

Aspectos funcionais e sociais das tecnologias protéticas 3D para mão

Lucas Emanuel da S. Barbosa (IFPB, Campus João Pessoa), Ulisses B. Viana Filho (IFPB, Campus João Pessoa), Thayná Mylena F. de Oliveira (IFPB, Campus João Pessoa), Maria Júlia da S. Santos (IFPB, Campus João Pessoa), Marcelo de A. Buriti (IFPB, Campus João Pessoa) e Amanda Guerra de Araújo (IFPB, Campus João Pessoa).

E-mails: emanuel.barbosa@academico.ifpb.edu.br, ulisses.viana@academico.ifpb.edu.br, thayna.mylena@academico.ifpb.edu.br, maria.santos.23@academico.ifpb.edu.br, marcelo.buriti@ifpb.edu.br, amanda.araujo@ifpb.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.13.02.04-1 Tecnologia de Próteses.

Palavras-chave: membros superiores; impressão tridimensional; reabilitação funcional; acessibilidade; custo-benefício; tecnologia assistiva.

1. Introdução

A amputação de membros superiores, especialmente das mãos, compromete significativamente a funcionalidade, a autonomia e a inclusão social de milhões de pessoas. Estima-se que, em 2017, mais de 58 milhões de indivíduos em todo o mundo viviam com amputações, sendo os principais causadores os acidentes de trânsito, quedas e traumas mecânicos (McDonald *et al.*, 2021). No Brasil, mais de 470 mil pessoas convivem com essa condição, com aproximadamente 80 mil novos casos por ano (Carvalho, 2024). Soma-se a isso a limitação no acesso a tecnologias assistivas: segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) e Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), cerca de um bilhão de pessoas que necessitam de próteses, órteses ou dispositivos similares ainda não têm acesso adequado, agravando desigualdades sociais e dificultando a reabilitação funcional (Sardenberg e Buogo, 2022).

Nesse cenário, a impressão 3D se apresenta como alternativa promissora para a fabricação de próteses personalizadas, com menor custo, maior agilidade e adaptação às necessidades dos usuários. Essa tecnologia, por ser acessível e replicável, pode beneficiar populações com infraestrutura limitada e ampliar o alcance da reabilitação funcional. Assim, este trabalho visa realizar uma metanálise de estudos sobre o uso da impressão 3D em próteses de mão, com foco em três aspectos centrais: os custos de produção, a durabilidade dos materiais utilizados e o impacto funcional e social. Além disso, busca-se analisar os principais resultados e conclusões apresentados nos artigos selecionados, oferecendo uma visão crítica sobre a viabilidade dessa tecnologia como solução acessível e eficaz para pessoas amputadas.

2. Materiais e métodos

Foi realizado um levantamento bibliográfico nas bases de dados PubMed e PubMed Central (PMC). A estratégia de busca utilizou descritores nos idiomas português e inglês, como “Printing”, “3D”, “Prosthetic”, “Hand”, “Upper limb”, “Impressão 3D”, “Prótese”, “Mão” e “Membro superior”, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR. Inicialmente, foram identificados 48 artigos. Após aplicação dos critérios de exclusão, como duplicidade, acesso restrito ou desalinhamento com os objetivos da pesquisa, a amostra final foi composta por 20 estudos publicados entre 2020 e 2025, todos voltados ao uso da impressão 3D na confecção de próteses de mão.

O conteúdo dos artigos selecionados foi analisado qualitativa e quantitativamente, com os dados organizados em planilhas eletrônicas. As informações foram categorizadas de acordo com três eixos: custo de produção, durabilidade dos materiais e impacto funcional, e social das próteses. A sistematização dos resultados permitiu a criação de quadros comparativos e tabelas, favorecendo a identificação de padrões, vantagens e limitações associadas ao uso da impressão 3D na fabricação de próteses de membros superiores.

3. Resultados e discussão

Dentre os 20 artigos que compõem este estudo, 11 apresentaram informações quantificáveis sobre os custos de produção de próteses de mão fabricadas por impressão 3D, cujos dados estão consolidados na Tabela 1. Este panorama de custos ganha relevância ao ser comparado com os valores de próteses convencionais: modelos básicos podem variar de US\$ 1.500 a US\$ 5.000, enquanto próteses comerciais corporais ou mioelétricas frequentemente alcançam cifras entre US\$ 4.000 e US\$ 75.000 (Cabibihan *et al.*, 2021; Cutipa-Puma *et al.*, 2023). Adicionalmente, modelos neuroprotéticos, que representam o ápice tecnológico atual, podem ter custos que chegam a US\$ 100.000 (Cutipa-Puma *et al.*, 2023), ilustrando a significativa barreira financeira que a impressão 3D busca mitigar.

Tabela 1 - Identificação dos custos US\$* de fabricação

Custo	F	%
US\$ 19 – US\$ 100 (R\$ 107,95 – R\$ 568 BRL)	8	72,7
US\$101 – US\$200 (R\$ 573,69 - R\$ 1.136,47)	1	9,1
> US\$ 200 (> R\$ 1.136,47)	2	18,2
Total	11	100

*Valor da cotação do Dólar no dia 02/06/2025: R\$ 5,6834

Os dados apresentados na Tabela 1 indicam que a maioria dos dispositivos 3D (72,2%, n=8) possui um custo de produção situado na faixa mais acessível, entre US\$ 19 e US\$ 100. Esta categoria é exemplificada por pesquisas como a de Alturkistani *et al.* (2020), que descrevem próteses funcionais por menos de US\$ 20, e o de Cabibihan *et al.* (2021), com custos de produção de US\$ 19. Similarmente, a prótese relatada por Rossi e Chown (2025) foi fabricada por aproximadamente US\$ 50 e US\$ 505, e a “*Federica Hand*” de Esposito *et al.* (2021). Também se enquadra com um custo inferior a US\$ 100. Tais valores substancialmente reduzidos demonstram o potencial da impressão 3D em ampliar o acesso a tecnologias assistivas.

Na faixa de custo intermediária, de US\$ 101 a US\$ 200, identificou-se um estudo (9,1%, n=1). Um exemplo que pode se aproximar desta categoria é a *X-Limb* de Mohammadi *et al.* (2020), com um custo de US\$ 200, que frequentemente já incorpora elementos de maior complexidade quando comparada aos modelos mais básicos. Essa faixa, embora mais elevada que a anterior, ainda representa uma economia considerável frente às próteses tradicionais com funcionalidades equivalentes, indicando um balanço entre custo e sofisticação tecnológica.

A categoria de custo mais elevada, acima de US\$ 200, compreende 18,2% (n=2) dos artigos que detalharam valores. Um exemplo claro desta categoria é a prótese desenvolvida por Cutipa-Puma *et al.* (2023) com um custo de US\$ 600. Dispositivos nesta faixa de preço geralmente integram tecnologias mais avançadas, como sistemas de controle baseados em Eletroencefalograma (EEG), múltiplos graus de liberdade ou sensores embarcados, justificando o investimento maior. Apesar dessa variação, a perspectiva geral dos 11 artigos que detalharam custos sublinha a capacidade da impressão 3D em oferecer alternativas substancialmente mais econômicas, sendo um fator crucial para a inclusão de populações com recursos limitados e para atender às necessidades de crianças em fase de crescimento.

No contexto das categorias analisadas, aplicou-se o teste de Qui-quadrado para verificar a existência de diferença estatisticamente significativa entre os principais resultados dos artigos. O valor obtido foi $\chi^2_o = 4,81$ ($\chi^2_c = 7,81$; n.g.l. = 3 e $p = 0,05$), o resultado da diferença entre valores indica que não existe diferença estatisticamente significativa. Os estudos analisados apresentam uma distribuição consistente e equilibrada das abordagens, com maior parte (33,3%) de discussões voltadas aos avanços tecnológicos. Além disso, observa-se que os estudos convergem ao destacar que fatores como inovação, funcionalidade e custo-benefício caminham juntos no desenvolvimento de próteses mais acessíveis e eficientes, sendo considerados pilares fundamentais na evolução da tecnologia assistiva.

Tabela 2 - Principais conclusões dos artigos

Categorias	F	%
Avanços Tecnológicos e Inovação	18	33,3
Design e Desempenho do Dispositivo	15	27,8
Custo-Benefício e Acessibilidade	14	25,9
Adaptação e qualidade de vida	7	13
Total	54	100

Na Tabela 2, a categoria “Avanços Tecnológicos e Inovação” (33,3%) se sobressai como a mais recorrente, refletindo o foco dos estudos na modernização dos processos de fabricação, nos materiais utilizados e nos sistemas inteligentes incorporados às próteses. Kopová *et al.* (2024) destacam que o uso da impressão 3D permitiu desenvolver um adaptador funcional para crianças com membros superiores amputados, promovendo ganhos de mobilidade e autoestima. Já Toro-Ossaba *et al.* (2023) demonstram que a integração de controle mioelétrico com redes neurais artificiais ampliou a responsividade das próteses macias bioinspiradas, apontando para avanços significativos em precisão e adaptabilidade.

O Custo-Benefício e a Acessibilidade (25,0%) se alinha aos parâmetros de redução dos custos, tempo de produção das próteses, viabilidade e acesso às tecnologias, ressaltando a simplicidade de montagem e evolução nos países em desenvolvimento. Corroborando, Mohammadi *et al.* (2020) em sua pesquisa enfatiza que as próteses utilizadas por crianças são de baixo custo, customizáveis e altamente leves, auxiliando na modelagem e propiciando apoio às características especiais de cada usuário.

Logo após, as categorias “Design e Desempenho do Dispositivo” (27,8%) e “Custo-Benefício e Acessibilidade” (25,9%) apontam para uma convergência entre eficiência técnica e viabilidade econômica. Alturkistani *et al.* (2020) comprovam que próteses impressas em 3D com bons níveis de funcionalidade podem ser produzidas com menos de 20 dólares, tornando-se acessíveis mesmo em regiões com baixa infraestrutura. Já Rossi e Chown (2025) demonstram que esses dispositivos permitem aos usuários retomarem atividades cotidianas com mais segurança e independência, fortalecendo o papel da tecnologia como ferramenta de inclusão social.

A categoria “Adaptação e Qualidade de Vida” (13%) é apresentada um campo promissor, ainda que com menor frequência nos estudos. Os benefícios relatados incluem aumento da autoestima, maior participação social e melhora na autonomia de usuários, especialmente crianças e jovens. Cabibihan *et al.* (2021) destaca que a perda dos membros resultam em complicações não só físicas, mas também psicológicas, essa dimensão evidencia que a tecnologia não deve somente atender a parâmetros mecânicos, mas também considerar os aspectos emocionais e psicossociais envolvidos na reabilitação funcional.

5. Considerações finais

O uso de novas tecnologias no campo das próteses se demonstrou viável e eficiente, diante às necessidades básicas da população e reitera o papel inovador da impressão 3D na democratização do acesso às próteses de mão. Os resultados apresentaram que a moldagem tridimensional reduziu significativamente os custos de fabricação, tornando os dispositivos financeiramente acessíveis e funcionais, ampliando a inclusão de usuários com recursos limitados e o atendimento contínuo conforme as necessidades de crianças em desenvolvimento.

Além do impacto econômico, os dados evidenciaram ser fundamental o foco do custo-benefício, adaptação e qualidade de vida, tornando-se um aspecto crucial e promissor na atenção e desenvolvimento de pesquisas futuras, indo além dos parâmetros mecânicos, englobando o bem-estar emocional e psicossocial. A impressão 3D não representa somente uma alternativa de baixo custo, mas uma ferramenta essencial para inclusão e autonomia. Ao unir inovação com acessibilidade, é destacado o potencial de redefinir o cenário da tecnologia assistiva, promovendo em escala global melhor qualidade de vida para indivíduos com agenesia — condição rara presente desde o nascimento na qual a mão não se forma de maneira completa ou total — e amputações de mão.

Referências

- ALTURKISTANI, R.; DEVASAHAYAM, S. A. K.; THOMAS, R.; COLOMBINI, E. L.; CIFUENTES, C. A.; HOMER-VANNIASINKAM, S.; WURDEMANN, H. A.; MOAZEN, M. Affordable passive 3D-printed prosthesis for persons with partial hand amputation. *Prosthetics and Orthotics International*, v. 44, n. 2, p. 92–98, 1 abr. 2020. DOI: [10.1177/0309364620905220](https://doi.org/10.1177/0309364620905220).
- CABIBIHAN, J.; ALKHATIB, F.; MUDASSIR, M.; LAMBERT, L. A.; AL-KWIFI, O. S.; DIAB, K.; MAHDI, E. Suitability of the Openly Accessible 3D Printed Prosthetic Hands for War-Wounded Children. *Frontiers in robotics and AI*, v. 7, p. 594196, 2020. DOI: [10.3389/frobt.2020.594196](https://doi.org/10.3389/frobt.2020.594196).
- CARVALHO, J. A. Entendendo a amputação: adaptação à vida diária. *IPO Brasil*, 21 fev. 2024. Disponível em: <https://ipobrasil.com.br/amputacao/>. Acesso em: 24 maio 2025
- CUTIPA-PUMA, D. R.; COAGUILA-QUISPE, C. G.; YANYACHI, P. R. A low-cost robotic hand prosthesis with apparent haptic sense controlled by electroencephalographic signals. *HardwareX*, v. 14, p. e00439, 1 jun. 2023. DOI: [10.1016/j.ohx.2023.e00439](https://doi.org/10.1016/j.ohx.2023.e00439).
- ESPOSITO, D.; SAVINO, S.; ADREZZI, E.; CONSENZA, C.; NIOLA, V.; BIFULCO, P. The “Federica” Hand. *Bioengineering*, v. 8, n. 9, p. 128, set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering8090128>.
- KOPOVÁ, B.; BAKES, M.; ČÍŽEK, M.; HORKÝ, A.; DVOŘÁK, J.; RÁŽ, K.; CHVAL, Z. Development and Production of a Children’s Upper-Limb Cycling Adapter Using 3D Printing. *Materials*, v. 17, n. 19, p. 4731, 26 set. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17194731>.
- MCDONALD, C. L.; WESTCOTT-MCCOY, S.; WEAVER, M. R.; HAAGSMA, J.; KARTIN, D. Global prevalence of traumatic non-fatal limb amputation. *Prosthetics & Orthotics International*, v. 45, n. 2, p. 105–114, abr. 2021. DOI: [10.1177/0309364620972258](https://doi.org/10.1177/0309364620972258).
- MOHAMMADI, A.; LAVRANOS, J.; TAN, Y.; CHOONG, P. OETOMO, D. A Paediatric 3D-Printed Soft Robotic Hand Prosthesis for Children with Upper Limb Loss. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, v. 2020, p. 3310–3313, jul. 2020. DOI: [10.1109/EMBC44109.2020.9176848](https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9176848).
- ROSSI, R.; CHOWN, G. Hand function and quality of life with a 3D-printed prosthesis: A case report. *Journal of Hand Therapy: Official Journal of the American Society of Hand Therapists*, p. S0894- 1130(24)00171–6, 12 fev. 2025. DOI: [10.1016/j.jht.2024.12.004](https://doi.org/10.1016/j.jht.2024.12.004).
- SALDENBERG, L. F.; BUOGO, S. Cerca de um bilhão de pessoas com deficiência têm acesso negado a tecnologia assistiva. Organização das Nações Unidas, [s.l.], 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/182189-cerca-de-um-bilh%C3%A3o-de-pessoas-com-defici%C3%Aancia-t%C3%AAm-acesso-negado-tecnologia-assistiva>. Acesso em: 30 maio 2025.
- TORO-OSSABA, A.; TEJADA, J. C.; RUA, S.; LÓPEZ-GONÇÁLEZ, A. A Proposal of Bioinspired Soft Active Hand Prosthesis. *Biomimetics (Basel, Switzerland)*, v. 8, n. 1, p. 29, 11 jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomimetics8010029>.