

CONFEÇÃO DE UMA MÃO MECÂNICA ATRAVÉS DA MANUFATURA ADITIVA EM IMPRESSORA 3D

Tiago Santa Fé Matos, UESC, t.tsmatos@gmail.com

Erickson Fabiano Moura Sousa Silva, UESC, efmssilva@uesc.br

Resumo. Este projeto visa a confecção de uma prótese mecânica de baixo custo, com a utilização da impressora 3D. Através da deposição de material, a impressora 3D consegue criar as mais diversas formas, traduzindo informação computacional obtida da modelagem de um software CAD. A organização “E-nable” possui um site com vários modelos gratuitos, sendo escolhido para o seguinte trabalho o modelo “Flexy Hand”, no qual foram utilizados dois materiais para a sua confecção: o ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) e o filamento flexível, composto de Poliuretano Termoplástico (TPU). Como esse foi um projeto pioneiro dentro da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), todo o processo de construção foi analisado para avaliar a praticidade dessa montagem para otimização do processo. A prótese apresentou vantagens em relação à custo e tempo de montagem, porém o material ABS utilizado causou dificuldades para a realização do funcionamento básico da mesma, necessitando de um método alternativo de correção do problema.

Palavras chave: Impressora 3D, Prótese Mecânica, Engenharia Biomédica, Engenharia Mecânica, Manufatura Aditiva

1. INTRODUÇÃO

As próteses mecânicas são peças criadas para substituir membros de pessoas que sofreram amputação ou alguma má-formação fisiológica. Não somente deve simular o movimento mecânico do membro em questão, mas também deve ser entendida como uma nova extensão do corpo, garantindo ao usuário utilidade e identidade própria. A confecção das próteses exige um estudo para cada caso, exigindo peças personalizadas para cada paciente. Esta tecnologia se mostra um sonho impossível de alcançar para pessoas que não possuem uma renda alta, pois a confecção de uma prótese através dos métodos tradicionais necessita de obtenção e tratamento de matéria prima, a mão de obra e tempo de confecção, além dos desperdícios decorrentes dessas etapas, se mostra cara pelo preço do produto final, deslocamentos necessários para o alcance dos centros ou lojas específicas, entre outros.

Um advento das novas tecnologias, a impressora 3D se utiliza da fabricação aditiva para confeccionar diversos modelos tridimensionais criados digitalmente através de um software de modelagem. A fabricação aditiva é uma tecnologia que permite a criação de objetos sólidos tridimensionais por diversos métodos que obedecem a um mesmo princípio que é a deposição de um material pré-determinado. Esta deposição ocorre em camadas que podem ou não variar, criando as formas exigidas da peça.

Esses processos já estão sendo utilizados nas mais diversas áreas das engenharias e inclusive de outras ciências, como na medicina (Duarte, 2015), construção civil (Sevenson, 2015) e até mesmo gastronomia (Tavares, 2014), baixando custos e aumentando as possibilidades de criação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Impressora 3D

A engenharia sempre está em busca de melhorar seus aspectos e métodos, reduzindo custos e perdas, e aumentando seu grau de acerto e precisão. A impressora 3D é um marco para a engenharia por trazer um novo horizonte para a capacidade criativa e de confecção.

Impressão 3D se refere à manufatura aditiva ou às tecnologias de prototipagem rápida que permitem a impressão de objetos 3D por meio da deposição de camadas sucessivas de material num arranjo camada por camada (Jiang, 2015). Existem diversas impressoras 3D para os mais diversos materiais, porém as mais baratas e utilizadas são as que trabalham com polímeros.

Impressoras 3D dão aos pesquisadores a habilidade de produzir modelos conceituais e partes rapidamente e a baixo custo, além de permitir a prototipagem rápida de um grande número de designs no conforto de suas mesas (Mohammed, 2016). Os processos de manufatura aditiva, usados em impressoras 3D, fornecem diversas vantagens sob os métodos convencionais de manufatura incluindo a livre fabricação de geometrias complexas, uso ótimo do material, eliminação de ferramentas caras, etc (Rafi *et al*, 2013). A Tabela (1) informa características dos principais polímeros usados em impressão 3D.

Tabela 1. Principais materiais poliméricos utilizados. Adaptado. (Simplify 3D, 2018).

Atributos\Material	ABS	Flexível	PLA	HIPS	PETG
Tensão Máxima	40 MPa	26 ~ 43 MPA	65 MPa	32 MPa	53 MPa

Densidade	1,04 g/cm ³	1,19 ~1,23 g/cm ³	1,24 g/cm ³	1,03 ~1,04 g/cm ³	1,23 g/cm ³
Coefficiente termal de Expansão	90 µm/m-°C	157µm/m-°C	68µm/m-°C	80µm/m-°C	60µm/m-°C
Impressabilidade ¹	8/10	6/10	9/10	6/10	9/10
Temperatura de Extrusão	220 ~ 250 °C	225 ~245 °C	190 ~ 220 °C	230 ~ 245 °C	230 ~ 250 °C
Equipamento Requerido	Mesa Aquecida, Impressora Fechada recomendado	Ventoinha	Ventoinha	Mesa Aquecida, Impressora Fechada recomendado	Mesa Aquecida, Ventoinha

¹ Quão fácil é imprimir com o material baseado em fatores como escoamento, deformação, entupimento de bico, etc.

2.1.1. ABS

O ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) é um termoplástico opaco e polímero amorfo. Ele pode ser aquecido até o ponto de derretimento, esfriado e re-aquecido novamente. Ao invés de queimar, termoplásticos como ABS liquefazem, o que permite a sua utilização em moldes por injeção e subsequentemente reciclado (Creative Mechanism Blog). Seu filamento é vendido em forma de fio enrolado e seu preço é avaliado pelo peso e tipo específico de ABS, variando de R\$ 80 à R\$ 140.

2.1.2. FLEX

O filamento flexível é composto de Poliuretano Termoplástico (TPU) e possui enorme versatilidade, sendo possível moldar materiais flexíveis como borracha ou duros como plástico. Além de sua alta flexibilidade, elasticidade e maciez o TPU possui alta resistência à flexão, típica dos materiais flexíveis, boa resistência ao desgaste e ao envelhecimento típico do poliuretano, também possui alta resistência química a diversos óleos e solventes e a água. Sendo impermeável, ele também é resistente ao frio e aos raios ultravioletas (Impressão Fácil 3d). Por ser um material mais rebuscado, seu preço raramente fica abaixo dos R\$ 90 e pode chegar a mais de R\$ 200.

2.2. Próteses

A prótese é um componente artificial que tem por finalidade suprir necessidades de indivíduos com sequelas por amputações e atender às necessidades estéticas (Epsztejn *et al.* 2008.). As amputações podem ser causadas tanto por traumas físicos, como acidentes de trabalho, quanto de origem patológica.

Como são componentes feitos para substituir – pelo menos – um membro faltante, seja ele externo ou interno, as próteses devem se adequar a cada usuário; entretanto, os modelos de próteses seguem por grupos faltantes, existindo diversos modelos para pessoas com amputações similares (Ex.: parte da mão faltando, amputação até o pulso, amputação entre o pulso e o cotovelo, etc.).

Mas de forma geral, as próteses mecânicas são classificadas como superiores ou inferiores, e passivas ou ativas. As próteses passivas, ou não-funcionais, são semimóveis ou totalmente, sendo mais utilizadas por causa do aspecto estético. Próteses ativas realizam movimento específico utilizando o resto do membro do local da amputação, por ativação muscular, ou por sensores e controladores eletrônicos que permitem movimentos mais refinados.

3. Metodologia

O seguinte trabalho é de natureza exploratória, sendo estudada a forma de utilização da impressora 3D, o custo e o tempo para a montagem de uma prótese mecânica de mão. Enquanto próteses estéticas altamente realistas podem chegar à 7 mil reais, as próteses mecânicas chegam à valores como 15 mil reais (3D printing), tornando inviável a compra para pessoas de baixa renda. Para resolver este problema, foi desenvolvida uma prótese através da impressora 3D, levando em conta as seguintes ideias: o custo do produto final não deveria passar de R\$100 e o modelo deveria ser *open source*. Todas as informações deveriam ser colhidas para o aprimoramento de futuros trabalhos.

A impressora 3D se encontra na UESC, no Laboratório de Projetos e Metrologia (LAPMET), sendo do modelo Kossel Delta Mini, mostrada na figura 1.

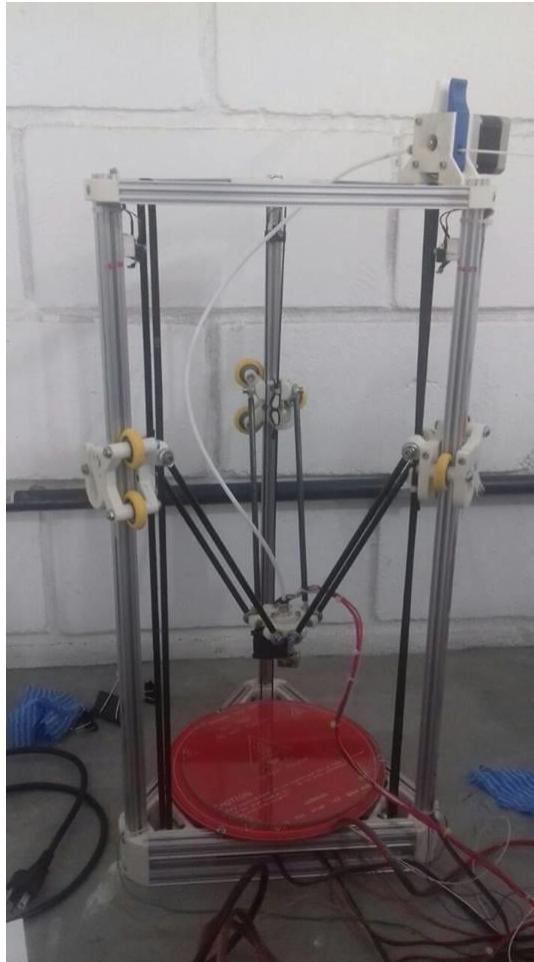


Figura 1. Impressora 3D montada no LAPMET na UESC

O site chamado “E-nable”, pertencente ao grupo de mesmo nome que se especializou em desenvolver próteses através de impressoras 3D, fornece diversos modelos pré-prontos. Os designs das próteses são formulados considerando o cotoco do paciente, então existem grupos de próteses para quem possui parte da mão até o pulso, quem não possui mão, mas possui parte do antebraço, e para quem não possui antebraço, mas possui parte do braço.



Figura 2. Modelo “Flexy Hand” para visualização

Diferente dos outros modelos existentes, o escolhido possui praticamente todos os seus componentes feitos na própria impressora, sendo necessário obter apenas o velcro para fixação da prótese, tecido para proteger o cotoco, a linha usada para criar a tensão nos dedos e 5 parafusos para fixar o tensor.

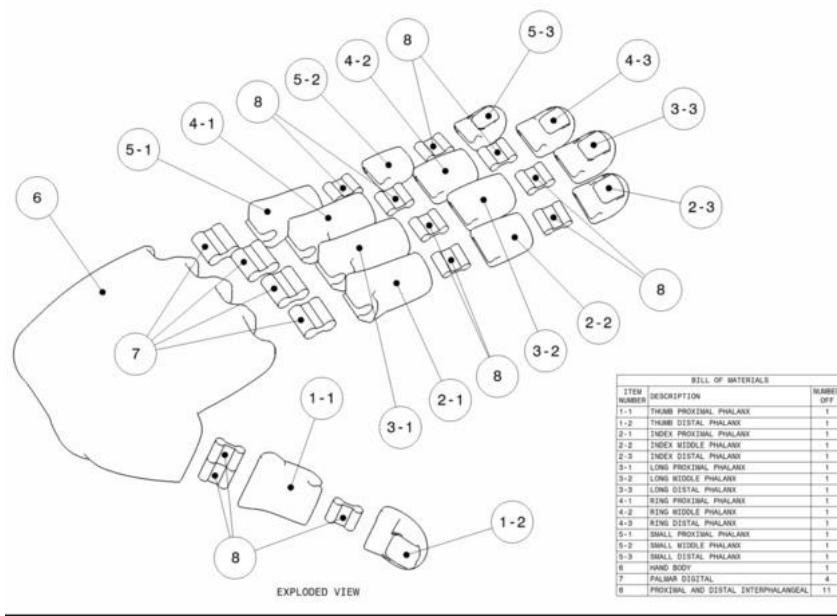


Figura 3. Vista explodida da prótese

Tabela 2. Informações das partes da mão associados à figura 3 (tradução livre).

Número do Objeto	Descrição	Quantidade
1-1	Falange Proximal do Dedão	1
1-2	Falange Distal do Dedão	1
2-1	Falange Proximal do Indicador	1
2-2	Falange Média do Indicador	1
2-3	Falange Distal do Indicador	1
3-1	Falange Proximal do Dedo Médio	1
3-2	Falange Média do Dedo Médio	1
3-3	Falange Distal do Dedo Médio	1
4-1	Falange Proximal do Dedo Anelar	1
4-2	Falange Média do Dedo Anelar	1
4-3	Falange Distal do Dedo Anelar	1
5-1	Falange Proximal do Dedo Mínimo	1
5-2	Falange Média do Dedo Mínimo	1
5-3	Falange Distal do Dedo Mínimo	1
6	Corpo da mão	1
7	Articulação da palma	4
8	Interfalange Proximal, Media e Distal	11

Os dedos foram impressos em plástico ABS branco com padrão de preenchimento externo retangular e preenchimento interno hexagonal. A mão foi impressa em plástico ABS azul, seguindo as mesmas características do dedo, apenas alterando a quantidade de preenchimento de 30% para 40%, para uma maior consistência devido a sua geometria complexa. Os tendões foram impressos em filamento FLEX de cor preta, sendo necessário alterar as temperaturas do extrusor e da mesa, além de velocidade de impressão mais baixa.

Corpos de geometria complexa necessitam a adição de suportes na impressão para garantir a consistência da forma desejada. Os dedos, o punho e o pulso necessitaram de suporte, enquanto que os tendões, de formas mais simples, puderam ser impressos diretamente.

Após a impressão, os suportes foram removidos e assim começou o tratamento inicial de lixamento para que os tendões pudessem ser ligados aos dedos. Devido as características da própria impressão, existe uma variação do tamanho desejado para o tamanho real, isso impediu que a montagem pudesse ocorrer imediatamente, sendo necessário um lixamento das partes onde ocorrem as junções.

Com a mão montada, é necessário alocar a linha que irá tencionar os dedos e garantir o funcionamento desejado. A linha escolhida foi uma linha de nylon de pesca, devido a sua elasticidade boa e pouca deformação. As linhas são amarradas no pulso e presas por um tipo de presilhas, também impressos na impressora, num local específico.

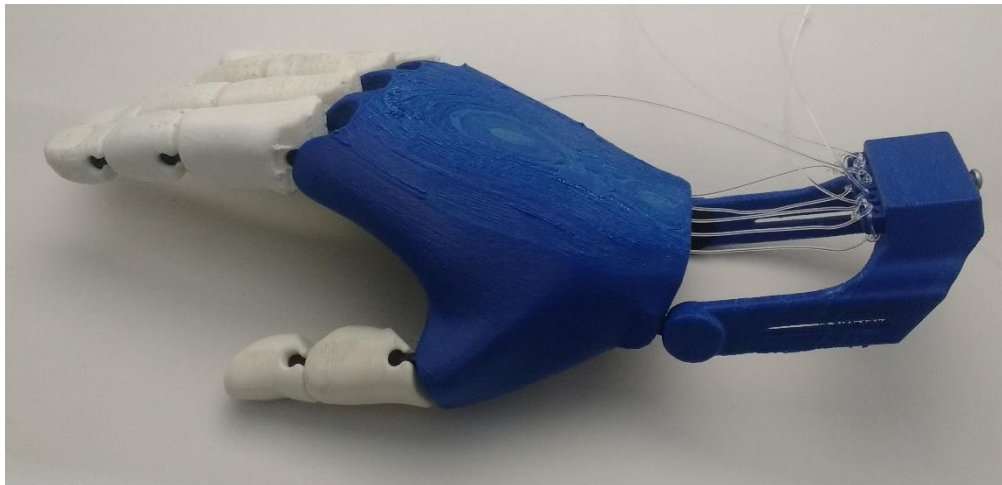


Figura 4. Prótese Flexy Hand já montada

As presilhas que seguram o nylon possuem orifícios em sua outra extremidade, o que permite adicionar um parafuso para garantir a firmeza da mesma, para evitar que o nylon tensionado puxe a presilha de volta. As cordas são tensionadas o suficiente para garantir o movimento desejado, podendo ser facilmente reguladas.

O pulso da prótese possui dois buracos alongados em suas hastes, por onde pode ser passado um tecido para a fixação da prótese no pulso do amputado. Além disso, há uma estrutura flexível que se acopla na palma da punho da prótese, por onde também pode ser passado um tecido para a fixação da prótese no cotoco do amputado, garantindo assim sua fixação.

3. CONCLUSÃO

A utilização de impressoras 3D vem se tornando cada vez mais comuns, para as mais diversas áreas da ciência, formais ou informais. Esta ferramenta se mostra poderosa para a confecção de próteses de baixo custo, ampliando a possibilidade daqueles que não tem condições financeiras de poder adquirir um equipamento que forneça parte das funções de um membro perdido, além de conceitos estéticos e psicológicos que são pertinentes para quem sofreu de algum trauma.

O modelo Flexy Hand fornecido pelo grupo E-nable se mostrou muito promissor, fornecendo uma aparência que imita muito bem uma mão humana, além de confecção simples se comparado a outros modelos que necessitam de muitos outros componentes não-impressos como parafusos, porcas, entre outros. Por causa dessa facilidade toda, o tempo de impressão de todos os componentes chega à 22h, podendo ser reduzido se a impressora tiver uma área de impressão considerável, e aproximadamente 5 horas de trabalho manual (lixamento e montagem), mostrando um tempo total altamente satisfatório.

Embora sua movimentação seja simples, a prótese fornece um movimento de apanhar firme, que garante sua aplicabilidade para o dia-a-dia: apanhar copos, livros, vasos pequenos, dentre vários outros objetos sólidos. É possível regular as linhas tensionadas para reduzir a quantidades de dedos que se movimentam, para tarefas mais delicadas, como segurar uma caneta, embora seja uma tarefa que exige uma maior precisão de movimento e de calibração de tensão da linha.

Quanto ao material, o ABS se mostrou resistente o bastante para não quebrar com impactos moderados, garantindo a durabilidade dos dedos e do punho. Os tendões de material elástico cumprem seu papel perfeitamente. Os problemas relacionados ao ABS são sua fragilidade em estruturas mais finas, como o pulso, que se segurado de forma errada irá se partir, podendo ser colado e reutilizado; e além disso, o ABS é um material muito liso para ser utilizado sozinho na prótese, sendo necessária a adição de uma camada mais viscosa nas partes internas das falanges dos dedos, para garantir a fixação do objeto apanhado. Neste trabalho foi utilizado plástico EVA, porém é necessário testar outros materiais para serem utilizados como digitais para fornecer melhor firmeza no movimento de apanhar.

As vantagens referentes à prótese montada foram o tempo gasto com sua confecção – tanto o de impressão quanto para a execução da montagem – e custo baixo de matéria prima pois com um rolo de filamento é possível imprimir uma enorme quantidade de material, dessa forma o custo do produto vai basicamente para o trabalho do utilizador da Impressora 3D. Os problemas relacionados são a dificuldade em regular as linhas de tensão para o amputado, exigindo a ajuda de terceiros e uma futura adaptação do modelo de ancoragem, e a falta de aderência causada pelo material utilizado, sendo necessária a adição de uma superfície aderente nas falanges dos dedos, o que pode influenciar no custo da prótese.

Mesmo com as respectivas desvantagens aqui mostradas, o projeto foi considerado promissor e os dados obtidos servirão para o aprimoramento das futuras confecções de próteses de mão.

3. REFERÊNCIAS

3D Printing. **Próteses e órteses de membro superior produzidas por manufatura aditiva**. 2017. Disponível em: <<http://www.3dprinting.com.br/proteses-e-orteses-de-membro-superior-produzidas-por-manufatura-aditiva/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

Creative Mechanisms Blog. **Everything You Need To Know About Polylact Acid (PLA)**. Disponível em: <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-polylactic-acid-pla-prototypes>. Acesso em: 18 dez 2017.

Creative Mechanisms Blog. **Everything You Need To Know About ABS Plastic**. Disponível em: <https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-abs-plastic>. Acesso em: 18 dez 2017.

DUARTE, Teresa et al. **Impressão 3D na área médica: desafios e oportunidades**. INEGI, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. 2015 Disponível em: http://www.cenfim.pt/doc/eventos/2015/3d_area_medica_teresa_duarte.pdf

EPSZTEJN, Michel; EPSZTEJN, Ruth; SOUZA, Cristina Gomes de. **EVOLUÇÃO DAS PRÓTESES NO BRASIL: CARACTERÍSTICAS DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Artigo**. Rio de Janeiro: Enegep, 2008. p. 1 - 12.

Impressão 3D Fácil. **CONHEÇA OS DIFERENTES TIPOS DE MATERIAS PARA IMPRESSÃO 3D FDM**. 1 Dez 2015. Disponível em: <http://www.impressao3dfacil.com.br/conheca-os-diferentes-tipos-de-materiais-para-impressao-3d-fdm/>. Acesso em: 18 dez 2017.

JIANG, C., ZHAO, G.-F., 2015. **A preliminary study of 3D printing on rock mechanics**. Rock Mech. Rock Eng. 48, 1041–1050.

SEVENSON, Brittney. **Shanghai-based WinSun 3D Prints 6-Story Apartment Building and an Incredible Home**. 18 Jan 2015. Disponível em: <https://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/>

Simplify 3D. **Filament Properties Table**. 2018. Disponível em: <<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/?>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

TAVARES, Lucas. **Foodini: a impressora 3D de comida**. Mexido de Ideias: com sabor de café. 2014. Disponível em: <http://www.mexidodeideias.com.br/tecnicas-de-preparo/ciencia/foodini-a-impressora-3d-de-comida/>

MOHAMMED, J.S. **Applications of 3D technologies in oceanography**. Faculty of Innovative Design and Technology, Universiti Sultan Zainal Abidin. 2016.

RAFI, H., KARTHIK, N., GONG, H., STARR, T.L., STUCKER, B.E., 2013. **Microstructures and mechanical properties of Ti6Al4V parts fabricated by selective laser melting and electron beam melting**. J. Mater. Eng. Perform. 22, 3872–3883.

4. AGRADECIMENTOS

Obrigado ao meu orientador Erickson Moura por me auxiliar nessa caminhada. Esse trabalho teve apoio da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) através do projeto de pesquisa nº PROPP 00220.1300.1642.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.