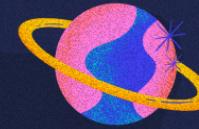


REALIZAÇÃO



## Controle Robótico Assistivo a partir de Sinais Mioelétricos Uma Abordagem Educacional com Plataformas Abertas

Carlos J. SANTOS<sup>1</sup>; Emily H. L. R. ARMANDO<sup>2</sup>; Francisco G. M. CARVALHO<sup>3</sup>; João M. P. D. FIRMINO<sup>4</sup>; Raphaella. L. CONTI<sup>5</sup>

### RESUMO

Este trabalho apresenta o relato de experiência de um projeto de iniciação científica desenvolvido por estudantes do curso técnico em Informática Integrado ao Ensino Médio do IFSULDEMINAS – Campus Três Corações. O projeto visa à prototipação de um sistema de controle robótico baseado na leitura de sinais de eletroneuromiografia (ENMG) para aplicação em tecnologias assistivas. Por meio de plataformas abertas como Arduino e Raspberry Pi, buscou-se desenvolver uma solução acessível, educacionalmente rica e socialmente relevante. O trabalho envolveu desde o estudo teórico da neurofisiologia até testes práticos com sensores e servomotores. As dificuldades enfrentadas na captação dos sinais mioelétricos e as adaptações feitas ao longo do percurso são discutidas como parte do processo formativo dos bolsistas e da evolução do protótipo.

### Palavras-chave:

Eletroneuromiografia; Automação; Arduino; Tecnologias Assistivas; Educação Técnica.

### 1. INTRODUÇÃO

A eletroneuromiografia (ENMG) é uma técnica amplamente utilizada para avaliar a atividade elétrica de músculos e nervos, sendo de grande relevância no diagnóstico de doenças neuromusculares (KAMEN; GABRIEL, 2010). Nos últimos anos, seu uso tem sido estendido ao desenvolvimento de próteses mioelétricas e sistemas de reabilitação robótica (FARINA; NEGRO, 2012; ENGLEHART; HUDGINS, 2003).

O presente projeto, desenvolvido no Instituto Federal do Sul de Minas Gerais – Campus Três Corações, propõe a utilização da ENMG em conjunto com plataformas abertas de prototipagem, como Arduino e Raspberry Pi, com vistas à construção de tecnologias assistivas de baixo custo. Além de promover avanços tecnológicos e sociais, o projeto oferece aos estudantes uma oportunidade prática de aprendizagem em áreas como neuroengenharia, automação e robótica.

### 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A ENMG baseia-se na detecção dos potenciais de ação gerados pela atividade muscular voluntária, permitindo uma leitura precisa do comportamento eletrofisiológico dos músculos. Tais sinais, captados por eletrodos de superfície ou intramusculares, têm se mostrado valiosos para

<sup>1</sup> Orientador, IFSULDEMINAS – Campus Três Corações. E-mail: carlos.santos@ifsuldeminas.edu.br.

<sup>2</sup> Bolsista PIBIC/CNPq, IFSULDEMINAS – Campus Três Corações. E-mail: emily.lima@alunos.if sulde minas.edu.br.

<sup>3</sup> Bolsista PIBIC/CNPq, IFSULDEMINAS – Campus Três Corações. E-mail: francisco.mello@alunos.if sulde minas.edu.br.

<sup>4</sup> Bolsista PIBIC/CNPq, IFSULDEMINAS – Campus Três Corações. E-mail: joao.firmino@alunos.if sulde minas.edu.br.

<sup>5</sup> Bolsista PIBIC/CNPq, IFSULDEMINAS – Campus Três Corações. E-mail: raphaela.conti@alunos.if sulde minas.edu.br.

aplicações tecnológicas em dispositivos de assistência à mobilidade e reabilitação (FARINA; NEGRO, 2012). Na robótica, o uso da ENMG destaca-se pela capacidade de criar interfaces naturais entre o corpo humano e máquinas, promovendo formas intuitivas de controle (ENGLEHART; HUGDINS, 2003).

A integração desses sinais com plataformas abertas, como Arduino e Raspberry Pi, amplia as possibilidades de aplicação para ambientes educacionais e prototipagem rápida. Arduino, por exemplo, é amplamente reconhecido por sua versatilidade em projetos de automação e controle, sendo ideal para o ensino de fundamentos de eletrônica e programação (BANZI; SHILOH, 2014). Por outro lado, o Raspberry Pi atua como um microcomputador capaz de realizar tarefas mais complexas, como o processamento de sinais e comunicação com bancos de dados.

Estudos como os de Chu et al. (2007) apontam que a interpretação dos sinais mioelétricos requer a implementação de algoritmos robustos para filtragem e reconhecimento de padrões. Isso se deve à natureza ruidosa dos sinais EMG, que estão sujeitos a interferências externas e variações fisiológicas individuais. Por isso, o desenvolvimento de filtros digitais e ajustes finos às faixas de frequência e amplitude são essenciais.

No contexto de tecnologias assistivas, a utilização de sinais mioelétricos para controle de próteses representa um salto qualitativo em termos de funcionalidade e autonomia do usuário. Zollo et al. (2011) demonstraram que próteses baseadas em controle mioelétrico são capazes de simular movimentos complexos e adaptativos, aumentando o conforto e a precisão. Ainda, iniciativas educacionais que utilizam tais tecnologias possibilitam não apenas a inclusão de pessoas com deficiências, mas também a formação de estudantes para desafios reais do mercado tecnológico.

Assim, este projeto se ancora em uma base teórica robusta que conecta conceitos da neurofisiologia, da engenharia eletrônica e da educação tecnológica, promovendo uma vivência interdisciplinar. A experiência prática aliada ao referencial teórico fortalece a compreensão do potencial da ENMG na construção de soluções inovadoras e acessíveis.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O desenvolvimento do projeto seguiu uma abordagem metodológica estruturada em etapas sucessivas. Inicialmente, foram conduzidas revisões bibliográficas sobre neurofisiologia, sinais mioelétricos e suas aplicações na robótica, com o intuito de compreender os fundamentos fisiológicos e eletrônicos envolvidos. Essa fundamentação orientou a seleção dos componentes e ferramentas adequadas ao escopo do projeto.

A etapa experimental iniciou-se com a montagem do circuito básico para captação dos sinais EMG utilizando o sensor de superfície compatível com a plataforma Arduino Uno. A captação foi testada inicialmente no músculo bíceps braquial e posteriormente no músculo flexor ulnar do carpo,

utilizando três eletrodos de superfície: um ativo, um de referência e um nulo. As conexões entre eletrodos e sensores foram feitas com cabos triaxiais e a região de contato foi higienizada, depilada e tratada com gel condutor.

A leitura dos sinais foi inicialmente realizada pelo monitor serial do Arduino IDE, e posteriormente por um osciloscópio digital DS0138, que se mostrou mais eficiente para medição de sinais com período de propagação curto (2 a 10 ms). Durante essa fase, diversas tensões de alimentação foram testadas, sendo estabelecido o uso de 5V para o sensor EMG e 12V para o osciloscópio. Também foram projetadas caixas de proteção em MDF com modelagem no AutoCAD, a fim de garantir a segurança e a portabilidade do sistema.

Foram estudadas formas de controle da prótese robótica a partir dos sinais captados, utilizando-se como base para o algoritmo de interpretação, técnicas estatísticas de distribuição de intervalos. Foram consideradas médias de distribuição, além de pontos máximos e mínimos dos sinais, a fim de definir padrões de ativação. O controle dos movimentos foi implementado com servomotores conectados a um módulo Bluetooth HC-05. A interconexão dos componentes se dá através do Arduino, através da leitura e interpretação do sinal EMG. O protótipo da prótese foi modelado no software Blender, com foco na reprodução fiel da anatomia humana e na funcionalidade mecânica dos dedos.

#### **4. RELATO DE EXPERIÊNCIA**

Ao longo do período de execução, o projeto enfrentou desafios técnicos significativos, sobretudo na captação dos sinais mioelétricos. Inicialmente, houve erro de aplicação de tensão em um sensor, o que causou sobrecarga, resultando na queima de componentes. Esse evento levou a equipe a revisar cuidadosamente as especificações dos dispositivos e a adotar fontes de tensão controladas. Posteriormente, dificuldades na leitura dos sinais mesmo com o osciloscópio levaram à hipótese de que os materiais utilizados (eletrodos e gel condutor) comprometeram a eficiência da medição.

Com o apoio de novos bolsistas e a reestruturação da equipe, retomou-se o projeto com uma análise crítica das etapas anteriores. A substituição dos cabos, a melhoria na taxa de amostragem (reduzida para 2 ms) e a adoção de alimentação estabilizada permitiram avançar nos testes. Com a configuração adequada do eixo de leitura e da chave de acoplamento do osciloscópio, observou-se pela primeira vez um padrão consistente de sinal durante a contração muscular do flexor ulnar do carpo.

A etapa seguinte concentrou-se na modelagem tridimensional e na montagem do protótipo de prótese. Foram investigadas formas de simulação dos tendões utilizando fios de nylon conectados a servomotores. Estudou-se a necessidade de realocar o controle do movimento para

uma placa auxiliar, permitindo a compartmentalização da leitura e interpretação dos sinais. Esse processo permitiu a dissociação dos circuitos de potência e controle, aumentando a estabilidade do sistema.

Ademais, observou-se a importância de desenvolver uma interface de comunicação responsiva entre os módulos. A utilização do Bluetooth HC-05 mostrou-se eficaz para transmissão de dados em baixa latência, o que será essencial para o controle em tempo real da prótese. Foram também realizados testes com dispositivos Android como alternativa de controle, sugerindo caminhos para futuras extensões do projeto em direção a sistemas multiplataforma.

## 5. CONCLUSÃO

Apesar dos diversos desafios enfrentados, como a falha inicial na captação de sinais mioelétricos e a limitação de materiais, o projeto mostrou-se viável e promissor. A experiência prática contribuiu significativamente para o desenvolvimento técnico e científico dos estudantes, proporcionando conhecimento em neurofisiologia, robótica e programação embarcada.

A construção do protótipo com plataformas acessíveis reforça o potencial educacional e social de tecnologias assistivas de baixo custo. As próximas etapas envolvem o refinamento da captação dos sinais, aplicação de filtros digitais e desenvolvimento de algoritmos de interpretação e resposta motora. O projeto demonstra a importância da integração entre ensino, pesquisa e impacto social.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao PIBIC/CNPq, ao IFSULDEMINAS – Campus Três Corações e aos estagiários do Espaço Maker pelo apoio e materiais cedidos para a realização das atividades.

## REFERÊNCIAS

BANZI, M.; SHILOH, M. Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform. Maker Media, 2014.

CHU, J. U. et al. A real-time EMG pattern recognition system based on linear-nonlinear feature projection for a multifunction myoelectric hand. IEEE Trans. Biomed. Eng., 2007.

ENGLEHART, K.; HUDGINS, B. A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control. IEEE Trans. Biomed. Eng., 2003.

FARINA, D.; NEGRO, F. Decoding the neural drive to muscles from the surface electromyogram. Clin. Neurophysiol., 2012.

ZOLLO, L. et al. Biomechatronic design and control of an anthropomorphic artificial hand. IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2011.