

VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE SENSORES DE ELETROENCEFALOGRAMA PARA O CONTROLE DE PRÓTESES BIÔNICAS

Alyssa Galego Colnago¹, Thaise Moser Teixeira², Ariane Simarco Scarci³

¹Acadêmica do Curso de Engenharia mecânica, Campus Maringá-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Bolsista PIBIC/ICETI-UniCesumar. alyssagelego@gmail.com

²Orientadora, Doutora, Docente no Curso de Engenharia, UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI. Thaise.teixeira@unicesumar.edu.br

³Co-Orientadora, Mestre, Docente no Curso de Engenharia, UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI. Arianescarci@gmail.com

RESUMO

A crescente incidência de amputações, especialmente entre pacientes diabéticos, evidencia a necessidade de soluções tecnológicas que promovam a reabilitação e qualidade de vida das pessoas com deficiência física. As próteses mioelétricas representam um avanço, mas enfrentam limitações como alto custo e baixa responsividade. Nesse contexto, surge a possibilidade de integração de sensores de eletroencefalograma (EEG) com sistemas de inteligência artificial (IA) como alternativa promissora. Essa combinação pode oferecer maior precisão e tempo de resposta no controle motor de próteses biônicas. Este estudo realiza uma revisão sistemática da literatura, utilizando a metodologia PRISMA, com o objetivo de mapear as abordagens existentes, avaliar suas limitações e identificar o potencial da integração entre IA e EEG para o desenvolvimento de próteses mais acessíveis e eficazes. A análise de conteúdo será conduzida com o apoio do software Iramuteq, a fim de sistematizar os dados qualitativos e oferecer uma visão abrangente do estado da arte na área.

Palavras-chave: **Inteligência artificial; Prótese; Sensores; Reabilitação.**

1 INTRODUÇÃO

A incidência de amputações vem aumentando consideravelmente nos últimos anos principalmente em quadros de paciente diabéticos. “O número de pessoas vivendo com diabetes aumentou de 200 milhões em 1990 para 830 milhões em 2022. A prevalência tem aumentado mais rapidamente em países de baixa e média renda do que em países de alta renda”. (OMS, 2025). No contexto brasileiro, segundo o IBGE a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), realizada em 2019, constatou que 17,3 milhões de pessoas possuíam alguma das deficiências investigadas sendo elas visual, auditiva, mental, em membros inferiores e membros superiores, e 2,7% (5,5 milhões de pessoas) desse grupo, com dois anos ou mais possuíam alguma deficiência física em membros superiores. Diante desses números alarmantes é indispensável analisar formas na quais possam trazer a melhor qualidade de vida a essas pessoas com deficiências. As tecnologias podem ser um poderoso recurso para auxiliar nessas situações. Um dos recursos atualmente disponíveis para pessoas com amputações são as próteses de membros superiores, que podem ser classificadas como tradicionais ou mioelétricas. Segundo Zhu et al. (2022); Carey et al (2015), as próteses tradicionais utilizam mecanismos simples, geralmente acionados por cabos e movimentos do ombro ou tronco, oferecendo menor precisão e naturalidade nos movimentos. Já as próteses mioelétricas operam por meio de sinais elétricos (EMG) captados dos músculos remanescentes, permitindo simular de forma mais precisa a movimentação dos segmentos ausentes, como mão e punho segundo Porta et al. (2024). No entanto,

mesmo os modelos mioelétricos mais comuns geralmente com controle sequencial e troca de função por co-contracção muscular apresentam limitações de responsividade, velocidade de resposta e controle simultâneo de múltiplos graus de liberdade, além de envolver altos custos de produção e comercialização. Esses desafios vêm sendo investigados por pesquisas que buscam aprimorar o controle proporcional e simultâneo, como abordado no presente artigo (Zhu *et al*, 2022). Nesse contexto as próteses que usam captação de outros sinais biológicos como o eletroencefalograma (EEG) surgem como uma alternativa às próteses convencionais, captando a atividade elétrica cerebral, os sinais podem ser interpretados para acionar a movimentação da prótese de forma mais precisa e com um tempo de resposta menor, gerando uma melhora considerável na qualidade de vida do usuário (Yurova *et al*, 2022; Cupita *et al*, 2023). Como demonstrado no estudo de Yurova *et al*. (2022), a prótese antropomórfica desenvolvida, com 21 graus de liberdade e controle por interfaces neurais, através dos sinais de EEG, oferece movimentos precisos e personalizáveis, superando limitações de modelos subatuados tradicionais e com preços mais acessíveis. A inteligência artificial (IA) pode ser utilizada como uma estratégia eficaz no processamento dos sinais elétricos capturados e identificar qual a movimentação da prótese será realizada, de forma eficiente e rápida. Trabalho de Littlejohn (2025) mostra a eficiência de recursos de IA em processar sinais cerebrais para auxílio da fala. Embora apresente uma solução alternativa, o campo enfrenta complicações, como a baixa resolução espacial dos sinais EEG e a falta de estudos na área. Já o trabalho de Cupita *et al*. (2023), demonstra um braço robótico para próteses que já foi integrado com IA para a tradução de sinais de EEG. A literatura sobre a integração entre IA e EEG ainda é escassa, o que dificulta conclusões mais complexas e assertivas. Pensando nessa situação, o presente trabalho tem como objetivo identificar quais as próteses já existem na literatura e quais as possibilidades de integração da IA para auxiliar nos processos de desenvolvimento de próteses mais acessíveis. A revisão de literatura será realizada por meio da metodologia PRISMA.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para atender o objetivo da pesquisa é a análise de conteúdo, que visa examinar dados qualitativos. Segundo Bardin (1977), essa técnica permite identificar padrões, significados subjacentes e relações entre elementos da comunicação. E a pergunta de pesquisa definida foi “A integração de inteligência artificial e sensores EEG em próteses biônicas oferece maior viabilidade e eficácia no controle motor, em comparação com as tecnologias convencionais utilizadas por pessoas com amputações? “A pesquisa foi realizada com base na diretriz PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), conforme recomendado por Page *et al*. (2021). O processo seguiu as etapas preconizadas pela diretriz: (1) definição clara dos objetivos e critérios de elegibilidade (PICO), (2) identificação das fontes de informação e desenvolvimento das estratégias de busca, (3) seleção dos estudos por meio de triagem de títulos/resumos e leitura de textos completos, (4) extração dos dados relevantes, (5) avaliação do risco de viés dos estudos incluídos, (6) síntese dos resultados, e (7) apresentação transparente dos achados, limitações e implicações (Page *et al.*, 2021). A triagem e seleção dos artigos será realizada através do software Rayyan. O software auxilia no processo de organização dos artigos e organização do fluxograma PRISMA. Após a triagem e seleção dos artigos os trabalhos serão analisados com o auxílio do software livre *R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires (Iramuteq)*, que permite realizar diferentes tipos de análise de dados textuais, que vão desde métodos mais simples até análises multivariadas, além de gerar representações visuais do vocabulário (Camargo e Justo, 2013). O uso do Iramuteq é pertinente porque a análise de conteúdo, ao tomar a linguagem como foco principal, se relaciona com áreas como a lexicologia, que estuda

o vocabulário de forma científica e a estatística lexical, que utiliza métodos estatísticos para descrever esse vocabulário. Essas duas áreas compartilham com a análise de conteúdo o interesse pelas unidades mínimas de significado (as palavras) e pela classificação e quantificação detalhada de suas ocorrências (Bardin, 1977). Além disso, a interface do software permite acessar os trechos de texto correspondentes a cada classe identificada no corpus original, o que facilita a compreensão do contexto das palavras mais relevantes do ponto de vista estatístico e enriquece a análise qualitativa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Espera-se que, por meio do estudo realizado com base na metodologia prisma, seja possível identificar e analisar os principais avanços e estudos relacionados às próteses biônicas, em principal as próteses com integração de IA e sensores eletroencefalograma. Presume-se que após a conclusão obtenha-se um mapeamento de tecnologias e possibilidades de aplicação. Além disso, espera-se identificar as linguagens e algoritmos utilizados na programação e desenvolvimento das inteligências artificiais aplicadas nas integrações avaliadas durante o estudo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que as próteses biônicas vêm adquirindo relevância na engenharia biomédica nos últimos anos, por sua capacidade de restaurar a autonomia oferecendo uma melhora considerável na qualidade de vida a pessoas que passaram pelo processo de amputação, deficiência motoras e má formação de membros (Pasquina *et al*, 2015). Entretanto, muitas das tecnologias atualmente disponíveis no mercado apresentam limitações significativas em termos de responsividade, custo e adaptação, tornando seu acesso restrito à maior parte da população.

A integração de IA no controle motor dessas próteses representa uma promissora mudança no processo de adaptação e reabilitação de seus usuários. Essa integração permite que a prótese aprenda e armazene informações sobre os movimentos executados, tornando o controle mais preciso e intuitivo. Embora muitas possibilidades possam ser observadas, há uma grande carência de estudos que consolidam o conhecimento sobre a integração dessas duas tecnologias. Esse trabalho também está alinhado com a ODS 3 da Agenda 2030 da ONU: Saúde e Bem-Estar, que visa assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades (ONU,2022). Ao investigar soluções tecnológicas inovadoras para melhorar a funcionalidade e a acessibilidade de próteses biônicas, esta pesquisa contribui diretamente para o desenvolvimento de tecnologias assistivas mais eficazes, promovendo inclusão, reabilitação e igualdade de vida para pessoas com deficiência física.

REFERÊNCIAS

BARDIN, L. Análise de conteúdo. Lisboa: Edições 70, 1977

BRASIL. Ministério da Saúde. Pesquisa Nacional de Saúde 2019: histórico, métodos e perspectivas. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2021. Disponível

em:<https://www.pns.icict.fiocruz.br/wp-content/uploads/2021/02/liv101764.pdf>. Acesso em: 18 maio 2025.

CAMARGO, B. V.; JUSTO, A. M. IRAMUTEQ: a free software for analysis of textual data. *Temas em Psicologia*, Ribeirão Preto, v. 21, n. 2, p. 513-518, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.9788/TP2013.2-16>. Acesso em: 18 maio 2025.

CAREY, S. L.; LURA, D. J.; HIGHSMITH, M. J. Differences in myoelectric and body-powered upper-limb prostheses: Systematic literature review. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, v. 52, n. 3, 2015.

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, 2023.

LITTLEJOHN, K. T. et al. A streaming brain-to-voice neuroprosthesis to restore naturalistic communication. *Nature Neuroscience*, p. 1-11, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41593-025-01905-6>. Acesso em: 18 maio 2025.

ONU BRASIL. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Nações Unidas Brasil, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 18 maio 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Diabetes. Genebra: OMS, 2024.

Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>. Acesso em: 18 maio 2025.

PAGE, M. J. et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>. Acesso em: 18 maio 2025.

Pasquina, P. F., Perry, B. N., Miller, M. E., Ling, G. S. F., & Tsao, J. W. (2015). Recent advances in bioelectric prostheses. *Neurology: Clinical Practice*. Publicado online em 12 de fevereiro de 2015. DOI: 10.1212/CPJ.0000000000000132.

PORTA, M. et al. Examining the association between speed and myoelectric activity: Time-based differences and muscle group balance. *PLOS ONE*, v. 19, n. 3, p. e0300117, 2024.

YUROVA, V. A.; VELIKOBORETS, G.; VLADYKO, A. Design and implementation of an anthropomorphic robotic arm prosthesis. *Technologies*, v. 10, n. 5, p. 103, 2022.

ZHU, Z. et al. Myoelectric control performance of two degree of freedom hand-wrist prosthesis by able-bodied and limb-absent subjects. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 30, p. 893-904, 2022.