

USO DA MANUFATURA ADITIVA NA PROTOTIPAGEM RÁPIDA E VANTAGENS FRENTE À PROCESSOS DE USINAGEM: UM ESTUDO DE CASO

Data de submissão: 08/03/2023

Data de aceite: 03/04/2023

Victor Abreu dos Santos

Instituto Federal do Amazonas

Manaus – AM

<https://orcid.org/0009-0005-2262-5612>

RESUMO: Com a crescente demanda de produtos cada vez mais tecnológicos e de fabricação mais rápida e ágil, diferentes maneiras de atender estes requisitos se fazem necessárias. Uma das formas de agilizar a construção de novos itens é a prototipagem rápida que já é usada em escala considerável para pesquisa e desenvolvimento, entretanto a tecnologia de impressão 3D tem ganhado cada vez mais espaço neste meio e trazendo consigo mais benefícios como agilidade de fabricação de protótipos, redução de custos frente aos processos de usinagem comumente utilizados, facilidade de modificações além de possibilitar a criação de peças mais complexas. Demonstrou-se através de uma revisão bibliográfica de artigos, teses, dissertações e livros os conceitos e tecnologias empregadas, bem como uma análise de caso real para construto de ferramental robótico produzido por deposição de material fundido (FDM) em

comparação a usinagem em ferramentaria na qual foi possível observar uma redução de 95,44% no custo e 85,71% no tempo de entrega.

PALAVRAS-CHAVE: Prototipagem, manufatura aditiva, impressão 3D.

USE OF ADDITIVE MANUFACTURING IN RAPID PROTOTYPING AND ADVANTAGES OVER MACHINING PROCESSES: A CASE STUDY

ABSTRACT: With a growing demand for technological products and agile manufacturing, different alternatives to active these requirements are needed. One way to speed up new items construction is rapid prototyping, which is already used in large scale for research and development, while 3D printing technology gains more and more space in this field and brings with it benefits such as agility in prototypes manufacturing, commonly used machining processes cost reduction, easely modifications in addition to allow more complex parts creation. It was shown the concepts and technologies employed through a bibliographic articles reviews, theses, dissertations and books, as well as a robotic tool construction by

Fused Deposition Modeling (FDM) real case analysis comparing to machining e tooling. It was possible to observe a 95,44% of costs reduction and 85,71% in delivery time.

KEYWORDS: Prototyping, additive manufacturing, 3D printing.

1 | INTRODUÇÃO

Em meio aos avanços tecnológicos gerados pela agilidade exigida para que novas tecnologias e produtos sejam lançados em busca de abastecer o mercado consumidor, ponto este que é um grande requisito para manter a competitividade entre as grandes empresas, mas não apenas isso como também ter a possibilidade de se destacar entre as concorrentes sendo precursores em novos lançamentos.

Um dos pontos para virada de chave para o avanço da tecnologia foi a inserção das ferramentas de CAD 2D nos processos de criação e desenvolvimento em sequência da adição da modelagem tridimensional e de acordo com Dornelas (2017) atualmente encontram-se empresas diversas oferecendo essa ferramenta, inclusive por meio da internet encontramos algumas dessas ferramentas gratuitamente (*Freewares*). Isso permite não apenas o projeto na ferramenta, como também simulações. Tais ferramentas foram aliadas ao conceito de prototipagem rápida (PR) trazendo como benefício o ganho de tempo e maior praticidade no processo de desenvolvimento, além destas a manufatura aditiva foi introduzida em métodos de PR possibilitando maior celeridade na apresentação para novos produtos.

Embora algumas empresas utilizem impressão 3D, essa tecnologia ainda não é difusa em todos os ramos e níveis de negócios, o que pode trazer certo atraso em relação a alguns concorrentes, tendo em vista que o protótipo pode ser feito de forma mais rápida se as partes podem ser projetadas e testadas mais rapidamente, não somente trazendo mais rapidez, mas também redução de custos diretos e indiretos. No que diz respeito ao processo de produção, permite a produção em pequenas escalas, em menor tempo e utilizando menos material e mão-de-obra do que a produção em massa tradicional (MIETTI E VENDRAMETO, 2000). Tendo em vista que muitas fábricas ainda utilizam o processo de manufatura subtrativa para realizar a fabricação de peças, podendo ser produzidas internamente para aquele que possuem maquinário e profissionais de usinagem ou através da contratação de ferramentarias terceirizadas para confecção.

Por meio da impressão 3D, inúmeros objetos podem ser fabricados, sendo que a complexidade dos modelos varia de acordo com o sistema e os equipamentos utilizados. As possibilidades incluem desde objetos simples e menos detalhados, como pequenos moldes, até estruturas complexas, como peças para casas, carros, ou, ainda, partes do corpo humano (órgãos, próteses, etc.) (MORANDINI; VECHIO, 2020).

Diversas impressoras estão acessíveis não apenas para fabricas e industrias, mas também para interessados sem vínculo com tais instituições. Com a crescente popularização

e facilidade de manuseio a cultura maker através do princípio “*Do your self*” ou “faça você mesmo” diversos profissionais vêm buscando o ramo da manufatura aditiva como meio possível de utilização e estudo. Em diversos países do mundo difundem-se espaços colaborativos de fabricação digital, como os *Makerspaces* e os *Fablabs*, contribuindo para a disseminação do uso das impressões 3D e de outras ferramentas de fabricação para desenvolvimento de projetos segundo Onisaki e Vieira (2019).

Pretende-se com este artigo mostrar o processo de prototipagem rápida através de manufatura aditiva, suas diferentes tecnologias, vantagens de sua adesão aos métodos de pesquisa e desenvolvimento em ambiente industrial através de estudo de caso utilizando a comparação de uma peça modelada para ferramental de um robô colaborativo fazendo comparação dos custos e prazos levantados entre os processos de impressão e usinagem.

2 I BREVE HISTÓRICO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA (PR)

O sistema de prototipagem rápida (PR) é um método que reúne um conjunto de técnicas usadas para fabricar ou projetar de maneira rápida um modelo em escada de um conjunto ou parte de uma montagem e o protótipo é uma maneira de simular alguns aspectos de um produto existente ou ideia. Este processo foi desenvolvido por volta de 1987, através do processo de estereolitografia (SL) pela empresa americana 3D *Systems*, processo esse que solidifica as camadas de um líquido fotossensível denominado de resina, que sofre solidificação através de laser.

Chamado de SLA-1 o primeiro sistema de impressão montado e comercializado nos Estados Unidos deu origem a um novo seguimento na indústria com empresas como Sony e NTT Data passaram a construir e comercializar produtos similares nos anos seguintes e posteriormente na década de 90 sendo vendido uma versão da empresa EOS (*Eletro Optical Systems*) na Alemanha.

A PR é utilizada em diversos ramos que vão desde o educacional ao ambiente fabril e essa difusão da tecnologia trouxe mais celeridade frente aos métodos convencionais de projetar produtos.

A popularidade da prototipagem rápida relativamente aos métodos tradicionais de construção manual de modelos baseia-se na capacidade de produzir acuradamente peças complexas num curto espaço de tempo. Esse é o aspecto que a diferencia, a rapidez de resultados já com um nível de acabamento que permite a realização de testes específicos, por um baixo custo (PALHAIS, 2015).

Muitas empresas tem investido nesta ferramenta em busca de obter ganhos em tempo e custos diretos e vem ganhando espaço cada vez mais na atualidade. “Atualmente, os protótipos tem uma gama vasta de aplicações, passando pela indústria automotiva, eletroeletrônica, eletrodomésticos, calçados, entre outras”, explica Fernando Schmiegelow, diretor de marketing da Sisgraph, empresa pioneira no ramo de impressoras 3D, manufatura

aditiva, desenvolvimento e treinamentos presente no Brasil desde 1980.

Outro fator de extrema importância quando se trata de prototipagem rápida são os Softwares adotados utilizando tecnologia de CAD/CAM. O termo CAD/CAM é um acrônimo das palavras *Computer Aided Design* e *Computer Aided Manufacturing* que significam Desenho guiado por computador e Fabricação guiada por computador (MOURA e SANTOS, 2015).

Com todo o avanço das técnicas de CAD, tornaram-se frequentes os pacotes de softwares voltados para mecânica computacional, possibilitando ao usuário realizar não apenas o desenho (representação gráfica do projeto), mas também simulações a partir de modelos gerados. Quando não, softwares específicos que utilizem o método numérico de elementos finitos e/ou o método numérico de volumes finitos têm como input modelos construídos com auxílio de softwares de CAD (AMARAL; PINA FILHO, 2010).

Após o surgimento logo foi adicionada no meio industrial como maneira de tornar o desenvolvimento mais rápido e prático com uso de ferramentas como *SolidWorks*, *SolidEdge* ou *Autodesk Inventor*. Na engenharia mecânica podem ser considerados como os principais aliados à prototipagem, pois através de simulações e testes realizados em ambiente digital, utilizando variáveis mais próximas ao uso real, trazem maior segurança e confiabilidade uma vez que é possível verificar os principais pontos de esforços mecânicos e os riscos de fratura que estes trarão ao projeto ou peça e com isso modificar o item para se manter dentro dos parâmetros aceitáveis caso necessário.

3 I PROCESSOS DE MANUFATURA SUBTRATIVA

O processo de manufatura subtrativa ou usinagem é descrito como a fabricação a partir de um bloco de matéria prima utilizando processos como torneamento, a retificação, fresamento, a eletroerosão por penetração, a eletroerosão a fio e entre outros para remover partes de material do bloco dando a forma desejada até que seja finalizado e se tenha a peça conforme o projeto.

A usinagem convencional é realizada através de processos manuais através das máquinas ou utilizando auxílio de controle numérico por computador ou CNC o qual se faz necessário passar informações a máquina via código para que ela execute os comandos. Como exemplo de equipamento largamente utilizado na usinagem tem-se equipamentos como o torno para usinagem cilíndrica externa ou interna possibilitando assim a retirada de material durante o movimento da peça e de acordo com Matumoto (2016) usinagem acontece pelos movimentos de rotação da peça e translação das ferramentas e nas palavras de existem dois tipos de tornos, os convencionais e os equipados com Comando Numérico.

Procedimentos como a confecção de roscas internas e externas, roletes eletrodos e diversos outros itens podem ser feitos com uso deste equipamento que comumente

é sucedido por outros processos como furação, recartilha e entre outros. Além destes equipamentos fresadora router CNC também são comuns no decorrer da usinagem e funcionam baseando-se em eixos X e Y como primários, contendo de um até mais cinco eixos para operação. Dentre os exemplares mais utilizados desta ferramenta estão o de mesa móvel ou com sistema semelhante a um pórtico móvel tendo sua operação baseado em um sistema intermediário para operação ou controle manual.

A Router CNC é um equipamento com automação programável. Desse modo, a Router CNC é comandada por intermédio de um sistema numérico computadorizado, o qual aciona um conjunto mecânico no intuito de viabilizar que uma ferramenta de corte se movimente e possibilite flexibilidade e precisão na usinagem de um material. (FRITZEN, 2020, p.2).

No que se refere a fabricação de peça com manufatura subtrativa tem-se duas opções quanto a origem desta atividade sendo feito internamente em de setor de usinagem ou solicitando de fornecedor externo. A fabricação feita internamente representa a necessidade de recursos disponíveis como: maquinário necessário, profissional capacitado para exercer a atividade de operador de máquina de usinagem ou função análoga que possua capacitação mínima requerida, matéria prima, ferramental necessário, materiais de suporte necessário além do tempo despendido pelo profissional para confeccionar o item requerido. Todos estes itens ser considerados em termos de cálculo de custo e viabilidade para produção de uma unidade produto para teste de conceito ou testes empíricos.

Outra alternativa para a confecção é a solicitação através de uma das diversas empresas terceirizadas que podem fornecer tal serviço e todos os meios necessários para conclusão da solicitação de fabricação. Esta alternativa não possui requisito de mão de obra direta envolvida, bem como a dispensa do cliente em obter infra estruturam para um centro de usinagem, cadeia de compras, gestão de estoque e entre outros fatores que somam ao custo da operação. Entretanto está mais propícia a variações de custo e maiores prazos de entrega de acordo com a disponibilidade da empresa contratada.

4 | TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D

Como visto anteriormente, na história do processo para criação de protótipos a primeira tecnologia associada a manufatura aditiva foi a aestereolitografia denominado de SLA-1 que tem como princípio o uso de resina que solidifica exposta a luz UV gerada pela impressora e a partir deste método outras tecnologias foram criadas e difundidas trazendo uma alternativa para fabricação de peças frente aos processos de usinagem.

A tecnologia chamada hoje de impressão 3D é a técnica de construir sólidos tridimensionais, camada por camada, umas sobre as outras, até formar o objeto. Essa técnica também é chamada de manufatura aditiva, pois a matéria-prima vai sendo adicionada gradualmente até concluir a construção de um objeto. Este método se difere dos processos de usinagem, onde máquinas controladas computacionalmente vão esculpindo e cortando blocos de

matéria-prima como plásticos, madeiras e metais, até que se forme o objeto. Por essa diferença, a manufatura aditiva propicia economia de material em relação à usinagem. (AGUIAR, 2016, pg.37).

Com a difusão deste recurso não apenas o ambiente fabril e tecnológico se beneficiou destes benefícios, vários ramos de atividades e segundo Cossetti (2018) setores como aeroespacial, educacional e equipamentos médicos e ortodônticos e se tornaram uma realidade para a PR. Apesar de nomeada como rápida, a prototipagem, dependendo do tamanho e complexidade do objeto desenvolvido pelo CAD, pode demorar entre 3 e 72 horas, no entanto, ainda assim é mais acelerada que processos comuns, que podem demorar dias ou meses para a conclusão do projeto de um protótipo Gorni (2013).

4.1 Fusão por Deposição De Material (FDM)

Este processo é baseado na deposição do filamento extrudado em camadas através de um cabeça de impressão que pode se mover em Sentidos xy ou xz variando de acordo com o modelo de impressora, sendo esta deposição sob uma mesa aquecida a temperatura inferior à do material, facilitando o endurecimento e por consequência a aderência, seguindo trajeto determinado no software de fatiamento para construção do impresso. Diversos plásticos intitulados de filamentos podem ser utilizados para este método.

As resinas termoplásticas adequadas a esse processo incluem poliéster, polipropileno, ABS, Policarbonatos, elastômeros e cera usada no processo de fundição por cera perdida. Este processo necessita de um cuidado maior durante o tempo de preparo para o processamento por parte do projetista e/ou operador do equipamento (ALMEIDA, 2007)

De acordo com a necessidade das características desejadas para a peça requerida é feita a seleção do filamento adequado para impressão, além de outras variáveis como velocidade do percurso, temperatura da mesa e cabeça de impressão e entre outros.

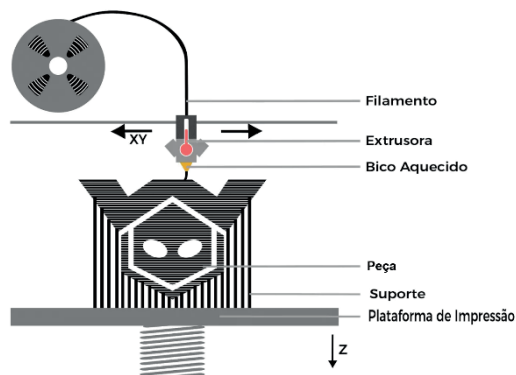


Figura 1: Princípio do processo FDM

Fonte: Adaptado de Wishbox Technologies (2020).

4.2 Estereolitografia (SLA)

Foi o primeiro sistema de processo aditivo usado para PR, em 1987 nos EUA, usando uma resina líquida epóxi, como a resina é líquida e relativamente não viscosa, a impressão ocorre dentro de um tanque com a resina cuja configuração de impressão é definido pelo CAD gerado e processado pelo programa. A forma do material se dá com o contato com o laser de acordo com os comandos enviados ao sistema de varredura. A impressão em SLA permite um alto nível de resolução que pode produzir peças com detalhamento muito superior ao FDM (Finnes, 2015), e por isso é comumente utilizado no âmbito biomédico e até mesmo ortodôntico, uma vez profissionais da odontologia com acesso a ferramenta utilizam um modelo gerado a partir de uma tomografia para mapear e imprimir moldes de seus pacientes.

Entretanto esta ferramenta apresenta a necessidade de um pós processamento em ambiente controlado afim de realizar a cura final para o modelo.

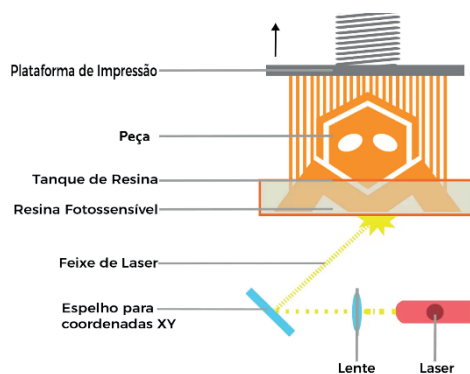


Figura 2: Princípio do processo SLA

Fonte: Adaptado de Wishbox Technologies (2020).

Após a retirada da máquina, o modelo passa por um processo de pós-cura para conferir a máxima resistência. Os modelos podem ser lixados e/ou polidos, e até pintados, conforme desejado, para melhorar sua aparência e função.

O modelo é então removido da plataforma, retira-se o excesso de resina através de uma lavagem e coloca-o em um compartimento onde ficará exposta a raios UV para a cura final. Este processo de cura pós-impressão permite que os objetos atinjam melhores propriedades mecânicas e tornem mais estáveis (DADDA, 2021).

4.3 Sinterização Seletiva por Laser (SLS)

O processo de sinterização é um dos mais utilizados seguindo os processos FDM que vem ganhando bastante adesão e SLA. Em uma câmara de construção pré-aquecida,

role uma camada de pó correspondente à espessura da camada de construção. Um feixe de laser constrói o modelo fundindo as interfaces do pó, resultando em uma estrutura sólida parcialmente porosa. O conjunto formado de pó é retirado da máquina e submetido a operações de jateamento e/ou imersão para aumentar a resistência mecânica do modelo e melhorar a qualidade da superfície. O processo pode trabalhar com vários tipos de materiais, modelos *True Form* e *Cast Form* (para fundição de modelos perdido) ou ainda pó cerâmico revestido com resina termoendurecível (produção de invólucros cerâmicos).

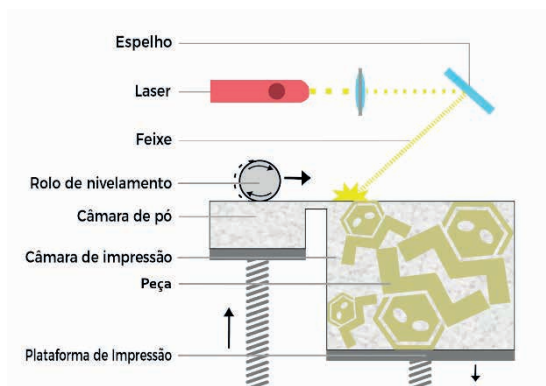


Figura 3: Princípio do processo de SLS

Fonte: Adaptado de Wishbox Technologies (2020).

4.4 Fabricação de Objetos por Camadas (LOM)

A Tecnologia LOM dentre as demais talvez seja a menos utilizada atualmente, porém teve sua importância nos processos de Prototipagem. Segundo Almeida (2007) nesta técnica, camadas de material, na forma de tiras revestidas de adesivo são “coladas” umas às outras formando o protótipo. Bobinas de papel laminado avançam sobre a plataforma de impressão e o papel é colado em camadas sucessivas e cortadas com um laser de alta precisão para fixação das camadas um rolo aquecido aplica pressão sobre a camada superior para fixá-lo à base e as camadas posteriores.

O LOM apresenta baixo custo, não forma resíduos gasosos tóxicos e é facilmente automatizado, apresentando uma variedade de materiais que podem ser empregados incluindo papel, metais, plásticos, tecidos e compostos, Cheiram (2020).

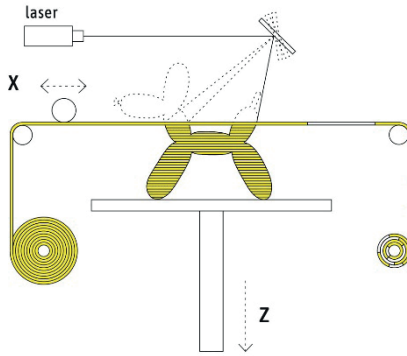


Figura 4: Princípio do processo LOM

Fonte: Melt Collective (2023).

4.5 Comparativo entre as tecnologias de manufatura aditiva

Todas as tecnologias de fabricação aditiva possuem suas vantagens e desvantagens o que pode servir como auxílio na hora de escolher a impressora que melhor se adapta a necessidade da empresa. A tabela a seguir lista as desvantagens e vantagens de cada processo aditivo:

Processo	Vantagens	Desvantagens
SLA	Nível de detalhamento e precisão mais elevados; Permite construir peças praticamente ocas; Impressões com formatos mais complexos; Menos desperdício de material.	Matéria prima com custo mais elevado; Menor resistência mecânica das peças; Elevado tempo de impressão; Necessidade de pós cura; Maior propensão a empenamentos.
FDM	Permite uso simultâneo de mais de dois materiais; Investimento inicial menor; Permite melhores propriedades mecânicas; Matéria prima mais acessível; Maior Facilidade de uso.	Tempo de impressão maior que SLS e LOM; Nível de precisão menor que SLA; Eventual necessidade de acabamento manual.
SLS	Peças confeccionadas em menor tempo comparado a SLA e FDM; Resistência térmicas e mecânicas elevadas; Não há necessidade de realizar pós cura; Não precisa de suportes (usando termoplásticos).	Modelos com porosidades e superfícies rugosas; Precisão dimensional menor que SLA e LOM; Matéria prima com custo elevado.
LOM	Maior precisão dimensional; Maior precisão geométrica, superior ao SLS, especialmente em x e y; Capaz de produzir em uma única impressão modelos de maiores volumes; Execução rápida e de baixo custo.	A presença de humidade aumenta instabilidade do papel, podendo trazer prejuízos ao modelo; Precisão dimensional inferior no eixo Z; Peças com espessuras inferiores a 2mm em peças de maior dimensão são difíceis de obter; Grande necessidade de mão de obra.

Quadro 1 – Comparativo das tecnologias mais utilizadas

Fonte: Adaptado de (ALMEIDA, 2007)

5 | ESTUDO DE CASO

Durante a fase de prova de conceito na construção de garra para transporte de aparelhos celulares é necessário realizar testes de diferentes métodos para definição do melhor caminho a ser seguido e com isso diferentes garras são construídas e testadas para satisfazer a necessidade levantada. A Comparação foi feita através de comparação e análise de fatores como: tempo de conclusão da peça, custos envolvidos, mão de obra empresada, gastos secundários empregados e outros fatores. O ambiente proposto para o teste não apresenta local próprio para usinagem o que implica a contratação de serviço externo com fornecedores cadastrados e internamente utilizando impressora 3D Ender 3 da empresa Creality® que utiliza metodologia de impressão FDM de 270W de potência e de matéria prima para construção da peça um filamento de Acrilonitrila butadieno estireno ou simplesmente ABS, na cor Azul. O Software de fatiamento utilizado é o UltimakerCura do ferramental afim de realizar uma análise comparativa foi utilizado um modelo criado de garra do robô colaborativo TM5-900 da empresa ©OMRON que será usado para a análise de métodos e diferentes conceitos e designs de ferramenta foram desenvolvidos e aprovados para etapa de prova e um destes é um dispositivo que fará uso de ventosas para pega através da tela do aparelho. O Modelo não precisar de resistência mecânica ou térmica elevado tendo em vista que se trata de um estudo de conceito e apenas testes iniciais serão realizados afim de definir aplicabilidade.



Figura 5: Ferramenta escolhida para o teste

Fonte: O Autor

Alguns Fatores levantados como necessários para avaliação de custos da peça construída com Ender 3 como: Consumo elétrico, valor homem-hora trabalhada (HxH), matéria prima, tempo de entrega e entre outras informações contidas na planilha de orçamento padrão utilizada.

O tempo gasto de para fabricação do modelo utilizando o método FDM é de 9 horas

e 05 minutos, contendo suportes que necessitam ser removidos após a impressão e usando um total de 40 gramas de material sendo que apenas 28 gramas são destinados à peça e a diferença é usada para impressão do suporte em estilo árvore com preenchimento de 75%, afim de reduzir o custo e tempo de finalização. Após o fatiamento e impressão fez-se necessário remover os suportes com uso de alicate de corte em aproximadamente 10 minutos e sem mais necessidades de pós cura ou mão de obra adicional.

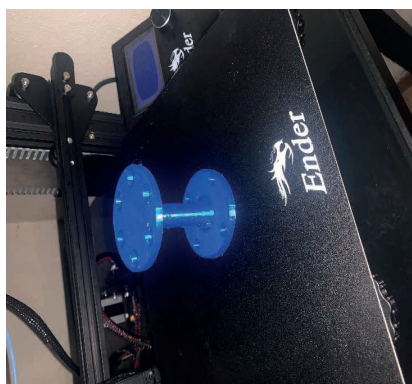


Figura 6: Modelo impresso

Fonte: O Autor

Com relação aos custos envolvidos podemos relacionar o custo com equipamento que inclui não apenas o consumo como também: depreciação, manutenção, demais custos anuais além de matéria prima empregada.

Em contra partida para fabricação externa o fornecedor fará a usinagem e montagem através de aparafusamento utilizando uma placa de Poliacetal (POM) que possui excelentes propriedades dimensional, mecânica e entre outras. Após a comparação para confecção e entrega da peça obtém-se os dados relacionados:

Fatores Comparativos	Peça Usinada	Peça Impressa
Custo mão de obra	-	R\$ 9,50
Custo do equipamento	-	R\$ 4,34
Matéria prima	-	R\$ 3,79
Custo fixo/(HxH)	-	R\$ 9,75
Tempo de entrega em dias	7	1
Custo Total estimado	R\$ 600,00	R\$ 27,39

Tabela 1: Comparação de tempo e custo da peça usinada x impressa

Fonte: O Autor

Com esta breve análise pode-se observar que a alternativa adotada de realizar a montagem através de metodologia aditiva possibilitou a redução em termos de custo a um percentual de 95,44% e reduziu o tempo de entrega em 85,71%.

Considerando os fatores levantado foi possível observar que a impressão da peça foi a conclusão mais viável financeiramente e no que compete ao prazo de entrega. Considerando que os processos de criação e modelagem em ambiente fabril passam por constantes alterações gerando uma necessidade de alteração ou melhoria do protótipo inicial, podemos implicar que em ambientes ou casos que exijam modelos mais complexos e com maior decorrência que eventual a manufatura aditiva é uma opção viável e eficaz na metodologia de desenvolvimento.

6 | CONCLUSÃO

Considerando que o as empresas que usam a PR em sua metodologia de pesquisa e desenvolvimento estão constantemente utilizando e fabricando modelos 3D que não se limitam apenas a uma unidade da peça finalizada, mas a facilidade em realizar alterações de design ou até mesmo de propriedades mecânicas através da alteração das opções de impressão no software de fatiamento. Após verificar os recursos investidos e o tempo de finalização é possível detectar vantagem nestes âmbitos quando se trata de impressão 3D de maneira a reduzir o custo em 95,44% e o prazo em 85,71%.

Além de possíveis atendimentos de prazos de entrega curtos é possível observar que a manufatura aditiva é uma alternativa viável nos processos de prototipagem e pode trazer mais benefícios se inseridos no meio industrial e de pesquisa.

Embora haja um tímido crescimento no uso da tecnologia ainda há muito espaço para o crescimento deste método de fabricação no ambiente industrial trazendo ganhos significativos a curto e médio prazo para a construção de novas tecnologias e desenvolvimento de automações.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Leonardo De Conti Dias. **Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3d na construção de instrumentos didáticos para o ensino de ciências**. 2016. 226f. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciência). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, São Paulo, 2016.

ALMEIDA, W. J. **Otimização estrutural de protótipos fabricados pela tecnologia FDM utilizando o método dos elementos finitos**. 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CHEIRAM, Marlon Leandro Henrique. **Análise da prototipagem rápida por processos de manufatura aditiva e subtrativa utilizando abordagem de decisão multicritério**. 2020. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

COSSETTI, Melissa Cruz. **Como funciona uma impressora 3D**. 2018. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/como-funciona-impressora-3d/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

DADDA, Henrique Gomes. **Projeto voltado à manufatura aditiva utilizando impressão 3D SLA e otimização topológica**. 2021. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

DO AMARAL, Renato Dias Calado; DE PINA FILHO, Armando Carlos. **A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia**. 2015.

FERP, UGB; DORNELAS, Geovani. **O uso da tecnologia CAD para o ensino de desenho técnico no curso de engenharia mecânica**. Simpósio, [S.I.], n. 3, out. 2017. ISSN 2317-5974. Disponível em: <http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/simposio/article/view/379>>. Acesso em: 07 fevereiro de 2023.

FINNES, T. **High-definition 3D printing—comparing SLA and FDM printing technologies**. The Journal of Undergraduate Research 13.1, 2015: 3. Disponível em: <http://openprairie.sdstate.edu/jur/vol13/iss1/3>. Acesso em: 07 fevereiro de 2023.

FRITZEN, Lucas Gustavo. **Projeto estrutural de uma router cnc de baixo custo**. 2020. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Unicesumar, Maringá, 2020.

GORNI, Antonio Augusto. **Prototipagem rápida, a revolução 3D**. 2013. Disponível em: http://www.gorni.eng.br/Gorni_PI_Nov2013.pdf. Acesso em: 20 dez. 2022.

MATUMOTO, Bruno Haruo. **Análise da eficiência energética em processos de usinagem: comparação de tempo e potência entre torno convencional e cnc**. 2016. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MELT COLLECTIVE (org.). **Laminated Object Manufacturing**. Disponível em: <https://meltcollective.com/tool/laminated-object-manufacturing/>. Acesso em: 25 jan. 2023.

MORANDINI, Moisés Miranda; VECHIO, Gustavo Henrique del. **Impressão 3d, tipos e possibilidades**. Revista Interface Tecnológica, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 67-77, 18 dez. 2020. Interface Tecnológica. <http://dx.doi.org/10.31510/infa.v17i2.866>.

MOURA, R. B. B.; SANTOS, T. C. **Sistemas cerâmicos metal free: tecnologia CAD/CAM**. Revista Interdisciplinar, v. 8, n. 1, p. 220-226, janeiro-fevereiro-março, 2015.

ONISAKI, Hadassa Harumi Castelo; VIEIRA, Rui Manoel de Bastos. **Impressão 3D e o desenvolvimento de produtos educacionais**. Revista de Estudos e Pesquisas Sobre Ensino Tecnológico (Educitec), [S.L.], v. 5, n. 10, p. 128-137, 1 mar. 2019. Instituto Federal do Amazonas. <http://dx.doi.org/10.31417/educitec.v5i10.638>.

PALHAIS, Catarina Bela Cardoso. **PROTOTIPAGEM: uma abordagem ao processo de desenvolvimento de um produto**. 2015. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design de Equipamento, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

PESSOA, J.; MIETTI, M. A.; VENDRAMETO, O. **Uso da prototipagem rápida como fator de competitividade**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2000, Recife. Anais... Recife, 2000.

VOLPATO, N. et al. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: E. Blucher, 2017.

WISHBOX TECHNOLOGIES. **14 tipos de impressora 3D: veja como funciona cada uma**. 2020. Disponível em: <https://www.wishbox.net.br/blog/tipos-de-impressora-3d/>. Acesso em: 15 jan. 2023.