

## FABRICAÇÃO DE PRÓTESE ESTÉTICA DE DEDO UTILIZANDO TECNOLOGIAS DE BAIXO CUSTO

**Sérgio Fernando Lajarin**

**Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto**

Universidade Federal do Paraná, DEMEC, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 230 - Centro Politécnico, Bloco IV, Curitiba.  
espanhol@ufpr.br, lucia.demec@ufpr.br

**Rafaela Yukari Sakai**

**José Aguiomar Foggiatto**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 - Cidade Industrial, Bloco M Curitiba.  
rafaelasakai@alunos.utfpr.edu.br, foggiatto@utfpr.edu.br

**Resumo.** As tecnologias digitais e a manufatura aditiva vêm recebendo destaque nos últimos anos por suas aplicações nas diversas áreas, mas sobretudo com grande relevância no auxílio a confecção de tecnologia assistiva, órteses e próteses relacionados a pessoas que sofreram alguma amputação ou que necessitam melhorar suas capacidades motoras. Assim este artigo tem como objetivo apresentar através de um estudo exploratório, um procedimento para fabricação de prótese estética de dedo, utilizando essas tecnologias disponíveis. Foi produzido um protótipo de prótese estética de dedo que envolveu etapas de digitalização 3D, manufatura aditiva e moldagem de silicone. Descreve-se as etapas de aquisição da anatomia da região de interesse, planejamento virtual, fabricação, pigmentação, moldagem e acabamento. Para a avaliação de adequação da órtese de dedo ao usuário, houve a necessidade de fazer uma adaptação ao questionário de avaliação B- QUEST 2.0. Os resultados apresentados demonstram, através da técnica aplicada, um alto grau de satisfação com relação aos requisitos do usuário, fidelidade de cor e forma, sendo que os requisitos menos pontuados se referem a realização de tarefas específicas, no movimento de pressão do dedo sobre uma superfície, que podem merecer atenção para futuras melhorias na parte estrutural interna do produto.

**Palavras chave:** Prótese estética. Manufatura aditiva. Impressão 3D. Digitalização 3D. Planejamento Virtual.

### 1. INTRODUÇÃO

Por mais de um século, os produtos industriais e médicos se limitavam as capacidades de fabricação dos processos tradicionais de usinagem, conformação e moldagem e muitos produtos personalizados da área médica como órteses e próteses tinham caráter artesanal e laborioso. A manufatura aditiva, tem potencial para mudar isso e viabilizar a criação de objetos sob demanda, complexos, *free-forms* e com diversas características anteriormente impensadas. A Impressão 3D ou Manufatura Aditiva (AM, do inglês: *Additive Manufacturing*) é a maior novidade na área da manufatura nas últimas três décadas (Thompson et al., 2016, Sossou et al., 2018). Ela tem como diferencial o método de fabricar por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do objeto (Volpato, 2017, pg. 16). Devido ao enorme potencial e capacidades únicas, a AM vem gradativamente sendo aplicada em diversos setores, tais como: aeroespacial, automotivo, jóias, decoração, arquitetura, médica entre outras.

Na área médica as primeiras aplicações foram em próteses personalizadas relatadas no início deste século (Curodeau et al., 2000; Hong et al., 2001; Melican et al., 2001; e Rowe et al., 2000). À medida que a tecnologia evoluía e se popularizava, as aplicações foram ampliadas para modelos anatômicos para o planejamento pré-operatório (Sodian et al., 2008 e Bruyère et al., 2008), órteses (Jin et al., 2015, Lajarin et al., 2020), dispositivos médicos (Zhang; Jung, 2018), implantes (Martorelli et al., 2016) e a chamada bioimpressão 3D vem abrindo portas para produção órgãos (Zhang et al., 2019).

A área da saúde, é um dos setores que mais carecem de inovações e soluções tecnológicas, e cada vez mais urgentes. Grandes são os desafios, as demandas e as desigualdades nesse setor. Na área médica existem muitas soluções eficazes, mas que envolvem tecnologias de alto custo, tornando-se estas inacessíveis a uma parcela da população, como exemplo, pode-se citar alguns implantes, próteses e órteses. Por outro lado, existem soluções que são muito laboriosas e demandam de técnicas artesanais e artísticas para a fabricação, como é o caso de próteses estéticas para tratamento de pessoas amputadas ou com deformidades congênitas. As técnicas convencionais de fabricação dessas próteses não se utilizam de tecnologias modernas, elas dependem muito da habilidade artística, da precisão no planejamento, da técnica adequada de moldagem e da escolha dos materiais que melhor se adaptam às circunstâncias. Além de tudo isso, existe um desafio adicional de garantir a estabilidade e retenção da prótese no paciente.

O fator estético é extremamente importante no tratamento das limitações funcionais e psicossociais em indivíduos amputados. Amputações completa ou parcial de dedo são algumas das formas mais frequentes de perda parcial da mão (Raghu et al., 2013). Qualquer comprometimento na mão - uma das partes mais expostas do corpo - afeta o bem-estar psicológico, mesmo que não cause redução da função. Cada vez mais na sociedade o valor atribuído à beleza afeta negativamente as pessoas com qualquer tipo de alteração morfológica que lhe cause alguma deformidade (Foucault, 1999). A mão humana dá ênfase à expressão de movimentos e gestos. É a primeira representação da autoimagem que cada um projeta e que é percebida pelos outros (Pillet; Pillet, 2001). Ela é um órgão muito importante, pois é capaz de realizar movimentos de preensão de manejo fino, grosseiro e de força, mas também tem a capacidade de obter informações táteis de objetos como temperatura, força, vibração e umidade. E a falta de um dos dedos, já impossibilita ou reduz alguns movimentos. A contribuição de prótese passiva de dedo de indicador, por exemplo já consegue promover, além da satisfação estética, o movimento de preensão com pinça grossa, permitindo ao sujeito agarrar e segurar objetos pequenos. (Silva et al., 2012). Uma prótese é denominada passiva ou estética quando esta não contém estruturas para a sua movimentação, serve apenas para compor a forma original do membro amputado ou inexistente.

Pillet e Pillet (2001) acompanharam durante 4 anos, 2.847 pacientes adaptados com próteses estéticas de membros superiores e observaram que, com o passar do tempo, alguns pacientes continuam dependendo das próteses, outros usam seletivamente, enquanto outros as abandonam. Para uma boa adaptação ao paciente a prótese estética deve ter duas qualidades: passar despercebida e ser suficientemente confortável para ser usada e esquecida. A retenção/fixação da prótese no coto também é um fator importante para aumentar o conforto e o desempenho de uma prótese.

Existem na literatura diversos trabalhos relacionados a fabricação de próteses estéticas de dedo, alguns exemplos são apresentados por Raghu *et al.* (2013), Arazpour *et al.* (2012) e Shanmuganathan *et al.* (2011) e os resultados podem ser vistos na Fig.1. Todos eles descrevem um procedimento convencional que pode ser resumido nas seguintes etapas: (1) Molde em gesso do coto e do dedo saudável da mão oposta, (2) Réplica positiva do coto (gesso ou similar) e do dedo saudável (geralmente em cera), (3) Fabricação do molde, (4) Pigmentação, preparação e moldagem do silicone, (5) Cura e acabamento.



Figura 1. Exemplos de próteses estéticas fabricadas por meios convencionais. Fonte: Na imagem.

As novas tecnologias disponíveis e de baixo custo como é o caso das impressoras 3D de extrusão de material, escâneres 3D portáteis e digitalização a partir de fotos, se tornam cada vez mais acessíveis e seu uso no processo de fabricação de próteses estéticas pode aumentar a qualidade, rapidez e capacidade de fabricação, e permitir que mais pacientes tenham acesso a uma prótese estética. A digitalização 3D da anatomia do paciente permite o planejamento virtual que pode otimizar a interface com a anatomia restante, melhorar o aspecto estético, facilitar o projeto de retenção das próteses e consequentemente, reduzir o abandono do uso. O estado da arte sobre a obtenção da anatomia de pacientes amputados ou com deformidades congênitas relata a moldagem negativa da região de interesse em gesso ou similar e posterior réplica positiva em material odontológico usado para moldagem (Brown, 1971). Outra opção também recorrente, mais frequentemente aplicada para obter a geometria de órgãos e partes internas ao corpo é a Tomografia Computadorizada (TC) ou Ressonância Magnética (RM). Ela gera arquivos de imagem bidimensionais na extensão DICOM (do inglês: *Digital Imaging and Communications in Medicine*) que, posteriormente, são utilizados para a criação da superfície 3D em sistemas computacionais dedicados. Com a popularização da Manufatura Aditiva de baixo custo surgiu a opção de usar modelos biológicos genéricos tridimensionais de repositórios online como o NIH 3Dprint, Embodi3d e outros. Porém, quando o interesse é uma prótese ou órtese personalizada a tecnologia que vem ganhando espaço é a Digitalização 3D e um exemplo de aplicação pode ser visto em Rosenmann (2017) no escaneamento de moldes de gesso de membros inferiores.

Diante desse cenário onde os procedimentos convencionais ainda são empregados e tecnologias inovadoras e de baixo custo se mostram tão promissoras, o objetivo deste trabalho é apresentar um procedimento para fabricação de prótese estética de dedo, utilizando essas tecnologias.

## 2. DESENVOLVIMENTO

O procedimento metodológico empregado na fabricação de próteses estéticas de dedo envolve etapas de Digitalização 3D, AM e Moldagem de silicone. O trabalho tem caráter experimental de natureza aplicada, com integração interdisciplinar destinada à área médica, em especial à Tecnologia Assistiva (TA).

Com o objetivo de aplicar tecnologias modernas e de baixo custo em contrapartida as técnicas convencionais, na Figura 2 é apresentado um fluxo de trabalho para a fabricação de prótese estética de dedo, e que pode ser adaptada para outros membros. O procedimento é subdividido em três etapas principais, são elas: (1) Aquisição da anatomia, (2) Planejamento virtual e (3) Fabricação.

A prótese é personalizada à um paciente do sexo masculino com 62 anos de idade que perdeu a falange distal do dedo médio da mão esquerda (Figura 3) em um acidente doméstico. Após a recuperação física e aparente aceitação psicológica (processo de luto natural) a principal limitação relatada pelo paciente é na atividade de tocar violão. O paciente é exímio violonista e praticava regularmente o seu instrumento. Depois da perda do dedo ele tem tentado, sem sucesso, inverter o instrumento para usar a outra mão ou adaptando as notas com os outros dedos.

Aplicando conceitos de projeto informacional da metodologia de projeto proposta por Rozenfeld *et al.* (2006), foi realizada uma entrevista para levantamento das necessidades do cliente/paciente e determinação dos requisitos do produto. Os requisitos identificados do paciente do produto e uma possível forma de avaliar aparece na Tabela 1.

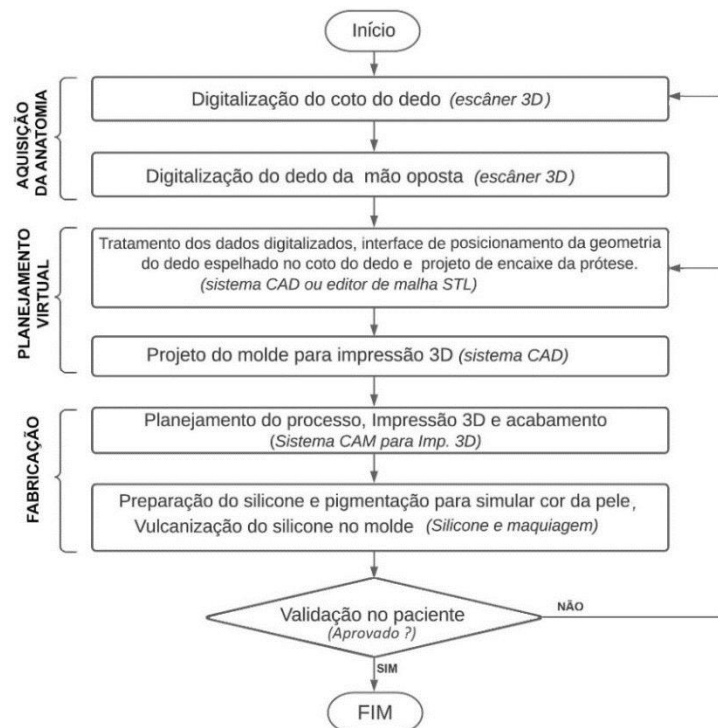


Figura 2. Fluxograma do procedimento proposto para fabricação de prótese estética de dedo. (Fonte: Autor)

Tabela 1. Requisitos do cliente/paciente e do produto/prótese.

| Requisitos do Cliente/Paciente | Requisitos do produto                       | Parâmetro / Unidade de avaliação |
|--------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|
| Chamar pouca atenção           | Coloração e detalhes anatômicos compatíveis | Atende?                          |
| Permanecer no dedo             | Sistema de retenção                         | Retém?                           |
| Permitir tocar violão          | Dureza                                      | Shore A                          |



Figura 3. Mãos do paciente revelando a amputação na falange distal da mão esquerda, em (a) dorso em (b) palma;

## 2.1 Aquisição da anatomia da região de interesse

O ponto de partida para a confecção de próteses é a obtenção da superfície anatômica do paciente. Neste trabalho, essa etapa foi realizada em duas partes, de forma a inserir ao procedimento convencional, novas tecnologias.

Inicialmente foi feita a moldagem em alginato do coto e do dedo saudável da mão oposta (Fig. 4). Foi utilizado o Alginato Tipo II que foi preparado com adição de água até atingir a consistência ideal para a moldagem. Os dedos foram posicionados dentro do recipiente com a mistura, e após aproximadamente 10min de espera de secagem o paciente retirou lentamente os dedos originando o molde negativo. Em seguida foi preparado o gesso comum Tipo II e derramado cuidadosamente no interior do molde. Após a secagem completa de aproximadamente 1h, o alginato foi cortado e as réplicas de gesso desmoldadas.

Posteriormente, as réplicas foram digitalizadas por meio de um escâner fixo da *Matter and Form* onde o objeto fica posicionado em uma base giratória. Ele possui precisão da digitalização de  $\pm 0,1$  mm, volume de escaneamento de 25 cm (altura) x 18 cm (diâmetro) e peso de 3,0 kg. Possui sensor HD CMOS e 2 lasers seguros para os olhos Classe 1. Esse tipo de escâner tem como vantagem em relação a maioria dos equipamentos portáteis a maior precisão na captura da superfície. Após testes preliminares, foi atendida uma orientação do fabricante do escâner, e as réplicas foram coloridas em azul para melhorar a captura da geometria. Os parâmetros do software do equipamento foram testados e as configurações máximas de qualidade e resolução foram utilizadas.



Figura 4. Fluxo de trabalho para moldagem da réplica da anatomia do paciente. (Fonte: Autor)

## 2.2 Planejamento virtual

Após a etapa de digitalização por escaneamento 3D, um arquivo na extensão STL (do Inglês: *STereoLithography*) foi gerado e exportado para o *software* Open Source Meshmixer da Autodesk para limpeza de “ruídos” - que são regiões desconectadas, incompletas, resultantes do processo de digitalização. As geometrias do coto e do dedo da mão oposta foram usadas para a geração das partes do molde – macho e fêmea (Figura 5). A geometria do dedo da mão oposta foi espelhada e os detalhes da unha e dobras da pele foram realçadas usando a ferramenta de esculpir. Essa geometria foi posicionada sobre a geometria do coto, uma região de interface entre ambas foi definida e as geometrias foram unidas, reconstruindo a geometria faltante. Essa geometria foi subtraída de um bloco de 35 x 30 x 50mm formando a cavidade fêmea do molde.

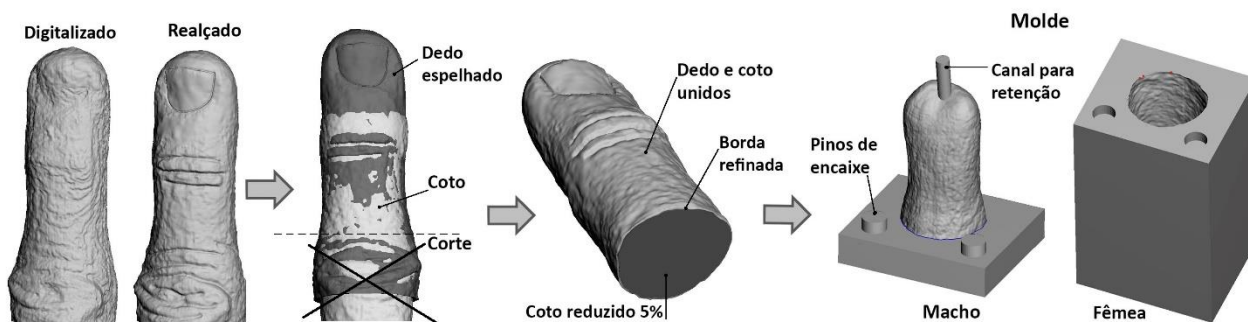


Figura 5. Planejamento virtual da prótese e modelagem do molde. (Fonte: Autor)

Para a modelagem do macho do molde foi usada a geometria do coto. Baseado no trabalho de Leow e Pho (2001), foi aplicada da geometria do coto uma redução na circunferência de 5% com o objetivo de melhorar a fixação e garantir um bom ajuste protético. A região da borda da prótese foi afinada com o objetivo de suavizar a interface de transição com o coto. Além disso, foi aplicada a técnica de retenção da prótese apresentada por Arazpour *et al.* (2012) que consiste em criar um canal interno de forma a criar vácuo na ponta do coto. Para garantir o posicionamento e bom fechamento do molde, foram modelados dois pinos de encaixe.

## 2.3 Fabricação

### 2.3.1 Impressão 3D do molde

Após a geração das partes do molde na extensão STL, o planejamento do processo de impressão 3D foi feito no *software* Simplify3D. Os parâmetros do processo são apresentados na Tabela 2. As peças foram posicionadas de forma que nenhuma estrutura de suporte fosse necessária. Foi utilizado na fabricação o filamento do polímero poliácido láctico (PLA) e uma impressora de extrusão de material da marca Creality CR10 V2 com volume de impressão de 30 cm x 30 cm x 40 cm (largura, comprimento e altura). Após a impressão das duas partes do molde, eles passaram por uma operação de pós-processamento que inclui descolamento da plataforma de impressão e limpeza de rebarbas para garantir um perfeito fechamento do molde.

Tabela 2. Parâmetros do processo definidos para impressão das duas partes do molde.

| Parâmetro                        | Valor   | Parâmetro                    | Valor          |
|----------------------------------|---------|------------------------------|----------------|
| Altura da camada                 | 0,05 mm | Altura da 1ª camada          | 100%           |
| Temperatura de impressão         | 205°C   | Largura da 1ª camada         | 120%           |
| Temperatura da plataforma        | 50°C    | Temperatura da 1ª camada     | 210°C          |
| Veloc. de extrusão na 1ª camada  | 25 mm/s | Direção impres. de contornos | Dentro-fora    |
| Veloc. de extrusão contornos     | 30 mm/s | Padrão de preenchimento      | Linear Cruzado |
| Veloc. de extrusão preenchimento | 42 mm/s | Distância de retração        | 4 mm           |
| Contornos sólidos na parede      | 3       | Velocidade de retração       | 30 mm/s        |
| Camadas sólidas no piso          | 3       | Diâmetro do filamento        | 1,75 mm        |
| Camadas sólidas no teto          | 4       | Sobreposição nos contornos   | 50%            |
| % de preenchimento               | 10%     | Tempo de impressão           | 8 horas        |
| Utilização de ventilador         | 100%    | Massa do material            | 30g            |

### 2.3.2 Pigmentação, moldagem e acabamento

Segundo Raghu *et al.* (2013) os materiais disponíveis para próteses buco-maxilo-faciais são resina acrílica, copolímeros acrílicos, copolímeros de cloreto de polivinila, polietileno clorado, elastômeros de poliuretano, etc. Os materiais comumente usados incluem silicones de grau médico, polimetilacrílicos, etc. O silicone é o material comumente usado e preferido para imitar as estruturas do tecido e a consistência para uma aparência e percepção realista. Os silicones são cadeias poliméricas sintéticas em que os átomos de silicone se ligam a grupos orgânicos, normalmente grupos metil. Eles são classificados em quatro grupos de acordo com suas aplicações: (Classe I) Grau de implante, que exige certificação, (Classe II) Classe médica, que é aprovada para uso externo (Classe III), Grau limpo e (Classe IV) Classe de aplicação industrial. Neste trabalho foi utilizado silicone da marca Dragon Skin 10. Duas partes A+B do silicone líquido foram misturadas juntamente com pó de maquiagem marrom médio. A mistura foi colocada na cavidade fêmea, o coto foi posicionado e o molde fechado ficou secando por um dia em temperatura ambiente.

## 2.4 Avaliação

Por possuir requisitos de produto não mensuráveis e de avaliação subjetiva, o sistema de avaliação escolhido foi da aplicação do questionário B-QUEST 2.0 proposto por Demers, Weiss e Ska (2002) e traduzido para o português por Carvalho, Goes Junior e Sá (2014). Foi considerado como elemento relevante para a avaliação de uso o requisito estabelecido pelo usuário de que a prótese deveria ser discreta e não chamar a atenção, ser similar a cor e ao aspecto do tecido cutâneo. Sendo então este requisito adicionado ao questionário B-QUEST 2.0 de avaliação de produto de Tecnologia Assistiva.

## 3. RESULTADOS

O procedimento proposto neste trabalho para fabricação de prótese estética empregou tecnologias de baixo custo nas suas diversas etapas. A digitalização 3D das réplicas em gesso permitiu o posterior planejamento virtual no *software* Meshmixer. Esse planejamento permitiu a união do coto com a região faltante obtida pelo espelhamento do dedo da mão oposta. Além disso, a interface e o ajuste para retenção da prótese no coto puderam ser definidas. A manufatura aditiva utilizada como processo de fabricação do molde é uma alternativa de baixo custo com capacidade de fabricação de formas complexas e com detalhes pequenos. Isso pode ser observado nos detalhes da unha e dobras da pele que foram impressas

no molde e posteriormente transferidas para a prótese de silicone (Figura 6). A capacidade de reprodução de detalhes no molde e o ótimo acabamento superficial – sem marcas visíveis do efeito “degrau de escada” – foram conseguidos graças a definição adequada dos parâmetros do processo. Na etapa de moldagem com silicone ocorreu a formação de pequenas bolhas de ar que ficaram visíveis na região da unha (Figura 6c).

A Figura 7 apresenta o resultado da prótese estética vestida no coto do dedo do paciente. A prótese foi analisada quanto a retenção, realizando movimentos de puxar e rotacionar no coto. Na sequência o paciente realizou uma avaliação funcional tentando tocar o seu instrumento, simulando os movimentos de posição de nota no braço do violão. Ao final, o paciente respondeu o questionário B-QUEST e o resultado pode ser visto na Tabela 3.

O questionário B-QUEST 2.0 contém doze perguntas sobre o grau de satisfação com a prótese e os serviços relacionados. As respostas são dadas em uma escala de 1 a 5, onde: 1-Insatisfeito, 2-Pouco satisfeito, 3-Mais ou menos satisfeito, 4-Bastante satisfeito e 5-Totalmente satisfeito. Como já mencionado antes, a pergunta sobre a discrição da prótese e ela passa despercebida, foi adicionada ao questionário de forma a avaliar completamente os requisitos iniciais do paciente.

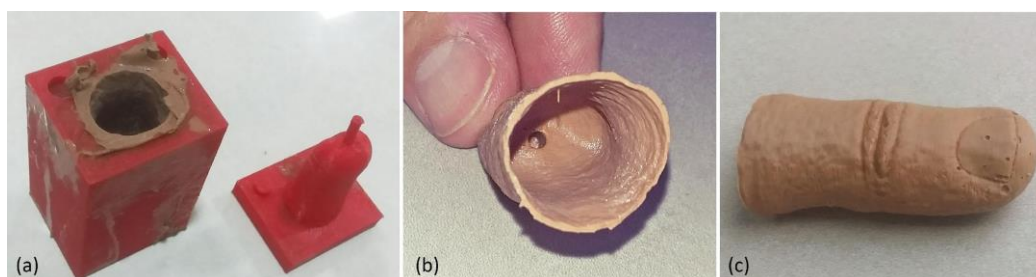


Figura 6. Resultado da moldagem, em (a) molde aberto, em (b) superfície interna, em (c) superfície externa da prótese.

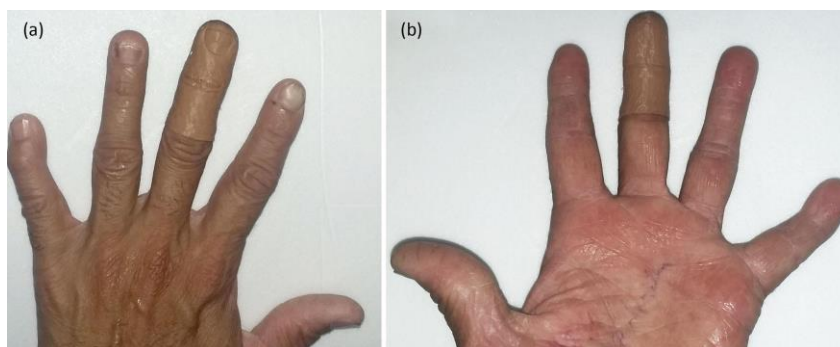


Figura 7. Resultado da prótese vestida no paciente, em (a) dorso em (b) palma;

Tabela 3. Resultado das perguntas sobre o grau de satisfação do questionário adaptado B-QUEST e atendimento dos requisitos do paciente.

| Nº | Qual é o seu grau de satisfação com:                                                                | Resposta | Comentários:                                                                                               |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | As dimensões (tamanho, altura, comprimento, largura) da prótese?                                    | 5        |                                                                                                            |
| 2  | O peso da prótese?                                                                                  | 5        |                                                                                                            |
| 3  | A facilidade de ajustar (reter) a prótese?                                                          | 5        |                                                                                                            |
| 4  | A estabilidade e a segurança da prótese?                                                            | 5        |                                                                                                            |
| 5  | A durabilidade (força e resistência ao desgaste) da prótese?                                        | 4        | O material demonstrou fragilidade ao ser puxado e desgaste na superfície externa.                          |
| 6  | A facilidade de uso da prótese?                                                                     | 5        |                                                                                                            |
| 7  | O conforto da prótese?                                                                              | 5        |                                                                                                            |
| 8  | A eficácia da prótese (o quanto seu recurso atende às suas necessidades)?                           | 2        | Prótese muito flexível se deformou ao pressionar as cordas do violão. Não atendeu este requisito.          |
| 9  | O processo de entrega (procedimentos, tempo de espera) pelo qual obteve a prótese?                  | 5        |                                                                                                            |
| 10 | Reparos e a assistência técnica (manutenção) prestados para a prótese?                              | 5        |                                                                                                            |
| 11 | A qualidade dos serviços profissionais (informações, atenção) que você recebeu pelo uso da prótese? | 5        |                                                                                                            |
| 12 | Os serviços de acompanhamento (serviços de suporte contínuos) recebidos para a prótese?             | 5        |                                                                                                            |
| 13 | A prótese é discreta e passa despercebida?                                                          | 4        | A cor difere levemente da cor da pele do paciente e não representa com fidelidade a variação real da pele. |

A partir do resultado obtido no questionário adaptado B- QUEST 2.0, observou-se que a prótese fabricada neste trabalho foi avaliada com grau de satisfação máxima em dez dos treze itens avaliados. Outros dois itens foram avaliados como 4-Bastante satisfeitos e o item 8 foi avaliado como 2- Pouco satisfeito.

Entre os itens avaliados com grau de satisfação máxima se destacam as dimensões e formato compatível da prótese e a facilidade e eficiência no seu ajuste e retenção no coto, validando o procedimento empregado na fase de planejamento virtual. O item 5, referente a durabilidade e desgaste pode ser melhorado substituindo o silicone de dureza Shore A10 por outro de qualidade e dureza maior. Essa mesma alteração pode melhorar o resultado da aplicação da prótese em tocar violão – item 8 do questionário. Além disso, existem outras alternativas que podem ser avaliadas em trabalhos futuros, tais como: substituir o silicone por resinas acrílicas ou poliuretano, ou introduzir uma alma rígida dentro da prótese de silicone.

O resultado da avaliação do item 13, referente a prótese ser discreta e não chamar a atenção, pode ser melhorado por meio de testes preliminares de coloração ou pigmentação intrínseca conforme revisado por Goiato *et al.* (2008).

O procedimento de fabricação de prótese de dedo proposto, usando tecnologias de baixo custo permitiu a fabricação de um produto com custo em torno de R\$ 30,00, incluindo 30g de filamento de PLA, 10 ml de silicone e maquiagem. Os custos de equipamento, energia elétrica e mão de obra não foram contabilizados.

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho investigou um procedimento de fabricação de próteses de dedo usando tecnologias modernas e de baixo custo e analisou os resultados funcionais e a satisfação do paciente.

A digitalização das réplicas anatômicas em gesso por meio do escaneamento 3D e posterior etapa de planejamento virtual se mostraram muito eficazes na obtenção da geometria e projeto da interface entre coto e prótese. Isso resultou em uma prótese com dimensão, formato, interface e retenção adequada. A manufatura aditiva empregada na fabricação do molde demonstrou seu enorme potencial de fabricar formas complexas, de forma rápida e com baixo custo. Além disso, os parâmetros de processo definidos na fabricação do molde, garantiram a definição de detalhes pequenos e acabamento superficial sem o efeito “degrau de escada” visível na prótese.

A avaliação da prótese por meio do questionário adaptado B-QUEST 2.0 apresentou grau de satisfação máxima em dez dos treze itens avaliados. Outros dois itens foram avaliados como 4-Bastante satisfeitos e um foi avaliado como 2-Pouco satisfeito. Entretanto, apesar do excelente resultado da avaliação os requisitos do cliente/paciente foram parcialmente atendidos. A discríção da prótese foi bem avaliada pelo paciente, a retenção no coto foi totalmente satisfeita, porém a funcionalidade em tocar violão não foi atendida. Isso requer novos estudos com objetivo de aumentar a dureza da prótese e consequentemente atender esse requisito.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Arazpour M., et al., 2012. “Design and fabrication of a finger prosthesis based on a new method of suspension, Prosthetics and Orthotics International”. 37(4) 332–335.
- Brasil, INSS, 2017. Manual sobre Prescrição de Órteses, Próteses Ortopédicas não Implantáveis e Meios Auxiliares de Locomoção. – Brasília. Acesso em <https://extra268.files.wordpress.com/2017/10/rs611presinssmanual1.pdf>, em 10 fev. 2021.
- Brown K.E., 1971. “Fabrication of a nose prosthesis”, Naval Hospital, Great Lakes, Ill. J. Prosthet. Dent.
- Bruyère F., et al., 2008. “Rapid Prototyping Model for Percutaneous Nephrolithotomy Training, Journal of Endourology”. Vol. 22, N. 1.
- Carvalho, K.E.C., Goes Junior, M.B., SA, K.N., 2014. “Tradução e validação do Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0) para o idioma português do Brasil”. Rev. Bras. Reumatol., vol.54, n.4, pp.260-267.
- Curodeau A., Sachs E., Caldarise S., 2000. “Design and fabrication of cast orthopedic implants with freeform surface textures from 3-D printed ceramic shell”. J Biomed Mater Res, 53:525–535.
- Demers, L., WEISS, R., SKA, B., 2002. “The Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0): An overview and recent progress”. J Tech Disab. 14:101-105.
- Foucalt M., 1999. Les Anormaux. Se Âminaire au Colle Âge de France, Paris.
- Goiato M.C., Murakawa A.C., Mancuso D.N., 2008. “Pigmentação de próteses bucomaxilofaciais”, Revista Odonto, N. 31.
- Hong S.B., Eliaz N., Leisk G.G., et al., 2001. “A new Ti-5Ag alloy for customized prostheses by three-dimensional printing (3DP)”. J Dent Res, 80:860–863.
- Jin YU-AN et al., 2015. “Additive Manufacturing of Custom Orthoses and Prostheses – A Review”, Procedia CIRP 36, 199 – 204.
- Lajarin, S. F, Okimoto, M.L.L.R, Molina, M., 2021. “Órtese de baixo custo para tratamento de crianças com pés tortos”, Anais do 2º Congresso Brasileiro de Tecnologia Assistiva (CTBA), Caxias do Sul, 2021. (Em processo).
- Leow M.E., Pho RW., 2001. “Optimal circumference reduction of finger models for good prosthetic fit of a thimble-type prosthesis for distal finger amputations”. J. Rehabil Res Dev; 38:273–9.

- Martorelli M. et al., 2016. "Design and Analysis of 3D Customized Models of a Human Mandible", *Procedia CIRP* 49 199 – 202.
- Melican M.C., et al., 2001. "Three-dimensional printing and porous metallic surfaces: a new orthopedic application". *J Biomed Mater Res*, 55:194–202.
- Pillet J. e Pillet A.D., 2001. "Aesthetic Hand Prosthesis: Gadget or Therapy? Presentation of a new Classification", *Journal of Hand Surgery (British and European Volume)*, 26B: 6: 523-528.
- Raghu K.M, et al., 2013. *BMJ Case Rep*. doi:10.1136/bcr-2013-010385.
- Rosemann, G. C., 2017. "Avaliação de Sistemas de digitalização 3D de baixo custo aplicados ao desenvolvimento de órteses por Manufatura Aditiva". Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Rowe C.W., et al., 2000. "Multimechanism oral dosage forms fabricated by three-dimensional printing". *J Control Release*, 66:11–17.
- Rozenfeld, H.; Forcellini, F. A.; Amaral, D. C., 2006. "Gestão de Desenvolvimento de Produtos". 1 ed. São Paulo: Saraiva Editora.
- Shanmuganathan N. et al., 2011. *J. Indian Prosthodont Soc*, 11(4):232–23. DOI 10.1007/s13191-011-0074-9.
- Silva, A.F.C., Souto, C.R., Araújo, C.J., Silva, S.A., Emiliavaca, A., 2012. "Dedo biométrico artificial acionado por liga com memória de forma". In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ÓRGÃOS ARTIFICIAIS E BIOMATERIAIS, Natal.
- Sodian, R. et al., 2008. Three-Dimensional Printing Creates Models for Surgical Planning of Aortic Valve Replacement After Previous Coronary Bypass Grafting, *The Society of Thoracic Surgeons*, 85:2105–9.
- Sossou, G. et al., 2018. "An additive manufacturing-oriented design approach to mechanical assemblies". *J. of Comp. Des. and Eng.*, Vol. 5, pp. 3–18.
- Thompson, M.K. et al., 2016. Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 65, pp. 737–760.
- Volpato, N., 2017. "Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D". São Paulo: Edgar Blücher, pp. 98-127.
- Zhang B. et al., 2019. "3D Bioprinting: A Novel Avenue for Manufacturing Tissues and Organs, Engineering", Vol. 5, pp. 777–794.
- Zhang J., Jung Y-G., 2018. "Additive manufacturing for biofabricated medical device applications". *Additive Manufacturing, Materials, Processes, Quantifications and Applications*, 311-344.

## 5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

# MANUFACTURE OF AESTHETIC FINGER PROSTHESIS USING LOW-COST TECHNOLOGIES

**Sérgio Fernando Lajarin**

**Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto**

Universidade Federal do Paraná, DEMEC, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 230 - Centro Politécnico, Bloco IV, Curitiba.  
espanhol@ufpr.br, lucia.demec@ufpr.br

**Rafaela Yukari Sakai**

**José Aguiomar Foggiatto**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 - Cidade Industrial, Bloco M Curitiba.  
rafaelasakai@alunos.utfpr.edu.br, foggiatto@utfpr.edu.br

**Abstract.** Digital technologies and additive manufacturing have received prominence in recent years for their applications in different areas, but above all with great relevance in assisting the making of assistive technology, orthoses and prostheses related to people who have suffered some amputation or who need to improve their motor skills. Thus, this article aims to present, through an exploratory study, a procedure for the manufacture of aesthetic finger prostheses, using these available technologies. A prototype of a prosthetic finger was produced, which involved 3D scanning, additive manufacturing and silicone molding steps. The stages of acquisition of the anatomy of the region of interest, virtual planning, manufacturing, pigmentation, molding and finishing are described. To assess the adequacy of the finger orthosis to the user, there was a need to adapt it to the B-QUEST 2.0 evaluation questionnaire. The results presented demonstrate, through the applied technique, a high degree of satisfaction with the user's requirements, color and shape fidelity, and the less punctuated requirements refer to the performance of specific tasks, in the movement of finger pressure on a surface, which may deserve attention for future improvements in the internal structural part of the product.

**Keywords:** Aesthetic prosthesis, Additive manufacturing, 3D printing, 3D scanning, Virtual Planning.

## RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.