

DESENVOLVIMENTO, REGISTRO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PRÓTESE DE TRÊS FALANGES IMPRESSA EM 3D DE BAIXO CUSTO

Christopher Atsushi Iwamoto Moribayashi¹

Rodolfo Parreira¹

Claudia Santos Oliveira¹

Universidade Evangélica de Goiás¹

RESUMO

Introdução: As amputações de membros superiores, especialmente de dedos, representa uma série de problemas que afetam a vida do indivíduo. As opções de próteses acessíveis ainda são limitadas, dificultando a reabilitação. **Objetivo:** Este projeto visa desenvolver uma prótese de três falanges impressa em 3D de baixo custo, denominada Uni3-D, capaz de oferecer funcionalidade otimizada e custo acessível. **Métodos:** A metodologia inclui três etapas: (1) Desenvolvimento e prototipagem, realizada no FabLab da Universidade Evangélica de Goiás, utilizando modelagem 3D e impressão em PETG para garantir resistência e flexibilidade; (2) Registro da patente, conduzido pelo Núcleo de Inovação Tecnológica da instituição para garantir proteção intelectual e viabilidade comercial; e (3) Testagem funcional, na qual um voluntário com amputação testará a prótese, com avaliação biomecânica por meio de análise de movimento 3D e eletromiografia, a fim de validar sua eficácia. **Resultados:** A pesquisa contribuirá para avanços na área de reabilitação e engenharia biomédica. desenvolvimento de uma prótese inovadora, acessível e funcional. **Conclusão:** O projeto prevê a submissão de artigos científicos, participação em congressos internacionais e a disseminação dos resultados para a comunidade acadêmica e clínica.

Palavras-chave: Prótese 3D, amputação, reabilitação, biomecânica

INTRODUÇÃO

De acordo com o departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DataSUS), a incidência de amputação de membros superiores varia de 0,21 (Rio Grande do Sul) a 2,38 (Acre) por 100,000 habitantes. Dados estatísticos internacionais, mostram que, dentre as amputações, os dedos das mãos são os mais frequentes sendo 91% de todas as amputações (Renfro et al., 2024; Sadoma et al., 2023).

A mão humana desempenha um papel fundamental nas atividades de vida diária (AVDs), devido aos seus 23 graus de liberdade de movimento (Kapandji, 1971; Mallon et al., 1991) garantindo uma incrível destreza, para as atividades de agarrar, percepção tátil, execução de tarefas precisas e comunicação. Assim, a perda de dedos e mãos representa um desafio físico para as atividades da vida cotidiana, e psicológico com a potencial perda de emprego e isolamento social. Portanto a reabilitação da mão e/ou dedos significa o retorno ao emprego, independência e a reintegração ao convívio social (Sullivan et al., 2018).

As próteses estão sendo constantemente aprimoradas para suprir as necessidades do dia-a-dia focando, integrando tecnologias baseadas nos reconhecimentos dos

sinais biológicos humanos indo de designs biomiméticos ou bio-inspirados, como melhora da destreza, na capacidade de pega e ainda, restauração do senso de toque e estratégias de controle intuitivo (Ortiz-Catalan et al., 2023; Yang et al., 2025). No entanto, as próteses podem custar entre \$ 4,000 a \$10,000, enquanto as próteses robóticas, podem custar de \$25,000 a \$75,000. Sendo assim, uma prótese de baixo custo é de extrema importância, uma vez que 80% das pessoas com amputações se encontram em países em desenvolvimento (ONU, 2024). Tal realidade motivou o presente projeto no desenvolvimento de um conceito de uma prótese de mão/dedos fabricada em impressora 3-D de baixo custo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo apresenta três fases: A prototipagem da prótese, registro e a fase de testagem da prótese em uma pessoa amputada. A prótese de dedos 3-D de baixo custo chamada "Uni3-D" com design feito por meio dos softwares de modelagem SolidWorks (Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, França; 2024) e MeshMixer (v. 3.5.0; Autodesk Inc., EUA) e sua fabricação no FabLab (UniEvangélica). Cabos não-elásticos (fio de nylon 0.3mm) serão posicionados ao longo da face palmar dos dedos que fornecerão a flexão das falanges em direção a palma da mão durante o movimento de flexão do punho, permitindo um movimento de pega (preensão palmar). Paralelamente a prototipagem, será dado o procedimento de registro para a verificação da obtenção da patente da prótese Uni3-D triarticulada.

Para a testagem do protótipo, um paciente com amputação dos dedos será voluntário para testar a funcionalidade da prótese. Também, os movimentos tridimensionais e a atividade eletromiográfica serão registrados na primeira utilização da prótese e após dez e 30 dias de uso. Estas análises serão realizadas no Laboratório do Movimento Humano na UniEvangélica. A cinemática do movimento do membro superior será através do sistema Smart-D 140 (BTS, Milão, Itália) composto por oito câmeras sensíveis ao infravermelho, uma frequência de amostragem de 100 Hz e sistema de vídeo sincronizado com o sistema Smart-D durante os movimentos funcionais como pega, pinça, elevar e girar um objeto. Os marcadores passivos serão posicionados em marcos anatômicos diretamente na pele com fita específica após o protocolo SmartUp (Lencioni et al., 2021). Um total de 18 marcadores que medem 15 mm de diâmetro serão usados para identificar a posição da cabeça, tronco e membro superior (braço, antebraço e mão). As tarefas motoras serão executadas concomitantemente com a leitura do EEG para identificar sinais neurais associados ao movimento.

O paciente passará por um processo de reabilitação de dez sessões de fisioterapia por meio de um protocolo específico para esta condição. Cada sessão durará entre 45 a 60 minutos conduzido por um fisioterapeuta especializado em reabilitação manual que utilizará todos os recursos necessários que estão disponíveis na clínica de fisioterapia da Unievangélica. Antes será enviado ao comitê de ética e pesquisa em humanos para a obtenção do número de registro. Será elaborado um termo de

consentimento livre e esclarecido contendo todos os pontos importantes para o paciente assinar e estar de acordo para participar do projeto.

RESULTADOS

Em conformidade com o NIT, no primeiro ano realizaremos a prototipagem para o registro da prótese Uni3-D e, então, submeter resultados decorrentes do projeto em congresso internacional. No segundo ano, está prevista a implementação da prótese em uma paciente para testagem funcional e, com o resultado obtido, divulgar em um Congresso Internacional, bem como a submissão de dois artigos científicos para periódicos internacionais: um artigo referente a prototipagem e o segundo com os resultados funcionais. Esses resultados garantirão que os avanços e descobertas no desenvolvimento da prótese de dedos sejam compartilhados com a comunidade científica global, promovendo melhorias contínuas e o desenvolvimento de novas tecnologias.

CONCLUSÃO

Uma das principais expectativas de impacto do projeto apresentado refere-se ao potencial desta pesquisa no contexto da reabilitação de indivíduos com amputações de dedos, tanto como intervenção quanto como método de avaliação de resultados terapêuticos. A aplicação de técnica no desenvolvimento da prótese Uni3-D oferece uma nova abordagem para melhorar a funcionalidade e qualidade de vida dos beneficiários. Além disso, os resultados obtidos com este projeto podem estabelecer novos padrões na reabilitação promovendo uma melhor qualidade de vida e independência funcional, além de servir como base para pesquisas futuras, promovendo um avanço significativo na área.

AGRADECIMENTOS

Nos agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo financiamento da bolsa de estudos, e à UniEVANGÉLICA pelo apoio institucional e pela infraestrutura para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹Blanc, Y., & Dimanico, U. (2010). Electrode placement in surface electromyography (sEMG)“Minimal Crosstalk Area”(MCA). *Open Rehabil. J.*, 3(1), 110-126.
- ²Costilla, V., & Bishai, D. M. (2006). Lawnmower injuries in the United States: 1996 to 2004. *Annals of emergency medicine*, 47(6), 567-573.
- ³Cupo, M. E., & Sheredos, S. J. (1998). Clinical evaluation of a new, above-elbow, body-powered prosthetic arm: a final report. *Journal of rehabilitation research and development*, 35(4), 431.

- ⁴Gardner, M., Mancero Castillo, C. S., Wilson, S., Farina, D., Burdet, E., Khoo, B. C., ... & Vaidyanathan, R. (2020). A multimodal intention detection sensor suite for shared autonomy of upper-limb robotic prostheses. *Sensors*, 20(21), 6097.
- ⁵Gu, G., Zhang, N., Xu, H., Lin, S., Yu, Y., Chai, G., ... & Zhao, X. (2023). A soft neuroprosthetic hand providing simultaneous myoelectric control and tactile feedback. *Nature biomedical engineering*, 7(4), 589-598.
- ⁶Guo, K., Lu, J., Wu, Y., Hu, X., & Yang, H. (2024). The latest research progress on bionic artificial hands: A systematic review. *Micromachines*, 15(7), 891.
- ⁷Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of electromyography and Kinesiology*, 10(5), 361-374.
- ⁸Jorge, A. R. F. (2020). Dados epidemiológicos nacionais de amputação e proposta de dispositivo para treinamento de usuários de próteses de membro superior.
- ⁹Kapandji, I. A. (1971). The physiology of the joints, volume I, upper limb. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 50(2), 96.
- ¹⁰Ladds, E., Redgrave, N., Hotton, M., & Lamyman, M. (2017). Systematic review: Predicting adverse psychological outcomes after hand trauma. *Journal of hand therapy*, 30(4), 407-419.
- ¹¹Lencioni, T., Fornia, L., Bowman, T., Marzegan, A., Caronni, A., Turolla, A., ... & Ferrarin, M. (2021). A randomized controlled trial on the effects induced by robot-assisted and usual-care rehabilitation on upper limb muscle synergies in post-stroke subjects. *Scientific reports*, 11(1), 5323.
- ¹²Lee, H., Park, J., Kang, B. B., & Cho, K. J. (2023). Single-step 3D printing of bio-inspired printable joints applied to a prosthetic hand. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 10(5), 917-929.
- ¹³Lu, H., Zou, Z., Wu, X., Shi, C., Liu, Y., & Xiao, J. (2021). Biomimetic prosthetic hand enabled by liquid crystal elastomer tendons. *Micromachines*, 12(7), 736.
- ¹⁴Mallon, W. J., Brown, H. R., & Nunley, J. A. (1991). Digital ranges of motion: normal values in young adults. *The Journal of hand surgery*, 16(5), 882-887.
- ¹⁵Moodley, K., Fourie, J., Imran, Z., Hands, C., Rall, W., & Stopforth, R. (2022). Touch Hand 4.5: low-cost additive manufacturing prosthetic hand participated in Cybathlon 2020 ARM discipline. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19(1), 130.
- ¹⁶Nguyen, A. T., Xu, J., Jiang, M., Luu, D. K., Wu, T., Tam, W. K., ... & Yang, Z. (2020). A bioelectric neural interface towards intuitive prosthetic control for amputees. *Journal of neural engineering*, 17(6), 066001.
- ¹⁷ONU - Organização das Nações Unidas. Global multidimensional poverty index 2024 (disponível em: <https://hdr.undp.org/content/2024-global-multidimensional-poverty-index-mpi#/indicies/MP>)
- ¹⁸Ortiz-Catalan, M., Zbinden, J., Millenaar, J., D'Accolti, D., Controzzi, M., Clemente, F., ... & Brånemark, R. (2023). A highly integrated bionic hand with neural control and feedback for use in daily life. *Science robotics*, 8(83), eadf7360.
- ²⁰Pezzin, L. E., Dillingham, T. R., MacKenzie, E. J., Ephraim, P., & Rossbach, P. (2004). Use and satisfaction with prosthetic limb devices and related services. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(5), 723-729.
- ²¹Pomares, G., Coudane, H., Dap, F., & Dautel, G. (2020). Traumatic upper-limb amputation: the process toward acceptance. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 106(7), 1419-1423.
- ²²Renfro, K. N., Eckhoff, M. D., Trevizo, G. A. G., & Dunn, J. C. (2024). Traumatic finger amputations: epidemiology and mechanism of injury, 2010-2019. *Hand*, 19(2), 278-285.
- ²³Sadoma, B. R., Sheets, N. W., Plurad, D. S., & Dubina, E. D. (2023). Traumatic amputations treated in US emergency departments: a review of the NEISS database. *The American Surgeon™*, 89(10), 4123-4128.

²⁴O'sullivan, S. B., & Schmitz, T. J. (2010). Fisioterapia: avaliação e tratamento. In *Fisioterapia: avaliação e tratamento* (pp. 1506-1506).

²⁵Toldt, C., & Dalla Rosa, A. (1919). *An atlas of human anatomy for students and physicians*. Rebman Company.

²⁶Weiner, P., Starke, J., Rader, S., Hundhausen, F., & Asfour, T. (2022). Designing prosthetic hands with embodied intelligence: The KIT prosthetic hands. *Frontiers in neurorobotics*, 16, 815716.

²⁷Yang, H., Tao, Z., Yang, J., Ma, W., Zhang, H., Xu, M., ... & Zhang, S. (2025). A lightweight prosthetic hand with 19-DOF dexterity and human-level functions. *Nature Communications*, 16(1), 955.

²⁸Zuniga, J., Katsavelis, D., Peck, J., Stollberg, J., Petrykowski, M., Carson, A., & Fernandez, C. (2015). Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC research notes*, 8, 1-9.