

14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

PRÓTESE MIOELÉTRICA DE BAIXO CUSTO PARA MEMBROS SUPERIORES

SAMUEL PESTANA¹, ELIAN J. AGNOLETTI²

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, *Campus* Cubatão, s.pestana@aluno.ifsp.edu.br.

² Docente de Engenharia de Controle e Automação, IFSP, *Campus* Cubatão, agnoletto.elian@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.05.01-7 Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais

RESUMO: A Tecnologia Assistiva (TA) visa ampliar habilidades funcionais de indivíduos com necessidades específicas, promovendo independência e inclusão na sociedade. Uma vertente crucial da TA é a categoria das órteses e próteses. A criação de próteses ativas controladas por sinais eletromiográficos vem se tornando cada vez mais frequente. No entanto, o alto custo de tais próteses comerciais faz com que sejam inacessíveis para muitos pacientes. Nesse sentido, este projeto, ainda em andamento, tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de prótese mioelétrica confeccionada em impressora 3D, com filamento de polietileno tereftalato de etileno glicol (PETG), visando uma solução mais econômica para os pacientes. O protótipo compreende sensores mioelétricos, com sua placa de condicionamento de sinais, e uma placa microcontroladora Arduino Uno para realizar o controle dos servomotores responsáveis pelo movimento da prótese. Após finalizado o protótipo, serão realizados testes para validar sua capacidade de reconhecer estímulos musculares e reproduzir movimentos típicos, como abrir e fechar a mão. A expectativa é que os estudos relativos à prótese proposta possam contribuir para habilitar pacientes a desempenharem atividades cotidianas, reintegrando-os à sociedade com maior independência e melhor qualidade de vida.

PALAVRAS-CHAVE: tecnologia assistiva; impressora 3D; sinais mioelétricos; Arduino.

UPPER LIMBS LOW-COST MYOELECTRIC PROSTHESIS

ABSTRACT: Assistive Technology (AT) aims to expand the individual's functional abilities with specific needs to promote independence and inclusion in the society. The TA crucial strand is the orthoses and prostheses category. The active prostheses creation controlled by electromyographic signals has been growing a lot. However, the commercial prostheses high cost makes them unaffordable for many patients. In this sense, this project still in progress aims to develop a 3D printed myoelectric prosthesis prototype with polyethylene glycol terephthalate (PETG) filament looking for a more economical solution for the patients. The prototype is formed by myoelectric sensors with a signal conditioning board and an Arduino Uno used to control the servomotors and move the prosthesis. After ending the prototype, experiments will be carried out to analyze and validate the prosthesis ability to recognize muscle stimuli and reproduce typical movements such as opening and closing the hand. It is expected that the study of this prosthesis can contribute to empower patients in the execution daily activities and reintegrate them into society with greater independence and better quality of life.

KEYWORDS: assistive technology; 3D printer; myoelectric signals; Arduino.

INTRODUÇÃO

A Tecnologia Assistiva (TA) abrange um vasto espectro de recursos, serviços e métodos destinados a potencializar as capacidades funcionais de indivíduos com deficiências, fomentando sua independência e inclusão social. Além disso, a TA possibilita que o paciente amplie uma habilidade funcional deficitária ou consiga realizar uma função desejada, porém que se encontra impedida, seja por circunstância de deficiência ou pelo próprio envelhecimento (Bersh, 2017).

As limitações de acessibilidade têm um impacto direto nas atividades diárias de pessoas com mobilidade reduzida. Para facilitar suas vidas, pesquisas interdisciplinares se concentram nas áreas da engenharia e da saúde, explorando a aplicação de sinais musculares para controlar dispositivos de reabilitação, como as próteses (Amorin, 2018; Souza, 2022).

Para o desenvolvimento de uma prótese, é necessário compreender o complexo funcionamento biomecânico da mão humana. Diversos trabalhos estudam as próteses ativas, as quais usam sinais biomédicos (eletromiograma ou eletroencefalograma) para o controle dos movimentos. A eletromiografia avalia a ação muscular, sendo monitorada por eletrodos de superfície ou agulha na pele, gerando o potencial de ação da unidade motora, indicando a contração muscular. Dessa forma, é possível movimentar uma prótese por meio de motores comandados de acordo com os sinais recebidos a partir dos sensores (Cunha, 2002; Amorin, 2018; Li, 2021; Zhu, 2022).

Contudo, próteses mioelétricas comerciais são bastante caras (100-300 mil reais), o que dificulta a aquisição desses equipamentos para a maioria das pessoas. Para reduzir este problema, pesquisadores utilizam impressão 3D e placas microcontroladas de baixo custo, como a Arduino e a Devkit do ESP32, para criar próteses com certa funcionalidade e economicamente viáveis para a maioria da população (Costa, 2016; Amorin, 2018; Moraes, 2019; Maia, 2021; Bellinazzi, 2022; Carreira, 2022).

Nesse sentido, este trabalho, ainda em fase de desenvolvimento, visa desenvolver um protótipo de prótese mioelétrica para membros superiores de baixo custo quando comparado ao das próteses mioelétricas comerciais. Espera-se que este projeto possa contribuir como base para demais estudos relacionados com próteses mioelétricas e auxiliar na reabilitação de pacientes que necessitam desse tipo de tratamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente, foi feito o levantamento bibliográfico sobre as principais próteses encontradas na literatura. Esta etapa foi fundamental para a identificação das dificuldades enfrentadas, pois auxiliou na percepção dos desafios a serem encontrados, visando a melhor preparação e planejamento para o desenvolvimento deste projeto.

A maioria dos trabalhos relacionados a próteses de baixo custo utilizam microcontroladores como Arduino e ESP32. O Arduino consiste em uma placa compacta com vários pinos de entrada e saída, conforme mostrado na Figura 1, que pode ser programado para interagir com sensores, atuadores e outros dispositivos. A programação é feita usando o Ambiente de Desenvolvimento Integrado Arduino (IDE Arduino), onde os usuários escrevem o código para definir como a placa deve responder mediante diferentes entradas e condições. Esse código é então transferido para a placa Arduino escolhida, permitindo a execução de tarefas especificadas. A flexibilidade e a simplicidade da placa Arduino Uno faz com que ela seja uma ferramenta ideal tanto para iniciantes quanto para profissionais, para prototipar e desenvolver uma ampla gama de projetos eletrônicos, desde o controle simples de LEDs até sistemas robóticos complexos e aplicações de internet das coisas (IoT). Além disso, por sua simplicidade de uso e custo reduzido, foi a placa microcontroladora escolhida neste trabalho. Assim, com a utilização dos sensores e a programação correta, é possível fazer com que os servomotores sejam ativados quando reconhecerem os estímulos elétricos.

Figura 1 - Arduino Uno.



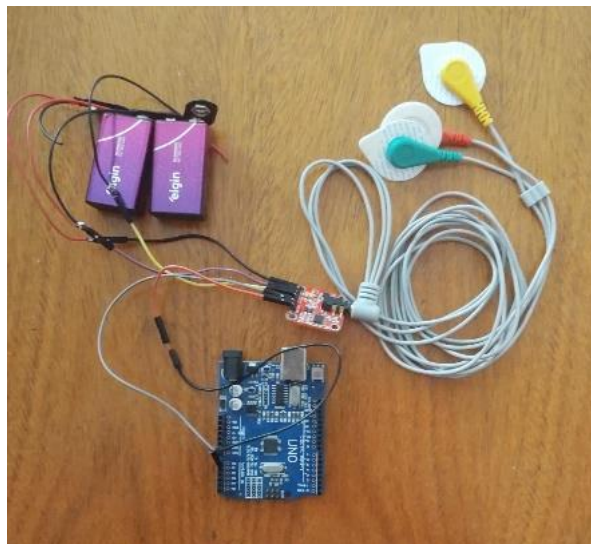
Fonte: Página oficial da loja do Arduino¹.

Dentre os diversos sensores existentes para obtenção dos sinais mioelétricos, neste trabalho foi utilizado o Módulo Sensor Eletromiográfico de Sinal Muscular (EMG) apresentado na Figura 2, devido ao custo acessível e facilidade de comunicação com diversas placas microcontroladas, entre elas a Arduino Uno.

¹ Disponível em: <<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

O módulo EMG é formado por três eletrodos de superfície que são conectados ao braço para detecção do estímulo muscular e uma placa eletrônica responsável por ler os sinais dos sensores, condicioná-los e enviar o sinal condicionado para a placa Arduino. Além da placa microcontrolada e do módulo EMG, foram utilizadas duas baterias de 9V como fonte de alimentação para os circuitos.

Figura 2 - Sensor EMG com placa de condicionamento de sinais.



Fonte: Próprio autor.

Para realizar a movimentação dos dedos da mão, geralmente, utiliza-se servomotores. O servomotor utilizado foi o MG90S apresentado na Figura 3. O servomotor é um dispositivo compacto e versátil utilizado para controle preciso de movimento em várias aplicações. Ele é caracterizado pelo seu tamanho reduzido, eficiência e capacidade de girar na faixa de aproximadamente 0 a 360 graus dependendo do modelo. O MG90S é um tipo de servomotor amplamente utilizado em projetos de modelismo, robótica e automação, onde é necessário um controle de posição preciso e resposta rápida. O MG90S possui um mecanismo interno de *feedback* de posição que permite ajustar automaticamente sua posição para atingir o ângulo desejado.

Figura 3 – Servomotor MG90S.



Fonte: Datasheet do MG90S².

Para o desenvolvimento da estrutura da mão, primeiramente, foi feita a análise da parte mecânica para definir o melhor modelo para ser trabalhado na impressora 3D e, posteriormente, desenvolver o protótipo final do membro superior desejado. A opção escolhida de fundamentação foi a Cyborg Beast³. A impressão do protótipo foi realizada em impressora 3D com filamento de polietileno tereftalato de etileno glicol (PETG). Por ser uma fibra que é *Food Safe*, esse filamento suporta temperaturas elevadas, e ter uma boa resistência a impactos. O protótipo impresso contou com alguns ajustes para o funcionamento adequado com os servomotores, dentre eles realização de furos mais largos para facilitar a passagem dos cabos pela peça, tornando o movimento dos dedos mais preciso.

² Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132104/ETC2/MG90S.html>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

³ Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:262723>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta o protótipo de membro superior desenvolvido na impressora 3D, utilizando o filamento PETG. Para auxiliar no movimento, foram usadas linha de *nylon* que darão suporte aos servomotores alocados e assim ser possível a realização da movimentação dos dedos.

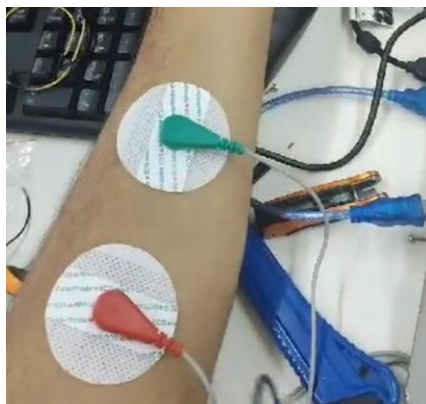
Figura 4 – Mão completa impressa em impressora 3D com filamento PETG.



Fonte: Próprio autor.

Após a impressão da estrutura da mão, foi realizada a etapa de análise dos sinais miolétricos. Para isso, os eletrodos do módulo EMG foram devidamente posicionados no braço, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Eletrodos do módulo EMG conectados ao braço.



Fonte: Próprio autor.

Para ser feito o estudo dos indicadores mioelétricos do corpo, foi usado o sensor EMG ligado à placa Arduino Uno para aquisição dos sinais. Para a programação, foi usado o código desenvolvido na Arduino IDE mostrado na Figura 6, pois com ele é possível ler o sinal do sensor e plotar os gráficos necessários para análise.

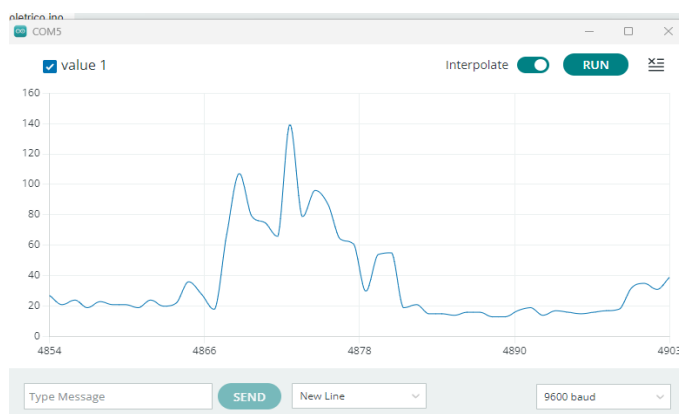
Figura 6 – Código utilizado no Arduino IDE para operar o ler os sinais do módulo EMG.

```
1  int emgPin = A0;
2  int emgValue = 0;
3  void setup(){
4      Serial.begin(9600);
5  }
6  }
7
8  void loop () {
9      emgValue = analogRead(emgPin);
10     Serial.println(emgValue);
11     delay(100);
12 }
```

Fonte: Próprio autor.

A Figura 7 apresenta o sinal captado pelo módulo EMG após uma contração muscular. Para essa contração muscular, o pico do sinal chegou em valores próximos a 140, sendo que, quando não há a contração muscular, o valor se mantém próximo de 20. Quando detectada a contração muscular, é possível enviar um sinal para que a placa Arduino Uno envie o sinal de acionamento para os servomotores, puxando os fios de *nylon*, resultando no fechamento ou abertura da mão. Dessa forma, o projeto em si, tem como base esta sequência de funcionamento: sinal detectado, ativação do servomotor, tração dos fios, mão sendo fechada.

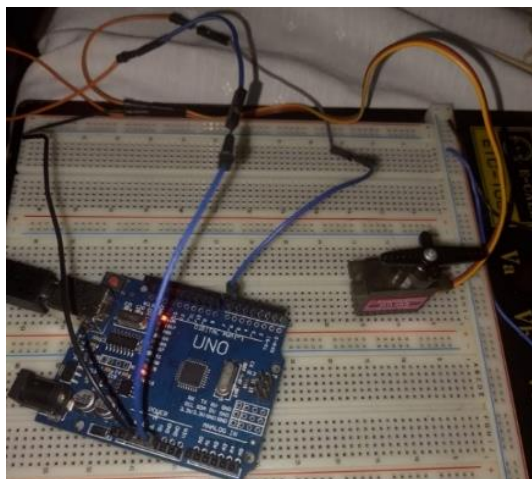
Figura 7 – Sinal captado após a contração muscular.



Fonte: Próprio autor.

Até o momento, já foram realizados alguns testes iniciais para verificar a comunicação entre os servomotores e a Arduino Uno. A Figura 8 apresenta as conexões elétricas entre ambos os *hardwares*. O próximo passo, que já está em andamento, é finalizar o compartimento para alocação dos servomotores e, em seguida, integrá-los ao restante do protótipo para a finalização da prótese e a realização dos movimentos da mão.

Figura 8 – Conexões da placa Arduino Uno para realização de testes de comunicação e acionamento dos servomotores.



Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados neste trabalho, foi possível compreender o funcionamento básico dos principais componentes de uma prótese com custo mais acessível aos pacientes. A utilização de componentes de baixo custo se mostrou eficiente para a realização da leitura dos sinais mioelétricos e para o acionamento dos servomotores responsáveis pela movimentação dos dedos da mão. No momento, este projeto encontra-se na etapa de finalização do compartimento onde serão alocados os servomotores, com seus respectivos cabos para de tração. Espera-se que os estudos desenvolvidos neste projeto possam servir como base para estudos mais complexos relacionados a próteses mioelétricas e melhorar, na medida do possível, a qualidade de vida dos pacientes que necessitam desses tipos de próteses.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

S. P.: conceitualização, metodologia, desenvolvimento, implementação e teste de *software*, análise dos dados e experimentos, discussões dos resultados e redação do trabalho.

E. J. A.: metodologia, teste de *software*, análise dos dados, discussões dos resultados e redação do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFSP – Instituto de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo - *Campus* Cubatão, pela infraestrutura disponível e bolsa PIBIFSP, e à Coordenadoria de Manutenção pelo suporte técnico fornecido.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Aefjohn F.; SILVA, Gleidson L.; ALMEIDA, Lucas D.; MARIA JÚNIOR, Rusiano F.; SILVA, Nadison F.; BRITO FILHO, Francisco A. **Desenvolvimento de uma prótese mioelétrica utilizando redes neurais artificiais**. Congresso Brasileiro de Automática (CBA): João Pessoa, 2018.

BELLINAZZI, Lucas Ladeira Da Rocha. **Revisão Dos Principais Métodos De Atuação Elétrica Para Próteses De Membro Superior**. 2022. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecatrônica. Centro Tecnológico De Joinville, Universidade Federal De Santa Catarina (UFSC), Joinville, 2022.

BERSH, Rita. **Introdução à Tecnologia Assistiva**. Assistiva – tecnologia e educação: Porto Alegre, 2017.

CARREIRA, A. S.; MANSO, D. G. dos S.; MONTEIRO, G. G. A UTILIZAÇÃO E APLICAÇÃO DA IMPRESSORA 3D NA ÁREA DE SAÚDE. **Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação**, 8(9), 340–354, 2022.

COSTA, Iara Sabrina Parede; COSTA, Jaciara Maria Parede; ROCHA, Maria Eduarda Alves; SOUSA, Hairton César Prudêncio; RODRIGUES, Hernandes Erick Sousa; CONCEIÇÃO, Vanessa dos Santos; ARAUJO, Francisco Marcelino Almeida. **PRÓTESE ELETRÔNICA FEITA EM IMPRESSORA 3D E CONTROLADA POR SINAIS MIOELÉTRICOS**. VI Mostra Nacional de Robótica (MNR): Recife, 2016.

CUNHA, Fransérgio Leite. **MÃO DE SÃO CARLOS, UMA PRÓTESE MULTIFUNÇÃO PARA MEMBROS SUPERIORES: UM ESTUDO DOS MECANISMOS, ATUADORES E SENSORES**. 2002. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

ESPRESSIF. **ESP32 Series Datasheet**. v. 4.0, Espressif Systems, 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2023.

MAIA, Gislaine de Almeida; MOREIRA, Thiago Costa; MAIS, Fabiana da Silva. PROJETO FRIDAY: CONSTRUÇÃO DE UMA PRÓTESE MICROCONTROLADA DE BAIXO CUSTO. **Scientia Prima**, v. 7, 4 nov. 2021.

MORAIS, Bruna Souza. **Desenvolvimento de prótese mioelétrica para membro superior**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

SOUZA, Bruno R.; MINGIONE, Gabriel Ricardo; CONCEIÇÃO, Guilherme B.; RODRIGUES, Mayk A.; BETTONI, Pedro H. Orientador: CARVALHO, Danilo. Coorientador: NEVES, Alexandre. **Desenvolvimento de Prótese de Membro Superior por Manufatura Aditiva**. 2022. 12f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Anhembi Morumbi (UAM), São Paulo, 2022.