

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA PROJETO E IMPRESSÃO 3D DE UMA MÃO BIÔNICA

Ana Carolina Dantas Rocha¹
José Leonardo Nery de Souza²
Agnaldo Cardozo Filho³
Teófilo José Alves⁴
Dheiver Francisco Santos⁵

Engenharia Mecatrônica



ISSN IMPRESSO 1980-1777
ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

O trabalho desenvolvido objetivou a aquisição de dados a respeito do processo de próteses impressas tridimensionais, visando o aperfeiçoamento do processo e obter por resultados o baixo custo de fabricação com alta eficácia. Foi utilizado na Metodologia o desenvolvimento da modelagem tridimensional de uma prótese por meio do software *SolidWorks*, modelagem desenvolvida pelos autores, tendo em vista dimensões reais de uma mão, sendo utilizado para a confecção, o filamento PLA cuja a resistência é a mais alta disponível no mercado, conhecido quimicamente como poliácido láctico, o PLA é representado na fórmula $(C_3H_4O_2)_n$, os resultados obtidos foram os esperados, com um material total de 250g de filamento e cerca de 9 horas de impressão, é do entendimento que esta é uma solução viável a todas as classes da sociedade.

PALAVRAS-CHAVE

Próteses Impressas. Aperfeiçoamento do Processo. Baixo Custo, Filamento PLA.

ABSTRACT

The work developed aimed at the acquisition of data regarding the process of three-dimensional printed prostheses, aiming at the improvement of the process, and obtaining by results the low cost of manufacturing with high efficacy. It was used in the methodology the development of the three-dimensional modeling of a prosthesis through the software SolidWorks, modeling developed by the authors in view of the actual dimensions of a hand, being used for the confection, the PLA filament whose Resistance is the highest available in the market, known chemically as lactic acid, the PLA is represented in the formula $(C_3H_4O_2)_n$, the results obtained were the expected, with a total material of 250g filament and about 9 hours of printing, it is of Understanding that is a viable solution to all classes of society.

KEYWORDS

Imprinted Prosthesis. Process Improvement. Low Cost. PLA Filament.

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço do tempo e o aumento do acesso à informação, o mundo globalizado necessita de novas tecnologias para a inclusão social de deficientes físicos. Entretanto, sendo um progresso de acesso às minorias (LOPES et. al., 2013; SILVA et. al., 2009) O estudo trata da aquisição de dados sobre o processo de fabricação de próteses por meio do método de impressão tridimensional, sendo uma forma inovadora e atual de fabricação de próteses com modelagem de fácil manuseio.

Logo, (SUNDFELD et. al., 2006) o protótipo foi desenvolvido pensando na acessibilidade das mais variadas classes sociais e tem por objetivo, promover novas soluções de Próteses, visando menor custo e eficácia, por meio disso realizar a integração de deficientes físico, analisando a viabilidade do mesmo, sendo visto também o lado sustentável, tendo como objetivo específico: Adaptação da prótese no corpo; Identificar o material com maior custo benefício para o usuário; Identificar as áreas de uso e integração da peça; Custo médio de fabricação da peça; Integração de deficientes na sociedade; Sendo, um modelo de prótese com um menor custo; sustentável, pois o material utilizado pode ser reciclável, no processo de reconstrução do filamento, este sendo o mesmo, PLA (representado na fórmula $(C_3H_4O_2)_n$); eficaz, por ser uma solução já explorada no mercado (BERSCH *et al.*, 2014).

O uso de próteses impressas tridimensionais já é uma prática atual, aderida por Organizações não Governamentais (ONG) e hospitais, em países de primeiro mundo, como Estados Unidos, Canadá, Alemanha, ainda é uma solução inovadora e pouco utilizada no Brasil, mostrando como a engenharia encaminha-se atrelada à medicina avançada.

A pesquisa que está sendo realizada consiste na obtenção de novos dados, comprovando também a eficácia da solução, sendo observado o material mais adequado no processo, com sua temperatura ideal, quantidade média de filamento necessário

(SILVA *et al.*, 2009) software (SolidWorks) escolhido pelos autores, sendo o mesmo, um software de modelagem tridimensional e duração média de todo o processo de fabricação; o protótipo desenvolvido possui dimensões reais de uma mão, sendo de uma mão esquerda. É notório que a pesquisa sendo realizada possui também caráter social (ARRUDA *et al.*, 2012); a publicação da pesquisa resulta no maior entendimento do público alvo, proporcionando informação às classes mais baixas, uma vez que estará disponível para todo aquele que tiver o interesse de se aprofundar sobre o assunto.

2 METODOLOGIA

No mundo atual e globalizado, é crucial o desenvolvimento tecnológico. Entretanto no meio de crises é exigida uma tecnologia mais acessível à população. Grande parte dos habitantes do Brasil pertence às classes C, D ou E, reúnem cerca de 68%. Tendo em vista esses dados, o país necessita de opções inovadoras e avançadas, mas que sejam economicamente mais módicos. Logo, a economia não é o único ponto importante para a implementação de um protótipo nos dias atuais. Um assunto que é muito abortado atualmente é a sustentabilidade. Vivemos em um mundo onde a poluição é imensa e precisamos trabalhar com materiais com uma boa vida útil e que não agrida o meio ambiente.

O foco utilizado, pensando nestes fatores, são os processamentos de próteses, com a fabricação de uma mão impressa em 3D, coletamos os dados de custo, tempo de fabricação, viabilidade, acessibilidade. As informações foram todas coletadas e fabricadas em ambiente estudantil, no Centro Universitário Tiradentes (UNIT) de alagoas. A pesquisa em si foi bem prática, produzimos uma prótese de uma mão, em referências reais o protótipo foi construído.

Para o desenho da mão utilizamos o software *SolidWorks*. Empregado por estudantes e profissionais atuantes da área para fazer ilustrações de peças em três dimensões (3D). Apesar de a internet disponibilizar vários modelos de desenho, optamos por usar a plataforma e o traçado foi feito por nós. Sendo assim, obtendo uma fonte de elementos para o projeto. Portanto, o projetista precisou ser bem cauteloso na elaboração da peça, sendo que a mesma seria utilizada em humanos para fins médicos, os seguintes cuidados eram necessários.

A fabricação foi feita em uma impressora tridimensional disponibilizada pela universidade, tendo em vista o tamanho médio da impressora, a nossa prótese precisou ser produzida em partes. Primeiro a palma da mão no sentido horizontal foi fabricada, logo em seguida os dedos, mínimo, anelar, médio e indicador foram confeccionados simultaneamente um ao lado do outro. Em seguida o dedo polegar juntamente de um eixo para fixação do mesmo, foi concebido. E por fim um eixo para fixar os outros quatro dedos.

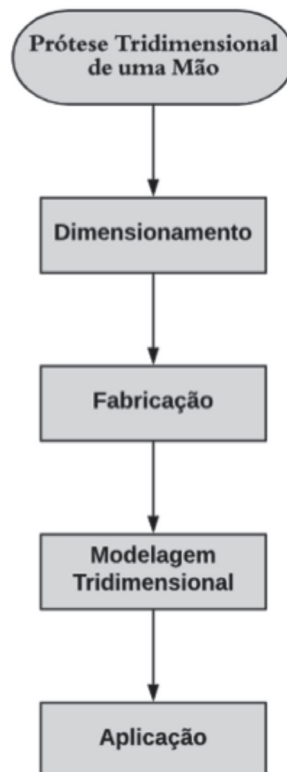
O material utilizado para personalização da prótese foi o filamento de PLA, dentre os filamentos disponíveis para impressão tridimensional, o material utilizado é o mais resistente. Conseguindo suportar cerca de 250 kg sem danificar, para a nossa escolha ele foi considerado o ideal para o protótipo, considerando que a mesma será

substituída por uma mão humana, precisa-se de uma resistência capaz de suportar o dia a dia do homem. Levando para o lado sustentável, PLA é um material plástico que quando danificado pode ser reciclado para a fabricação de uma nova mão biônica, é considerável uma boa vida útil, visando à reutilização do elemento. Conhecido quimicamente como poliácido lático, a substância é representado na fórmula $(C_3H_4O_2)_n$.

O processo de montagem da prótese ocorreu da seguinte forma: a impressora automaticamente preenchia os orifícios da anaplerose com uma base removível, para melhor qualidade da impressão. Portanto, primeiro retiramos essas bases enquanto a peça ainda estava quente, para que houvesse uma facilitação na remoção. Após esse processo, devido à margem de erro ocasionada na impressão, todas as peças precisaram ser lixadas com o auxílio de vários formatos da ferramenta lima, permitindo um acesso a toda a mão, incluindo os lugares com uma menor acessibilidade. Após o termino do lixamento as peças foram encaixadas facilmente. Todo material da mão biônica foi impresso tridimensionalmente, visando uma maior sustentabilidade, pois todas as peças possibilitam a reciclagem.

Para melhor visualização do processamento de próteses, foi necessário à criação de gráficos e tabelas para uma melhor análise do trabalho feito. Após o processo de impressão tridimensional avaliamos os dados coletados, comparamos com dados já existentes para comprovar a coerência do procedimento.

Figura 1 – Fluxograma com o passo a passo do processo de fabricação

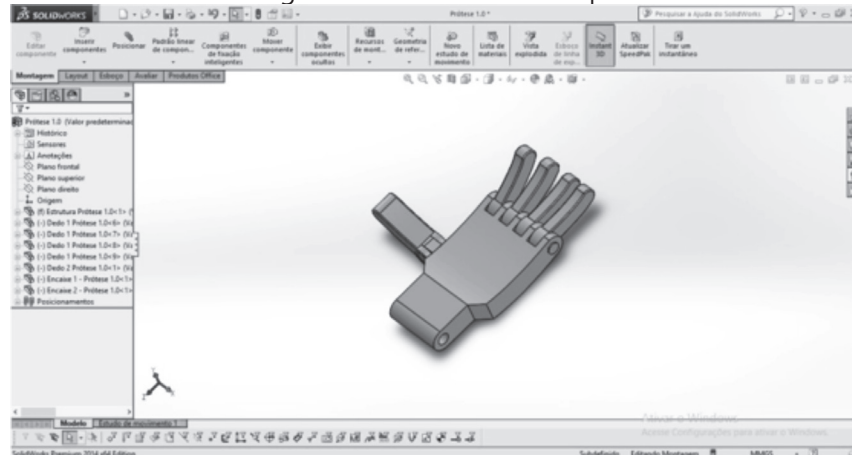


Fonte: Autoral.

3 RESULTADOS

O desenho a baixo foi traçado na ferramenta *SolidWorks* versão 2014, o software CAD 3D (Computer-Aided Design), possibilita ao projetista a desenhar, modelar, transmitir tridimensionalmente e simular a resistência dos materiais do protótipo. Esse foi o primeiro esboço da mão tridimensional biônica, possuindo algumas limitações, como a impossibilidade de certas das movimentações que o dedo humano consegue exercer.

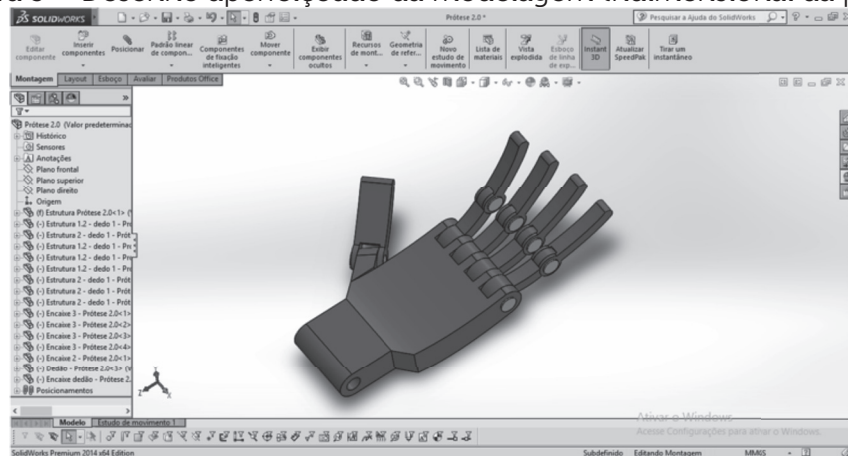
Figura 2 – Desenho da modelagem tridimensional da prótese



Fonte: Autoral.

Na Figura 3 segue a modelagem melhorada da prótese tridimensional biônica, nessa versão foi dobrada a quantidade de movimentos que os dedos conseguem exercer, a mesma é capaz de executar mais de 15 movimentos diferentes, em série ou paralelo. Sendo assim, assemelhando-se há uma mão humana.

Figura 3 – Desenho aperfeiçoado da modelagem tridimensional da prótese



Fonte: Autoral.

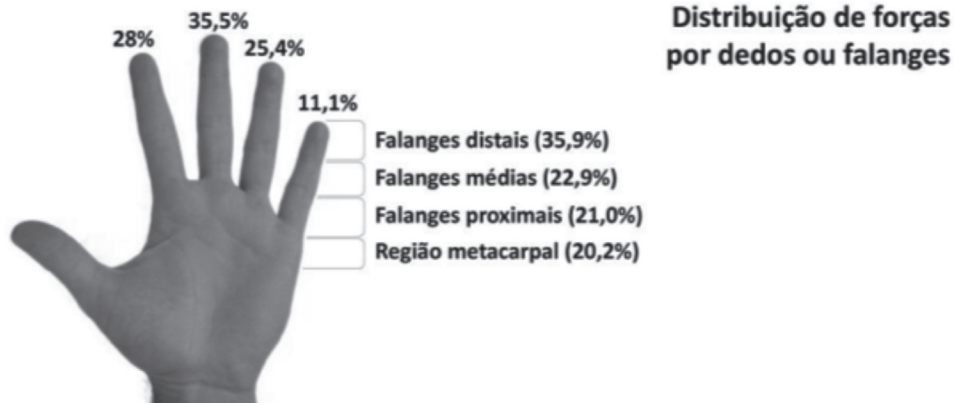
Figuras 4 – Simulação de movimento no *Software SolidWorks*



Fonte: Autoral

A Figura 4 trata de ensaios de resistência dos materiais desenvolvidos no *SolidWorks* versão 2018, as contemplações são de extrema importância, pois realizando-as nós simulamos a força aplicada necessária para a movimentação da mão. As setas determinam uma força mecânica relacionada com as três leis de Newton, de acordo com o Sistema Internacional (S.I) em Newtons(N), aplicada nos pontos indicados nas setas amarelas. Logo, antes da confecção do protótipo, após os testes feitos no *Software SolidWorks* foi descoberto a resistência do material e que o mesmo suporta 100 Kg sem ocorrer flambagem.

Figura 5 – Representação da força exercida nas falanges



Fonte: Ilustração esquemática da distribuição da força total da mão por dedos ou falanges, segundo Kong e Lowe (2005).

O Desenho acima é uma representação teórica das distribuições de forças exercidas, em cada um dos dedos da mão tridimensional biônica. Para calcular, foi necessário basear-se por meio das relações básicas do equilíbrio e podemos obter a equação necessária para calcular a força dos dedos. Na Figura acima são mostradas as forças que atuam em cada dedo. Sendo F_1 a força exercida pelo dedo indicador, F_2 é a força exercida pelo dedo médio, F_3 é a força exercida pelo dedo anelar e F_4 força exercida pelo dedo mínimo. Sendo, também, r_1 indicado na primeira falange, r_2 indicado na segunda falange, r_3 na terceira falange e r_4 a quarta falange. Notando-se que $r_1=0$.

A projeção, grande parte do nosso trabalho já se encaminha para a finalização do protótipo, cerca de 20%. Para o desenho dela, com todas as atribuições necessárias, visando à semelhança com uma mão humana e as movimentações necessárias ao ser humano, cada desenho demorou cerca de 40min para a finalização. Já a simulação durou cerca de 50min, a qual foi necessária, pois antes da fabricação de qualquer peça é aconselhável que calculemos a resistência dos materiais. Sendo assim, antecipando qualquer danificação, que poderia vir a acontecer, caso a manutenção preventiva não fosse realizada.

Entretanto, o tempo final para modelagem, foi consideravelmente bom comparado aos outros tipos de próteses comuns. Provando o primeiro ponto de prova que próteses impressas tridimensionalmente são mais viáveis, visando o tempo de produção da mesma.

Tabela 1 – Medidas segundo o Sistema Internacional (SI), da prótese

Dedo/Palma	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
Polegar	40 mm	20 mm	7,5 mm
Indicador	80 mm	10 mm	7,5 mm
Médio	80 mm	10 mm	7,5 mm
Mínimo	80 mm	10 mm	7,5 mm
Anelar	80 mm	10 mm	7,5 mm
Palma	80 mm	60 mm	20 mm

Fonte: Autoral.

As medidas baseadas no Sistema Internacional (S.I), foram discutidas para a projeção, as mesmas permaneceram nesse tamanho, visando a necessidade do ser humano, no uso diário da mão biônica.

Tabela 2 – Composição dos filamentos

	Filamento Prata Machine	Filamento Transparente
Diâmetro	1,75mm	1,75mm
Temperatura para o processamento	185°C a 195°C	185°C a 195°C
Peso	500g	500g
Valor utilizado	200g	50g

Fonte: Autoral.

A Tabela 2 relata a composição dos filamentos utilizados. Primeiro passamos o desenho para o programa da impressora tridimensional, logo fizemos os seguintes ajustes, temperatura 60° C – 180° C e 100° C na mesa de impressão. Após ajustar a temperatura foi necessário retirar o resto do filamento da impressão anterior, ajustando a impressora para despejar, ajustamos inicialmente para 10 milímetros, não sendo suficiente reajustamos para 50 milímetros. Escala utilizada foi, x=-90, y=190 e z=180. Já a velocidade inicial foi a 50, uma velocidade consideravelmente lenta, mas necessária para que a base da mão fosse feita de uma forma resistente, com o andamento da impressão a velocidade foi aumentada para 90, mantendo a mesma até o fim da fabricação. Como a prótese precisou ser dividida em quatro impressões, o mesmo procedimento foi repetido outras três vezes, totalizando um total de 9 horas de impressão.

Gráfico 1 – Tempo de impressão

Tempo de Impressão



Fonte: Autoral.

As peças das próteses precisaram ser divididas para uma qualidade melhor de impressão, primeiro foi impressa a palma com um tempo médio de 7 horas de impressão, logo após os dedos, mínimo, anelar, médio e indicador foram impressos simultaneamente um ao lado do outro, resultando em 1 hora e 33 minutos de impressão. Em seguida o dedo polegar juntamente de um eixo para fixação do mesmo foi confeccionado com 40 minutos de impressão. E por fim um eixo para fixar os outros quatro dedos foi fabricado com também 40 minutos de impressão. Resultados nas totais 9 horas para a impressão da mão inteira. Ocorreram margens de erro, e foi necessário o lixamento em todas as peças, totalizando mais 1 hora. O projeto da fabricação da prótese tridimensional de uma mão biônica durou 10 horas e 40 minutos.

Portanto, diante da pesquisa feita foram totalizados setenta e sete reais e vinte e cinco centavos para fabricação da mão, sendo setenta e cinco reais em filamento PLA, o custo do material foi coletado diretamente do fabricante, onde a Universidade Tiradentes compra seus filamentos. Entretanto, dois reais e vinte e cinco centavos de

consumo de energia, coletado da empresa de energia responsável na cidade de fabricação, Maceió. Considerando que essa prótese seria feita por uma empresa e que os mesmos pagos impostos, mão de obra, seguro de vida ao funcionário e entre outros gastos. Visando ainda um lucro justo diante de tais gastos, a prótese tridimensional poderia ser vendida por em média de quinhentos a mil reais.

Uma prótese comum, vendida no mercado hoje em dia, custa em média cem mil reais. Essa foi uma média atual vendida no comércio de próteses. É cristalino que a qualidade de uma prótese de plástico é bem inferior a uma prótese semelhante a uma pele humana. Entretanto, o protótipo visa atingir as classes inferiores que não possuem condições de pagar cem mil, mas necessitam de uma anaplerose para viver melhor. Visando também a sustentabilidade, a prótese tridimensional feita de plástico também é sustentável, sendo que a mesma quando danificada pode passar por um processo de reciclagem do filamento, o mesmo pode ser utilizado infinitas vezes, desde que seja tratado corretamente

4 CONCLUSÃO

Para finalizar, podemos concluir com o estudo, que o uso da prótese desenvolvida no software e impressa, além de inovador e revolucionário, torna-se umas das mais viáveis formas de fabricação protética, de alta durabilidade e com impressão e projeção rápida. As peças construídas são de rápida adaptação e conforto, facilitando a integração do paciente com a sociedade, tornando seu acesso melhor e mais dinâmico, levando um produto melhor produzido, mas com um menor custo.

Dentro dessa lógica, esse tipo de peça passa por processos extraordinários, onde cada um desses processos é extremamente importante para conclusão da peça e integração geral do objeto, onde sua mecânica interna deve ter total sincronia para que consiga repetir movimentos feitos pelo corpo humano. Tornando-a, não só um "acessório", mas um meio de substituição para membros perdidos, sendo também um produto sustentável a ponto de sua reciclagem possibilitar a remodelagem da peça.

REFERÊNCIAS

ABREU, S.A.C. **Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo**. 2015. 259f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015.

ARRUDA, Israel. Mão robótica para próteses humanas. **Anuário da produção de Iniciação científica discente**, Valinhos, p.355-365. nov. 2012.

BERSCH, Rita. Tecnologia assistiva ou tecnologia de reabilitação? **Reflexões Sobre Tecnologia Assistiva, Campinas, v.1, n.45, p.45-49, jun. 2014.**

CAMARGO, Lisias. **Desenvolvimento de aplicativos móveis para controle de voz**

de prótese biônica de mão confeccionada por manufatura aditiva. 2016. 62f. Dissertação (Mestrado profissional em gestão organizacional) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016.1. Disponível em: <http://ppggo.sistemasph.com.br/images/documentos/dissertacoes/2013/LISIAS_CARNEIRO_CAMARGO.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2018.

CAMPOS, Natália; GONZAGA, Márcia. **Interdisciplinaridade na cirurgia de reconstrução de calota craniana com impressora 3D.** Disponível em: <<http://conic-se-mesp2017.semesp.org.br/trabalhos/1000024273.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2018

COSTA, Iara *et al.* **Prótese eletrônica feita em impressora 3d e controlada por sinais mioelétricos.** Disponível em: <<http://sistemaolimpo.org/midias/uploads/d50fa78c050a4943819c33acc751eae4.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2018

HUNOLD, H. **Protótipo de prótese de mão robótica de lego controlada por sistema android para bi-amputado.** Disponível em: <http://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_714.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2018.

LOPES, Jeferson Andris Lima; ALMEIDA, Lucas Coelho. **Metodologia para concepção de prótese ativa de mão utilizando impressora 3D.** 2013. 68f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MAIA, Bruno Alves. **Parametrização dimensional, por modelo de regressão, de próteses de mão para crianças, confeccionadas por manufatura aditiva.** 2016. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016. 1. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6855>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

SILVA, Ana Luiza. **Desenvolvimento de um sistema para reabilitação de dedos.** 2011. 109f. Trabalho de conclusão da pós graduação (Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. 1. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14883/1/Diss%20Ana.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

SILVA, Jorge Vicente Lopes da; MAIA, Izaque Alves. Desenvolvimento de dispositivos de tecnologia assistiva utilizando impressão 3D. **Reflexões Sobre Tecnologia Assistiva**, Campinas, v.1, n.33, p.33-39, jun. 2014.

SILVA, Péricles Cabral. desenvolvimento da prótese biomecânica do joelho. **Departamento de Engenharia Mecânica, Lisboa, p.1-105. set. 2009.**

TIRLONI, Georgio; LUZ, Felipe. **Projeto e otimização de prótese transtibial polimérica de baixo custo utilizando impressão tridimensional.** Disponível em: <<https://>

www.periodicos.unifra.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/2227>. Acesso em: 8 abr. 2018

TIRLONI, Georgio Enrico; LUZ, Felipe Ferreira. Projeto e otimização de prótese trans-tibial polimérica de baixo custo utilizando impressão tridimensional. **Disciplinarum Scientia**. Santa Maria, p.342- 358, 12 maio 2017. Disponível em: <<https://www.periodicos.unifra.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/2227/2005>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

XAVIER, Ricardo. **Implementação de uma prótese ativa para membro superior de baixo custo**. 2016. 118f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016. 1. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/144525/xavier_rt_me_ilha.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 10 ago. 2018.

Data do recebimento: 21 de Junho de 2018

Data da avaliação: 15 de Julho de 2018

Data de aceite: 28 de Julho de 2018

1 Discente do curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: ana.carolina@souunit.com.br

2 Discente do curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: Jose.leonardo@souunit.com.br

3 Docente do curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: agnaldo.cardozo@souunit.com.br

4 Docente do curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: teófilo.jose@souunit.com.br

5 Docente do curso de Engenharia Mecatrônica, Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: dheiver.francisco@souunit.com.br

