

Dispositivo autônomo de avaliação visual de intensidade de sinais de sEMG para aplicações de reabilitação

Menegotto, Bruno Adriano^{*1}; Stevan Jr., Sergio L.²; Mendes Jr., José Jair Alves³

1 – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), UTFPR - PG, brunomenegotto@alunos.edu.br

2 – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), UTFPR - PG, sstevanjr@utfpr.edu.br

3 – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI), UTFPR - CT, jjunior@utfpr.edu.br

* -Correspondência: Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330, Jardim Carvalho, Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 84017-220.

DOI 10.52050/9788579177163-23

RESUMO

A eletromiografia de superfície (sEMG) é amplamente utilizada como uma ferramenta de apoio à reabilitação motora por permitir o monitoramento da atividade muscular. Diferentes sistemas podem oferecer *biofeedback* visual, a maioria utilizando dispositivos auxiliares como computadores e *smartphones*. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo autônomo de avaliação visual de intensidade de sinais de sEMG utilizando uma barra de leds. Os testes demonstraram uma resposta satisfatória ao mostrar a intensidade muscular. O sistema mostrou-se portátil, funcional e adaptável, com potencial de aplicação na reabilitação motora e integração com dispositivos vestíveis.

Palavras-chave: eletromiografia de superfície, *biofeedback*, avaliação visual sEMG.

ABSTRACT

Surface electromyography (sEMG) is widely used as a support tool in motor rehabilitation by enabling the monitoring of muscle activity. Different systems can provide visual biofeedback, most of them relying on auxiliary devices such as computers and smartphones. This work presents the development of a standalone device for visual assessment of sEMG signal intensity using an LED bar. The tests demonstrated a satisfactory response in displaying muscle intensity. The system

proved to be portable, functional, and adaptable, with potential for application in motor rehabilitation and integration with wearable devices.

Keywords: *surface electromyography, biofeedback, lm3914.*

1. INTRODUÇÃO

Eletromiografia de superfície (sEMG) é um procedimento não invasivo que permite observar a atividade neuromuscular através de eletrodos colocados na pele, permitindo a avaliação da função muscular (Korand, 2006). Os sinais bioelétricos observados são um somatório de todos os sinais detectados na área onde o eletrodo está sendo aplicado (Enoka, 1994).

Entre as várias aplicações que a eletromiografia de superfície é utilizada, destacam-se as de fisioterapia, de reabilitação física, de monitoramento muscular em atividades esportivas e auxiliar no desenvolvimento de próteses ou órteses (Kim et al., 2022; Lee et al., 2021).

Diversos estudos demonstram que estratégias de *biofeedback* utilizando sEMG melhoram significativamente o envolvimento do paciente e a precisão do movimento durante procedimentos de reabilitação física motora (Kim et al., 2022; Yang et al., 2021; Tomas et al., 2022). Estes procedimentos são habitualmente realizados com treinamentos individualizados, os quais podem ser ajustados ou otimizados se o procedimento de visualização da atividade muscular foi facilitado.

Paralelamente a isso, o uso de sistemas de processamento de dados como ferramentas de aprendizado de máquina permite melhorar a interpretação dos sinais musculares e promove a personalização do tratamento (Panagiotopoulos et al., 2022; Simić & Stojanović, 2024). Estudos destacam o potencial transformador dessas tecnologias no campo da reabilitação motora, permitindo estudos que proporcionem terapias mais eficazes, personalizadas e acessíveis (Muñoz-Nova et al., 2022; Tomas et al., 2022; Meng et al., 2022).

Com os avanços recentes em termos de sensores e de eletrônica embarcada houve o desenvolvimento de dispositivos portáteis ou vestíveis de baixo custo, o que tem proporcionado sinais de *biofeedback* de sinais de sEMG durante a execução de procedimentos mais complexos de reabilitação motora (Chandrasekhar et al., 2020; Simić & Stojanović, 2024).

Com o avanço das tecnologias para fisioterapia e reabilitação de pacientes, muitos sistemas apresentam um *biofeedback* via *software* indicado em *smartphones* ou interfaces diretamente no computador com a amplitude do sinal obtido, ou, com dispositivos vestíveis que auxiliam o paciente a realizar um determinado movimento, muitas vezes sendo utilizado uma órtese já com um sistema de controle e sistema embarcado já processado. Este tipo de *biofeedback*

fica restrito a sistemas mais complexos e caros e na dependência de sistemas de comunicação.

Em uma outra perspectiva, este trabalho apresenta como proposta o desenvolvimento de um dispositivo autônomo (*standalone device*), que proporcione *biofeedback* visual no *hardware* do dispositivo de aquisição dos sinais de sEMG, possibilitando indicar níveis de intensidade do sinal de sEMG no momento da contração muscular, sem a necessidade de conexão com um dispositivo de visualização e/ou transmissão de dados a computadores.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar a aquisição do sinal bioelétrico utilizou-se um módulo comercial utilizado para aquisição de sinais de eletrocardiograma (ECG), a qual é baseada no circuito integrado (CI) AD8232 (Analog Devices, 2012), com circuitos de condicionamento de sinal (filtro e amplificadores) integrados. Este módulo teve seus circuitos de condicionamento de sinais re-projetados e resistores e capacitores foram alterados para alterar a janela de filtragem do sinal para sEMG e ganho do sinal.

As frequências de corte dos filtros passa-alta e passa-baixa tiveram seus parâmetros modificados, os quais são 0,48Hz e 41,09Hz respectivamente, foram ajustados para 15,92Hz e 453,03Hz. Os valores teóricos podem ter uma pequena variação em relação aos práticos em função da tolerância dos componentes. (Menegotto, B. A. et al., 2023).

A Figura 1 ilustra o módulo AD8232 e as adaptações realizadas. Na Figura 1 (a) tem-se o módulo comercial construído em placa de circuito impresso, com as indicações de conexão dos eletrodos e alimentação, enquanto na Figura 1 (b) está ilustrado o circuito eletrônico com as indicações dos circuitos adaptados para aquisição de sinais de sEMG do filtro Passa-Baixas, do filtro Passa-Altas e dos resistores de ajuste de ganho.

Para realizar uma variação de intensidade foi utilizado uma barra de leds, controlada por um circuito integrado dedicado (*driver*) - LM3914 (Texas Instruments, 2004), o qual aciona uma quantidade de leds em função de um valor analógico proporcional.

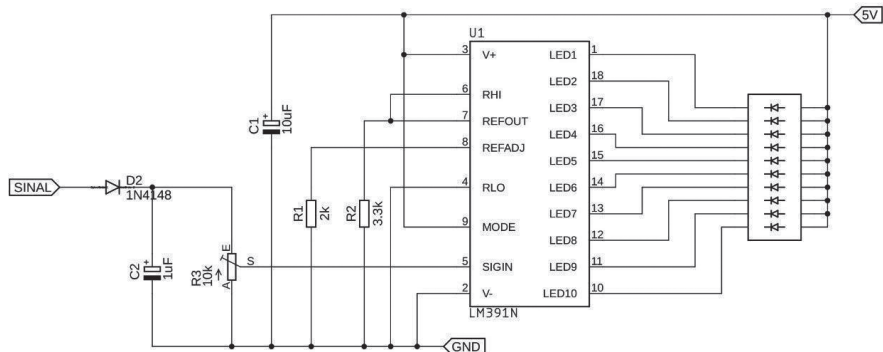
$$I_{LED} = \frac{12,5}{R_1} \quad (1)$$

$$V_{ref} = 1,25(1 + \frac{R_2}{R_1}) \quad (2)$$

$$R_2 = 1,64R_1 \quad (3)$$

292 Inovação e a Inclusão em Tecnologia Assistiva | Volume 2 - Participação, Ambiente e Inovação

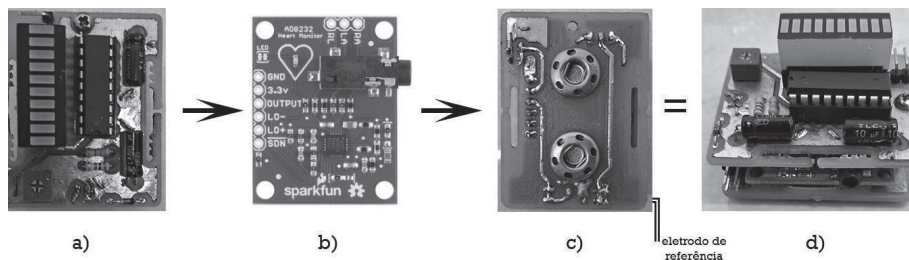
Figura 2 - Circuito para a indicação visual em barra de leds da intensidade do sinal de sEMG.



O circuito utiliza um diodo (D2) na entrada para atuarem como proteção à sinais negativos, o capacitor C1 de 10mF atua como capacitor de desacoplamento na alimentação de 5V, melhorando a estabilidade e suprime ruídos da alimentação, o capacitor C2 de 1mF atua como filtro para suavizar o sinal de entrada. Por fim, o potenciômetro R3 é utilizado com um divisor de tensão ajustável, permitindo regular a amplitude efetiva do sinal de entrada aplicado ao CI, permitindo-se ajustar a faixa de ativação dos leds. Isto é necessário em função da variação de amplitude dos sinais de sEMG a qual varia em função do músculo e de indivíduo para indivíduo. Um regulador de tensão LM2596 e um regulador de tensão de 3,3V foram utilizados para alimentar os circuitos.

A Figura 3 ilustra as 3 placas que se encaixam como escudos, sendo (a) a placa de visualização de intensidade, (b) o módulo AD8232, (c) a placa de conexão dos eletrodos comerciais de Ag/AgCl descartáveis com gel, e por fim, (d) o dispositivo final com os componentes soldados e as conexões realizadas.

Figura 3 - Circuito final, com as 3 placas: (a) de visualização da intensidade do sinal, (b) do módulo AD8232, e (c) de fixação dos eletrodos. As setas indicam a sobreposição das placas (da esquerda para a da direita); (d) ilustra o circuito final montado.



A placa da Figura 3 (a) tem dimensões de 40mm por 47mm, enquanto a da placa da Figura 3 (c) tem dimensões de 35mm x 47mm. Estas dimensões foram

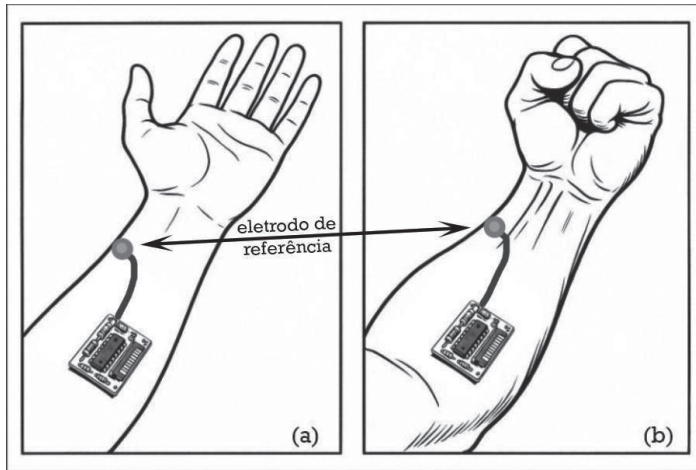
definidas como as mínimas para garantir a conexão da placa do AD8232 e ainda permitir uma futura construção de dispositivos vestíveis e, portanto, sua interconexão mecânica com outros módulos idênticos (4 a 6 unidades) a fim de envolver membros como braços e/ou pernas. A interconexão mecânica dar-se-á por elásticos presos através das canaletas laterais das placas. Para o módulo apresentado na Figura 3 (d), liga-se uma bateria e um regulador de tensão de 5 e 3,3V, além do eletrodo de referência.

Para avaliar o circuito projetado para indicação do sinal de sEMG, foi utilizado o *software* de simulação de circuitos eletrônicos Isis Proteus v8.17 na sua versão gratuita. Para simular um sinal de sEMG foi utilizado como entrada um sinal equivalente (sinal de áudio) com amplitudes de 0V a 3,3V. Após a verificação do circuito foi projetada uma placa de circuito impresso no formato de escudo (*Shield*), ou seja, para conexão em sobreposição, para ser acoplada à placa de aquisição do sinal de sEMG.

Para validação do protótipo foi realizado um procedimento experimental, o qual baseou-se no posicionamento dos eletrodos do módulo AD8232 na região dos músculos flexores superficiais, localizado no anterior do antebraço, em que é responsável por flexionar as articulações dos dedos e o punho, o eletrodo de referência foi posicionado na região dos flexores superficiais, porém próximo da região do tendão do músculo do palmar longo. O cabo que faz a conexão entre o eletrodo de referência e módulo (AD8232) tem aproximadamente 8cm. O módulo foi conectado a um dispositivo com bateria e regulador de tensão para que ficasse isolado da rede elétrica e garantir segurança ao usuário. Para que seja possível realizar a observação do sinal contraído foi conectado a um osciloscópio para a verificação em tempo real o sinal contraído e a sequência de ativação dos leds, de acordo com a intensidade do sinal.

Para avaliar o dispositivo foi realizado um movimento simples de flexão de punho, posicionando o módulo no antebraço, conforme pode ser observado na Figura 4. Esse movimento foi escolhido por permitir a observação da resposta visual da intensidade do movimento.

Figura 4 - Representação do posicionamento do módulo e da shield. a) Músculo relaxado; b) Músculo contraído.



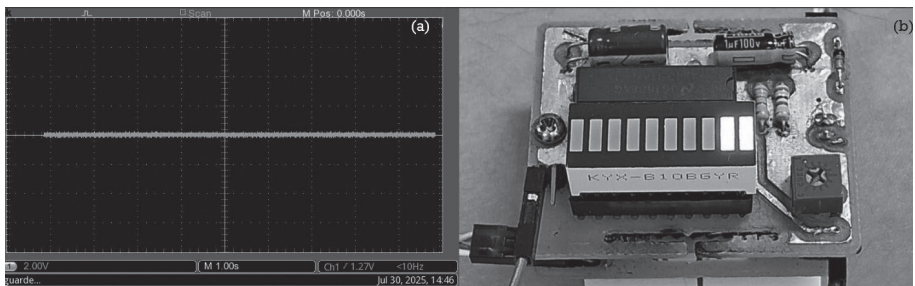
Durante a realização do teste, um procedimento inicial de calibração dos sinais visuais é necessário em função da variação do sinal de indivíduo para indivíduo e de músculo para músculo. Este procedimento é realizado ajustando a intensidade através do potenciômetro.

3. RESULTADOS

Com a confecção da placa para observar o sinal de sEMG com a barra de LED juntamente com o CI LM3914 observa-se que, ao contrair o músculo a faixa de LED da barra é acionada conforme a faixa regulada pelo potenciômetro.

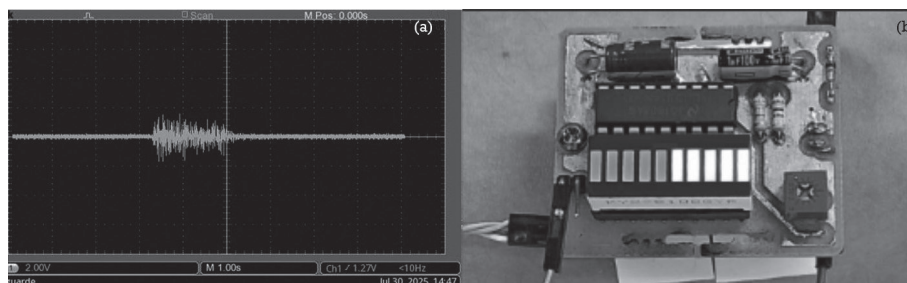
Para ilustrar o resultado obtido com o projeto da indicação do sinal, a Figura 5 (a) traz uma captura do sinal de sEMG da tela de um osciloscópio, enquanto a Figura 5 (b) ilustra a indicação de nível de tensão mínima (2 leds acesos) quando não há contração muscular.

Figura 5 - Aquisição sem a contração muscular: a) osciloscópio; b) barra de LED.



Em contrapartida, a Figura 6 (a), ilustra a captura do sinal em osciloscópio, para um sinal quando há contração muscular, enquanto na Figura 6 (b), observa-se a indicação desta intensidade de sinal bioelétrico visualizando 5 leds acesos no exemplo.

Figura 6 - Aquisição com a contração muscular: a) osciloscópio; b) barra de LED.



4. DISCUSSÃO

Embora diversos estudos proponham formas de visualização dos sinais de sEMG, essas abordagens geralmente utilizam interfaces baseadas em *software*, o que pode dificultar a percepção imediata do sinal pelo paciente durante as atividades de reabilitação. Como alternativa, este trabalho propôs o desenvolvimento de um circuito autônomo utilizando uma barra de leds para representar até 10 níveis de intensidade do sinal de sEMG, oferecendo, assim, uma solução portátil, independente de outros dispositivos e de fácil interpretação visual.

Com base nos resultados obtidos, observou-se que o circuito demonstra a prova do conceito, permitindo a visualização clara e em tempo real do nível de contração muscular. A sensibilidade da resposta luminosa pode ser ajustada por meio de um potenciômetro, o que possibilita a adaptação do sistema a diferentes grupos musculares e perfis de usuários. Essa flexibilidade é especialmente relevante em contextos de reabilitação, onde as respostas musculares variam significativamente entre os indivíduos. Entretanto, como trabalhos futuros, ainda são necessários ajustes no dispositivo desenvolvido, de forma maximizar a variação visual da intensidade do sinal de sEMG, bem como agrupamento de vários módulos placas em dispositivos vestíveis mais complexos como braceletes.

Dessa forma, a proposta deste projeto se mostra uma alternativa promissora às soluções exclusivamente baseadas em *software*, já que o *feedback* visual direto é mais acessível e compreensível, sobretudo em ambientes com recursos limitados ou em pacientes com dificuldades cognitivas. Ainda assim, são necessárias

avaliações futuras para confirmar se atende adequadamente a demanda em cenários terapêuticos reais.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo projetar um dispositivo autônomo de *biofeedback* visual baseado em 10 níveis de intensidade do sinal de sEMG. Para isso, foi projetada uma placa do tipo escudo, para ser sobreposta a um sistema de aquisição onde sinais bioelétricos utilizando o CI AD8232 com filtros adaptados ao sinal de sEMG.

Os resultados demonstraram que o circuito desenvolvido é funcional, sensível e adaptável. A visualização direta do sinal muscular via *hardware* apresenta uma solução acessível e de fácil integração a sistemas vestíveis.

Como próximos passos, propõe-se a realização de testes com usuários em ambientes de reabilitação supervisionada, bem como ajustes na faixa de operação do potenciômetro para diferentes grupos musculares e condições clínicas, tornando o dispositivo uma alternativa viável e satisfatória no auxílio à reabilitação motora baseado em *biofeedback* com barra de leds.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil, Código Financeiro 001, no âmbito do Programa PDPG Consolidação da Pós-Graduação (Chamada Pública nº 3/2022), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – 306448/2021-1.

REFERÊNCIAS

ANALOG DEVICES. AD8232: Heart rate monitor front end. Norwood: Analog Devices, 2012. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8232.pdf>. Acesso em: 28 julho de 2025.

CHANDRASEKHAR, P. et al. Development of a low-cost sEMG device for home-based rehabilitation. In: *ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC)*, 42., 2020, Montreal. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2020. p. 6058–6061. DOI: 10.1109/EMBC44109.2020.9176058.

ENOKA, R. M. *Bases neuromecânicas da cinesiologia*. Champaign: Human Kinetics, 1994.

KIM, J. et al. Development of a wearable EMG device for real-time feedback in upper limb rehabilitation. *Sensors*, [S.l.], v. 22, n. 20, p. 7984, 2022. DOI: 10.3390/s22207984.

KONRAD, P. *The ABC of EMG: a practical introduction to kinesiological electromyography*. Scottsdale: Noraxon Inc., 2006.

LEE, S.; KWON, H. Real-time feedback system using sEMG for upper limb rehabilitation. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION*, 23., 2021, Washington, DC. *Proceedings...* Cham: Springer, 2021. p. 140–150. DOI: 10.1007/978-3-030-70316-5_140.

Menegotto, B. A., Mendes Júnior, J. J. A., & Stevan Jr., S. L. *Desenvolvimento de circuito de aquisição de sinais eletromiográficos usando o módulo AD8232: uma estratégia de adaptação*. XV Simpósio de Engenharia Biomédica (XV SEB), Uberlândia, MG, Brasil. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10159523>

MENG, Q. et al. Advancements in wearable sEMG devices for home-based rehabilitation. *Measurement Science*, [S.l.], v. 13, p. 675–682, 2022. DOI: 10.5194/ms-13-675-2022.

MUÑOZ-NOVOA, M. et al. sEMG-based biofeedback for upper limb rehabilitation: a systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience*, [S.l.], v. 16, p. 897870, 2022. DOI: 10.3389/fnhum.2022.897870.

PANAGIOTOPOULOS, N.; LAMPROPOULOU, S.; AVOURIS, N.; SKODRAS, A. Gamified sEMG biofeedback for upper limb rehabilitation: a user-centered approach. *Applied Sciences*, [S.l.], v. 14, n. 16, p. 6987, 2022. DOI: 10.3390/app14166987.

SIMIĆ, M.; STOJANOVIĆ, M. Integration of AI in sEMG-based rehabilitation systems: challenges and opportunities. *Results in Engineering*, [S.l.], v. 19, p. 102472, 2024. DOI: 10.1016/j.rineng.2024.102472.

TEXAS INSTRUMENTS. LM3914: Dot/bar display driver. Dallas: Texas Instruments, 2004. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3914.pdf>. Acesso em: 28 de julho de 2025.

TOMAS, V.; AHMED, H.; LINDSAY, S. Exploring the use of sEMG biofeedback in pediatric rehabilitation: a pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, [S.l.], v. 103, n. 5, p. 905–912, 2022. DOI: 10.1016/j.apmr.2022.01.005.

YANG, Y. et al. *The effectiveness of surface electromyography biofeedback for improving upper limb motor function after stroke: a systematic review and meta-analysis*. *Life*, [S.l.], v. 11, n. 12, p. 1290, 2021. DOI: 10.3390/life11121290.