



AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS PARA CONTROLE DE PRÓTESES

ACQUISITION AND PROCESSING OF ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS FOR PROSTHESIS CONTROL

DOI: 10.5281/zenodo.18794977



Gabriel Henrique dos Reis Venancio¹

Guilherme Américo Rosa²

Jackson Tsukada³

Mauro Vanderlei de Amorim⁴

RESUMO

Próteses são dispositivos desenvolvidos para substituir parcial ou totalmente membros do corpo humano, buscando restaurar as funções motoras perdidas. Alguns dispositivos ainda não conseguem entregar para o usuário conforto, ergonomia e manipulação intuitiva. Em um mundo com inovações constantes e cada vez mais digital, o uso da eletricidade e suas vertentes se tornaram pilares essenciais, possibilitando grandes avanços em diversas áreas. A eletromiografia é uma técnica que vem se tornando uma importante ferramenta, possibilitando monitorar a atividade elétrica das células musculares. Neste contexto, o presente projeto busca a elaboração de uma prótese, integrando o

1 Graduado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário – UNIFEITEP.

2 Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário – UNIFEITEP. Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Unicesumar e mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

3 Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC; mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP; doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

4 Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP. Graduado em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS; especialização em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP; mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas -UNICAMP; doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

**Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar**

***A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)***





controle com aquisições de sinais eletromiográficos. O funcionamento da prótese se deu através de sinais captados por eletrodos afixados nos músculos responsáveis pela contração da mão. Os sinais foram processados, filtrados e amplificados, e o microprocessador estabeleceu se houve ou não contração muscular, replicando os movimentos na prótese. Os sinais foram analisados no domínio do tempo e da frequência, em que se optou pela utilização da amplitude RMS (*Root Mean Square*), definindo um limiar de contração e um limiar de repouso. A prótese proposta atingiu níveis satisfatórios, sendo responsiva e estável.

Palavras-chave: Eletromiografia, Condicionamento de sinais, Processamento, Controle.

ABSTRACT

Prostheses are devices developed to partially or fully replace human body limbs, aiming to restore lost motor functions. Some devices still fail to provide the user with comfort, ergonomics, and intuitive manipulation. In a world of constant innovation and increasing digitalization, the use of electricity and its applications has become essential, enabling major advances in various fields. Electromyography (EMG) is a technique that has become an important tool, allowing the monitoring of the electrical activity of muscle cells. In this context, the present project aims to develop a prosthesis integrating control through the acquisition of electromyographic signals. The prosthesis operates through signals captured by electrodes attached to the muscles responsible for hand contraction. These signals are processed, filtered, and amplified; the microcontroller determines whether muscle contraction has occurred and replicates the movement in the prosthesis. The signals were analyzed in both the time and frequency domains, where the use of the RMS (*Root Mean Square*) amplitude was chosen to define contraction and rest thresholds. The proposed prosthesis achieved satisfactory performance, being both responsive and stable.

Keywords: Electromyography, Signal Conditioning, Processing, Control.

1. INTRODUÇÃO

Próteses mioelétricas têm se consolidado como uma alternativa tecnológica relevante para a reabilitação funcional de indivíduos com amputações ou limitações motoras, ao permitir a substituição parcial das funções perdidas por meio de dispositivos controlados pela atividade muscular residual. O avanço da eletrônica, dos microcontroladores de baixo custo e das técnicas de processamento de sinais tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença *Creative Commons Atribuição*
(CC BY)





cada vez mais acessíveis e funcionais, ampliando o potencial de aplicação dessas próteses no contexto clínico e social.

A contração muscular voluntária está associada à geração de sinais elétricos resultantes da propagação dos potenciais de ação ao longo das fibras musculares esqueléticas. Esses sinais podem ser captados e analisados por meio da eletromiografia (EMG), técnica amplamente utilizada para o estudo da fisiologia neuromuscular e para o desenvolvimento de interfaces homem-máquina (Kamen; Gabriel, 2010; Scheeren; Krueger; Freitas, 2015). A EMG de superfície, em particular, destaca-se por seu caráter não invasivo e pela facilidade de implementação, sendo amplamente empregada em aplicações de controle mioelétrico.

Entretanto, os sinais eletromiográficos apresentam características que dificultam sua utilização direta em sistemas de controle, como baixa amplitude, elevada suscetibilidade a ruídos eletromagnéticos e interferências provenientes da rede elétrica, além da variabilidade fisiológica entre indivíduos e do fenômeno de *cross-talk* entre músculos adjacentes (Lopes, 2018; Moraes, 2010).

Dessa forma, torna-se indispensável a aplicação de técnicas adequadas de condicionamento e processamento de sinais, envolvendo etapas de amplificação, filtragem e extração de características relevantes no domínio do tempo e da frequência (Lathi, 2008; Oppenheim; Willsky, 2010).

Diversos estudos apontam que a análise no domínio do tempo, por meio de parâmetros como a amplitude RMS (*Root Mean Square*), apresenta bons resultados na identificação de estados de repouso e contração muscular, especialmente em sistemas de controle mioelétrico de menor complexidade computacional (Barros, 2005; Scalassara et al., 2023). Essa abordagem possibilita a implementação de estratégias de controle robustas e de fácil implementação em microcontroladores, tornando-se atrativa para aplicações de baixo custo.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um protótipo de prótese de mão controlada por sinais eletromiográficos de superfície, abordando





os fundamentos fisiológicos da contração muscular, a aquisição e o processamento dos sinais EMG e sua aplicação no controle de atuadores.

O estudo avalia o comportamento dos sinais nos domínios do tempo e da frequência, destacando as limitações encontradas e a viabilidade do uso da amplitude RMS como critério de controle, contribuindo para o avanço de soluções acessíveis em próteses mioelétricas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os fundamentos científicos que embasam o desenvolvimento do protótipo de prótese controlada por sinais eletromiográficos (EMG). São abordados os princípios fisiológicos da contração muscular, os conceitos da eletromiografia, bem como as técnicas de processamento de sinais aplicadas à aquisição e interpretação dos sinais mioelétricos.

2.1 Contração muscular e a geração do sinal elétrico

Os músculos esqueléticos, responsáveis pelos movimentos voluntários, possuem a capacidade de converter impulsos neurais em contração mecânica. Essa conversão é mediada por eventos eletroquímicos que geram sinais elétricos detectáveis na superfície da pele (Guyton; Hall, 2017).

A unidade funcional do movimento é a unidade motora, composta por um neurônio motor e todas as fibras musculares que ele inerva (Widmaier; Raff; Strang, 2017). Quando um impulso nervoso (potencial de ação) chega à terminação do axônio, ocorre a liberação do neurotransmissor acetilcolina na fenda sináptica da junção neuromuscular.

Esse neurotransmissor desencadeia um potencial de ação na membrana da fibra muscular, que se propaga ao longo de sua extensão (Guyton; Hall, 2017).

**Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar**

**A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)**





A contração em si ocorre pelo mecanismo de deslizamento dos filamentos de actina e miosina dentro dos sarcômeros, as unidades contráteis das fibras musculares. O potencial de ação promove a liberação de íons cálcio no interior da célula, permitindo a formação de pontes cruzadas entre actina e miosina e subsequente deslizamento, encurtando o músculo (Widmaier; Raff; Strang, 2017).

É a soma dos potenciais de ação de múltiplas unidades motoras, ativadas de forma assíncrona, que gera o sinal elétrico coletado na eletromiografia de superfície (Barros, 2005).

2.2 Eletromiografia (EMG) de superfície

A Eletromiografia é a técnica de registro e análise dos sinais elétricos associados à atividade muscular (Kamen; Gabriel, 2010). A EMG de superfície, não invasiva, capta o sinal resultante da superposição dos potenciais de ação das unidades motoras ativas por meio de eletrodos posicionados sobre a pele.

O sinal EMG bruto é um sinal aleatório, de baixa amplitude (na faixa de microvolts a milivolts), e seu espectro de frequência principal situa-se tipicamente entre 20 Hz e 500 Hz (Scalassara et al., 2023). Suas características são influenciadas por fatores fisiológicos (como a composição do tipo de fibra muscular, fadiga) e técnicos (como a localização e o tipo dos eletrodos, a distância intereletrodos) (Marchetti; Duarte, 2011).

Dois desafios principais na aquisição de sinais EMG são:

- Interferência da rede elétrica (60/60 Hz): Ruído de alta amplitude que se sobrepõe à banda de interesse do sinal EMG (Lopes, 2018).

- *Cross-talk*: Fenômeno em que os eletrodos captam a atividade elétrica de músculos adjacentes ao músculo-alvo, dificultando o isolamento do sinal de um músculo específico (Moraes, 2010).

Para ser utilizado em sistemas de controle, o sinal EMG requer condicionamento, que inclui etapas de: amplificação, para elevar sua amplitude a níveis mensuráveis; filtragem

**Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar**

**A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)**





(passa-banda), para remover componentes de baixa (artefatos de movimento) e alta frequência (ruído); e retificação (Kamen; Gabriel, 2010).

2.3 Processamento de sinais para controle mioelétrico

Após o condicionamento analógico, o sinal é digitalizado e processado para extrair características que possam ser mapeadas para comandos de controle.

A análise pode ser realizada em dois domínios:

- Domínio do Tempo: Características como a Amplitude RMS (*Root Mean Square*) são amplamente utilizadas. O valor RMS, que corresponde ao valor eficaz do sinal, é uma medida robusta da magnitude do sinal EMG e apresenta boa correlação com a força de contração muscular (Oppenheim; Willsky, 2010). Outras técnicas incluem a média do valor absoluto e a contagem de cruzamentos por zero.

- Domínio da Frequência: Através da Transformada de Fourier, é possível analisar o conteúdo espectral do sinal. Mudanças nas frequências médias ou medianas do espectro podem indicar, por exemplo, o estado de fadiga muscular (Lathi, 2008).

Para o controle de próteses, uma abordagem comum é a detecção por limiar (*thresholding*) no domínio do tempo. Define-se um limiar de amplitude (ex.: baseado no valor RMS) acima do nível de repouso. Quando o sinal processado ultrapassa esse limiar, um comando de ativação é gerado para o atuador (Barros, 2005). Esta abordagem, embora simples, é eficaz para controle de estados binários (ativo/repouso) e foi adotada neste trabalho.

2.4 Controle de próteses e atuadores

Sistemas de próteses mioelétricas convertem os comandos extraídos do sinal EMG em movimento. Microcontroladores, como a plataforma Arduino, são comumente empregados

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)





para realizar a aquisição, o processamento digital em tempo real e o envio de comandos de posição para servomotores. Estes atuadores permitem controle preciso de ângulo, sendo ideais para simular o movimento de articulações dos dedos em uma prótese de mão (Lopes, 2018).

A integração desses componentes – desde a captação fisiológica do sinal até a resposta mecânica da prótese – forma a base do sistema prototípico desenvolvido, que será detalhado na seção de Materiais e Métodos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tipo de pesquisa

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa experimental, de abordagem quantitativa, pois envolve a aquisição, o processamento e a análise de sinais eletromiográficos obtidos durante a contração muscular voluntária. A pesquisa experimental possibilita o controle das variáveis envolvidas e a avaliação do desempenho do sistema desenvolvido, sendo amplamente empregada em estudos de engenharia aplicada e sistemas biomédicos (Severino, 2013; Marconi; Lakatos, 2017).

3.2 Aquisição dos sinais eletromiográficos

A aquisição dos sinais eletromiográficos foi realizada por meio da eletromiografia de superfície, técnica não invasiva amplamente utilizada tanto em estudos fisiológicos quanto em aplicações de controle mioelétrico (Kamen; Gabriel, 2010; Scheeren; Krueger; Freitas, 2015). Foram utilizados eletrodos descartáveis do tipo ECG, posicionados sobre os músculos flexores do antebraço, responsáveis pelos movimentos de flexão dos dedos.

O posicionamento dos eletrodos seguiu as recomendações apresentadas por Marchetti e Duarte (2011), priorizando o alinhamento com as fibras musculares e o espaçamento

**Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar**

**A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)**





adequado entre os eletrodos ativos. A Figura 1 ilustra o posicionamento dos eletrodos sobre o antebraço do voluntário.

O sistema de aquisição utilizou três eletrodos, sendo dois para captação diferencial do sinal e um eletrodo de referência posicionado em região óssea, a fim de reduzir interferências externas e ruídos comuns à medição de sinais biológicos, conforme discutido por Scalassara et al. (2023).

3.3 Condicionamento e processamento do sinal

Os sinais eletromiográficos apresentam baixa amplitude e elevada suscetibilidade a ruídos eletromagnéticos, tornando necessário o uso de técnicas adequadas de condicionamento de sinais (Lathi, 2008). Para essa finalidade, foi empregado um módulo sensor EMG responsável pela amplificação inicial e pela filtragem analógica do sinal, adequando seus níveis para leitura pelo conversor analógico-digita.

Para realizar a captação dos sinais emitidos durante a contração muscular, foram utilizados eletrodos ECG (Figura 1), que possuem um hidrogel que facilita a adesão a pele. A comunicação entre os eletrodos e os componentes é feita através de um cabo com entrada de conector tipo botão e saída P2. Foram utilizados eletrodos descartáveis, visando melhor precisão e detalhamento na pesquisa.

A aquisição digital foi realizada por meio de uma placa Arduino Uno, baseada no microcontrolador ATmega328P, responsável pela amostragem do sinal EMG e pelo controle dos atuadores do sistema.

A taxa de amostragem adotada foi de aproximadamente 1000 Hz, valor compatível com a faixa de frequência típica dos sinais eletromiográficos de superfície (Kamen; Gabriel, 2010).





Figura 1 - Eletrodos ECG



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Para a análise dos sinais, os dados coletados foram exportados para o software GNU *Octave*, no qual foram realizadas análises nos domínios do tempo e da frequência. A análise espectral foi conduzida por meio da Transformada Rápida de Fourier (FFT), técnica amplamente utilizada na caracterização espectral de sinais biomédicos (Oppenheim; Willsky, 2010).

Considerando as limitações associadas à análise espectral dos sinais EMG, como interferências da rede elétrica, ruídos e o fenômeno de *cross-talk* entre músculos adjacentes (Moraes, 2010; Lopes, 2018), optou-se pela utilização da amplitude RMS (*Root Mean Square*) como principal parâmetro de controle no domínio do tempo. Essa métrica fornece uma medida robusta da energia do sinal e é amplamente utilizada em sistemas de controle mioelétrico de baixa complexidade computacional (Barros, 2005).

3.4 Protótipo da prótese e estratégia de controle

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)





O protótipo da prótese de mão foi desenvolvido a partir de um modelo humanoide confeccionado por impressão 3D em material ABS, contendo dedos articulados e compartimentos para a fixação dos atuadores. O sistema de acionamento mecânico foi composto por cinco servomotores do tipo MG90S, cada um responsável pelo movimento de um dedo.

A Figura 2, mostra um servo motor encarregado por realizar a movimentação da prótese. Ele possui um ângulo de 0° a 180°, tensão de operação de 4,8V – 6V. O servo motor tem como característica a precisão e o controle de sua movimentação.

A alimentação dos servos motores foi realizada utilizando uma fonte chaveada de 5V e 5A.

Figura 2 - Servo motor MG90S.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A estratégia de controle baseou-se na definição de dois limiares da amplitude RMS: um limiar superior associado à contração muscular voluntária e um limiar inferior correspondente ao estado de relaxamento. Quando o valor RMS do sinal EMG ultrapassava o



limiar de contração, os servomotores eram acionados, promovendo a flexão dos dedos da prótese.

O retorno à posição inicial ocorria quando o sinal apresentava valores inferiores ao limiar de relaxamento, estratégia compatível com abordagens descritas na literatura para controle mioelétrico simplificado (Barros, 2005; Scalassara et al., 2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a aquisição, processamento e validação do controle do protótipo de prótese de mão. As análises foram conduzidas nos domínios da frequência e do tempo, visando caracterizar o sinal eletromiográfico (EMG) e implementar uma estratégia de controle robusta.

4.1 Análise no domínio da frequência

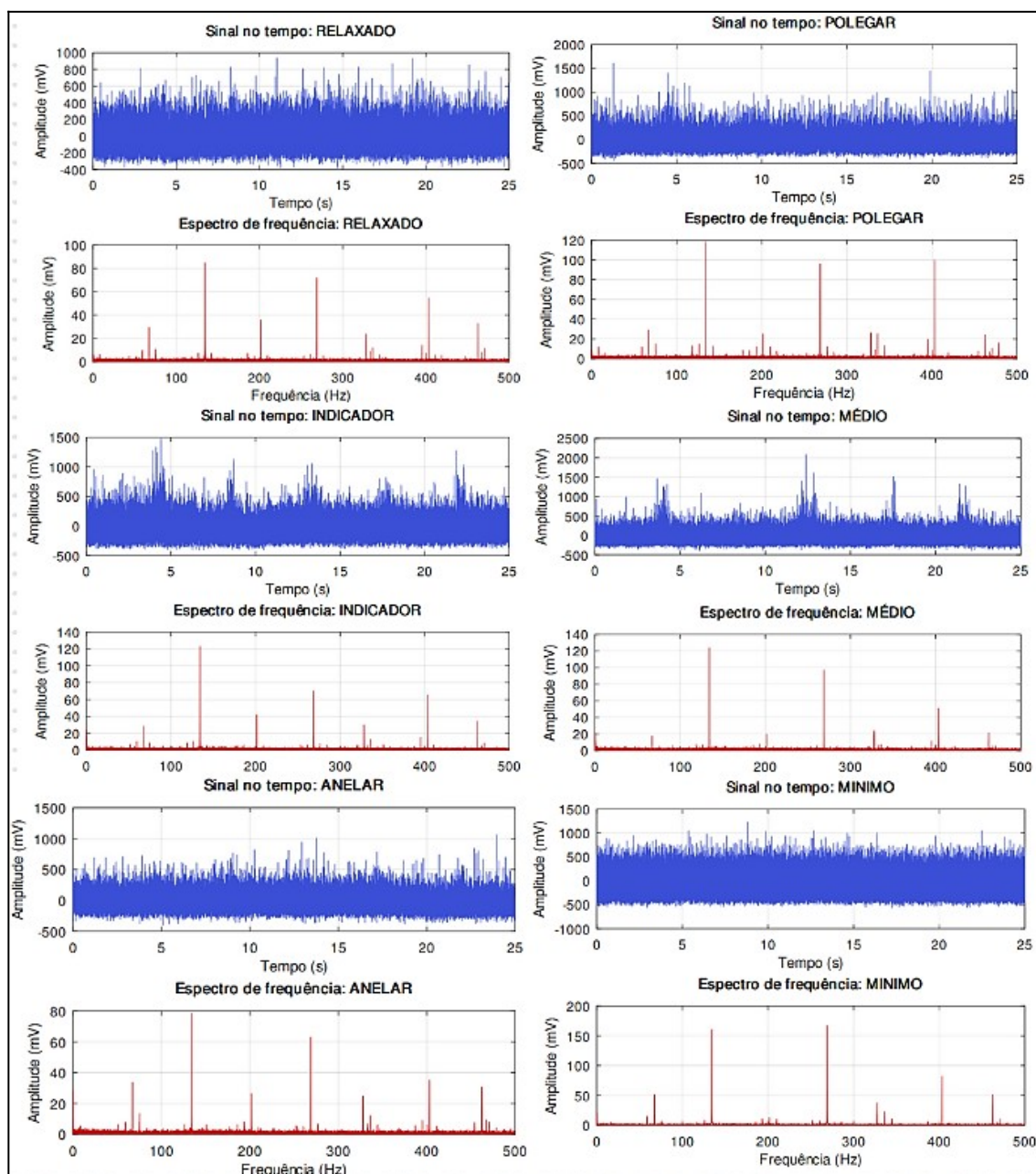
A caracterização espectral do sinal EMG foi realizada para investigar a possibilidade de discriminar movimentos individuais com base em assinaturas de frequência. As amostras foram coletadas em intervalos de 25 segundos, com contrações voluntárias realizadas a cada 5 segundos para diferentes configurações de movimento (dedos individualmente e mão total). A Transformada Rápida de Fourier (FFT) foi aplicada para obtenção do espectro de frequências.

Conforme mostrado na Figura 3, referente ao primeiro conjunto de amostras, os espectros de frequência para contrações de diferentes dedos apresentaram perfis muito semelhantes. Não foi observada uma frequência predominante ou uma assinatura espectral clara que permitisse distinguir de forma confiável qual dedo estava sendo contraído. Esse padrão se repetiu no segundo conjunto de amostras (Figura 4), onde, mais uma vez, não houve predominância de faixas de frequência específicas associadas a músculos isolados.





Figura 3 - Amostras 01



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

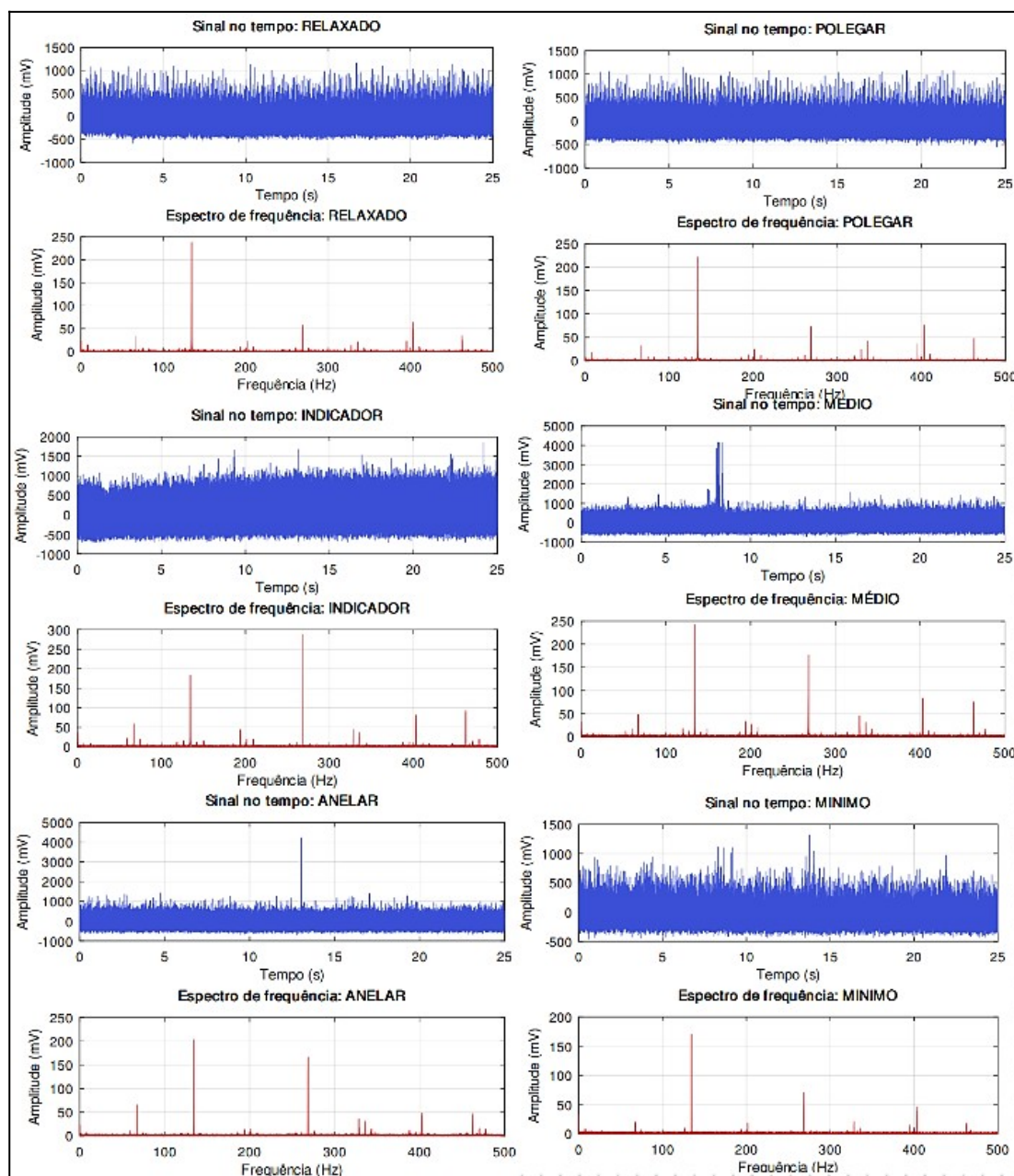
Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar

**A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)**





Figura 4 - Amostras 02



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar

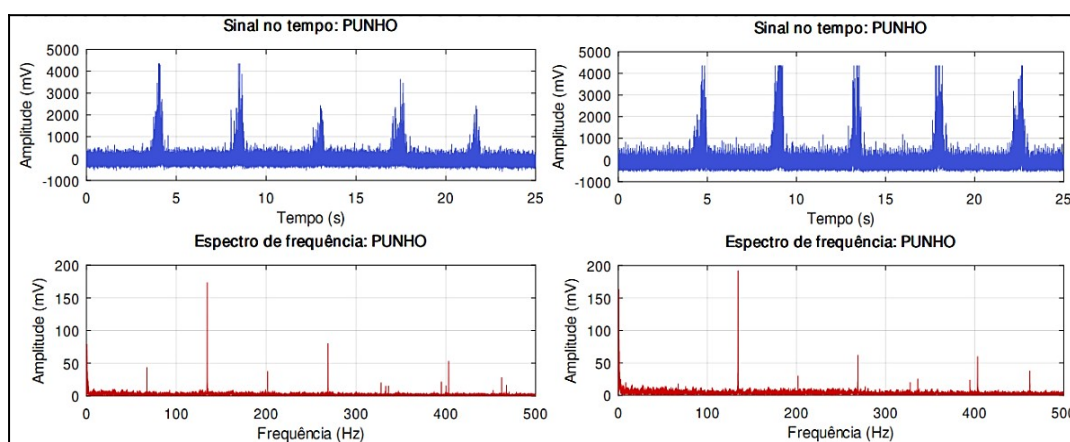
A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)





Um resultado mais definido foi obtido durante a contração de todos os dedos simultaneamente (contração total da mão). Como apresentado na Figura 5, a amplitude do sinal no domínio do tempo atingiu valores próximos à tensão de saturação do sensor. No entanto, no domínio da frequência, persistiu a ausência de uma assinatura espectral única, com o espectro mantendo-se amplo e sem picos distintivos.

Figura 5 - Amostras: contração mão

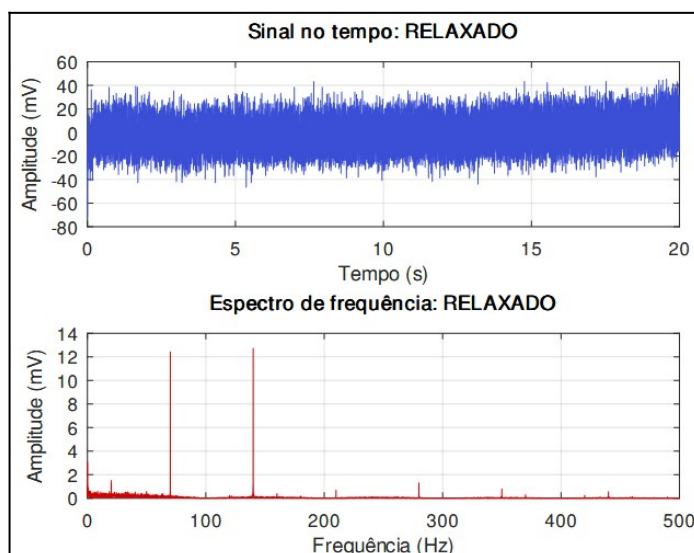


Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Em todos os casos, foi notória a presença de picos de amplitude pronunciados nas frequências de 60 Hz e 120 Hz nos espectros (Figuras 3, 4 e 5). Esses picos são atribuídos à interferência da rede elétrica e sua segunda harmônica, um ruído comum em ambientes energizados que se sobrepõe à faixa de frequência típica do sinal EMG (20-500 Hz) (Lopes, 2018). A filtragem digital com um filtro de mediana, aplicada na tentativa de mitigar ruídos impulsivos, não foi eficaz em remover essa interferência de banda estreita, como ilustrado na Figura 6. O sinal filtrado continuou exibindo os mesmos picos dominantes em 60 Hz e 120 Hz.



Figura 6 - Amostras com filtro de mediana



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A dificuldade em isolar assinaturas de frequência para músculos específicos pode ser explicada por dois fatores principais:

- Proximidade Anatômica e *Cross-talk*: Os músculos flexores dos dedos localizam-se muito próximos no antebraço. Eletrodos de superfície captam a atividade elétrica sumarizada de uma área, sofrendo do fenômeno de *cross-talk*, onde o sinal de um músculo adjacente interfere na leitura do músculo-alvo (Moraes, 2010). Isso torna difícil isolar a contribuição elétrica de um único músculo.

- Limitação do Sistema de Aquisição: O uso de um único canal de eletrodos e de um módulo sensor com filtragem analógica limitada não permitiu uma discriminação espacial e espectral mais fina.

Diante dessas limitações, a estratégia de classificação de movimentos baseada puramente na análise de frequência mostrou-se inviável para a configuração experimental adotada. Portanto, a atenção foi direcionada para o domínio do tempo, onde a amplitude do sinal apresentou uma correlação mais direta e mensurável com a atividade muscular.

**Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar**

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)



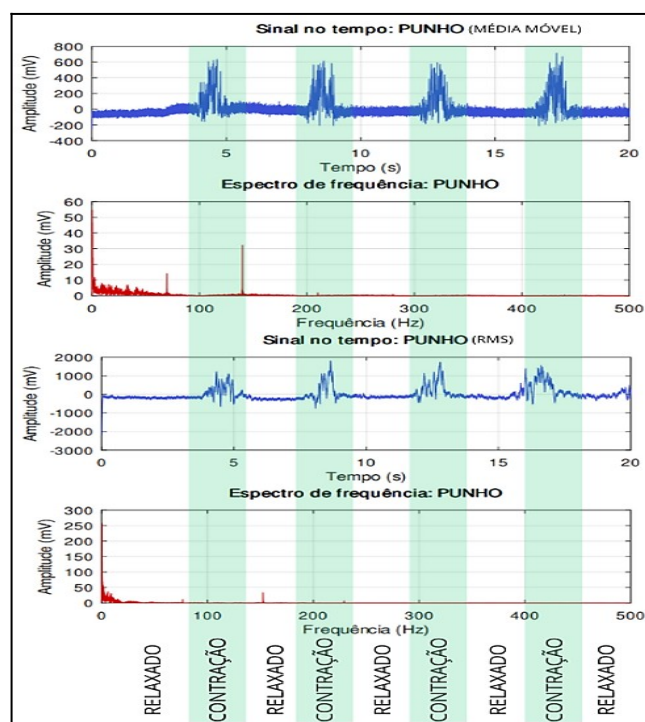


4.2 Análise no domínio do tempo e controle da prótese

A análise no domínio do tempo focou na relação entre a amplitude do sinal EMG e a intensidade da contração muscular. Observou-se que a amplitude do sinal bruto era diretamente proporcional à força de contração aplicada. No entanto, o sinal bruto apresentava alta variabilidade e ruído, mesmo no estado de repouso, o que dificultava a definição de um limiar de ativação confiável.

Para obter uma medida mais estável da magnitude do sinal, foram testados e comparados dois métodos de processamento: a média móvel e o cálculo do valor RMS (*Root Mean Square*). A Figura 7 apresenta uma comparação visual entre o sinal bruto, o sinal suavizado pela média móvel e o sinal processado pelo valor RMS, para uma mesma sequência de contrações.

Figura 7 - Comparação filtros



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma *Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)*





A análise da Figura 7 revela que o sinal processado pela média móvel, embora suavizado, ainda mantinha flutuações significativas e picos espúrios no estado de repouso. Em contraste, o valor RMS produziu um sinal notavelmente mais estável, com transições claras e bem definidas entre os estados de repouso e contração. A estabilidade do RMS no estado de repouso é particularmente vantajosa para a definição de limiares, reduzindo falsos acionamentos.

Com base nessa observação, adotou-se o valor RMS como a característica principal para o controle. A estratégia implementada no microcontrolador baseou-se em dois limiares:

- Limiar de Ativação (Alto): Valor de RMS acima do qual o sistema interpreta uma contração muscular intencional.

- Limiar de Repouso (Baixo): Valor de RMS abaixo do qual o sistema interpreta que o músculo retornou ao estado relaxado.

Essa técnica de *hysteresis* (ou janela de histerese) evita que flutuações mínimas ao redor de um único limiar causem um acionamento instável ("tremulação") do atuador. Quando o valor RMS ultrapassa o limiar de ativação, os servomotores são comandados para contrair os dedos da prótese. Eles permanecem nessa posição até que o valor RMS caia abaixo do limiar de repouso, quando então retornam à posição aberta.

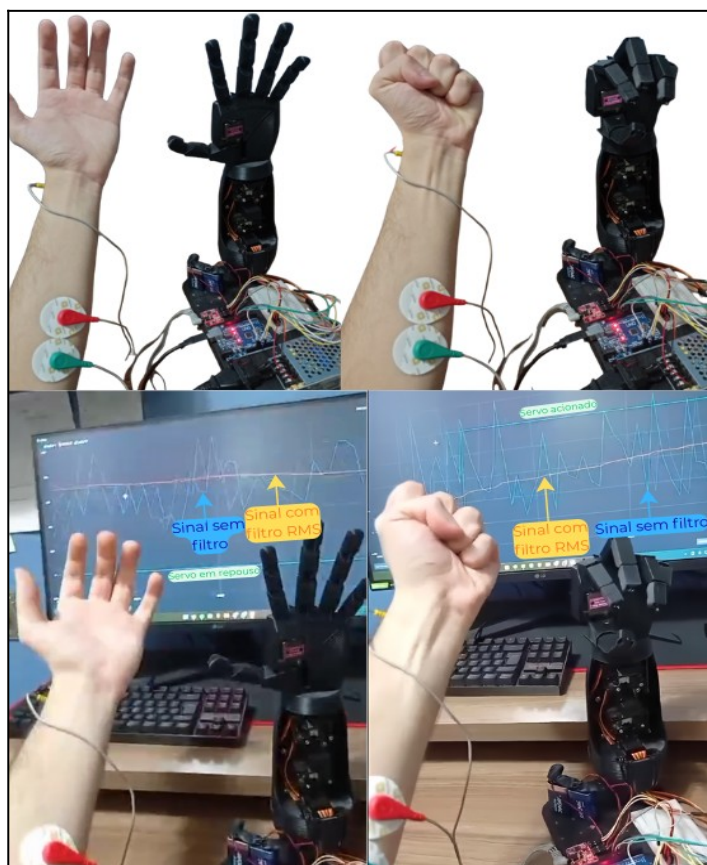
A Figura 8 ilustra a resposta final do sistema. Nela, é possível observar:

- O sinal EMG bruto (azul), com sua alta variabilidade.
- O sinal RMS processado (laranja), estável e com transições bem marcadas.
- O estado de saída do sistema (verde), representando o comando "ativo" (nível alto) enviado aos servomotores.





Figura 8 - Resposta Prótese



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

O protótipo controlado por essa lógica respondeu de forma consistente e intuitiva às contrações musculares do usuário. O atraso entre o início da contração e o movimento da prótese foi inferior a 200 ms, sendo considerado satisfatório para uma interação em tempo real. A relação direta entre a intensidade da contração e a amplitude do RMS também foi preservada: contrações mais fortes resultaram em valores RMS mais altos, embora o controle tenha sido implementado de forma binária (ativo/inativo) para esta versão do protótipo.

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)





4.3 Considerações sobre desempenho e limitações

O sistema desenvolvido atingiu o objetivo principal de criar uma prótese funcional controlada por EMG de forma intuitiva. A escolha do processamento RMS no domínio do tempo mostrou-se adequada e robusta para a aplicação, contornando as limitações impostas pela interferência da rede e pelo *cross-talk*.

As principais limitações identificadas foram:

- Controle Binário: A prótese realiza apenas o movimento de preensão (fechar) e repouso (abrir), sem controle de velocidade ou força proporcional.
- Ausência de Seletividade: Não é possível controlar dedos individualmente com a configuração atual de um único canal de EMG.
- Suscetibilidade a Ruído de Fundo: Apesar da melhora com o RMS, ambientes com muita interferência eletromagnética ainda podem degradar o desempenho.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a validação de um protótipo de prótese de mão controlada por sinais EMG de superfície. A abordagem no domínio do tempo, utilizando o valor RMS para definição de limiares, mostrou-se eficaz para controle binário (contraído/relaxado), com resposta estável e intuitiva. A análise no domínio da frequência foi comprometida por interferências da rede elétrica e pelo fenômeno de *cross-talk*, o que inviabilizou a discriminação de movimentos individuais com a configuração atual.

O sistema demonstrou viabilidade técnica e funcional para aplicações básicas de controle protético. Como trabalhos futuros, recomenda-se a implementação de filtragem analógica mais avançada, aquisição multicanais e técnicas de processamento que combinem características no tempo e na frequência para aumento da granularidade do controle.

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)





REFERÊNCIAS

- BARROS, F. B. **Classificação de sinais eletromiográficos para controle de próteses mioelétricas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.
- KAMEN, G.; GABRIEL, D. A. **Essentials of Electromyography. Champaign: Human Kinetics**, 2010.
- LATHI, B. P. **Sinais e Sistemas Lineares**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- LOPES, R. R. **Aquisição e processamento de sinais eletromiográficos aplicados ao controle de próteses**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.
- MARCHETTI, P. H.; DUARTE, M. **Instrumentação em eletromiografia. Laboratório de Biofísica**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- MORAES, A. C. **Estudo dos sinais eletromiográficos de superfície aplicados ao controle de próteses**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.
- OPPENHEIM, A. V.; WILLSKY, A. S. **Sinais e Sistemas**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- SCALASSARA, P. R. et al. **Aquisição e classificação de sinais eletromiográficos aplicados ao controle de dispositivos assistivos**. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 39, n. 2, p. 1–12, 2023.
- SCHEEREN, E. M.; KRUEGER, E.; FREITAS, R. O. **Eletromiografia: fundamentos e aplicações**. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 31, n. 1, p. 1–10, 2015.
- SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)



REVISTA OWL (*OWL Journal*)

www.revistaowl.com.br – ISSN: 2965-2634



Recebido em: 30/01/2026

Aprovado em: 12/02/2026

Publicado em: 26/02/2026

**Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 2 (2026):
Dossiê especial - Transformações Contemporâneas: Sociedade, Conhecimento e
Instituições em Perspectiva Interdisciplinar**

***A Revista OWL Journal está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição
(CC BY)***

