

DESENVOLVIMENTO DE PRÓTESES E DISPOSITIVOS ASSISTIVOS DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D

Modalidade: Artigo Completo

Marco Aurélio da Silva Beserra;
Vander Fabio Silveira;

* marcobeserra353@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de prótese de mão de baixo custo utilizando impressão 3D, no contexto de um projeto de Iniciação Científica. Fundamentado em estudos sobre tecnologia assistiva, fabricação aditiva e desenvolvimento de próteses personalizadas, o estudo considera o potencial da impressão 3D para a produção de dispositivos adaptáveis e acessíveis. A metodologia compreendeu levantamento bibliográfico, análise de modelos existentes, definição de dimensões de referência a partir da mão do pesquisador, modelagem tridimensional no software Blender e fabricação das peças utilizando uma impressora Bambu Lab P2S, filamento PLA e preparação dos arquivos no Bambu Studio. Foram produzidas as peças destinadas à montagem do protótipo, com consumo total de 288,12 g de filamento. Na avaliação inicial, foi necessário realizar lixamento em algumas regiões para remover resíduos provenientes dos suportes de impressão. Também foram realizados testes individuais nos dedos com fios de nylon para verificar o funcionamento das articulações. Os resultados são parciais, pois a montagem completa ainda não foi concluída, impossibilitando a avaliação integrada do mecanismo de acionamento e da resistência mecânica do conjunto. As próximas etapas incluem a conclusão da montagem e a realização de testes funcionais e mecânicos.

Palavras-chave: tecnologia assistiva; prótese de mão; impressão 3D; baixo custo; prototipagem.

1 INTRODUÇÃO

O acesso a próteses e dispositivos de tecnologia assistiva representa um aspecto importante para a promoção da autonomia, da funcionalidade e da inclusão social de pessoas com deficiência. No Brasil, entre 2013 e 2023, foram registrados 631.966 procedimentos hospitalares de amputação de membros superiores e inferiores, conforme estudo baseado em dados do Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIH/SUS). Esse número contempla diferentes tipos de amputação e não corresponde exclusivamente às amputações de mão ou de membros superiores (BARROS; COSTA, 2024). Nesse cenário, o desenvolvimento de soluções assistivas acessíveis constitui uma possibilidade de investigação científica e tecnológica.

Um dos desafios relacionados às próteses de mão é o custo de aquisição. Em publicação institucional, a Universidade Federal de Minas Gerais informou valores entre aproximadamente R\$ 1.300 e R\$ 5.800 para próteses convencionais, enquanto uma alternativa desenvolvida em pesquisa acadêmica por impressão 3D teve seu custo estimado em R\$ 250 (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2021). Em outro estudo, publicado em 2025, foi estimado um custo aproximado de R\$ 300 para uma prótese de mão fabricada por manufatura aditiva, em comparação

com valores entre R\$ 1.500 e R\$ 5.790 para próteses mecânicas convencionais passivas e ativas (ROMERO et al., 2025). Esses valores demonstram o potencial econômico de determinadas soluções impressas em 3D, mas devem ser interpretados considerando as diferenças entre projetos, materiais, componentes e critérios de cálculo. Além disso, o custo do material não representa necessariamente o custo total de fabricação, que pode incluir equipamentos, energia, montagem, desenvolvimento e ajustes.

A impressão 3D permite produzir peças a partir de modelos digitais e realizar modificações geométricas durante o desenvolvimento de um dispositivo. No campo das próteses de membros superiores, essa tecnologia tem sido investigada como alternativa para a fabricação de estruturas personalizadas. Entretanto, a literatura também aponta limitações relacionadas à resistência, à durabilidade, à funcionalidade e à avaliação clínica desses dispositivos, não sendo possível presumir que uma prótese impressa seja automaticamente mais econômica ou equivalente a uma prótese comercial (TEN KATE; SMIT; BREEDVELD, 2017). Entre as alternativas de projeto estão as próteses mecânicas acionadas por movimentos do corpo, nas quais a transmissão de força por cabos ou fios permite movimentar os dedos sem a utilização de motores ou componentes eletrônicos.

Diante desse contexto, estabelece-se a seguinte questão de pesquisa: como desenvolver um protótipo experimental de prótese de mão para adultos, utilizando impressão 3D e um mecanismo de acionamento exclusivamente mecânico, que permita a movimentação articulada dos dedos?

A realização deste estudo justifica-se pela possibilidade de investigar a aplicação da fabricação digital no desenvolvimento de uma solução experimental de tecnologia assistiva, integrando modelagem tridimensional, fabricação de componentes e análise de mecanismos. A utilização de um sistema mecânico sem componentes eletrônicos permite explorar uma alternativa de acionamento baseada na transmissão de força por fios de nylon. Além disso, a estimativa do consumo de filamento contribui para a análise inicial dos recursos materiais necessários à fabricação do protótipo. Ressalta-se, contudo, que o custo calculado neste trabalho corresponde ao material utilizado na impressão, não abrangendo todos os custos envolvidos na produção de uma prótese completa.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um protótipo experimental de prótese de mão para adultos, fabricado por impressão 3D e dotado de um mecanismo de acionamento mecânico. Como objetivos específicos, busca-se analisar modelos de próteses existentes; definir dimensões de referência; desenvolver a geometria tridimensional no software Blender; fabricar os componentes em ácido polilático (PLA); e realizar avaliações iniciais das articulações dos dedos. A conclusão da montagem e a realização de testes funcionais e mecânicos do conjunto constituem etapas posteriores do projeto.

O estudo delimita-se ao desenvolvimento inicial de um protótipo mecânico de mão, tendo como referência dimensional a mão do próprio pesquisador, com adaptações realizadas durante a modelagem. O modelo foi desenvolvido por modelagem poligonal no software Blender e fabricado por impressão 3D com filamento PLA, utilizando uma impressora Bambu Lab P2S. O mecanismo prevê o acionamento dos dedos por meio de fios de nylon e da movimentação do punho, sem motores ou componentes eletrônicos. A utilização de poliuretano termoplástico (TPU) está prevista para etapas futuras, não fazendo parte da fabricação relatada neste estudo. Como a montagem completa ainda não foi concluída, os resultados apresentados limitam-se à fabricação das peças e aos testes individuais dos dedos, não permitindo afirmar que o dispositivo integrado já tenha sido validado quanto à funcionalidade, à resistência mecânica ou à adequação ergonômica. O protótipo, portanto, corresponde a uma etapa experimental de desenvolvimento, e não a uma prótese clínica pronta para utilização.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fabricação de dispositivos assistivos por impressão 3D envolve etapas de aquisição de informações, modelagem digital, preparação de arquivos e fabricação. Bartolo et al. (2007) relacionam a engenharia reversa, a conversão de modelos digitais e a prototipagem rápida ao desenvolvimento de aplicações médicas, aspectos diretamente relacionados ao processo adotado neste trabalho, no qual as dimensões de uma mão de referência foram utilizadas para orientar a construção do modelo tridimensional.

A fabricação aditiva também permite a produção de modelos personalizados e a realização de alterações na geometria antes da fabricação definitiva. Hill et al. (2020) apresentam aplicações da impressão 3D nas ciências biomédicas, destacando sua utilização na produção de estruturas e dispositivos personalizados. No presente projeto, essa possibilidade foi utilizada para adaptar a geometria da mão às dimensões de referência e produzir peças para avaliação inicial.

Além de trabalhos acadêmicos, existem projetos de próteses de mão desenvolvidos de forma aberta que servem como referências para novos projetos. A comunidade e-NABLE disponibiliza modelos de próteses produzidos por impressão 3D, entre eles o Raptor Reloaded, que utiliza um mecanismo de acionamento relacionado ao movimento do punho (E-NABLE, [s. d.]). Esses modelos foram utilizados como referências para a compreensão da estrutura e do princípio de funcionamento de próteses mecânicas, sem que o protótipo desenvolvido neste trabalho fosse considerado uma reprodução direta desses dispositivos.

No contexto da tecnologia assistiva, a Lei nº 13.146/2015, conhecida como Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, estabelece a tecnologia assistiva como um conjunto de produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços destinados a promover funcionalidade, autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social da pessoa com deficiência (BRASIL, 2015). Esse contexto fundamenta a utilização de processos de fabricação digital no desenvolvimento de soluções assistivas personalizadas.

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) também evidenciam a relevância do desenvolvimento de tecnologias destinadas a pessoas com deficiência. Segundo dados do Censo Demográfico 2022, 14,4 milhões de pessoas com dois anos ou mais apresentavam alguma deficiência, correspondendo a 7,3% dessa população (IBGE, 2025). Dessa forma, o desenvolvimento de alternativas de fabricação de dispositivos assistivos constitui uma área de interesse social e tecnológico.

Raschke (2023) discute a utilização da impressão 3D em próteses, órteses e tecnologias assistivas e destaca que aspectos relacionados à resistência, ao ajuste e à adequação das peças ao uso devem ser considerados. A autora também apresenta preocupações relacionadas ao desempenho dos componentes produzidos por fabricação aditiva. Essa discussão está diretamente relacionada às próximas etapas deste projeto, nas quais deverão ser realizados testes funcionais, mecânicos e ergonômicos para avaliar o comportamento do protótipo e identificar possíveis necessidades de alteração.

González-García et al. (2025), por meio do projeto Superheroes, apresentam o desenvolvimento de próteses personalizadas de baixo custo utilizando fabricação aditiva. O trabalho demonstra a aplicação da impressão 3D na produção de dispositivos personalizados e reforça a possibilidade de utilização dessa tecnologia em projetos com finalidade assistiva.

A Organização Mundial da Saúde e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND, 2022) destacam a necessidade de ampliar o acesso a produtos assistivos adequados. Nesse contexto, o desenvolvimento de protótipos personalizados por fabricação digital pode ser estudado como uma alternativa para explorar soluções de menor custo e adaptadas às características dos usuários.

3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

O desenvolvimento do protótipo foi organizado em etapas de levantamento bibliográfico, análise de modelos existentes, definição das dimensões de referência, modelagem tridimensional, preparação do arquivo e fabricação por impressão 3D.

Inicialmente, foram analisados modelos existentes de próteses de mão fabricadas por impressão 3D, incluindo referências disponibilizadas pela comunidade e-NABLE. A análise teve como finalidade identificar características estruturais e princípios de funcionamento que pudessem ser utilizados como referência para o desenvolvimento do protótipo.

As dimensões utilizadas na construção do modelo foram obtidas a partir da mão do próprio pesquisador, sendo realizadas adaptações na geometria durante o processo de modelagem. Dessa forma, o modelo não corresponde à reprodução direta da mão de referência, mas a uma adaptação desenvolvida a partir de suas proporções e das características observadas nos modelos utilizados como referência.

A modelagem tridimensional foi realizada no software Blender, utilizando modelagem poligonal para construção e adaptação da geometria. O modelo foi desenvolvido considerando a articulação dos dedos e a estrutura necessária para o sistema mecânico de acionamento.

O protótipo foi desenvolvido como uma prótese mecânica, sem utilização de motores ou componentes eletrônicos. Os dedos possuem articulações e são movimentados por meio de fios de nylon. O acionamento previsto para o conjunto ocorre a partir do movimento do punho, que provoca a tração dos fios e, conseqüentemente, o movimento dos dedos.

Para a fabricação do protótipo, foram produzidas dez unidades de dedos, correspondentes a duas unidades de cada dedo, sendo uma destinada à montagem e outra mantida como reserva. Também foram produzidas peças adicionais dos componentes da mão e dos suportes de punho, permitindo a substituição de componentes durante as etapas de montagem e avaliação.

Embora o projeto previsse inicialmente a utilização da impressora 3D Sethi S3, foi necessário substituir o equipamento devido a problemas apresentados pela impressora disponível no laboratório. Dessa forma, optou-se pela utilização de um modelo mais recente, a Bambu Lab P2S, na fabricação do protótipo. A impressão foi realizada utilizando filamento PLA genérico, com preenchimento de 35%, suportes do tipo árvore e bico de 0,4 mm. A preparação dos arquivos para impressão foi realizada no software Bambu Studio. Não foram realizadas configurações específicas de otimização dos parâmetros de impressão nesta etapa. Ao final da impressão, foi registrado um consumo total de 288,12 g de filamento PLA, utilizado como base para a estimativa do custo do material empregado na fabricação do protótipo.

O PLA foi utilizado na fabricação do primeiro protótipo por ser o material disponível para a etapa inicial de prototipagem. O TPU, previsto para etapas posteriores, não foi utilizado na fabricação apresentada neste artigo. Sua utilização futura está relacionada à possibilidade de empregar um material mais flexível em componentes nos quais essa característica seja desejável.

O projeto foi submetido à Plataforma Brasil e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), sob o CAAE nº 98207026.0.0000.0267 e Parecer nº 8.611.373.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos até o momento correspondem à fabricação das peças do protótipo por impressão 3D e à avaliação inicial dos componentes produzidos. A impressão permitiu obter as peças necessárias para dar continuidade à montagem da prótese, possibilitando observar o acabamento e o encaixe entre os componentes.

Durante o pós-processamento, foi necessário realizar lixamento em algumas regiões das peças devido à presença de resíduos de filamento provenientes dos suportes utilizados na impressão. Esse procedimento foi realizado para melhorar o acabamento dos componentes. Até o momento, não foram identificadas outras alterações necessárias no modelo.

Também foram realizados testes individuais nos dedos impressos, utilizando fios de nylon para verificar o funcionamento das articulações de forma separada. Esses testes permitiram observar o movimento dos dedos e avaliar inicialmente o mecanismo de articulação. Entretanto, como a prótese completa ainda não foi montada, não foi possível avaliar o funcionamento do conjunto nem o acionamento integrado de todos os dedos pelo movimento do punho.

Os parâmetros utilizados na fabricação do protótipo são apresentados no Quadro 1, enquanto os valores de aquisição da impressora e do filamento são apresentados no Quadro 2. A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas de desenvolvimento e fabricação do protótipo. A Figura 2 apresenta o modelo tridimensional desenvolvido no Blender, a Figura 3 apresenta a preparação do modelo para impressão 3D e a Figura 4 apresenta o protótipo produzido fisicamente.

Quadro 1 – Dados e parâmetros da impressão 3D.

Parâmetro	Informação
Impressora	Bambu Lab P2S
Material	PLA genérico
Diâmetro do bico	0,4 mm
Altura de camada	0,2 mm
Preenchimento	35%
Suporte	Tipo árvore
Tempo de impressão	4h e 30min a 5h
Quantidade de dedos impressos	10 unidades de dedos (duas unidades de cada dedo)
Peças adicionais	4 peças (suportes para punho e palma da mão)
Massa de filamento utilizado	288,12 g

Fonte: autoria própria (2026).

Quadro 2 – Valores de aquisição da impressora e do filamento PLA.

Material	Valores
Filamento PLA (Genérico)	R\$ 85,99 a R\$ 100,00
Custo de material do protótipo	Aproximadamente R\$ 27,37 (288,12g)

Fonte: autoria própria (2026).

Figura 1 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento e fabricação do protótipo.

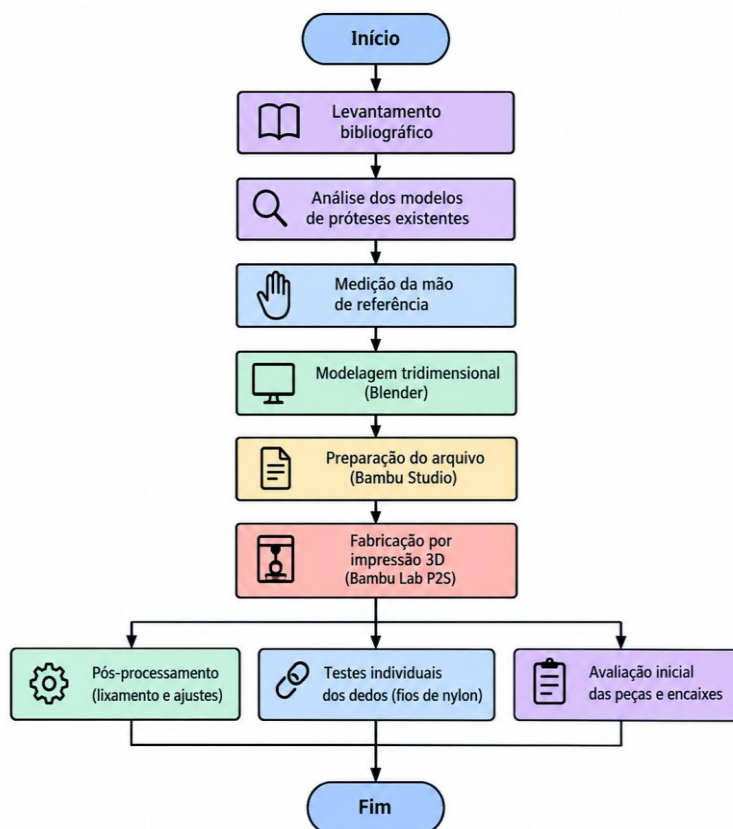
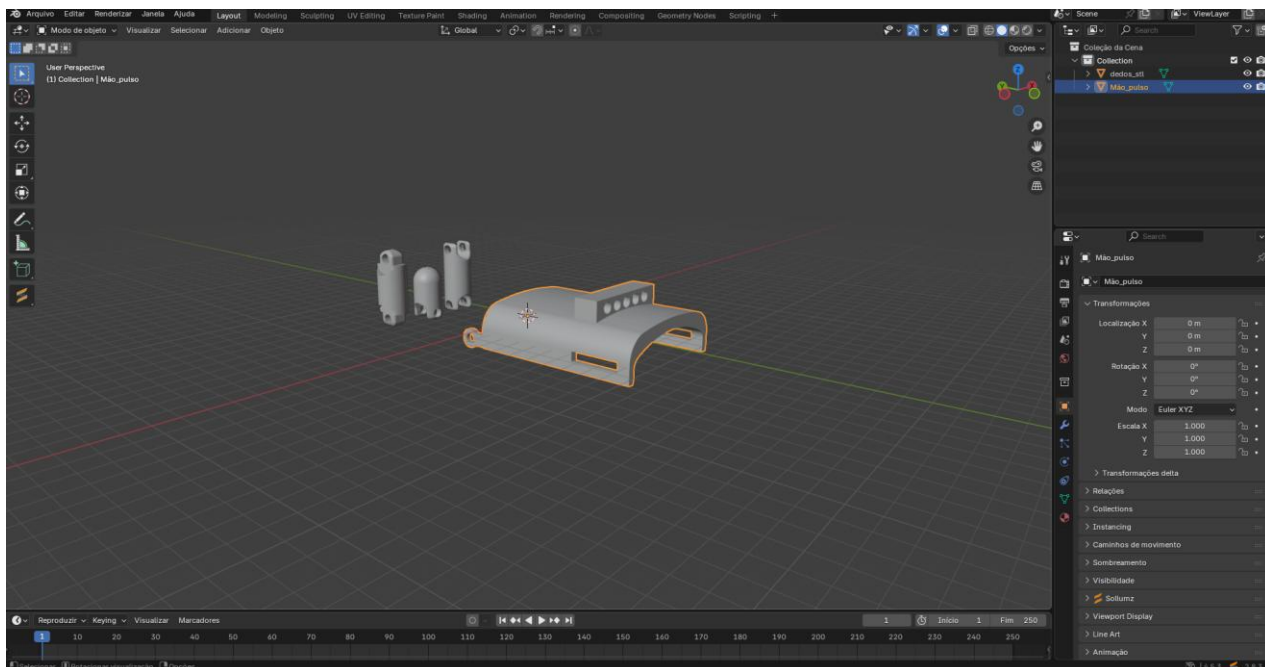


Figura 1 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento e fabricação do protótipo.

Fonte: autoria própria (2026).

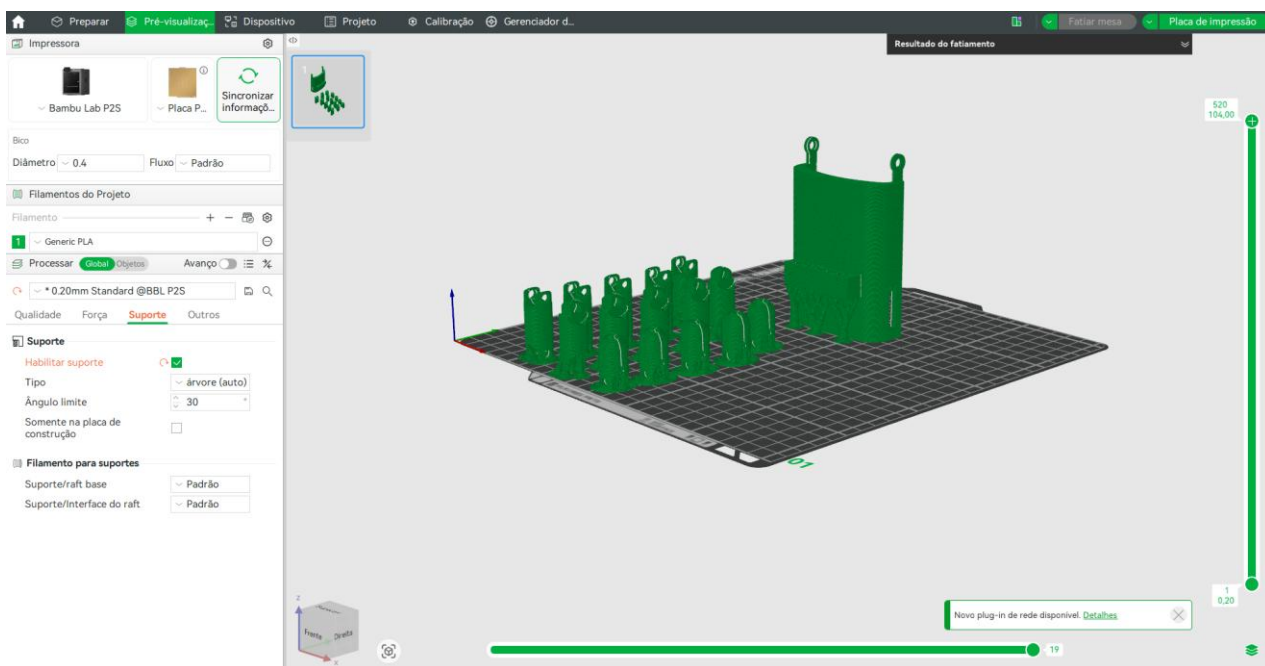
Fonte: autoria própria (2026).

Figura 2 – Modelo tridimensional da prótese desenvolvido no Blender.



Fonte: autoria própria (2026).

Figura 3 – Preparação do modelo para impressão 3D, com visualização dos suportes do tipo árvore.



Fonte: autoria própria (2026).

Figura 4 – Protótipo de mão protética produzido em PLA por impressão 3D.



Fonte: autoria própria (2026).

Os resultados apresentados são parciais, pois a montagem completa da prótese ainda não foi concluída. Dessa forma, ainda são necessários testes funcionais e mecânicos do conjunto para avaliar o comportamento das articulações, o funcionamento do mecanismo de acionamento e a necessidade de eventuais ajustes.

O TPU permanece previsto para uma etapa posterior do desenvolvimento, assim como a realização de testes e avaliações adicionais do protótipo. Portanto, o dispositivo apresentado neste trabalho deve ser considerado um protótipo inicial, e não uma prótese definitiva para utilização clínica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento realizado permitiu produzir as peças de um primeiro protótipo de prótese de mão por meio de modelagem tridimensional e impressão 3D. A utilização da mão do pesquisador como referência, associada à análise de modelos existentes, possibilitou estabelecer uma geometria inicial para o desenvolvimento do dispositivo.

As peças foram fabricadas em PLA utilizando uma impressora Bambu Lab P2S. Durante a avaliação inicial, foi necessário realizar lixamento em algumas regiões devido à presença de resíduos de filamento provenientes dos suportes de impressão. Também foram realizados testes

individuais nos dedos com fios de nylon para verificar o funcionamento das articulações de forma separada.

Como a montagem completa da prótese ainda não foi concluída, não foi possível avaliar o funcionamento integrado do mecanismo de acionamento, a resistência mecânica do conjunto ou a adequação ergonômica do dispositivo. O custo apresentado corresponde à estimativa do material utilizado na impressão, considerando a massa de 288,12 g de filamento PLA, sem incluir os custos relacionados à utilização da impressora e aos demais componentes do protótipo.

Como próximas etapas, estão previstas a conclusão da montagem, a realização de testes funcionais e mecânicos e a avaliação do comportamento das articulações durante o acionamento conjunto dos dedos. Também poderá ser analisada a utilização de TPU em componentes que demandem maior flexibilidade, conforme as necessidades identificadas durante os testes.

Conclui-se que o trabalho alcançou uma etapa inicial de fabricação e avaliação das peças, contribuindo para o desenvolvimento de uma prótese experimental de baixo custo. A continuidade do projeto permitirá avaliar o funcionamento do dispositivo completo e identificar possíveis melhorias a partir dos resultados dos testes.

6 REFERÊNCIAS

- BARROS, Patrícia de Sá; COSTA, Murielle Celestino. Distribuição das amputações de membros superiores e inferiores no estado de Goiás diante do contexto nacional, período de 2013 a 2023. **Revista Científica da Escola Estadual de Saúde Pública de Goiás “Cândido Santiago”**, v. 10, edição especial 1, 2024. Disponível em: <https://www.revista.esap.go.gov.br/index.php/resap/article/download/848/411/2291>. Acesso em: 19 out. 2026.
- BARTOLO, P. J. et al. **Advanced Manufacturing Technologies for Medical Applications: Reverse Engineering, Software Conversion and Rapid Prototyping**. Springer, 2007.
- BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Brasília, DF: Presidência da República, 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm. Acesso em: 24 set. 2026.
- E-NABLE. **Raptor Reloaded**. [S. l.]: e-NABLE, [s. d.]. Disponível em: <https://enablingthefuture.org/upper-limb-prosthetics/raptor-reloaded/>. Acesso em: 24 set. 2026.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, M.; MEANA-FERNÁNDEZ, A.; MENÉNDEZ-TELEÑA, D.; RUBIO-GARCÍA, R. The ‘Superheroes’ project: Design and fabrication of low-cost personalized prostheses. **Societal Impacts**, v. 6, art. 100137, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socimp.2025.100137>. Acesso em: 20 set. 2026.
- HILL, C. A. et al. **3D Printing for the Biomedical Sciences**. Oxford University Press, 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2022: 7,3% da população com 2 anos ou mais tinha alguma deficiência**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/materias-especiais/22695-censo-2022-7-3-da-populacao-com-2-anos-ou-mais-tinha-alguma-deficiencia.html>. Acesso em: 24 set. 2026.
- RASCHKE, S. U. 3D printing in prosthetics, orthotics and assistive technology: myth and reality. **Canadian Prosthetics & Orthotics Journal**, v. 6, n. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.33137/cpoj.v6i2.42222>. Acesso em: 19 set. 2026.
- ROMERO, Rodrigo César da Silveira et al. Development of parametric prostheses for different levels of human hand amputations manufactured through additive manufacturing. **Applied**

Sciences, v. 15, n. 8, art. 4467, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15084467>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/8/4467>. Acesso em: 19 out. 2026.

TEN KATE, Jelle; SMIT, Gerwin; BREEDVELD, Paul. 3D-printed upper limb prostheses: a review. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, v. 12, n. 3, p. 300–314, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.1080/17483107.2016.1253117>. Acesso em: 19 out. 2026.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Pesquisador da Engenharia projeta prótese de mão de baixo custo**. Belo Horizonte, 12 abr. 2021. Disponível em:

<https://www3.ufmg.br/comunicacao/noticias/pesquisador-desenvolve-protese-de-mao-de-baixo-custo-no-lab-bio>. Acesso em: 19 out. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND. **Global report on assistive technology**. Geneva: World Health Organization, 2022.