

# PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PRÓTESES MECÂNICAS ATRAVÉS DE MANUFATURA ADITIVA

MANUFACTURING PROCESS OF MECHANICAL PROSTHESIS BY ADDITIVE MANUFACTURE

Ronye Guimarães ROSA<sup>1,3</sup>; Ms. Cintia Abdelnur Lopes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente de Engenharia Mecânica - Centro Universitário Hermínio Ometto – UNIARARAS

<sup>2</sup> Orientadora, Mestre em Engenharia Mecânica - Centro Universitário Hermínio Ometto  
UNIARARAS

<sup>3</sup> Rua Antonio Giassi, 81 - Bonsucesso – Leme/SP CEP:13617-617

ronye.guima@gmail.com

## RESUMO

Este artigo tem por objetivo expor detalhadamente como é o processo de fabricação de uma prótese mecânica funcional através de manufatura aditiva, conhecida como impressão 3D, para indivíduos que nasceram com má formação congênita, que perderam parte ou um membro completo do corpo, evidenciando essa alternativa como viável para a produção de dispositivos, visando alcançar as diretrizes de baixo custo, capacidade de customização alta, fácil manutenção e baixo tempo de produção, mas mantendo características importantes como resistência mecânica, baixo peso e durabilidade. Verificou-se durante a elaboração deste artigo que essa tecnologia ainda é pouco disseminada e possui obstáculos a serem superados, no entanto, é possível notar que, na última década, a prótese tem se tornado mais popular e tem seu acesso facilitado para pessoas de poder aquisitivo menor devido, principalmente, as ONGs e as plataformas de código aberto que viabilizam a produção de equipamentos e peças por indivíduos com pouco conhecimento técnico na área. Desse modo, esse processo produtivo se mostrou viável para concepção de próteses possuindo vantagens no quesito financeiro, mas também gerando inclusão social e autossuficiência para essas pessoas.

**Palavras-chave:** Assentamento; Destacamento; Revestimento cerâmico.

## ABSTRACT

This article aims to bring details about the manufacturing process of a mechanical prosthesis using additive manufacturing, known as 3D printing, applied for individuals who were born with congenital malformation or for those who have lost one or several body parts. As will be shown, this technic is a viable alternative to produce low cost devices, with customization and an ease to manufacture solution, saving time while maintain its strength, lightweight and endurance features. It was observed during the elaboration of this article that this is a relatively new technology and it has a few roadblocks. Even though, in the past ten years, its popularity has increased and became easier to access for low income people, specially through NGO's and open source platforms that enable the production of equipment and parts by subject with little technical knowledge in the area, so this productive process proved feasible for the design of prostheses that have unknown financial questioning but also generating social inclusion and self-sufficiency for these people.

**Keywords:** Prosthesis; Manufacturing; Additive Manufacturing

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o número de pessoas que nascem com algum problema congênito ou sofrem amputação em algum nível é bem expressivo e esse número vem crescendo, substancialmente, nas últimas duas décadas (ROEDER et al., 2017, p.2 apud ZUNIGA et al., 2015, p.1-9). No Brasil de acordo com dados do ministério da saúde no ano de 2011 foram realizados procedimentos de amputação em cerca de 50.000 indivíduos, desse total sendo 6% de membros superiores (LOPES e ALMEIDA, 2013, p.1 apud Saúde, M. da, 2013). Devido ao elevado valor para a aquisição de uma prótese funcional, muitas vezes os pacientes não conseguem adquirir e, quando conseguem, não ficam satisfeitos com o dispositivo. Por isso, deve-se levar em conta que, além do fator financeiro, existem os fatores psicológico, ergonômico e estético do dispositivo protético (ROEDER et al., 2017, p.2).

Paralelo a esse problema, existe uma alternativa que vem se mostrando muito acessível no que diz respeito à fabricação de próteses mecânicas funcionais, o processo de manufatura aditiva, popularmente conhecido como impressão 3D.

Manufatura aditiva é um processo de fabricação surgido nos anos de 1980, utilizado em primeiro lugar para confeccionar protótipos, a chamada prototipagem rápida na indústria. Posteriormente, outras formas do processo surgiram e, recentemente, tem se popularizado abrangendo ramos que antes não atuava, como Medicina, Engenharia e Artes Plásticas (MAIA, 2016, p.43 apud CAMPBELL; BOURELL. GIBSON, 2012, p.255-258; LIENEKE et al., 2016, p.43). Uma definição clara do processo é:

A impressão 3D é uma tecnologia inovadora que permite a confecção rápida de modelos físicos a partir de objetos virtuais tridimensionais, normalmente criados em softwares CAD. Ela oferece maior liberdade de design e permite a transformação de ideias em protótipos, que auxiliam na verificação do projeto e testes funcionais de peças (MAIA, 2016, p.43 apud AFROSE et al., 2015, p.1-8).

Esse processo ganhou destaque nos últimos anos devido a popularização das máquinas responsáveis pela fabricação, com seu custo

diminuindo através dos anos. Outro fator que corroborou para essa acessibilidade foram as plataformas de código aberto conhecidas como *open source* que difundiram projetos prontos nas mais variadas áreas e possuem comunidades de entusiastas que trabalham em prol de melhorias nesses projetos (SANTANA, 2015, p. 28-29).

O desenvolvimento de dispositivos protéticos a baixo custo possui características como resistência mecânica elevada, baixo peso, estrutura funcional, manutenção descomplicada com peças de reposição de fácil fabricação e capacidade de customização faz com que parcelas da população, principalmente crianças, fiquem mais à vontade e tenham facilidade em se adaptar a prótese, isso gera inclusão social para essas pessoas, além de torná-los autossuficientes em tarefas corriqueiras, mas tornam-se difíceis de serem executadas para quem perdeu parte, um ou mais membros do corpo (ROEDER et al., 2017, p.2-3).

## 1. ACESSIBILIDADE

O cenário nacional de indivíduos que necessitam de próteses mecânicas é amplo, de acordo com o Censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE no ano de 2010 cerca de 45.606.048 brasileiros, 23.9% da população possuem algum tipo de deficiência, desse total 7% possuem deficiência motora, desse valor 5.32% não possuem um membro ou parte dele (IBGE, 2010).

De acordo com estudo feito pelo Ministério da Saúde em 2008, cerca de 1 milhão de brasileiros aguardavam por próteses fornecidas pelo governo, e o tempo de espera varia de acordo com estado, sendo de pelo menos um ano em São Paulo e podendo chegar a mais de três anos em estados como Amazonas e Goiás. No entanto, esse número pode ser muito maior, visto que muitos pacientes não dão entrada para solicitação de próteses, pois tem conhecimento de que a espera será demasiadamente grande (FOLHA DE SÃO PAULO, 2008). Além desses fatores, vários pacientes ainda abandonam as próteses fornecidas pela dificuldade em adaptação, seja por não agradarem esteticamente, serem pouco funcionais ou terem dificuldades em realizar ajustes e manutenção, preferindo, assim, viver sem um substituto adequado para o membro perdido (IBGE, 2000).

A alternativa para cidadãos que perderam parcialmente ou totalmente os membros, mas que preferem próteses estética e funcionalmente melhores às que o governo oferece é recorrer a próteses fabricadas por empresas privadas localizadas no país ou importar os dispositivos de países que estão na vanguarda desse segmento. Porém, dispositivos que utilizam alta tecnologia possuem valor extremamente alto de mercado; dispositivos transfemorais com microprocessadores chegam a custar entre US\$45.000 e US\$50.000, enquanto que um dispositivo para o mesmo uso, porém mais simples, com mecanismo de travamento, custa cerca de US\$15.000. As próteses para membros superiores possuem valores ainda mais elevados, como um dispositivo de mão biônica recentemente lançado no mercado que chega a custar US\$40.000, além de uma prótese mio-elétrica que são o que há de mais avançado atualmente no mercado para amputados acima do cotovelo que chega a custar US\$100.000 (RESNIK *et al*, 2012, p.712). Esses valores tornam-se ainda maiores devido a cargas tributárias e taxas de importação tornando estes dispositivos extremamente inviáveis para grande maioria da população que necessita. (ZYLBERMAN, 2015).

## 2. MANUFATURA ADITIVA

O processo de fabricação por manufatura aditiva, popularmente conhecido como impressão 3D teve seu conceito criado pelo Norte-Americano Chuck Hull em 1984, Hull definiu o processo como a criação de um objeto sólido, através da impressão de sucessivas camadas extremamente finas de material que ao ser atingido por radiação ultravioleta solidifica-se, com o auxílio de um software que modela o objeto que desejasse fabricar, esse processo ele denominou como *Stereolithography* (SLA) ou estereolitografia. Diferentemente da maioria dos processos de fabricação comumente usados que tem como princípio a remoção de material, a estereolitografia deposita camadas de material, essa característica por si só é uma vantagem do processo sobre os demais pois a perda de material é mínima. Apesar da estereolitografia ser a pioneira no campo da manufatura aditiva ela não foi a única, em 1989 Scott Crump criou a *Fused Deposition Modeling* (FDM) (DABAGUE, 2014, p.10), trata-se de um

processo no qual o material, geralmente um termoplástico ABS é derretido e tracionado através de um perfil que o deposita sobre uma plataforma, a cada camada depositada o perfil sobe e deposita a subsequente. Posteriormente surgiram outras técnicas como a *Selective Laser Sintering* (SLS), conhecida como sinterização a laser, nesse processo é depositado um pó que tem seus grânulos unidos de forma seletiva através do aquecimento provocado pelo feixe de laser, no qual existe uma grande gama de materiais que podem ser usados como, poliestireno, nylon, alumínio, vidro, cerâmica além de diversas ligas metálicas (TAKAGAKI, 2012, p.29-30).

O processo de manufatura aditiva se tornou amplamente utilizado nos últimos anos pois a redução dos custos de máquinas, aliado a disseminação de projetos, do tipo *Open Source*, que disponibilizam modelos prontos dos mais variados objetos além de viabilizar a modificação do projeto seja para melhorias ou adaptação (MAIA, 2016, p.43-44).

### 2.1. Funcionamento da impressora 3D

As impressoras 3D possuem uma composição enquanto máquinas relativamente simples, basicamente são construídas de peças e partes de fácil acesso no mercado, algumas dessas peças inclusive podem ser fabricadas pelas próprias impressoras como peças de reposição (LOPES e ALMEIDA, 2013, p.8). Funcionando de maneira similar a uma máquina *Computer Numerical Control* (CNC), amplamente usada em processos de usinagem, essas impressoras trabalham em um sistema de planos cartesianos onde a máquina possui uma mesa que se move através do eixo Y e um bico de extrusão que se move através de um eixo X, além de ter a possibilidade de regular sua altura do bico em relação a mesa por meio do eixo Z. No entanto, diferentemente das máquinas de usinagem, que retiram material de um objeto as impressoras 3D, elas adicionam material através de camadas ao receberem comandos de um circuito eletrônico (AZEVEDO, 2013, p.3).

Independentemente de qual processo será empregado, todos constituem em utilizar um modelo digital *Computer Aided Design* (CAD) da peça desejada, “fatiá-lo” usando um *software* específico em seções transversais para que sejam depositadas camadas de material, seja polímero,

resina, gesso ou ligas metálicas, que serão aquecidas até o ponto de fusão para que haja a união das camadas, facilitando a criação de peças complexas (PEREIRA, 2014, p.5).

### 3. MATÉRIA-PRIMA

As diversas formas de manufatura aditiva utilizam as mais variadas matérias-primas, no entanto, próteses mecânicas são habitualmente fabricadas através de *FDM (Fused Deposition Modeling)*. Nesse processo, polímeros são predominantemente usados e os mais comuns para o processo são o PLA e ABS (PEREIRA, 2014, p.21).

*PLA (Polylactic Acid)* é um componente de origem vegetal extraído do milho e trigo, portanto, torna-se biodegradável, seu ponto de fusão varia entre 190 – 220°C, e como propriedades mecânicas, possui boa tenacidade e boa resistência, além de um reduzido percentual de *wart* (encolhimento devido ao resfriamento) (MONCALVO, 2016, p.15). Em sua dissertação, MUTHUI (*et al.*, 2014 apud SANTANA, 2016, p.66) cita o PLA como aplicável no segmento biomédico e amplamente usado em aplicações ortopédicas, como pinos de fixação, cardiovasculares, odontológicas e intestinais além da indústria alimentícia em embalagens.

*ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)* é um copolímero, sendo composto por outros três polímeros (acrilonitrila-butadieno-estireno). Possui temperatura de fusão média entre 210 – 240°C, suas principais propriedades mecânicas são alta resistência e boa flexibilidade, sendo um polímero solúvel em acetona, que pode ser usado para melhorar seu acabamento superficial (MONCALVO, 2016). De acordo com SALINAS (2014 apud SANTANA, 2015, p.65), o ABS possui facilidade em ser lixado, colado ou pintado, porém, ao ser aquecido, libera monóxido de carbono, além de cianeto de hidrogênio, que são prejudiciais. Também possui uma tendência a empenar após o resfriamento, nesse caso, é necessário um aquecimento de base de no máximo 120°C.

### 4. PARAMETRIZAÇÃO

Ainda que as amputações sejam recorrentes, tanto de membros superiores quanto inferiores, os esforços relacionados a fabricação de dispositivos por manufatura aditiva estão voltados

para os membros superiores. Devido a significativa importância das mãos na execução das mais variadas atividades, desde as mais simples do cotidiano até aquelas que possuem alto grau de destreza e precisão, além da grande quantidade de movimentos possíveis devido aos graus de liberdade, reproduzir fielmente um membro como este perdido é uma tarefa árdua (MAIA, 2016, p.26 apud BILLOCK, 1986, p.57-65).

#### 4.1. Variável dimensional

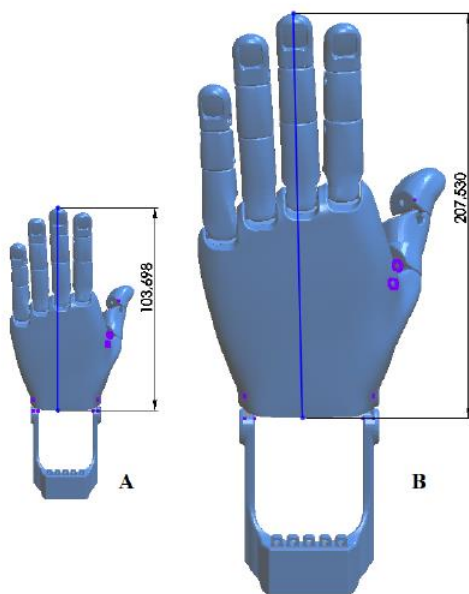
Para adultos, empregar o membro restante como medida para comparação é um processo viável e aceito, no entanto, em casos de perda dos dois membros ou nos casos de crianças e adolescentes que estão em fase de crescimento não é a melhor alternativa. Com base nisso, durante sua pesquisa Maia (2016) escolheu, a princípio, a idade como parâmetro dimensional, porém encontrou pouco material sobre pesquisas nesse campo.

Em sua monografia, Maia (2016) indica que a estatura é uma variável expressiva para a parametrização de dispositivos. Após encerrar seus estudos, o pesquisador chegou à conclusão de que existe uma relação linear entre a estatura e as dimensões da mão sendo que a estatura estava apta a ser usada como variável para dimensionar um dispositivo protético. Os dados obtidos foram de estudos realizados ao longo dos anos e de diferentes regiões do planeta, com isso esses dados podem ser usados para se estimar um parâmetro entre si.

Utilizando-se do método de regressão, o pesquisador partiu da premissa de que é possível obter o valor de uma variável através de outras, mesmo não se obtendo um valor exato é possível uma aproximação. Expondo um dos principais problemas atualmente presentes em modelos de dispositivos protéticos que tratam da falta de parametrização no dimensionamento e utilizando-se como exemplo um projeto da iniciativa *e-nable* modelo *Flexy Hand 2*, Maia (2016) retrata que o projeto original tem cerca de 207 mm de comprimento e que de acordo com seu estudo, se encaixa para indivíduos entre 1,9 e 2,0 m. Na imagem a seguir, o projeto inicial tem sua escala reduzida em 50%, ficando com cerca de 103 mm. Com isso, enquadrando-se no que seria apto a um indivíduo de 0.9 m.



Figura 1 – Modelo de dispositivo *Flexy Hand 2*  
 A) Escala 50% reduzida B) Escala original



Fonte: MAIA (2016)

## 5. PLATAFORMA OPEN SOURCE

Plataformas *open source* são comunidades *online* que visam desenvolver e/ou aprimorar um *software* ou produto. Em geral, são empresas que desenvolvem projetos utilizando apenas profissionais capacitados do ramo ao qual faz parte o segmento do produto. No entanto, nos últimos anos ocorreu uma mudança de visão e cada vez mais os consumidores tem um papel ativo nesse processo (AFFONSO, 2017, p.35). A esse respeito, é importante mencionar:

Um envolvimento maior é dificultado por barreiras como, por exemplo a falta de capacitação e linguagem técnica, necessárias para interagir com projetistas nas fases iniciais. Os avanços tecnológicos em ferramentas digitais, realizados nas últimas décadas, estão tornando possível a criação de interface amigáveis e mais próximas do usuário não especialista, ou sem formação específica em desenvolvimento de produtos. Isso pode significar novas formas de produção e de *design*, em que os produtos sejam criados com a participação ainda mais intensa e por meio de modelos de negócio, que envolvam a participação de leigos ou usuários comuns (AFFONSO, 2017, p.35 apud ILAN, 2011, p.44-53).

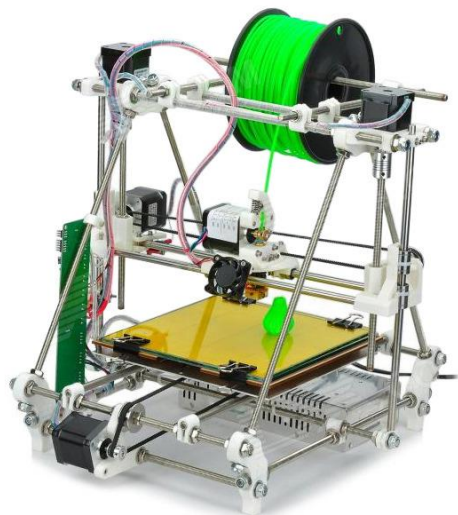
Baseando-se nessa definição, é possível aos indivíduos que não façam parte do corpo de funcionários da empresa ou sequer tenham formação no campo do qual o produto pertence possam colaborar de forma significativa para seu desenvolvimento, visando não propriamente a lucratividade, mas sim o intuito de refinar o projeto e atender às necessidades dos usuários (AFFONSO, 2017, p.35-36). O meio pelo qual os dados são disponibilizados para os usuários em plataformas *open source*, intrinsecamente, é feito através de ambiente virtual na internet, visto que, normalmente, os membros da comunidade estão espalhados por diferentes países (AFFONSO, 2017, p.46).

### 5.1. RepRap

A RepRap (*Replicating Rapid – Prototyper*) é uma iniciativa *open source* que se iniciou em 2012 e visa a popularização da tecnologia de manufatura aditiva através do desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida com o método de FDM (*Fused Deposition Modeling*) a baixo custo, tornando-se acessível e disseminando essa tecnologia para qualquer indivíduo. A principal característica da RepRap é a sua capacidade de se auto replicar, ou seja, a grande maioria das peças que a compõem são fabricadas pela própria máquina. Esse atributo possibilita ao projeto uma diminuição significativa no seu custo porque além de fabricar inúmeras peças de reposição, existe a possibilidade de a máquina fabricar outra unidade de si mesma (REPRAP, 2017). Atualmente, a comunidade com cerca de 651 projetos em desenvolvimento contínuo, contabilizando apenas sua plataforma *wiki* (AFFONSO, 2017, p.40).

O objetivo atual dos desenvolvedores é deixar a máquina totalmente replicável, para tanto, buscam formas de imprimir placas de circuitos e partes de metal usadas na sua estrutura (AZEVEDO, 2013).

Figura 2 – Modelo Prusa Mendel da iniciativa RepRap



Fonte: 3dhubs.

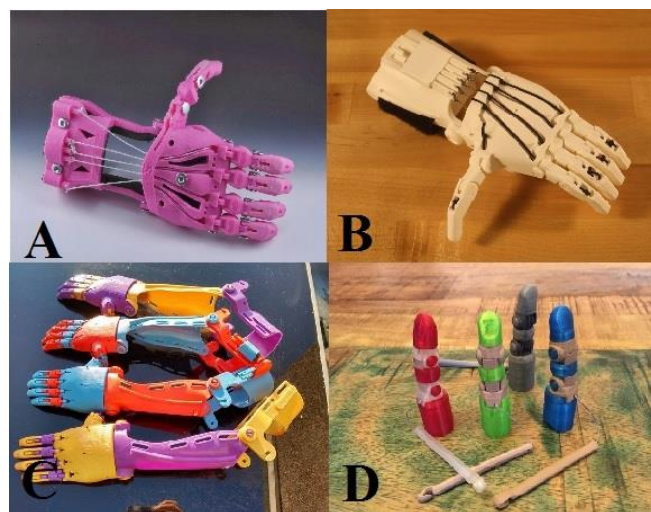
## 5.2. E-NABLE

O projeto *e-nabling the future* (*e-NABLE*) foi criado nos Estados Unidos, em 2013, com o objetivo de criar e fornecer projetos de dispositivos protéticos de forma totalmente gratuita, contando com voluntários em todo o mundo que desenvolvem, fabricam e doam esses dispositivos (*e-NABLE*, 2016). Contando exclusivamente com modelos de próteses mecânicas para membros superiores, grande parte desses projetos é disponibilizado através da plataforma de compartilhamento *Thingiverse*, um site direcionado para projetos em 3D que utiliza a licença *Creative Commons* e, por sua vez, permite copiar e compartilhar arquivos livremente.

Existem outras plataformas de distribuição de arquivos além do *Thingiverse*, todos de forma gratuita como *Grabcad*, *YouMagine* e *Instructables* (MAIA, 2016, p.50).

Figura 3 – Modelos de próteses disponibilizados pela e-NABLE:

A) Cyborg Beast; B) Raptor Reloaded; C) Unlimbited Arm; D) Knick's Finger



Fonte: (e-NABLE, 2017; Thingiverse, 2017)

## 6. DIFICULDADES DO PROCESSO

De modo como ocorre com todos os processos de fabricação, na manufatura aditiva encontra-se desvantagens que limitam o processo, tornando-o incapaz de alcançar todo o seu potencial. Determinadas características são responsáveis por esse fator, como o ritmo de fabricação que se impõem de acordo com a quantidade e complexidade das peças desejadas, o tamanho restrito da maioria dos equipamentos de impressão disponíveis também limita o processo, muitos equipamentos apresentam uma amplitude de trabalho relativamente pequena, e isso dificulta caso se almeje peças mais robustas (RITTER, 2014, p.23-24).

A restrição quanto aos materiais usados no processo também pode ser considerada uma dificuldade, apesar de estar avançando rumo a uma solução. A disponibilidade de materiais ainda acarreta problemas para usuários porque, em sua maioria, os equipamentos trabalham basicamente com polímeros, os quais nem sempre adequam-se às funções para as quais a peça será destinada. Atualmente existem máquinas que operam utilizando-se cerâmicas, gessos e, mais recentemente, metais como titânio, aço inoxidável e ligas de alumínio, no entanto, os equipamentos que fazem uso desses materiais empregam tecnologia de ponta e, por consequência, possuem alto custo monetário (3DSYSTEMS). Com relação

ao processo amplamente utilizado para confecção de dispositivos protéticos a FDM (*Fused Deposition Modeling*) e empregando uma máquina de plataforma *open source*, encontram-se outras dificuldades na fabricação, principalmente no que tange à parametrização do equipamento. Os problemas mais recorrentes são variações de temperatura no sistema de extrusão e no aquecimento da mesa em relação ao que foi programado no *software* de controle. Esse tipo de problema afeta a qualidade final da peça, influenciando parâmetros, como a sua adesão na mesa, adesão entre camadas e, conseqüentemente, sua resistência estrutural (AZEVEDO, 2013, p.21).

Ainda com relação a fatores que dificultam o processo, é possível citar o fluxo de material depositado. Caso não seja bem regulado, pode causar defeitos na peça, como escassez de material em pontos onde deveria haver preenchimento e excesso de material, causando deformidade na peça. Esse parâmetro depende diretamente de uma série de outros, como pressão de entrada, temperatura no bico extrusor e diâmetro do bico (SANTANA, 2015, p.42).

Exemplificando outro fator que pode caracterizar um revés nesse tipo de processo, é digno citar o fato de que as peças geralmente necessitem de um acabamento de superfície, usualmente feito com produtos químicos, além de ajuste dimensional ao final da fabricação. Também é necessária a retirada do material de suporte, uma adição muitas vezes empregada para dar sustentação à peça quando a matéria-prima ainda não se solidificou. Em geral, esses trabalhos demandam tempo e são feitos manualmente (ABREU, 2015, p.12).

## 7. CUSTOS

De acordo com Abreu (2015, p.41), “o mercado da impressão 3D pode ser dividido em impressoras 3D profissionais e impressoras 3D *desktop*, baseando-se esta caracterização basicamente nos custos”. Com base nisso, equipamentos ditos profissionais são aqueles que ultrapassam o valor de 4500 € e impressoras 3D *desktop* são aquelas que ficam com valor abaixo de 4500 € (ABREU, 2015, p.41 apud WOHLERS, 2015).

### 7.1. Impressoras profissionais

Devido à sua ampla gama de aplicações e padrões de qualidade elevados, esses equipamentos possuem especificidades, como emprego de alta tecnologia, os materiais utilizados são de uma gama superior aos utilizados em equipamentos *desktop* em que as empresas fornecedoras do equipamento também detêm a propriedade sobre a matéria-prima utilizada, além do *software* utilizado na máquina. A grande vantagem desses equipamentos é sua excelente resolução, que pode chegar na casa dos 16 µm. Também são mais robustos que equipamentos *desktop*, onde algumas máquinas podem pesar até 5000 kg. Levando-se em conta essas especificações, uma impressora desse porte pode ultrapassar facilmente o valor de 90.000 € (ABREU, 2015, p.41).

### 7.2. Impressoras *desktop*

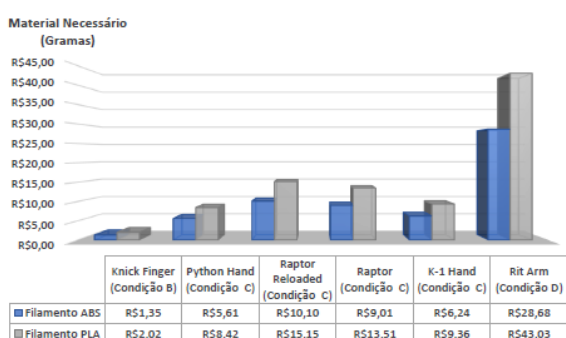
Com a redução do custo desse segmento de equipamentos nos últimos anos, houve uma popularização, principalmente no uso doméstico e de pequenas e médias empresas, as características colaboraram para sua difusão, em que fato de serem pequenas e de fácil manuseio, sem a necessidade de grande conhecimento técnico para operá-las atraiu esse tipo de público. Os materiais possuem custo comparativamente baixo em relação a materiais fornecidos por empresas fabricantes de equipamentos profissionais, e o uso, em geral, da plataforma *open source* facilita a montagem e a manutenção dessas máquinas, com um *design* agradável, ainda que inferior ao de impressoras profissionais. O custo médio fica em torno de 1800 €, e para equipamentos um pouco superiores, existem opções viáveis que ficam entre 180 € e 300 € (ABREU, 2015, p.44). Em sua dissertação, Raulino (2011, p.82) construiu uma máquina de código aberto pertencente ao projeto *RepRap*, do modelo Mendel, totalmente funcional, por cerca de R\$2.000,00.

### 7.3. Custos de matéria-prima

Para estimar os custos com matéria-prima, Roeder et al. (2017, p.5-8) realizou uma pesquisa de mercado com as principais empresas especializadas que fornecem os filamentos de ABS e PLA. Dentre elas, escolheu aquela que possuía o menor custo, cerca de R\$120,00 para o filamento PLA e R\$85,00 para o ABS por quilo. A seguir, dividiu as condições de necessidade de dispositivo

protético de acordo com a ausência de membros que se apresentam desde a ausência ou má formação de dedos até o antebraço na altura do cotovelo. Baseando-se nos projetos da e-NABLE, Roeder et al. (2017), utilizando-se dos pesos informados nas especificações, foi possível calcular o custo de matéria-prima para a fabricação dos dispositivos, notando-se que, quanto mais próxima da altura do cotovelo for a má formação ou ausência do membro, mais material é usado no dispositivo, como é demonstrado a seguir:

Figura 4 – Relação de preço de materiais para confecção de próteses



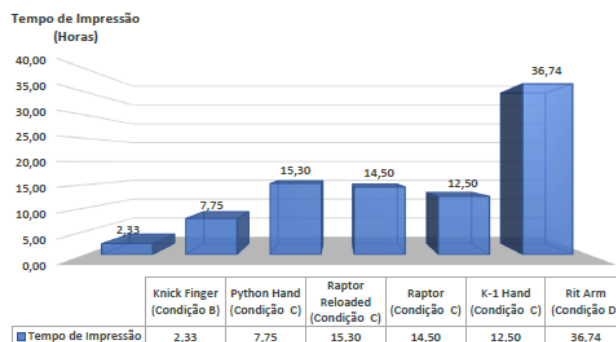
Fonte: Roeder (2017)

Constatou-se que os dois materiais são viáveis para o processo de confecção com o ABS sendo cerca de 33,17% mais barato que o PLA, o estudo levou em conta elementos impressos apenas como estrutura e suportes, ou seja, peças de fixação e de tracionamento não entraram nesse cálculo. Porém, seu custo não acarretaria em um acréscimo muito maior no valor total (ROEDER et al., 2017, p.9-10).

#### 7.4. Tempo de fabricação

O tempo também é um fator determinante para se estimar os custos de produção de um dispositivo protético, e isso varia de acordo com o tipo de dispositivo, a quantidade de matéria-prima utilizada e a complexidade geométrica do mesmo (ROEDER et al., 2017, p.9).

Figura 5 – Tempo médio gasto na impressão de próteses



Fonte: Roeder (2017) É possível estimar o tempo médio gasto para a confecção da prótese, no entanto, pode haver flutuação nesse valor, pois podem existir dificuldades durante o processo (ROEDER et al., 2017)

### CONCLUSÃO

O presente artigo foi resultado de uma intensa pesquisa bibliográfica acerca das dificuldades de pessoas de baixa renda com problemas de má formação congênita ou amputação de membros, que buscam próteses mecânicas funcionais de baixo custo e customizáveis, bem como uma possível alternativa para sanar esse problema através da manufatura aditiva. Durante a elaboração do artigo, foi possível entender o processo de fabricação desses dispositivos protéticos, desde o seu dimensionamento, escolha do modelo mais adequado para cada grau de ausência ou amputação do membro, materiais utilizados e parametrização.

Fica evidente que, financeiramente, essa é uma alternativa mais viável a oferecida atualmente por grandes empresas fabricantes de próteses, além de funcionalmente melhor àquela oferecida pelo governo. No entanto, por se tratar de uma tecnologia relativamente nova e que está apenas sendo mais disseminada nos últimos anos, ainda é pouco popular. Como todo processo, possui suas restrições e limitações como elevado custo de máquinas, profissionais e treinamento técnico adequado para operação. Porém, a disseminação do conteúdo através de iniciativas *open source* com comunidades trabalhando em conjunto tanto no que tange projetos de dispositivos prontos quanto em projetos de máquinas fabris que podem ser fabricadas por qualquer indivíduo sem muito conhecimento técnico na área ajudam a tornar essa uma opção interessante para pessoas que não podem aguardar em grandes listas de espera. Elas



não têm condições de pagar milhares de reais em uma prótese, ou mesmo não conseguem se adaptar à prótese por não ser funcional ou agradável visualmente.

Uma análise mais profunda sobre o tema pode destacar outras características positivas do processo, que podem torná-lo ainda mais viável, sendo também possível partir do que já foi desenvolvido até agora no segmento e criar melhorias, seja no processo, busca por novos materiais usados na fabricação ou mesmo no projeto de dispositivos mais ergonômicos.

## REFERÊNCIAS

FOLHA DE SÃO PAULO. **1 Milhão de deficientes no Brasil esperam por próteses.** , 2008. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1205200812.htm>>. Acesso em: 21 mar. 2017.

3DSYSTEMS. **3dsystems.** Disponível em:<[br.3dsystems.com](http://br.3dsystems.com)>. Acesso em 22 ago. 2017.

ABREU, Sofia Alexandra Chaves. **Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo.** Porto: FEUP, 2015.

AFFONSO, Cláudia Andressa Cruz. **Gestão de configuração e colaboração em plataformas de apoio as comunidades *Open Source Design*.** São Carlos: USP, 2017.

AZEVEDO, Fábio Mariotto de. **Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D.** São Carlos: USP, 2013.

DABAGUE, Leonardo, Augusto Moraes. **O processo de inovação no seguimento de impressoras 3D.** Curitiba: UFPR, 2014.P10.

Dedo egípcio de 2,6 mil anos pode ser prótese mais antiga, **BBC**, 2007. Disponível em: <[http://www.bbc.com/portuguese/ciencia/story/2007/07/070727\\_primeiraproteseegitofn.shtml](http://www.bbc.com/portuguese/ciencia/story/2007/07/070727_primeiraproteseegitofn.shtml)>. Acesso em: 13 mar. 2017.

E-NABLE. **e-NABLE.** Disponível em:<[enablingthefuture.org](http://enablingthefuture.org)>. Acesso em: 16 ago. 2017.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas**, Censo 2010. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados\\_preliminares\\_amostra/default\\_resultados\\_preliminares\\_amostra.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_preliminares_amostra/default_resultados_preliminares_amostra.shtm)>. Acesso em: 21 mar. 2017.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Censo 2000. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/defaulttab\\_brasil.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/defaulttab_brasil.shtm)>. Acesso em: 21 mar. 2017.

LOPES, Jeferson Andris Lima; ALMEIDA, Lucas Coelho. **Metodologia para concepção de prótese ativa de mão utilizando impressão 3D.** Brasília: UNB, 2013.

MAIA, Bruno Alves. **Parametrização dimensional, por modelo de regressão, de próteses de mão para crianças, confeccionadas por manufatura aditiva.** Catalão: UFG, 2016.

MONCALVO, Felipe Cardoso. **Análise dimensional para capacidade de uma máquina de FDM.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2016.

PAULA Filho, Wilson Pádua. **Multimídia: Conceito e aplicações.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2014.

PEREIRA, Frederico David Alencar de Sena. **Desenvolvimento de um cabeçote para extrusão de filamento fundido aplicado a manufatura aditiva.** Campinas: UNICAMP, 2014.

PEREIRA, Isidro S.J. **Dicionário grego-português e português-grego**, 3. ed. Porto: Livraria Apostolado da Imprensa, 1961.

RAULINO, Bruno Ribeiro. **Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição).** Brasília: UnB, 2011.

RESNIK, Linda *et al.* **Advanced upper limb prosthetic devices: implications for upper limb prosthetic rehabilitation.** 2012. Disponível em: <<http://www.archives-pmr.org/article/S0003->

9993(11)00975-0/abstract>. Acesso em: 21 abr. 2017.

REPRAP. **RepRap**. 2017. Disponível em:<reprap.org>. Acesso em: 15 ago. 2017.

RITTER, Gustavo Marques. **Influência os parâmetros de uma impressora 3D sobre a produção de peças**. Horizontina, RS: FAHOR, 2014.

ROEDER, Alexandre Ziger *et al.* **Análise Econômica da aplicação de monofilamento de ABS e PLA no desenvolvimento de próteses com impressão 3D para membros superiores**. Joinville: UNISOCIESC, 2017.

SANTANA, Leonardo. **Avaliação de uma impressora 3D baseada em projeto de código aberto na fabricação de peças em PLA**. Florianópolis: UFSC, 2015.

TAKAGAKI, Luiz Kotti. Tecnologia de impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica**. 2012. Disponível em: <<http://rit.faculdadeflamingo.com.br/ojs/index.php/rit/article/view/54/71>>. Acesso em: 06 mai. 2017.

THINGIVERSE. **Thingiverse**. Disponível em:<<https://www.thingiverse.com>>. Acesso em: 16 ago. 2017

ZUNIGA, J. et al. Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. **BMC research notes**, Springer, v. 8, n. 1, p. 1–9, 2015.

ZYLBERMAN, Patrícia. Impressora 3D promete revolucionar mercado de próteses de mão. **Revista Entreteses**, ed. 04. 2015. Disponível em: <<http://www.unifesp.br/reitoria/dci/publicacoes/entreteses/item/2004-impressora-3d-promete-revolucionar-mercado-de-proteses-de-mao>>. Acesso em: 22 jul. 2017.