

Desenvolvimento de interface multimodal para acessibilidade digital de pessoas com mobilidade reduzida

Title: Development of a multimodal interface for digital accessibility of people with reduced mobility

Samuel Cardoso Gregório¹, Giovani Luiz da Silva Filho¹, Rafael Pelegrini da Silva^{1,2},
Ingrid Gonçalves da Silveira Machado¹, Pedro Henrique Gouvêa Pires¹,
Thiago Rodrigues Oliveira^{1,3}

¹IF Sudeste MG - Campus Juiz de Fora
Juiz de Fora – MG – Brasil

²Discente do Grupo PET Conexões Mecatrônica/BSI

³Tutor do Grupo PET Conexões Mecatrônica/BSI
{samuelcgregorio, giovaniluiz12, rafaelpelegrini00}@gmail.com,
{ingridmachadogs, phgp1111}@gmail.com,
thiago.oliveira@ifsudestemg.edu.br

Abstract. Introduction: The digital exclusion of individuals with severe motor impairments is a persistent challenge that demands alternative control solutions to conventional peripherals. **Objective:** This work describes the development of a multimodal interface designed to emulate mouse functions using biological and inertial signals. **Methodology:** The approach uses a microcontroller-based system to integrate an electromyography (EMG) sensor for click commands and an inertial sensor (MPU-6050) for cursor control. The development included the technical characterization of the sensors, HID protocol emulation via CircuitPython, and the creation of a "shoot 'em up" training software in Pygame for calibration. **Results:** Laboratory tests validated the system's stability and functional response in the integration between sensors and the computer. The training software allowed for command sensitivity adjustment in a controlled environment, providing a ludic platform for motor training.

Keywords assistive technology, multimodal interface, accessibility, electromyography, digital inclusion.

Resumo. Introdução: A exclusão digital de indivíduos com limitações motoras severas é um desafio persistente que demanda soluções de controle alternativas aos periféricos convencionais. **Objetivo:** Este trabalho descreve o desenvolvimento de uma interface multimodal projetada para emular as funções de um mouse a partir de sinais biológicos e inerciais. **Metodologia:** A abordagem utiliza um sistema baseado em microcontrolador para integrar um sensor de eletromiografia (EMG) para comandos de clique e um sensor inercial (MPU-6050) para o controle do cursor. O desenvolvimento incluiu a caracterização técnica dos sensores, a emulação de protocolo HID via CircuitPython e a criação de um software de treinamento lúdico do gênero shoot 'em up em Pygame para calibração. **Resultados:** Testes laboratoriais validaram a estabilidade do sistema e a resposta funcional na integração

entre os sensores e o computador. O software de treinamento permitiu o ajuste de sensibilidade dos comandos em ambiente controlado, oferecendo uma plataforma lúdica para treino motor.

Palavras-Chave tecnologia assistiva, interface multimodal, acessibilidade, eletromiografia, inclusão digital.

1. Introdução

Garantir o acesso igualitário à tecnologia é um dos pilares fundamentais da inclusão social na era digital. No entanto, indivíduos com limitações motoras severas enfrentam barreiras significativas, pois frequentemente não conseguem utilizar periféricos tradicionais, como mouses e teclados convencionais. Essa limitação restringe a autonomia pessoal e a participação em esferas sociais e profissionais [De Almeida 2021]. O cenário atual de dispositivos assistivos reforça a necessidade de soluções que sejam não apenas acessíveis, mas também customizáveis e capazes de traduzir movimentos residuais mínimos em comandos digitais confiáveis [Souza et al. 2024, Julio et al. 2024].

Diante desse desafio, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma interface assistiva multimodal. O projeto fundamenta-se na integração de múltiplas tecnologias de captação de sinais, especificamente a eletromiografia (EMG) e sensores inerciais. O uso de controladores baseados em EMG tem demonstrado resultados positivos na melhoria da performance de usuários de tecnologias assistivas, especialmente quando integrados a ambientes de jogos e exergames [McLinden et al. 2024]. Jogos sérios têm sido amplamente utilizados na saúde como ferramentas de apoio à reabilitação, aumentando o engajamento através do biofeedback lúdico.

O objetivo geral consiste em propor uma estratégia de Interface Homem-Máquina (IHM) que emule o funcionamento de um mouse convencional, distribuindo as funções de controle para reduzir a carga física e redefinir conceitos de mobilidade [Yang et al. 2025]. A metodologia baseou-se na caracterização de sensores e na implementação de um sistema de emulação via microcontrolador, visando separar a navegação espacial (via sensor inercial) das ações de interação (via EMG), abordagem que se alinha a estudos recentes de IHMs híbridas para navegação assistiva [Welihinda et al. 2024].

Além do hardware, buscou-se a criação de um software de treinamento lúdico em *Pygame* para validação técnica. Este ambiente permite que o processo de calibração seja realizado de forma dinâmica, ajustando os limiares de sensibilidade necessários para atender a diferentes perfis de mobilidade. Ao priorizar a validação técnica de bancada, o trabalho estabelece a base necessária para futuras aplicações em humanos, respeitando os critérios éticos de pesquisa.

2. Metodologia

A pesquisa foca no desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina (IHM) híbrida. O hardware utiliza um microcontrolador ESP32-S2 Mini como unidade central, conectado a um sensor inercial MPU-6050 e a um módulo de aquisição EMG (*Shield Olimex*). A Figura 1 apresenta o planejamento das conexões, enquanto a Figura 2 ilustra a implementação física do protótipo em matriz de contatos utilizada nos testes laboratoriais.

O procedimento de aquisição do sinal EMG foi padronizado para detectar contrações do músculo bíceps braquial. Utilizou-se um eletrodo de referência (D)

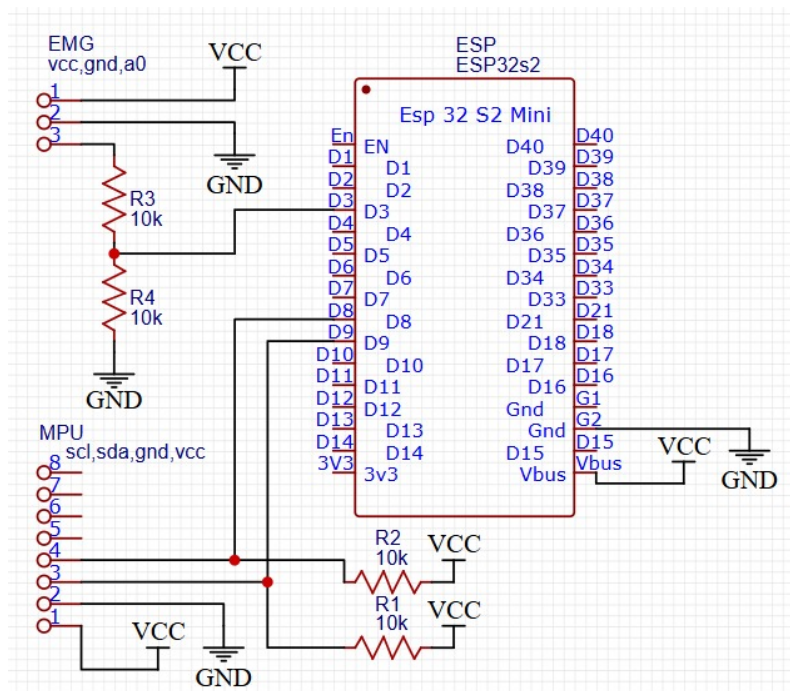


Figura 1. Esquemático das conexões entre ESP32-S2, MPU-6050 e Shield EMG Olimex.

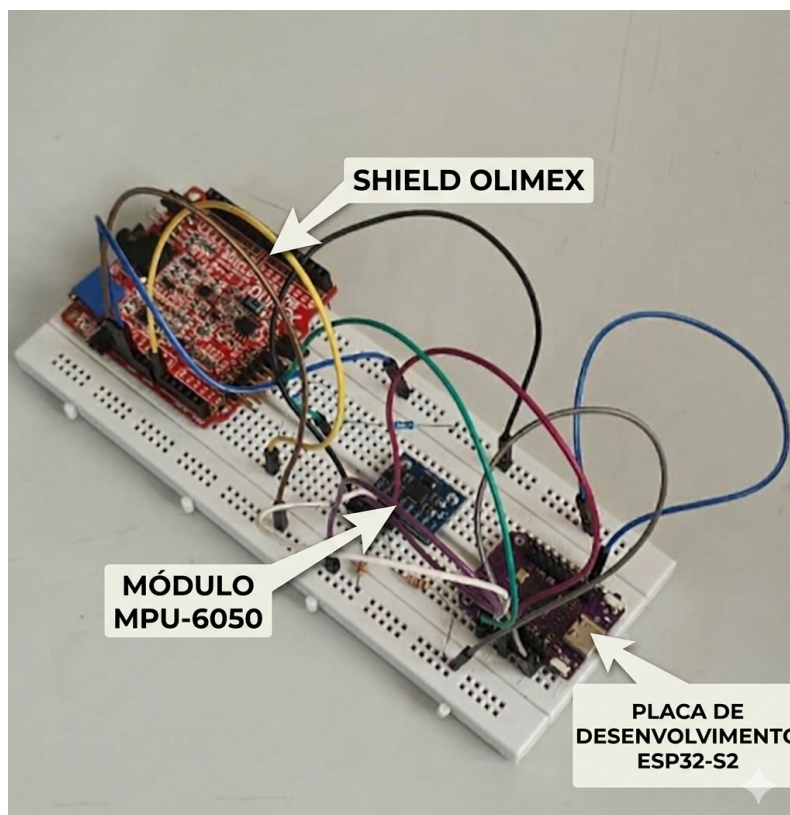


Figura 2. Montagem física do protótipo evidenciando a integração entre os módulos.

posicionado no processo estilóide da ulna (osso do punho), enquanto os eletrodos de leitura (R e L) foram fixados, respectivamente, na origem e na inserção do ventre muscular. O teste de bancada consistiu em quatro contrações voluntárias para validar a relação sinal-ruído e o sinal obtido pode ser visto na Figura 3. A amplitude do sinal apresentada no gráfico representa o valor digitalizado na saída do conversor analógico-digital (ADC) de 10 bits do microcontrolador. Esses valores variam conforme a intensidade da contração e permitem a definição de limiares (*thresholds*) precisos para o acionamento de comandos lúdicos.

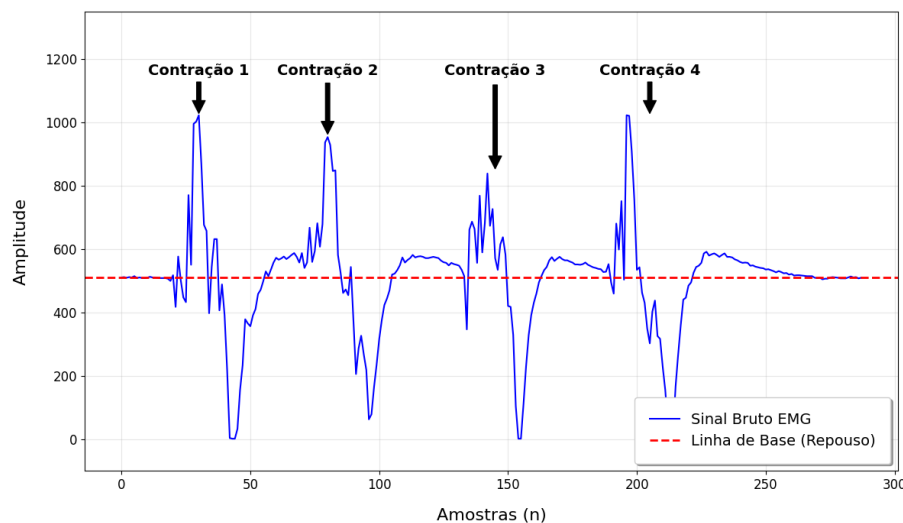


Figura 3. Sinal de Eletromiografia (EMG) - Valores normalizados na saída do ADC do ESP32.

O software de validação, desenvolvido em *Pygame*, é um jogo do gênero *shoot 'em up* 2D com temática espacial. Projetado como um "corredor infinito", o objetivo principal é a sobrevivência através de níveis onde o jogador enfrenta hordas de inimigos e chefes. A dificuldade escala progressivamente, intensificando os padrões de tiros inimigos para exigir maior precisão e velocidade de resposta do usuário.

O controle da nave é adaptado para o uso exclusivo do protótipo: a inclinação do sensor MPU-6050 movimenta o personagem bidimensionalmente, enquanto a contração muscular detectada pelo EMG ativa um escudo temporário de invulnerabilidade. A interface do usuário (HUD) exibe informações críticas, como vidas restantes, nível atual e o estado de preparação do escudo (contagem regressiva ou o aviso "PRONTO"). O ambiente lúdico atua como uma ferramenta de calibração manual, permitindo medir a eficácia da interface através do desempenho atingido pelo usuário.

Em conformidade com o Código de Conduta para Autores em Publicações da SBC, declara-se que ferramentas de IA Generativa foram utilizadas exclusivamente para a revisão gramatical e reestruturação sintática deste texto, sob responsabilidade total dos autores.

3. Resultados e Discussão

Os principais resultados deste trabalho materializam-se no desenvolvimento de um protótipo funcional de mouse assistivo e na implementação de uma plataforma de software

dedicada à calibração técnica. O protótipo integrado consolidou a viabilidade da interface multimodal ao demonstrar estabilidade na comunicação entre os sensores e o computador. A utilização do microcontrolador ESP32-S2 Mini permitiu o processamento simultâneo das interrupções inerciais para navegação e das leituras analógicas de contração muscular para comandos de clique (escudo) sem latência perceptível. Esta configuração validou a eficácia da emulação de protocolo HID, permitindo que o dispositivo opere como um periférico padrão sem a necessidade de *drivers* proprietários.

O software de treinamento em *Pygame*, cuja tela é mostrada na Figura 4, provou ser essencial para ajustar os limiares de ativação (*thresholds*) em tempo real. Através do desempenho no nível alcançado e da facilidade em desviar dos padrões de tiros inimigos, foi possível calibrar a sensibilidade do sistema para garantir que o dispositivo interprete corretamente movimentos mínimos de inclinação ou contrações musculares débeis. A análise do sinal eletromiográfico processado confirmou que os picos de tensão gerados são claramente distinguíveis do ruído de fundo, prevenindo falhas de interação ou disparos involuntários do escudo.

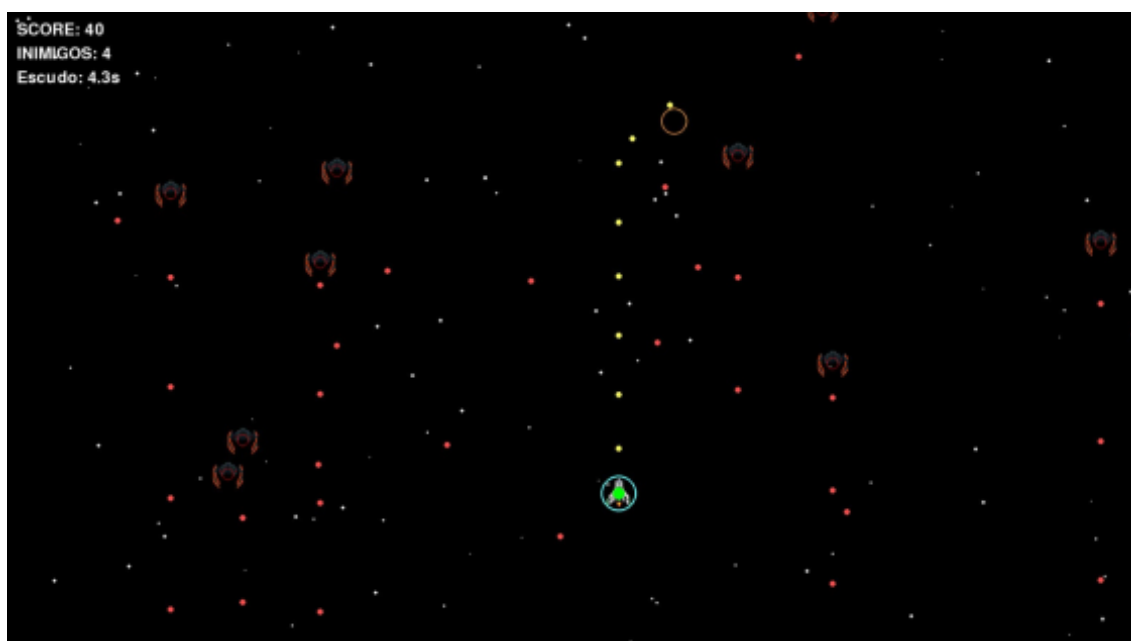


Figura 4. Interface do jogo de treinamento: naves inimigas e HUD indicando o estado do escudo e nível atual.

A discussão técnica destes resultados indica que a separação das funções de navegação e clique em diferentes modalidades sensoriais contribui para a redução da fadiga física e cognitiva. Diferente de sistemas unimodais, a independência dos sinais nesta interface multimodal garante uma robustez operacional superior, permitindo que o usuário foque na precisão do movimento espacial enquanto utiliza a contração muscular de forma estratégica para defesa. Com a validação técnica de bancada finalizada, o trabalho estabelece a base necessária para que, em etapas futuras, o dispositivo seja submetido a validação clínica com o público-alvo.

4. Conclusões

O desenvolvimento deste trabalho permitiu a consolidação de uma interface assistiva multimodal que se destaca pela integração coordenada entre sensores inerciais e de eletromiografia. Através da emulação de um mouse convencional de forma robusta e adaptável, a solução cumpre o objetivo de oferecer uma alternativa viável para a inclusão digital de indivíduos com severas limitações motoras, permitindo que movimentos residuais mínimos sejam transformados em comandos digitais eficazes.

A utilização de um software de treinamento lúdico do gênero *shoot 'em up* em *Pygame* provou ser um diferencial estratégico. Além de servir como plataforma de teste, o jogo atuou como um elemento facilitador para a calibração do sistema, permitindo que os limiares de acionamento fossem ajustados dinamicamente em resposta à dificuldade progressiva das fases. Essa abordagem transforma a calibração técnica, muitas vezes exaustiva, em uma tarefa motivadora e engajadora, fundamental para o treino motor e adaptação do usuário à nova tecnologia.

Os resultados laboratoriais confirmaram que a separação das funções de navegação e clique em modalidades sensoriais distintas reduz o esforço cognitivo e a probabilidade de comandos involuntários. Como etapas futuras, o projeto prevê a submissão do protocolo de pesquisa a um Comitê de Ética para a realização de testes de usabilidade com o público-alvo, visando validar o impacto do dispositivo na autonomia de usuários reais. Adicionalmente, pretende-se explorar o uso de filtros digitais avançados para otimizar a detecção de contrações musculares ainda mais débeis e a inclusão de novos recursos de acessibilidade no ambiente de software.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais — Campus Juiz de Fora pelo apoio institucional e infraestrutura laboratorial cedida para a realização desta pesquisa.

Este trabalho foi desenvolvido com o suporte do Programa de Educação Tutorial (PET), através da Pró-Reitoria de Ensino e do Ministério da Educação (MEC), cujas bolsas e recursos foram fundamentais para o fomento das atividades de pesquisa e extensão aqui apresentadas.

Agradecemos também aos demais membros do grupo PET Conexões Mecatrônica/BSI pela colaboração nas discussões técnicas e revisões que contribuíram para o amadurecimento do protótipo e do software de treinamento assistivo.

Referências

- De Almeida, C. J. G. (2021). Inclusão: Processo educativo e socialização de uma aluna com atrofia muscular espinhal numa escola em presidente kennedy/es. Dissertação (mestrado), Centro Universitário Vale do Cricaré, São Mateus.
- Julio, M., Cardim, A. B. F., Kogati, K. A., Favoretto, A. G., Castro, C. S. S., Paschoarelli, L. C., e Medola, F. O. (2024). Impressão 3d e arquivos de acesso aberto em tecnologia assistiva: Avaliação de uso de adaptadores de cabo de talher. *Estudos Interdisciplinares sobre o Envelhecimento*, 29(1).

- McLinden, S., Smith, P., Dombrowski, M., MacDonald, C., Lynn, D., Tran, K., e Manero, A. (2024). Utilizing electromyographic video games controllers to improve outcomes for prosthesis users. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 49(1):63–69.
- Souza, A. C. L., Santos, L. C. M., Rodrigues, M. G. M., Lima, D. K. S., Andrade, G. O. M., e Oliveira, J. S. S. (2024). O uso de dispositivos assistivos como intervenção na terapia ocupacional para pessoas com parkinson. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 22(7):e5824.
- Welihinda, D. V. D. S., Gunarathne, L. K. P., Herath, H. M. K. K. M. B., Yasakethu, S. L. P., Madusanka, N., e Lee, B. I. (2024). Eeg and emg-based human-machine interface for navigation of mobility-related assistive wheelchair (mra-w). *Heliyon*, 10(6).
- Yang, M., Manji, I., e Jutai, J. (2025). Mobility, disability, and self-identity. In *The Palgrave Encyclopedia of Disability*. Palgrave Macmillan, Cham.