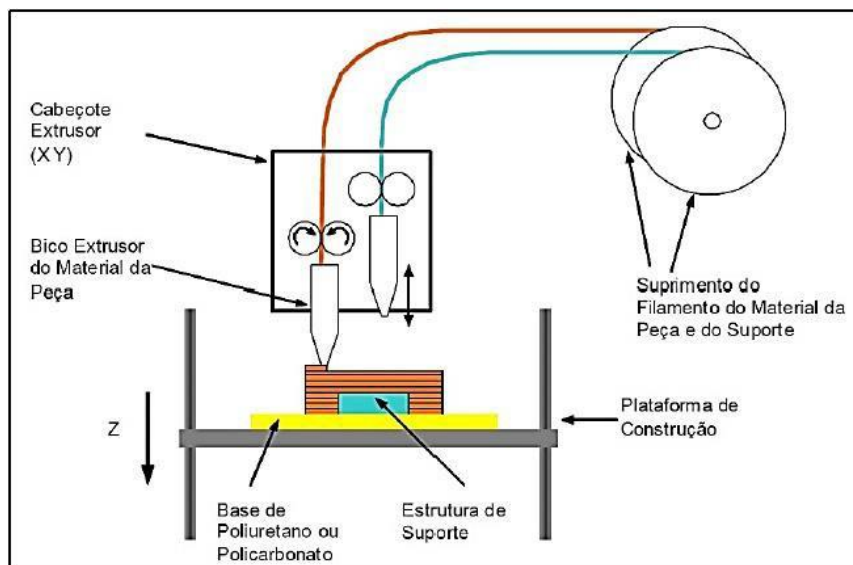
FIGURA 4 – Esquema genético da tecnologia FDM



Fonte: Volpato (2007).

A tecnologia FDM, apresentada na Figura 5, é uma tecnologia da empresa Stratasys (conforme já mencionado), altamente recomendada, pelo seu baixo custo, juntamente com as tecnologias 3DP (Impressão 3D) e LOM (Manufatura de objeto em lâminas) (CUNICO, 2013).

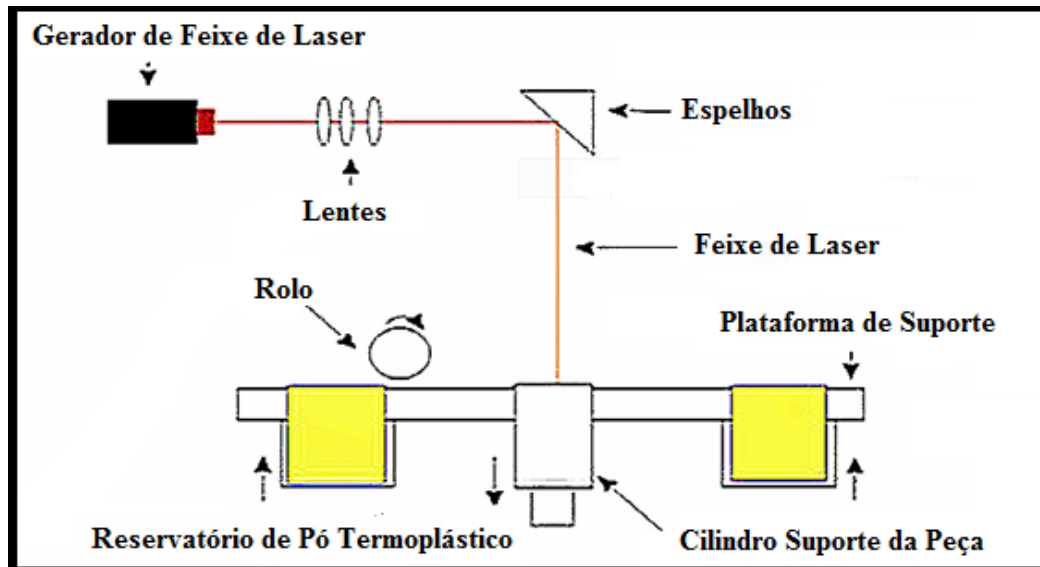
FIGURA 5 – Esquema genérico da tecnologia FDM



Fonte: Volpato (2007).

A tecnologia SLS na perspectiva de Cunico (2013) é a de mais elevado custo de produção, o que minimiza o seu índice de utilização. Porém, assim como na 3DP os materiais utilizados no processo produtivo são reaproveitáveis (pois, o substrato usado é em pó), tornando assim, essa tecnologia mais atraente. A Figura 6 representa o esquema de funcionamento da SLS.

FIGURA 6 – Esquema de funcionamento da SLS



Fonte: RAULINO (2011).

Outra peculiaridade das tecnologias aqui mencionadas são os tipos de materiais produtivos que cada uma utiliza, como descrito na Tabela 1. Os custos de cada tecnologia dependem muito desses materiais. Talvez um dos motivos para que a tecnologia LOM seja mais barata, seja exatamente o custo do material produtivo (RAULINO, 2011).

TABELA 1 – Materiais utilizados pelas tecnologias MA

Tecnologia	Materiais Disponíveis
Estereolitografia (SLA)	Fotopolímero
Modelagem por fusão e deposição (FDM)	Termoplástico e metais eutéticos
Sinterização seletiva a laser (SLS)	Termoplástico e metais pulverizados
Manufatura de objetos em lâminas (LOM)	Papel
Fusão por feixe de elétrons (EBM)	Ligas de titânio

Fonte: RAULINO (2011).

Esta última mencionada na Tabela 1, (EBM) é muito utilizada, em implantes médicos e também na aeronáutica. A tecnologia LOM por ser de material menos resistente, possuindo

qualidade baixa, dessa forma, a sua principal utilidade é a criação de moldes (RAULINO, 2011).

A Figura 7 demonstra uma análise detalhada das características de cada tecnologia aqui mencionada, permitindo, a reflexão de qual seria mais viável, levando em consideração, cada caso em específico.

FIGURA 7- Características das tecnologias de MA

	<i>SLA</i>	<i>FDM</i>	<i>SLS</i>	<i>LOM</i>	<i>3DP</i>
<i>Variedade de materiais</i>	Pequena	Média	Grande	Pequena	Média
<i>Qualidade superficial</i>	Regular	Regular	Boa	Regular	Boa
<i>Pós-acabamento</i>	Regular	Regular	Bom	Baixo	Bom
<i>Precisão</i>	Excelente	Regular	Boa	Baixa	Regular
<i>Resistência ao impacto</i>	Regular	Boa	Boa	Baixa	Baixa
<i>Resistência à flexão</i>	Baixa	Excelente	Excelente	Baixa	Baixa
<i>Custo do protótipo</i>	Alto	Baixo	Alto	Alto	Médio
<i>Pós-cura</i>	Sim	Não	Sim*	Não	Não

*Não necessita de cura quando utiliza termoplástico.

Fonte: RAULINO (2011).

A Figura 8 demonstra uma análise detalhada das características, de cada tecnologia, aqui mencionada em âmbito brasileiro, permitindo a reflexão de qual seria mais viável e atraente, levando em consideração cada caso.

FIGURA 8 – Resumo das características das tecnologias de MA no Brasil

Fatores Determinantes	Processos				
	LOM	FDM	SLA	SLS	3DPrint
Variedade de Materiais	Pequena	Média	Pequena	Grande	Média
Translucidez	Não	Sim	Sim	Não	Não
Qualidade Superficial	Regular	Regular	Regular	Boa	Boa
Pós-Acabamento superficial	Baixa	Regular	Regular	Boa	Boa
Precisão	Baixa	Regular	Excelente	Boa	Boa
Resistência ao Impacto	Baixa	Boa	Regular	Boa	Baixa
Resistência a Flexão	Baixa	Excelente	Baixa	Excelente	Baixa
Custo do Protótipo no Brasil	Alto	Médio	Alto	Médio	Médio
Pós-Processo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pós-Cura	Não	Não	Sim	Não	Não

Fonte: Canciglieri et al. (2015).

No Brasil, as tecnologias de MA já se encontram em uso por várias indústrias. No entanto, ainda existem poucos estudos nacionais, que valorizam o setor de inovações da MA, em âmbito nacional. Dessa forma, os investimentos nacionais neste sentido, ainda são baixos.

O crescimento dos investimentos no setor de manufatura aditiva está correlacionado ao número de pesquisas existentes no país, isto é, quanto mais pesquisas existir em um determinado país sobre os avanços tecnológicos do setor, maiores serão os interessados, em investir em suas aplicabilidades (CUNICO, 2013).

Dentre alguns dos projetos nacionais desenvolvidos no setor, destaca-se a proposta de Cunico (2013), que aponta um projeto com o objetivo de desenvolver uma tecnologia de prototipagem rápida, baseada na construção de camadas, utilizando material compósito, a base de celulose e polímero.

Outro projeto relevante em relação ao ramo da prototipagem rápida é o de desenvolver órteses, que possam ser distribuídas para a população de baixa renda, com a utilização da técnica de engenharia reversa. Nesse projeto, a técnica da engenharia reversa é utilizada para a digitalização do membro que necessita de auxílio, assim, permitindo a confecção da órtese com a tecnologia da Manufatura aditiva. Para a impressão das peças imobilizadoras do projeto, foi utilizada a impressora 3D Prusa I3 que utiliza a técnica de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) (SANTOS, 2016).

Observa-se que a relação entre a engenharia reversa e a prototipagem rápida é constante, uma vez que, a tecnologia da engenharia reversa permite a criação de modelos virtuais a partir de modelos já existentes e a prototipagem torna possível a produção real desses

moldes. Essa coligação de ambas as tecnologias é muito utilizada nas áreas da medicina e odontologia (LIMA, 2003).

1.2.2 Prototipagem na engenharia mecânica

As tecnologias MA proporcionam agilidade nas tomadas de decisões, assim como auxilia na redução do tempo no desenvolvimento de projetos. Isto ocorre, devido à flexibilidade que as impressoras 3D proporcionam por meio da facilidade na obtenção de peças em todas as fases do desenvolvimento de produto (VOLPATO, 2007).

Essas características construtivas da tecnologia MA são altamente apreciadas no setor da engenharia mecânica. Com a utilização de uma impressora tridimensional, é possível recriar peças, máquinas e motores inteiros, sem muita dificuldade.

Sem dúvida que existem diversas aplicações desse tipo de tecnologia na engenharia mecânica, porém, o verdadeiro desafio, que esse tipo de tecnologia propõe é a de minimizar os custos. Pensando nisso, propõe-se então, uma breve análise da parte mecânica de uma impressora tridimensional, na busca pela sugestão de um projeto financeiramente mais atraente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo foi desenvolvido baseado nas tecnologias de manufaturas aditivas existentes no mercado atualmente, auxiliando na visualização para sua aplicação e uso no ensino na engenharia. Primeiramente, foi realizada uma breve análise do histórico e das características de cada tipo de tecnologia que compõem essa evolução, a fim de obter uma análise mais detalhada de sua aplicação na engenharia em questão.

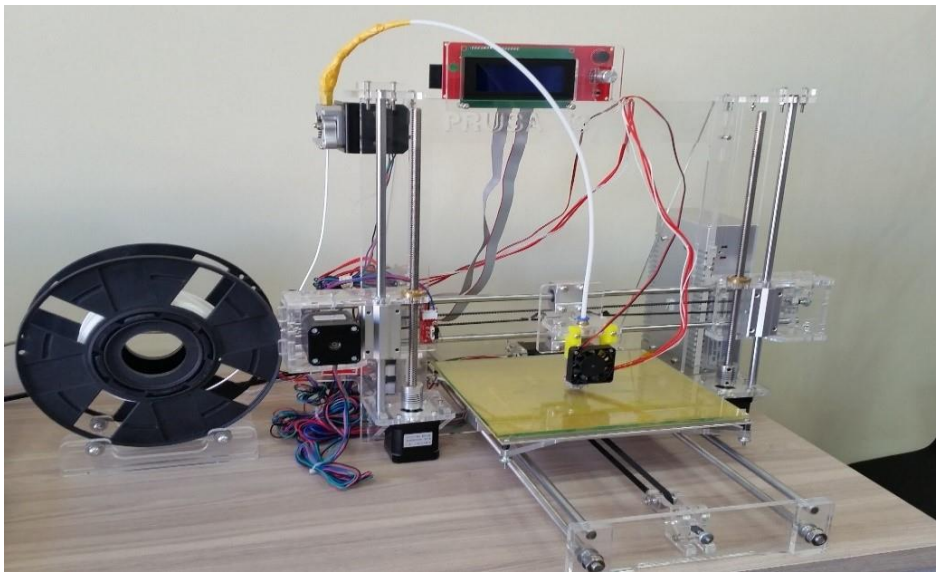
A metodologia usada para a obtenção dos dados foi a pesquisa bibliográfica exploratória em: textos, artigos, e livros; que explicitam com exatidão a temática abordada. As etapas do processo de construção do estudo podem ser nomeadas em três partes:

- ✓ Pesquisa e obtenção do material de estudo;
- ✓ Seleção de conteúdo;
- ✓ Redação e organização do conteúdo selecionado.

Á partir da seleção do conteúdo, a redação do presente texto teve como pauta descrever de forma clara e sucinta colaborando, para o entendimento de todos os leitores, sobre a aplicação da prototipagem.

Para a criação de protótipos em 3D feita pela MA precisa - se de um software CAD para modelar e criar o objeto. Neste processo foi utilizado o software 3D Builder auxiliado por um computador para elaborar os protótipos em 3D, permitindo fazer vários processos como ajustar a melhor posição de impressão. Para a Manufatura Aditiva foi utilizada a impressora 3D Prusa I3 que utiliza a técnica FDM, montada para as impressões dos protótipos, conforme a Figura 9, o material impresso foi o Poli (Ácido-láctico) - PLA, um polímero resistente e bem leve.

FIGURA 9 - Impressora 3D Prusa I3 utilizada na impressão dos Protótipos de MA



Fonte: SANTOS, (2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

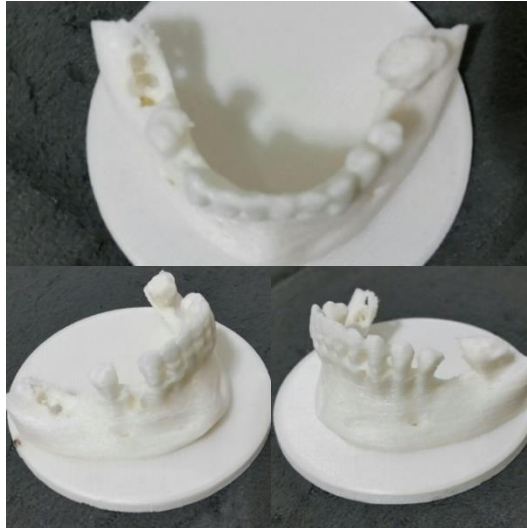
A Figura 7 demonstra detalhadamente, as vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias aqui mencionadas. No entanto, para facilitar a análise prévia que determinará qual será a mais eficiente para cada caso, Raulino (2011), menciona alguns pontos, que devem ser considerados:

- Tempo: Esse fator é diretamente ligado a fatores de volume e custo, pois, existem outras técnicas convencionais de fabricação de protótipos mais rápidas, mas que envolvem mais recursos. O tempo depende também do nível de precisão requerido e do tamanho do objeto, podendo levar de poucas horas a dias.
- Volume: Atualmente, a maioria dos equipamentos de impressão tridimensional não podem fabricar itens com volume superior a 500/mm³.

- Acabamento: Grande parte dos objetos gerados necessitam, de um acabamento secundário, para atingir a qualidade final pretendida.
- Material: A variedade de materiais disponíveis, para a prototipagem rápida (PR) com adição de materiais é ainda muito limitada, como pode ser verificado na Figura 8.

As Figuras 10, 11 e 12 ilustram exemplos de objetos impressos, pela técnica FDM.

FIGURA 10 - Arcada dentária



Fonte: Jéssica Crauss Rilko, 2017.

Arcadas dentárias impressas em 3D, facilitando diagnósticos e estudos, para uma melhor solução na ortodontia, bem como de procedimentos, como implantes, podem ser efetuados diretamente, sobre a arcada impressa, sem a necessidade da presença do paciente, aumentando a eficiência e diminuindo, o tempo de atendimento.

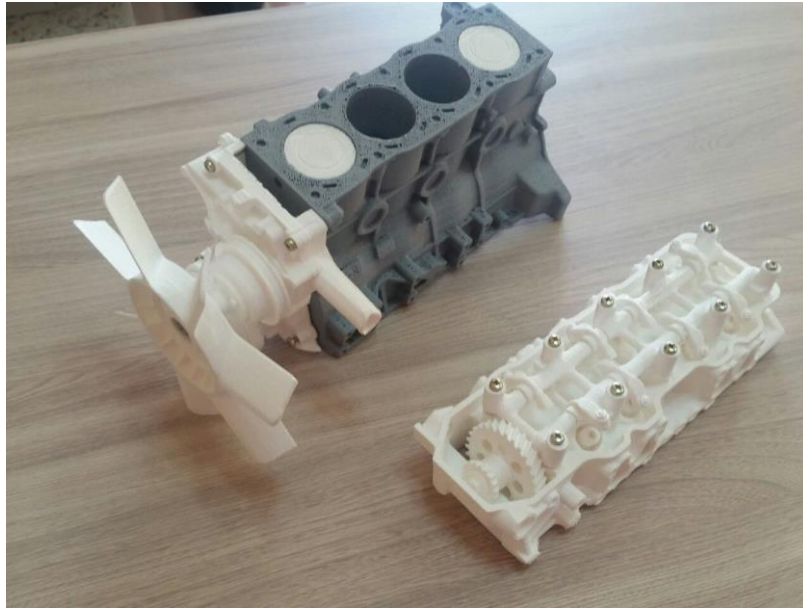
FIGURA 11 - Crânio fraturado



Fonte: Jéssica Crauss Rilko, 2017.

A partir de imagens médicas foi feita uma réplica do crânio fraturado impressa em 3D, em escala real, o médico pode planejar e simular o procedimento cirúrgico, de reconstrução de crânio, no protótipo, antes da intervenção, tendo as mesmas dimensões das estruturas anatômicas originais.

FIGURA 12 - Exemplo de objeto impresso motor



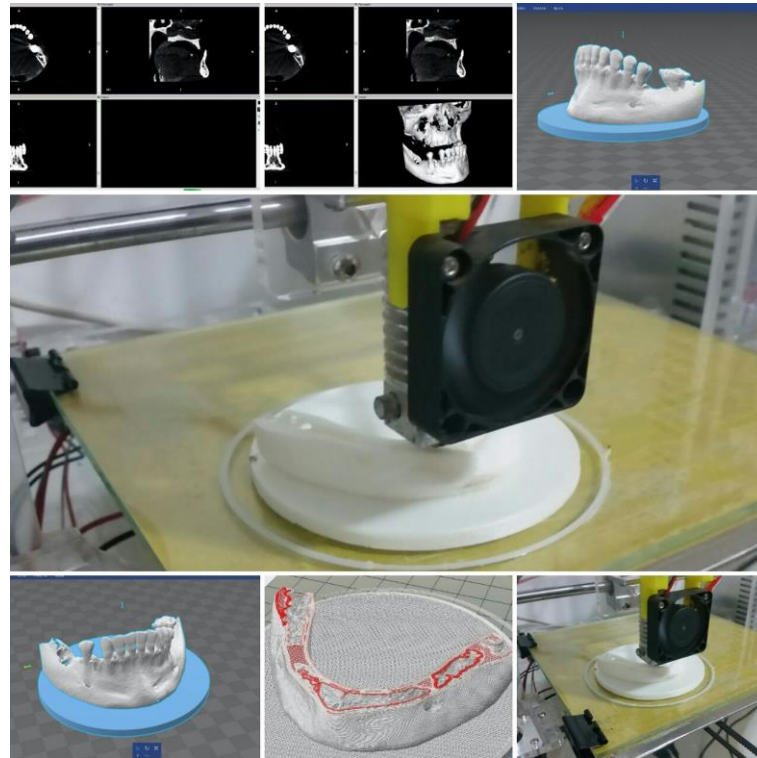
Fonte: SANTOS (2016).

Motor impresso em 3D é usado, como auxílio no ensino para futuros Mecânicos e Engenheiros, tendo como benefício, a melhor visualização no protótipo, desenvolvendo a capacidade de análise.

Lembrando que as inovações tecnológicas das tecnologias de MA ocasionaram um avanço nas pesquisas de outras tecnologias de desenvolvimentos de protótipos. A prototipagem pode ser usada em ambientes de ensino, trazendo um novo conceito de recursos didáticos. Através deste estudo observa-se pelas Figuras 10, 11 e 12 que é possível desenvolver diversos tipos de protótipos, para diversas áreas, como a engenharia, odontologia e médica.

Todos os processos de fabricação dos protótipos foram feitos na impressora 3D Prusa I3 utilizada, na impressão dos Protótipos de MA, conforme Figura 13.

FIGURA 13 - Processo de fabricação do protótipo figura 10



Fonte: Jéssica Crauss Rilko, 2017.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a relação de custo e benefício, entre todas as tecnologias da manufatura aditiva, observa-se que a (FDM) Fused Deposition Modeling é a tecnologia mais econômica e com qualidade mediana, para o uso na engenharia mecânica. Principalmente, em casos de projetos (pequenos) patrocinados, cujos recursos são criteriosamente tabelados.

Outra grande vantagem da MA é a possibilidade de customização de produtos. Devido a sua característica específica de realidade virtual, essa personalização se torna muito mais acessível. Abrangendo assim, novos mercados, para novas empresas, que busquem se identificar, com esse tipo de mercado. No mercado brasileiro, por exemplo, a procura por produtos personalizados teve um grande avanço nos últimos anos.

Ressalta-se, portanto, que existem outras formas mais rápidas de produzir objetos, sem ser via manufatura aditiva. A usinagem, por exemplo, é muito utilizada na engenharia mecânica. No entanto, é mais indicada em produção de larga escala devido ao seu alto custo, sendo a MA mais viável em casos de produções menores.

Lembrando que, as inovações tecnológicas em MA, promovem um avanço nas pesquisas de outras tecnologias de desenvolvimento de produtos, que também se tornaram mais atraentes aos olhos, financeiramente falando. Portanto, cabe a cada equipe de pesquisa, a análise aprofundada das novas opções existentes, nesse mercado, para a sua utilização.

ABSTRACT

Currently, research on additive manufacturing (MA) has included an ever increasing interface between engineering areas. These advances have contributed significantly to several sectors such as automotive and aerospace, as well as dental implant projects. Better known as 3D printing is envisioned for its ability to print complex geometries and for its flexibility. In mechanical engineering, in question, its functionality is ideal for the production of prototypes in projects in the testing phase. The MA does not replace machining, however, it is feasibly cheaper and more complete (in cases of more complex geometries). Identified to the need to deepen the study, the present text, aims to guide the importance of the use of this technology in Mechanical Engineering, ranging from its evolutionary characteristics to its several current functional applications pertinent to the engineering branch in question. It is also intended to analyze the structure of a mechanical design of a low cost 3D printer, in search of the suggestion of a more financially attractive equipment. The results obtained in the research were satisfactory, and proved that the use of the technology in MA is fundamental for the evolution of the mechanical projects, and tends to contribute every day more.

Keywords: 3D printing. Prototypes. Evolution. Mechanic project.

REFERÊNCIAS

CANCIGLIERI, O. J. et al. Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 345-355, 2015.

CUNICO, M. W. M. Desenvolvimento de nova tecnologia da manufatura aditiva baseado em formação seletiva de compósito. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Projeto Mecânico. São Carlos, 2013.

GORNI, A. A. Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos. Editor Técnico, Revista Plástico Industrial. Mar. 2001. pág. 230-239. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>>. Acesso em: 28 Mai. 2017.

LEONEL, R. A impressão 3D na indústria e engenharia: Nova forma de produzir protótipos reduz tempo e custo de manufatura. *CIMM*. 2011.

LIMA, C. B. Engenharia Reversa e Prototipagem Rápida: Estudo de Casos. Dissertação (Mestrado). Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

MARQUES, K. Manufatura aditiva: o futuro do mercado industrial de fabricação e inovação. EESC- Escola de Engenharia de São Carlos, USP-Universidade de São Paulo, 2014.

RAULINO, B. R. Manufatura Aditiva: Desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição). Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105p. 2011

SANTOS, M. A. R. Engenharia reversa: um método orientado a imobilizadores ortopédicos. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Áreas de conhecimento: Materiais e Processos de Fabricação, 2016.

SILVA, F. P. DUARTE, L. C. ROLDO, L. K. J. W. A digitalização tridimensional móvel e sua aplicação no design de produto. *Design & tecnologia [recurso eletrônico]*. Porto Alegre, RS. Vol. 1, n. 1, 2010, p. 60-65.

VOLPATO, N. Ed. Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações. Edgard Blucher, 1 st. Ed. 2007.