



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - CEUB

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Rafael Campos Lima

**Prótese eletromiográfica infantil de membros superiores com
ênfase em segurar objetos**

BRASÍLIA

2023

Rafael Campos Lima

**Prótese eletromiográfica infantil de membros superiores com
ênfase em segurar objetos**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

Orientação: Prof. MSc. Francisco Javier de
Obaldía Díaz

BRASÍLIA

2023

RESUMO

O projeto visa desenvolver uma prótese de mão que seja capaz de imitar os movimentos naturais da mão humana, utilizando sinais elétricos gerados pelas contrações musculares como base para o controle. O processo de criação envolve a construção de um circuito eletrônico que incorpora sensores eletromiográficos para capturar os sinais elétricos produzidos pelos músculos, juntamente com transdutores de pressão e toque que simulam os efeitos dos Corpúsculos de Meissner e Pacini, responsáveis pela sensação tátil.

O design da prótese é modelado em software de modelagem 3D e posteriormente impresso em um material durável. Os sensores e circuitos são integrados na estrutura da prótese, que é então calibrada para detectar e interpretar as contrações musculares do usuário. Isso permite que a prótese imite os movimentos da mão natural do usuário, proporcionando uma experiência mais intuitiva e funcional.

Para garantir a eficácia da prótese, são conduzidos testes de funcionalidade, nos quais a precisão dos movimentos replicados é avaliada. Além disso, é implementado um sistema adaptativo que utiliza algoritmos para aprimorar a interação entre a prótese e o usuário. Esse sistema é personalizado para se adequar às necessidades específicas de cada indivíduo.

Os resultados esperados incluem uma prótese que oferece uma maior naturalidade de movimentos e uma experiência mais próxima à funcionalidade da mão natural. Isso poderia melhorar significativamente a qualidade de vida dos usuários, tornando as tarefas diárias mais fáceis e intuitivas. No entanto, é importante reconhecer que ainda existem desafios a serem superados, como a variação individual na atividade muscular e a necessidade de algoritmos avançados para interpretar os sinais elétricos.

No geral, o projeto representa um avanço significativo no campo das próteses mioelétricas, buscando oferecer uma solução mais eficaz e intuitiva para os indivíduos que dependem dessas tecnologias. A implementação bem-sucedida desse sistema pode ter um impacto positivo na vida daqueles que utilizam próteses de mão, proporcionando maior independência e funcionalidade.

Palavras-chave: prótese de mão; movimentação espelhada; sinais elétricos.

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	6
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
4. MÉTODO.....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16
REFERÊNCIAS	18

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia tem impulsionado significativamente a área de próteses e dispositivos assistivos, especialmente no contexto infantil. Crianças que enfrentam a perda ou ausência de membros superiores podem ser afetadas em sua independência e qualidade de vida, tornando essencial o desenvolvimento de soluções inovadoras que possam restaurar, em certa medida, suas habilidades funcionais e motricidade.

Nesse sentido, as próteses eletromiográficas têm se destacado como uma opção promissora, pois possibilitam o controle intuitivo dos movimentos por meio dos sinais elétricos gerados pelas contrações musculares residuais. Além disso, a ênfase na funcionalidade de segurar objetos torna-se crucial, uma vez que a manipulação de itens cotidianos é essencial para a autonomia e integração das crianças em diversas atividades, como brincar, estudar e interagir com o ambiente ao seu redor.

No entanto, o desenvolvimento de próteses eletromiográficas infantis enfrenta desafios particulares, como o tamanho reduzido dos membros e a necessidade de ajustes contínuos para acomodar o crescimento da criança. A eficiência, a durabilidade e a acessibilidade também são questões primordiais que impulsionam a pesquisa e a inovação na área.

Este artigo apresenta uma revisão abrangente do estado atual das próteses eletromiográficas infantis de membros superiores, com foco na importância de uma abordagem centrada na capacidade de segurar objetos. Serão discutidos os avanços tecnológicos recentes, os principais desafios enfrentados e as perspectivas futuras, destacando o potencial desses dispositivos para melhorar a qualidade de vida das crianças amputadas ou com malformações congênitas, promovendo maior inclusão e independência em suas atividades diárias.

Palavras-chave: Prótese eletromiográfica; Membros superiores; microcontrolador; língua de sinais; sensores mioelétricos; crianças;

2. OBJETIVOS

Este projeto tem como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema de circuito sensorial para próteses de membro superior ou similar, que permita fornecer retorno tátil baseado no funcionamento dos Corpúsculos de Meissner e Pacini. Esse sistema estará conectado a um microcontrolador programado e será associado a sensores eletromiográficos para captar os sinais elétricos emitidos pelo funcionamento dos músculos residuais do usuário. O principal propósito é criar uma prótese funcional que proporcione interações mais naturais e um maior aproveitamento da prótese mecânica existente.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Realizar uma revisão bibliográfica detalhada sobre o comportamento dos Corpúsculos de Meissner e Pacini, bem como a implementação de transdutores, programação do microcontrolador e tecnologias de sensores eletromiográficos.
- Projetar um circuito sensorial que utilize o microcontrolador, acoplando sensores eletromiográficos e transdutores de pressão e toque em formato de mão espalmada, seguindo as configurações dos Corpúsculos de Meissner e Pacini.
- Imprimir um protótipo funcional da mão espalmada, utilizando uma impressora 3D, e anexar o circuito sensorial projetado.
- Realizar testes para verificar a funcionalidade do circuito e a precisão da leitura dos transdutores, garantindo que o retorno tátil seja adequado e realista.

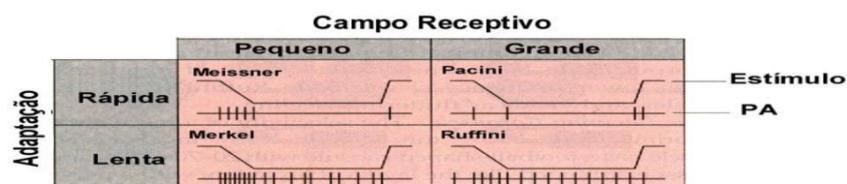
Ao alcançar esses objetivos, espera-se contribuir significativamente para o avanço da tecnologia de próteses de membro superior, proporcionando uma maior interação e comunicação entre o usuário e o ambiente ao seu redor, elevando a qualidade de vida e a independência de indivíduos amputados. Além disso, o trabalho busca explorar a viabilidade e a eficácia do uso de sensores eletromiográficos e circuitos sensoriais em próteses, abrindo caminho para futuras pesquisas e avanços nessa área promissora da tecnologia assistiva.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A pele, o maior órgão do corpo humano, é também responsável por obter informações cruciais acerca das características do mundo ao nosso redor, fornecendo o feedback necessário para a interação entre o ser humano e o mundo exterior. Embora consigamos reconhecer cada estímulo separadamente, estes são percebidos por receptores sensoriais que são classificados, segundo o tipo de energia que são capazes de assimilar, em quimiorreceptores, eletromagnéticos, nociceptores, termo receptores e mecanorreceptores. [19] [15].

O grupo de mecanorreceptores, objetos de estudo neste trabalho, é responsável pelas sensações de tato, pressão e vibração, com diferentes velocidades de adaptação e diferentes tamanhos de campos receptivos. Este grupo é composto pelos Corpúsculos de Meissner e Pacini, as terminações de Ruffini e os discos de Merkel. Podem ser classificados como de adaptação rápida, que respondem a estímulos passageiros e inconstantes e tratam o estímulo constante e duradouro como inexistente, e de adaptação lenta, que respondem continuamente a estímulos duradouros. Na Figura 1 é possível identificar o padrão comportamental baseado na velocidade de adaptação dos receptores. O eixo horizontal representa o tempo de resposta do receptor ao estímulo aplicado, o PA (potencial de ação) apresenta a forma com que os receptores se adaptam, mostrando grandes lacunas sem reação relacionadas aos estímulos duradouros para os receptores de adaptação rápida, enquanto o eixo vertical apresenta o tamanho dos campos receptivos de cada receptor. Este estudo limitar-se-á aos receptores de adaptação rápida, mais precisamente os Corpúsculos de Meissner e de Pacini. [19] [15] [18]

Figura 1- Resposta dos receptores de adaptação rápida e lenta aos estímulos mecânicos e seus respectivos potenciais de ação.

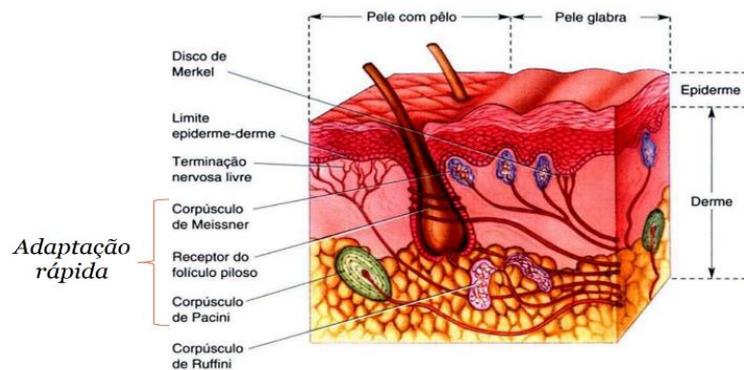


Extraído de: Unesp, 2019

Os Corpúsculos de Meissner são os receptores específicos do tato e encontram-se concentrados principalmente na ponta dos dedos. [12]. Reagem a movimentos leves sobre a pele e a vibrações de baixa frequência. Detectam velocidades e se adaptam em 1s [20].

Os Corpúsculos de Pacini são receptores de pressão, ou seja, detectam quando o estímulo tem uma maior duração e intensidade. Adaptam-se rapidamente às deformações teciduais, estimulados por movimentos rápidos dos tecidos e, portanto, são ótimos detectores de vibração mecânica. Respondem num intervalo de tempo de poucos centésimos de segundo e encontram-se principalmente na palma das mãos [12] [15]. A Figura 2 mostra a localização dos receptores nas camadas da pele.

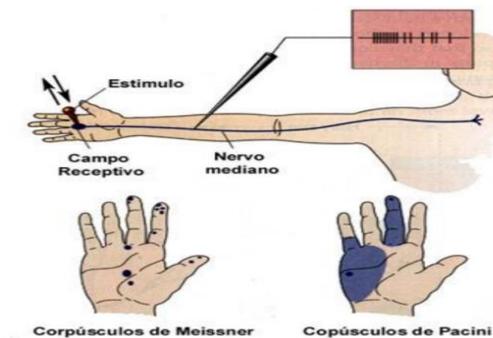
Figura 2 – Posições dos receptores na pele



Extraído de: USP, 2018

Na palma da mão observa-se que os campos receptivos dos corpúsculos de Pacini são amplos e os de Meissner são bem pequenos, conforme pode ser visto na Figura 3. A faixa de frequência que melhor estimula os corpúsculos de Pacini está entre 200 a 300Hz; os de Meissner, em torno de 50Hz [15].

Figura 3 – Campo receptivo dos Corpúsculos de Meissner e Pacini nas mãos

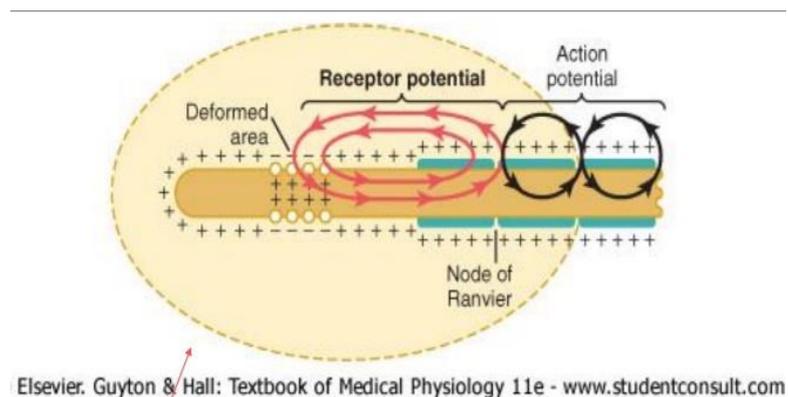


Extraído de: NISHIDA, 2012

A percepção dos estímulos externos é feita por células sensoriais especializadas, através de mecanismos que envolvem a abertura e fechamento de canais iônicos, que são canais por onde caminham os íons através da membrana e podem ser entendidos como condutores elétricos, e a ativação de receptores capazes de captar os diferentes estímulos. No centro destes receptores existem axônios - projeções da célula, longas e semelhantes a um cabo, que transportam a mensagem eletroquímica (impulso nervoso ou potencial de ação), e formam uma vasta rede que percorre os nervos periféricos, enviando a informação para o cérebro até o córtex somatossensorial. Apenas nas áreas associativas do córtex é que identificamos as características dos objetos que entraram em contato com a pele [11] [14] [15] [17] [18].

O processo de transformação dos estímulos físicos ou químicos em potencial elétrico pelos receptores sensoriais, denominado transdução sensorial, ocorre quando os estímulos mecânicos geram uma resposta elétrica, geralmente despolarizante, graduada e proporcional aos estímulos (os potenciais receptores (PR)), que são convertidos em potenciais de ação (PA) e então conduzidos ao sistema nervoso central (SNC). A analogia elétrica deste processo pode ser vista na Figura 4 [6] [15] [20].

Figura 4 – Processo de transdução sensorial.

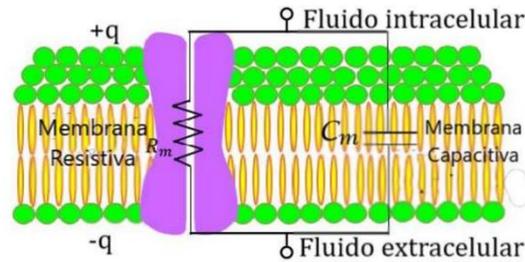


Extraído de: Nishida, 2011-?

O funcionamento dos mecanismos dos canais iônicos pode ser modelado por meio de um circuito eletrônico com um capacitor representando a membrana, que acumula carga e, em um determinado momento, descarrega por meio de um resistor em paralelo, simulando o comportamento do canal iônico. Esta relação elétrica é representada na

Figura 5 [13].

Figura 5 – Modelagem elétrica da membrana neural



Extraído de: Martins, 2018

A diferença de potencial entre as placas do capacitor é a tensão através da membrana, conforme apresentado na Figura 5. A relação entre a tensão V_m estabelecida entre as placas de um capacitor e a quantidade de carga Q que é distribuída ao longo das placas é dada pela capacitância C , conforme a equação 1 [13].

$$Q = CV_m \quad (1)$$

Quando a tensão V_m muda no tempo, há uma variação na quantidade de carga Q que corresponde à corrente que flui no capacitor, carregando-o ou descarregando-o. A corrente I_c é dada pela equação 2 [13].

$$I_c = \frac{C \, dV_m(t)}{dt} \quad (2)$$

Este projeto propõe um modelo que simula o comportamento do sistema sensorial tátil, desde a identificação dos estímulos externos pelos receptores mediante diferença de potencial elétrico, até o envio das informações pelos condutores e posterior percepção pelo córtex somatossensorial, através de um circuito de sensoriamento não funcional, formado por transdutores de baixo custo capazes de reconhecer pressão e toque, com topologia baseada na mão humana e acoplado a um sistema adaptativo de processamento

de dados treinado e calibrado, que possa ser incorporado a uma prótese mecânica de membro superior ou similar.

Atualmente, as próteses mecânicas mais comuns no mercado não se aproveitam das oportunidades de obtenção de dados ao manipular objetos, deixando de utilizar a totalidade de sua superfície de contato e carecendo de feedback sensorial. Em movimentos rotineiros como pegar um lápis, uma folha de papel ou um copo de vidro, é possível identificar a dificuldade que a unilateralidade de informação advinda da falta de leitura das características diversas dos objetos ocasiona, uma vez que a melhor forma de manipular um objeto varia de acordo com suas características físicas e seu ponto de contato com a ferramenta manipuladora, neste caso a prótese mecânica, afetando diretamente a naturalidade do movimento.

Se conhecemos o funcionamento mecânico dos mecanorreceptores e suas frequências de atuação, é possível reproduzi-los a fim de aplicar estas configurações em próteses mecânicas para membros superiores, com ênfase nas mãos e seus movimentos de preensão. Além dos movimentos básicos como movimentação lateral/vertical e abrir/fechar, a naturalização da prótese mecânica e posterior aceitação do indivíduo a ela conectado exigem que a prótese seja capaz de reconhecer, analisar e manipular objetos com precisão, aplicando o movimento de preensão da mão apropriado.

Preensão é a capacidade de utilizar a mão como uma pinça ou garra. Existem dois tipos básicos de preensão: a preensão palmar ou de força e a preensão de precisão ou pinça. A diferença entre os dois movimentos está na área de aplicação de força, na preensão de precisão esta é aplicada na ponta dos dedos, enquanto na preensão de força, na palma da mão. Preensões (ou pinças) são classificadas em três grupos: preensões digitais, preensões palmares e preensões centrais, representadas na Tabela 1 [4].

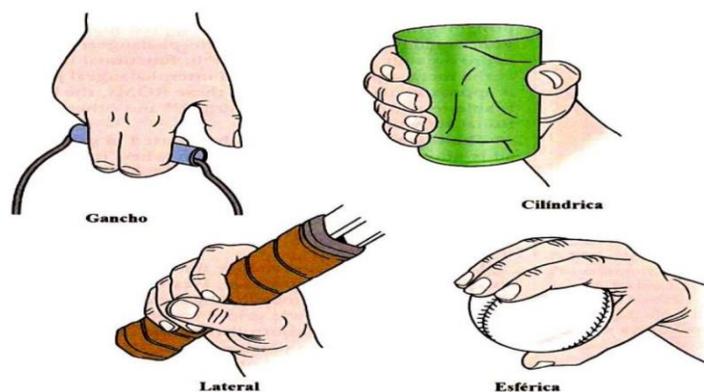
Tabela 1 – Grupos de tipos de preensões digitais, palmares e centrais.

PREENSÃO PROPRIAMENTE DITA			
PREENSÕES OU PINÇAS DIGITAIS		PREENSÕES PALMARES	PREENSÕES CENTRAIS
PINÇAS BIDIGIDAIS	PINÇAS PLURIDIGITAIS		
Terminal 	Tridigital Pulpar 	Digito Palmar 	
Subtérmino lateral 	Tetradigital Pulpar 	Palmar com a "mão toda" 	
Subterminal 	Pentadigital Pulpar 	Palmar cilíndrica 	

Extraído de: COSTA, 2017.

A preensão de força envolve segurar um objeto entre os dedos parcialmente flexionados, em oposição à contrapressão gerada pela palma da mão, a eminência tenar (região palmar lateral) e o segmento distal do polegar. Como o nome sugere, ela favorece o uso total da força [4]. Complementarmente, a Figura 6 mostra os tipos de força de preensão ao se segurar objetos bem conhecidos.

Figura 6 – Tipos de força de preensão.



Extraído de: COSTA, 2017.

4. MÉTODO

Criação do Circuito em Arduino:

Nesta etapa, o primeiro passo será a pesquisa e seleção dos componentes eletrônicos necessários para criar o circuito sensorial com o Arduino. Serão utilizados sensores eletromiográficos para captar os sinais elétricos emitidos pelas contrações musculares. Além disso, serão escolhidos transdutores de pressão e toque de baixo custo, que permitam a detecção de estímulos táteis. Com base na revisão bibliográfica sobre o comportamento dos Corpúsculos de Meissner e Pacini, o circuito será projetado para simular a resposta desses mecanorreceptores ao receber os estímulos externos.

Impressão 3D:

Com o circuito projetado e aprovado, será criado um modelo em software de modelagem 3D para a confecção da estrutura da prótese. A mão espalmada, baseada nas configurações dos Corpúsculos de Meissner e Pacini, será projetada para acomodar os sensores eletromiográficos e os transdutores de pressão e toque, proporcionando uma interface entre a prótese e o mundo exterior. O modelo final será convertido em um arquivo compatível com a impressora 3D selecionada, e a prótese será impressa em material adequado, garantindo resistência e durabilidade.

Prótese Funcionando com Contrações Musculares:

Nesta etapa, a prótese será montada com o circuito Arduino integrado e os sensores posicionados estrategicamente na mão espalmada impressa em 3D. A prótese será calibrada e ajustada para garantir a leitura precisa dos sinais elétricos emitidos pelas contrações musculares do usuário. A partir desse ponto, a prótese estará pronta para ser utilizada como extensão funcional do membro superior, captando as contrações musculares do usuário e fornecendo o retorno tátil de acordo com a simulação dos Corpúsculos de Meissner e Pacini.

Testes de Funcionalidade:

Com a prótese pronta e calibrada, serão realizados testes para verificar a funcionalidade do circuito em conjunto com a estrutura da prótese. Serão verificadas a precisão da leitura dos sinais elétricos pelas contrações musculares e a capacidade dos transdutores de pressão e

toque em simular a resposta dos Corpúsculos de Meissner e Pacini. Os testes também incluirão a análise da comunicação entre o circuito Arduino e os sensores eletromiográficos, garantindo que a prótese funcione conforme o esperado.

Implementação do Sistema Adaptativo:

Uma vez que a funcionalidade da prótese seja comprovada, será implementado um sistema adaptativo de processamento de dados no Arduino. Esse sistema permitirá a identificação e classificação dos estímulos recebidos pelos sensores eletromiográficos e transdutores de pressão e toque, possibilitando a aplicação da pressão adequada para segurar objetos e realizar movimentos de preensão de forma mais natural e precisa. O sistema adaptativo será treinado e calibrado para o usuário específico, aprimorando a interação com a prótese e a eficiência dos movimentos realizados.

Avaliação e Ajustes:

Após a implementação do sistema adaptativo, a prótese será submetida a uma avaliação detalhada com o usuário. Será realizada uma análise do desempenho da prótese em situações cotidianas, testando sua capacidade de manipular objetos com precisão e naturalidade. A partir do feedback do usuário, serão realizados eventuais ajustes no sistema adaptativo, visando aprimorar sua eficiência e atender às necessidades específicas do usuário.

Validação e Considerações Finais:

Por fim, o método será validado por meio da utilização da prótese em diferentes cenários e atividades diárias. Serão realizadas considerações finais sobre o desempenho do sistema, sua eficácia em simular o funcionamento dos Corpúsculos de Meissner e Pacini, e a experiência do usuário com a prótese funcional. O método será concluído com a apresentação dos resultados e discussões sobre as possibilidades de aplicação e aprimoramento da tecnologia desenvolvida.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste segmento, apresentamos os resultados e as discussões resultantes da implementação bem-sucedida do sistema de movimentação espelhada para uma prótese, com foco na replicação dos movimentos da mão existente. Descrevemos a metodologia adotada, destacamos os resultados obtidos e discutimos a relevância e as implicações desses resultados.

7.1. Metodologia de Movimentação Espelhada

O objetivo central deste estudo foi desenvolver e avaliar um sistema capaz de controlar uma prótese de mão de maneira espelhada em relação aos movimentos de uma mão existente. Para atingir esse objetivo, empregamos uma abordagem baseada em sinais de eletromiografia (EMG) para capturar e interpretar a atividade muscular da mão de referência. Esses sinais foram processados e traduzidos em comandos para a prótese.

7.2. Resultados e Observações

A implementação bem-sucedida do sistema de movimentação espelhada foi validada através de testes e avaliações rigorosas. Ao capturar e analisar os sinais EMG da mão de referência, conseguimos estabelecer padrões distintos de atividade muscular associados a diferentes movimentos da mão, como flexão, extensão e rotação.

Os resultados demonstraram que a prótese foi capaz de replicar de forma eficaz e sincronizada os movimentos da mão de referência. Por exemplo, quando a mão de referência executava um movimento de fechamento de punho, a prótese correspondente realizava o movimento espelhado de abertura.

7.3. Discussão e Implicações

A movimentação espelhada da prótese apresenta implicações significativas no campo das próteses mioelétricas. Ao permitir que os movimentos da prótese sejam controlados de forma natural, com base na atividade muscular da mão de referência, a abordagem elimina a necessidade de comandos manuais complexos e aumenta a intuitividade do controle.

Essa abordagem também tem o potencial de melhorar a qualidade de vida dos usuários de

próteses, facilitando a realização de tarefas cotidianas e promovendo uma sensação mais próxima à funcionalidade da mão natural. A sincronização entre a mão de referência e a prótese é crucial para a eficácia dessa técnica, e os resultados positivos destacam a viabilidade de seu uso prático.

7.4. Limitações e Considerações Futuras

É importante reconhecer que a movimentação espelhada da prótese não é isenta de desafios. A variação individual na atividade muscular pode requerer ajustes personalizados para cada usuário, a fim de alcançar a sincronização ideal. Além disso, a interpretação precisa dos sinais EMG demanda processamento avançado e algoritmos robustos.

Para o futuro, o refinamento contínuo dos algoritmos de interpretação, juntamente com avanços em tecnologias de sensores e processamento, pode aprimorar ainda mais a eficiência e a precisão desse sistema. A coleta de feedback dos usuários é fundamental para direcionar melhorias e adaptações necessárias.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concepção e aplicação da movimentação espelhada da prótese, como detalhada ao longo deste estudo, emerge como uma inovação promissora destinada a transformar a funcionalidade e a utilidade das próteses mioelétricas. Esta abordagem visionária, que envolve a habilidade de reproduzir de maneira autêntica os movimentos da mão de referência, intrinsecamente eleva a experiência dos usuários para um nível inédito de intuitividade e eficácia operacional.

Entretanto, é crucial reconhecer que a jornada até a plena realização dessa técnica inovadora está salpicada de desafios de ordem técnica e considerações intrínsecas às variações individuais. O reconhecimento da singularidade das respostas musculares em diferentes usuários e a constante busca por aprimoramentos algorítmicos constituem um imperativo, a fim de assegurar a adequação e a eficiência dessa abordagem em uma variedade de cenários.

No entanto, os resultados concretos alcançados até o momento conferem um otimismo genuíno quanto à viabilidade e ao potencial dessa técnica transformadora. Além disso, a perspectiva de um esforço colaborativo contínuo entre uma constelação de mentes

visionárias - desde pesquisadores que desvendam novas perspectivas científicas até engenheiros que traduzem esses insights em soluções tangíveis, e, não menos importante, os próprios usuários finais cujos feedbacks direcionam a evolução - inspira confiança em relação ao refinamento e aprimoramento constante da movimentação espelhada da prótese.

Ao olharmos para o futuro, vislumbramos a possibilidade genuína de uma sociedade mais inclusiva, na qual indivíduos que dependem de próteses mioelétricas possam vivenciar uma autonomia restaurada e uma qualidade de vida melhorada. Com um compromisso inabalável com a inovação, a pesquisa contínua e o diálogo interdisciplinar, essa técnica tem o poder de deixar um legado profundo, criando um impacto duradouro nas vidas daqueles que enfrentam desafios de mobilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] Morimoto, Sandra Yoshie Uruga et al. **Próteses e próteses de membro superior impressas em 3D: uma revisão integrativa**. Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional [online]. 2021, v. 29 [Acessado 6 Maio 2022] , e2078. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2526-8910.ctoAO2078>>. Epub 16 Abr 2021. ISSN 2526-8910. <https://doi.org/10.1590/2526-8910.ctoAO2078>.
- [2] KOUROUPETROGLOU, G.. Disability Informatics and Web Accessibility for Motor Limitations. IGI Global, 2013
- [3] Poletto, Michele, Wagner, Tânia Maria Cemin e Koller, Sílvia Helena **Resiliência e desenvolvimento infantil de crianças que cuidam de crianças: uma visão em perspectiva. Psicologia: Teoria e Pesquisa** [online]. 2004, v. 20, n. 3 [Acessado 9 Maio 2022] , pp. 241-250. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-37722004000300005>>. Epub 21 Fev 2005. ISSN 1806-3446. <https://doi.org/10.1590/S0102-37722004000300005>.
- [4] COSTA, REGINA MAMEDE. **ADAPTAÇÃO DO USUÁRIO DE PRÓTESES MIOELÉTRICAS: IMPLICAÇÕES NA APRENDIZAGEM DOS MOVIMENTOS DA MÃO** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO) do Ponto Focal Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Biotecnologia. Orientador: Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho Vitória. 2017. Tese (Doutorado) - Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO), Vitória, 2017
- [5] BEAR, M.F., CONNORS, B.W. & PARADISO, M.A., **Neurociências – desvendando o Sistema nervoso**. Porto Alegre, 2ª Ed., ArtMED Editora, 2002.
- [6] BRITO, Márcia do Nascimento. **Sistemas sensoriais: Propriedades gerais da recepção sensorial**. [S. l.], 201-?. Disponível em: <https://docplayer.com.br/1918931-Sistemas-sensorias-propriedades-gerais-da-recepcao-sensorial-profa-dra-marcia-do-nascimento-brito.html>. Acesso em: 5 fev. 2019.
- [7] CARVALHO, G. L. de. **Proposta de um método de projeto de próteses de membros superiores com a utilização da engenharia e análise do valor**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [8] DA CUNHA, Fransérgio Leite. **Mão de São Carlos, uma prótese multifunção para membros superiores: Um estudo dos mecanismos, atuadores e sensores**. Orientador: Alberto Cliquet Junior. 2002. 259 f. Tese (Doutorado, Engenharia Elétrica) - Universidade de São

Carlos, São Carlos, 2002. PDF.

[9] DE CAMARGO, Daniel Rodrigues. **Desenvolvimento do protótipo de uma prótese antropomórfica para membros superiores**. Orientador: Alberto Cliquet Jr. 2008. 173 f. Dissertação (Mestrado, Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2008. PDF.

[10] JUNIOR, Ednaldo Alves; MELLO, G. A.; IMENES, Matheus Panigassi. **Prótese Mioelétrica para Membro Superior. Projeto de Monografia do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade São Francisco**, 2016.

[11] LEÃO, Ricardo M. **Canais Iônicos**. [S. l.], 201-?. DISCIPLINAS DA USP - Ambiente virtual de apoio à graduação e pós-graduação. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/270553/mod_resource/content/2/aula%20canais%20ionicos.pdf. Acesso em: 3 fev. 2019.

[12] LINS, Ana Maria da Silva Curado. **Receptores Sensoriais**. [S. l.], 201-?. PUC - Goiás. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/5583/material/Receptores%20sensoriais.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2019.

[13] MARTINS, Erik Pinto. **MODELAGEM DA RESPOSTA DE MECANORRECEPTORES TÁTEIS SAIÍ COM CIRCUITOS MOS**. Orientador: Cesar Ramos Rodrigues. 2018. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação, Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15067/Martins_Erik_pinto_2018_TCC.pdf?squence=1&isAllowed=y. Acesso em: 9 jan. 2019.

[14] NISHIDA, Silvia Mitiko. **Como sentimos o mundo?: Introdução à Fisiologia sensorial**. [S. l.], 201-?. Unesp - Curso de ciências Biomédicas. Disponível em: http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Fisiologia/Neuro/aula14_fisiologia_sensoria_geral.pdf. Acesso em: 7 jan. 2019.

[15] NISHIDA, Silvia M. **Sentido Somático**. [S. l.], 2012. Apostila do curso de Fisiologia. Departamento de Fisiologia, IB Unesp-Botucatu. Disponível em: <http://www.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Fisiologia/Neuro/06.somestesia.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2019.

[16] POLIS, João Eduardo. **Projeto e Construção de Parte Estrutural de Prótese de Mão Humana com Movimentos**. 2009. Dissertação (Mestrado, Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2009. PDF.

- [17] PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO. **Sistema Nervoso**: Introdução. [S. l.], 201-?. Disponível em: [http://bio-neuropsicologia.usuarios.rdc.puc-rio.br/sistema-nervoso-\(introdu%C3%A7%C3%A3o\).html](http://bio-neuropsicologia.usuarios.rdc.puc-rio.br/sistema-nervoso-(introdu%C3%A7%C3%A3o).html). Acesso em: 3 fev. 2019.
- [18] UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP. **Fisiologia**: Sistema Nervoso. [S. l.], 201-?. Disponível em: https://midia.atp.usp.br/impressos/redefor/EnsinoBiologia/Fisio_2011_2012/Fisiologia_v2_semana02_parte2.pdf. Acesso em: 3 jan. 2019.
- [19] UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP. **Mecanorreceptores**: Características específicas, adaptação lenta e rápida, cavidade bucal. [S. l.], 201-?. DISCIPLINAS DA USP - Ambiente virtual de apoio à graduação e pós-graduação. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3895160/mod_resource/content/1/MECANORRECEPTORES.pdf. Acesso em: 6 fev. 2019.
- [20] UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA - UEL. **Sistema Nervoso parte 5**: Sistema Nervoso sensorial. [S. l.], 201-?. Disponível em: <http://www.uel.br/laboratorios/lefa/aulasfisiogeral/SISTEMANERVOSOPARTE5sistemasensorial.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2019.