

Interface gráfica para classificação de padrões de sinais neuroelétricos não-invasivos de indivíduos com lesão medular

Matias, Cristian Veggian^{*1}; Lourenção, João Pedro Moreto²; Vazquez, Jose Angel Nieves^{3 4}; Mendes Júnior, José Jair Alves⁵; Campos, Daniel Prado⁶

1. – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI-CT), UTFPR, cristianveggian@gmail.com
2. – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI-CT), UTFPR, jlourencao@alunos.utfpr.edu.br
3. – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI-CT), UTFPR, jvasquez@utfpr.edu.br
4. – Instituto Tecnológico Superior de San Andres Tuxtla, San Andres Tuxtla, Mexico, josenieves@itssat.edu.mx
5. – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI-CT), UTFPR, jjjunior@utfpr.edu.br
6. – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB-CT), UTFPR, daniel.campos.utfpr@gmail.com

* -Correspondência: Rua Cornélio Kloster, 567, Res. Interlagos, Apucarana, Paraná, Brasil, 86802-766.

DOI 10.52050/9788579177163-26

RESUMO

A crescente demanda por tecnologias assistivas que facilitam a reabilitação neurológica impulsiona o desenvolvimento de interfaces acessíveis para manipulação de biossinais. Este trabalho propõe uma interface gráfica para coleta, armazenamento e processamento de sinais de EEG, focando em imagética motora. Utilizando bibliotecas Python e arquitetura modular, a interface foi desenhada para facilitar o uso por indivíduos não familiarizados com programação. Como resultado, foi possível criar pipelines personalizados e visualizar métricas gráficas de classificação, promovendo acessibilidade e aplicabilidade prática em contextos de reabilitação. Conclui-se que a interface facilita o uso de técnicas de aprendizado de máquina na área de tecnologia assistiva.

Palavras-chave: aprendizado de máquina, eletroencefalografia, imagética motora.

ABSTRACT

The increasing demand for assistive technologies in neurological rehabilitation encourages the development of accessible interfaces for handling biosignals. This study proposes a graphical interface for acquiring, storing, and processing EEG motor imagery data. Using Python libraries and modular architecture, the interface was designed to facilitate use by individuals without programming skills. As a result, it was possible to create custom pipelines and visualize classification metrics, promoting accessibility and practical applicability in rehabilitation contexts. It is concluded that the interface facilitates the use of machine learning techniques in assistive technology.

Keywords: machine learning, electroencephalography, motor imagery.

1. INTRODUÇÃO

O avanço das interfaces cérebro-máquina (BCI - Brain-Computer Interface) tem aberto novas possibilidades para o desenvolvimento de tecnologias assistivas, especialmente voltadas para a reabilitação de indivíduos com deficiências motoras. Esses sistemas permitem a comunicação direta entre o cérebro e dispositivos computacionais, oferecendo alternativas de interação para pessoas acometidas por condições como lesões medulares, acidente vascular cerebral (AVC) ou doenças neurodegenerativas (ZHUANG et al., 2020; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2024).

As BCI baseadas em sinais de eletroencefalografia (EEG) têm se destacado por sua característica não invasiva e pela capacidade de capturar respostas cerebrais associadas à imaginação motora (IM). Esse tipo de sinal é gerado quando o indivíduo imagina movimentos com partes do corpo, mesmo sem executá-los fisicamente. Essa técnica tem sido empregada tanto em processos de diagnóstico quanto na reabilitação e no controle de dispositivos assistivos (SHARMA; KIM; GUPTA, 2022; MILNE-IVES et al., 2023).

Apesar do potencial dessas tecnologias, existem barreiras significativas no seu uso prático. Entre elas, destaca-se a complexidade das ferramentas atualmente disponíveis para aquisição, processamento e análise desses sinais. Grande parte das soluções exige conhecimento prévio em programação ou ciência de dados, o que restringe o acesso por parte de profissionais de saúde e pelos próprios pacientes (PRASHANT; JOSHI; GANDHI, 2015; MCFARLAND; DALY; PARVAZ, 2017).

Nesse contexto, a acessibilidade tecnológica emerge como um fator crítico para o avanço das BCI aplicadas à reabilitação. Não basta que os algoritmos sejam eficientes — é necessário que estejam embarcados em interfaces intuitivas,

capazes de facilitar o processo de configuração e execução sem a necessidade de intervenção técnica especializada (DIEZ, 2018).

Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma interface gráfica para coleta, processamento e classificação de sinais de imagética motora em EEG, permitindo a criação de pipelines personalizados e o armazenamento seguro dos dados coletados. A interface foi projetada para usuários não familiarizados com programação, visando facilitar o acesso a esse tipo de tecnologia assistiva e aproximar o universo computacional do cotidiano clínico e terapêutico.

Além disso, a ferramenta desenvolvida contribui para a resolução de um segundo problema recorrente em pesquisas na área: a dificuldade de reaproveitar dados de sessões anteriores para aprimoramento de modelos preditivos. Com o armazenamento organizado das coletas realizadas, é possível utilizar os registros tanto em classificações futuras quanto no treinamento de modelos mais robustos, como redes neurais profundas (HASTIE; TIBSHIRANI; FRIEDMAN, 2013).

Dessa forma, este trabalho apresenta não apenas uma proposta de ferramenta tecnológica, mas também uma contribuição prática para o cenário da tecnologia assistiva nacional, alinhada ao propósito do CBTA de fomentar soluções inovadoras e inclusivas.

O objetivo geral deste estudo é desenvolver uma interface gráfica intuitiva que integre o processo de classificação de padrões de sinais de imagética motora em EEG, tornando-o acessível tanto para profissionais da saúde com pouca ou nenhuma familiaridade com programação, como fisioterapeutas e terapeutas ocupacionais bem como pesquisadores iniciantes ou usuários interessados em neurotecnologia assistiva sem formação técnica em ciência de dados. Como objetivos específicos, destacam-se: implementar métodos de coleta de dados, permitir o armazenamento organizado por perfis individuais, criar pipelines personalizáveis de processamento e promover visualizações gráficas que auxiliem a compreensão dos resultados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da interface gráfica foi realizado utilizando Python 3.11, por ser uma linguagem de programação amplamente utilizada na comunidade científica, com vasta gama de bibliotecas específicas para processamento de sinais e aprendizado de máquina. A estrutura da interface foi implementada com o auxílio da biblioteca PySimpleGUI 4, escolhida por sua simplicidade, leveza e integração nativa com scripts em Python.

A aplicação foi estruturada em três módulos principais, desenvolvidos de forma independente para facilitar a manutenção e possíveis expansões futuras. O primeiro módulo é o de coleta de dados, responsável pela aquisição de sinais de EEG por meio de comunicação serial com dispositivos compatíveis, como a placa Cyton da OpenBCI. As coletas podem ser organizadas por perfis de usuário, com campos configuráveis, como nome do participante, tarefa executada, data da coleta, quantidade de canais e frequência de amostragem. Os dados são armazenados em formato JSON, o que facilita tanto a leitura por outras aplicações quanto a integração futura com outros sistemas.

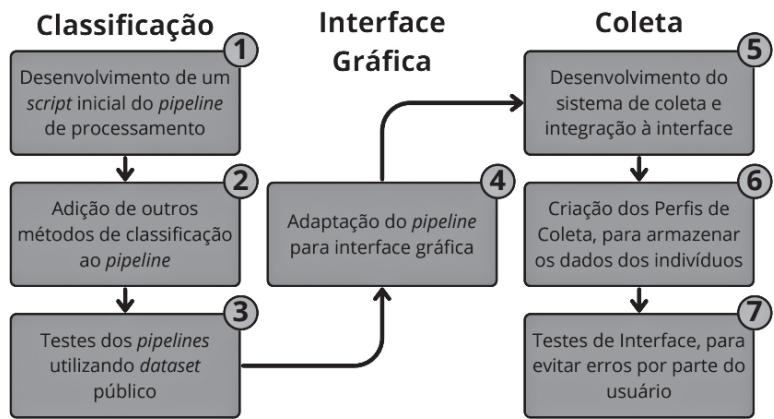
O segundo módulo corresponde à interface gráfica (GUI), composta por uma tela inicial com menu de seleção de funcionalidades, uma tela para criação e gerenciamento de perfis e outra para configuração dos parâmetros de processamento, incluindo filtros, escolha de algoritmos e definição dos parâmetros do método Common Spatial Pattern (CSP). Além disso, a interface conta com um console interno para fornecer feedback visual ao usuário sobre erros e sucessos durante a operação.

O terceiro módulo trata do processamento e classificação dos sinais coletados. O pipeline de processamento é baseado na biblioteca Scikit-learn e segue etapas bem definidas: pré-processamento com filtros passa-banda entre 8 e 30 Hz, remoção de artefatos e aplicação de técnicas como CSP para extração espacial de características.

O sistema conta com classificadores implementados, incluindo Análise de Discriminante Linear (LDA), Máquina de Vetores de Suporte (SVM), Perceptron Multicamadas (MLP) e k-Vizinhos Próximos (kNN). Estes classificadores foram escolhidos com base nos trabalhos de Sharma, Kim e Gupta (2022) e Lazcano-Herrera, Fuentes-Aguilar e Alfaro-Ponce (2021). Os resultados obtidos são apresentados ao usuário por meio de matrizes de confusão e métricas de acurácia. A interpretação adequada desses resultados não é trivial e pode demandar auxílio adicional, principalmente para usuários sem conhecimentos em ciência de dados. Assim, sugere-se que essas visualizações sejam utilizadas com o auxílio de tutoriais explicativos ou por usuários com noções básicas de avaliação de modelos preditivos. Todos os hiperparâmetros desses métodos podem ser configurados diretamente pela interface gráfica, permitindo personalização completa do processo de análise.

O fluxo geral de criação da aplicação está representado no Fluxograma de Desenvolvimento, contendo as etapas principais do processo de criação da lógica de classificação, da interface gráfica e da lógica de coleta, bem como a etapa visualização de visualização dos resultados, conforme mostra a Figura 01.

Figura 01 - Fluxograma de Desenvolvimento



As principais linguagens e bibliotecas usadas para o desenvolvimento encontram-se na Tabela 01.

Tabela 01 - Ferramentas utilizadas no projeto

Ferramenta	Objetivo
Python 3.11	Linguagem de desenvolvimento
PySimpleGUI	Construção da interface gráfica
Scikit-learn	Implementação de algoritmos de ML
MNE	Pré-processamento e manipulação de EEG
NumPy / Pandas	Manipulação de arrays e arquivos
Matplotlib / Seaborn	Visualização gráfica dos resultados

O sistema foi desenvolvido inicialmente com foco em pesquisa computacional e validação técnica do fluxo de coleta e processamento. Para isso, foram realizados testes utilizando eletrodos flutuantes, conectados diretamente ao dispositivo de aquisição, sem a participação de indivíduos. Esses testes tiveram o objetivo exclusivo de verificar o correto funcionamento da interface gráfica e a geração de arquivos de coleta no formato esperado, contendo *timestamp*, canais de EEG simulados e marcadores de eventos.

Por se tratar de testes técnicos sem envolvimento direto de seres humanos, não houve necessidade de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa nesta etapa.

Essa abordagem inicial garantiu que o ambiente de coleta estivesse funcional e preparado para eventuais estudos futuros envolvendo participantes reais, com controle sobre parâmetros de aquisição e integridade dos arquivos gerados.

3. RESULTADOS

O desenvolvimento da interface gráfica resultou em um sistema funcional capaz de realizar as tarefas de coleta, armazenamento e processamento de sinais de EEG de imagética motora. As funcionalidades foram organizadas de forma modular e intuitiva, visando acessibilidade para usuários não familiarizados com programação.

Para validação técnica do sistema de coleta, foram realizados testes utilizando eletrodos flutuantes conectados a uma placa compatível com EEG. O objetivo desses testes foi verificar a integridade da geração dos arquivos de saída e a compatibilidade com o pipeline de processamento.

Os arquivos gerados foram salvos em formato .CSV, contendo marcação de tempo das amostras, leituras dos canais de EEG simulados e eventos onde estímulos aplicados durante a coleta ocorreram.

Foi verificada uma pequena discrepância na frequência de amostragem durante esses testes: o esperado era 250 Hz, porém foram coletadas 247 amostras por segundo. Essa diferença foi atribuída a fatores como sobrecarga na *thread* de execução ou atrasos ocasionais no envio serial. Apesar dessa diferença, os arquivos gerados puderam ser utilizados normalmente nos processos de classificação. A interface gráfica foi validada por meio de testes sistemáticos em ambiente local. Durante esses testes, foram verificados os principais recursos implementados, como a criação de perfis de coleta, que inclui campos para inserção do nome, descrição, configuração de canais e identificação da tarefa de imagética motora. Também foi testada a seleção de parâmetros por meio de menus suspensos, permitindo ao usuário escolher o método de extração de características (como CSP) e o classificador desejado (LDA, SVM, MLP ou kNN). Para facilitar o uso por usuários não técnicos, cada opção é acompanhada de uma dica flutuante explicativa, além de contar com configurações padrão recomendadas, que podem ser utilizadas com segurança por iniciantes. Por fim, foi validada a execução do pipeline de processamento e a apresentação dos resultados por meio de matrizes de confusão e métricas de acurácia, permitindo ao usuário interpretar o desempenho dos algoritmos aplicados.

A interface, apresentada na Figura 02, está dividida em dois painéis principais: Classificação (à esquerda) e Coleta (à direita). No painel de classificação, o usuário pode selecionar métodos de extração de características (como CSP) e classificadores (como LDA, SVM, MLP ou kNN) por meio de menus suspensos, adicionando-os ao pipeline. Há também opções para visualizar o pipeline criado, executar o processamento e acessar os gráficos de desempenho.

No painel de coleta, o usuário configura o modo de conexão e a placa de aquisição (como a Cyton da OpenBCI), além de iniciar a coleta de sinais. Um

ícone de relógio oferece feedback visual do tempo de sessão, e o botão com ícone sonoro permite ativar e desativar feedbacks sonoros durante a coleta. No topo da interface, são exibidos o nome do perfil no qual as coletas serão salvas e a data/hora da última sessão.

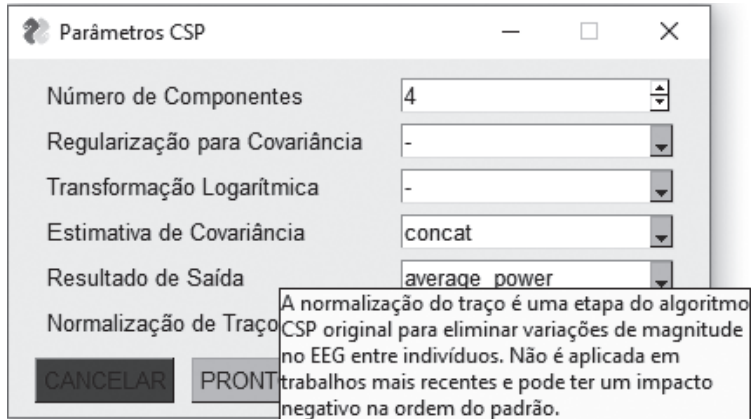
Figura 02 - Tela inicial da interface gráfica

A interface gráfica de usuário é dividida em duas colunas principais. No topo, há uma barra de status com 'Usuário: Ajuda' à esquerda e 'Usuário logado: Cristian' e 'Última sessão: 13/05/2024 20:25:58' à direita. A seção 'Classificação' à esquerda contém um campo de texto com o botão 'Browse' ao lado. Abaixo, há uma seção 'Extração de Características' com um menu suspenso e um botão 'Adicionar'. Segue-se a seção 'Classificador' com outro menu suspenso e botão 'Adicionar'. Abaixo disso, há uma área vazia com uma barra de rolagem vertical. Na base da seção, há três botões: 'Ver pipeline', 'Executar' e 'Ver gráficos'. A seção 'Coleta' à direita contém um campo 'Porta' com um menu suspenso e um ícone de recarregar. Abaixo, há um campo 'Placa' com um menu suspenso. Segue-se o botão 'Iniciar Coleta' com um ícone de alto-falante. Abaixo disso, há um ícone de relógio grande.

Durante os testes realizados, a interface respondeu corretamente aos comandos inseridos, validando campos obrigatórios, prevenindo entradas inválidas (como tipos de dados incorretos ou ausência de parâmetros essenciais) e exibindo mensagens informativas em caso de erro. Isso contribui diretamente para a redução de falhas operacionais durante o uso.

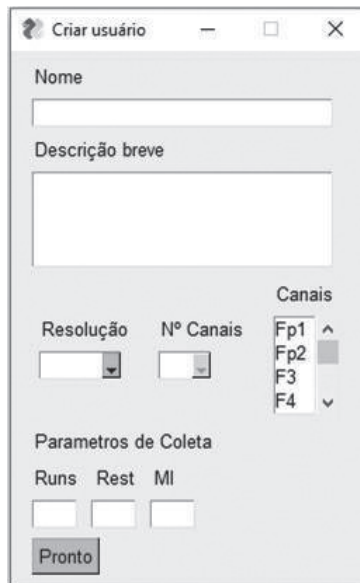
A janela de configuração de parâmetros permite configurar hiperparâmetros relevantes para os métodos adicionados ao pipeline, tanto de extração de características como de classificação. Na Figura 03, está demonstrada a janela de parâmetros do algoritmo de extração de características espaciais CSP.

Figura 03 - Janela de configuração de hiperparâmetros de CSP



A janela de criação de usuário (Figura 04) possibilita registrar informações como nome, descrição do usuário, resolução e número de canais, além da seleção dos canais ativos. Também permite definir parâmetros experimentais como número de execuções (runs), tempo de repouso (rest) e duração da tarefa de imagética motora (MI), promovendo organização e reprodutibilidade das sessões.

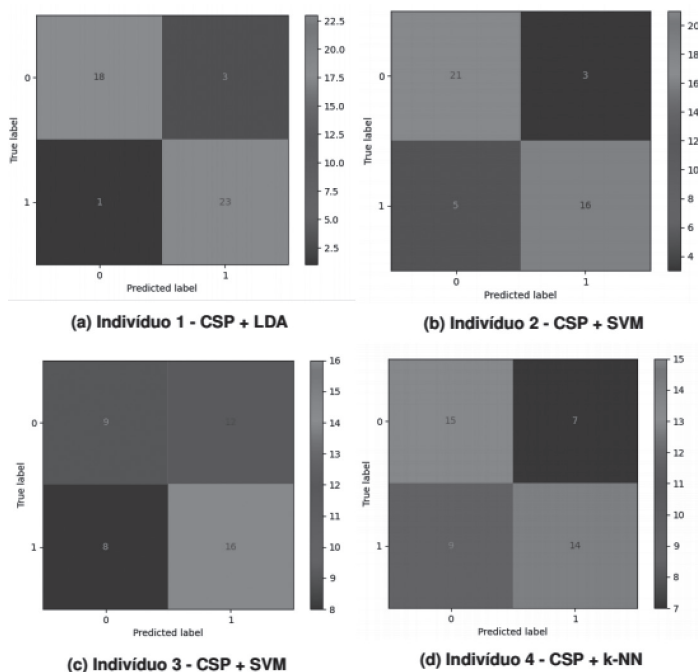
Figura 04 - Janela criação de perfil de coleta



Após a execução dos pipelines, os resultados foram apresentados visualmente ao usuário por meio de matrizes de confusão, permitindo rápida interpretação sobre o desempenho dos classificadores utilizados, conforme mostra a Figura 05.

As matrizes de confusão mostraram que, mesmo utilizando dados coletados com eletrodos flutuantes, foi possível realizar o processamento completo, servindo como validação funcional da interface.

Figura 05 - Exemplos de matrizes de confusão geradas pela interface gráfica, usando diferentes arquivos e *pipelines*



4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que a interface gráfica desenvolvida cumpre seu propósito de facilitar o acesso às técnicas de processamento de sinais de EEG voltadas à imagética motora. O uso de interfaces gráficas para controle de pipelines computacionais representa um importante avanço na democratização de tecnologias assistivas, especialmente considerando o público-alvo da proposta, que inclui profissionais da saúde, pesquisadores e pacientes sem formação técnica na área de computação.

A possibilidade de criar pipelines customizados diretamente pela interface, sem a necessidade de escrever código, se mostrou fundamental para ampliar

o acesso ao processamento de sinais de EEG. Isso permite que terapeutas ocupacionais, fisioterapeutas e pesquisadores da saúde possam configurar diferentes abordagens experimentais com flexibilidade e autonomia.

Para diminuir a complexidade da escolha dos algoritmos, a interface adota configurações padrão otimizadas baseadas na literatura, mantendo a possibilidade de personalização por usuários mais experientes. Essa abordagem equilibra acessibilidade com flexibilidade.

Outro ponto relevante foi a implementação da coleta organizada por perfis individuais, permitindo o armazenamento sistemático das sessões realizadas. Essa estrutura atende uma demanda recorrente em projetos envolvendo BCI, visto que os sinais de EEG tendem a apresentar características particulares de acordo com o usuário e o contexto da coleta.

Contudo, para futuras aplicações envolvendo a coleta de sinais reais de participantes, recomenda-se a submissão aos trâmites éticos previstos nas normativas brasileiras, incluindo registro de protocolo no Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) e coleta de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

A realização dos testes com eletrodos flutuantes foi essencial para garantir o correto funcionamento da interface na geração de arquivos compatíveis com os pipelines implementados. Mesmo com a pequena variação identificada na frequência de amostragem, a integridade dos dados não foi comprometida, demonstrando robustez suficiente para uso em aplicações práticas futuras.

Comparando com ferramentas semelhantes descritas na literatura, observa-se que grande parte das aplicações voltadas a EEG e imagética motora ainda exige configuração por linha de comando ou conhecimento prévio de bibliotecas específicas (SINGH; KRISHNAN, 2023). Dessa forma, este projeto contribui para suprir uma lacuna entre soluções teóricas e a sua aplicação prática em ambientes reais de reabilitação e pesquisa aplicada.

Contudo, algumas limitações foram observadas durante o desenvolvimento. A interface ainda não conta com opções de gráficos mais avançados, como *headplots* ou representações topográficas dos sinais, o que poderia facilitar análises mais detalhadas e complexas dos dados obtidos. Além disso, a ausência de processamento em tempo real limita, por enquanto, a aplicação direta da interface em sistemas de controle de dispositivos, como próteses ou exoesqueletos. Apesar de o sistema já ter sido validado funcionalmente, ainda se faz necessária a realização de coletas com participantes reais para confirmar sua aplicabilidade em ambientes clínicos.

Mesmo com essas limitações, os resultados obtidos com a interface já representam um avanço prático considerável dentro do campo da tecnologia assistiva. A flexibilidade, o armazenamento organizado de dados e a capacidade

de execução automatizada de classificadores posicionam esta solução como uma base sólida para futuras expansões.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento desta interface gráfica demonstrou ser uma solução viável e eficaz para promover acessibilidade no uso de classificadores de sinais de imagética motora. Foi possível validar a funcionalidade dos pipelines e realizar classificações com boa taxa de acerto. Para estudos futuros, propõe-se a integração de processamento em tempo real, a melhoria na interface gráfica e experiência do usuário e também a expansão da compatibilidade para novos dispositivos e formatos de arquivos.

Essa ferramenta pode, portanto, se consolidar como um importante componente na reabilitação assistiva de indivíduos com lesão medular ou outros comprometimentos motores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ao meu orientador e às demais contribuições recebidas durante o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

DIEZ, P. (Ed.). *Smart Wheelchairs and Brain-computer Interfaces*. San Diego, CA: Academic Press, 2018.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer New York, 2013. (Springer Series in Statistics). ISBN 9780387216065.

LAZCANO-HERRERA, A. G.; FUENTES-AGUILAR, R.; ALFARO-PONCE, M. Eeg motor/imagery signal classification comparative using machine learning algorithms. In: 2021 18th *International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–6.

MCFARLAND, D. J.; DALY, J. J.; PARVAZ, M. A. Therapeutic applications of bci technologies. *Brain-Computer Interfaces*, Taylor Francis, v. 4, n. 1-2, p. 37–52, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/2326263X.2017.1307625>.

MILNE-IVES, M. et al. At home eeg monitoring technologies for people with epilepsy and intellectual disabilities: A scoping review. *Seizure: European Journal of Epilepsy*, v. 110, p. 11–20, 2023. ISSN 1059- 1311. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1059131123001309>.

PAWAN; DHIMAN, R. Machine learning techniques for electroencephalogram based brain-computer interface: A systematic literature review. *Measurement: Sensors*, v. 28, p. 100823,

2023. ISSN 2665-9174. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665917423001599>.

PRASHANT, P.; JOSHI, A.; GANDHI, V. Brain computer interface: A review. In: *2015 5th Nirma University International Conference on Engineering (NUICONE)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–6.

SHARMA, R.; KIM, M.; GUPTA, A. Motor imagery classification in brain-machine interface with machine learning algorithms: Classical approach to multi-layer perceptron model. *Biomedical Signal Processing and Control*, v. 71, p. 103101, 2022. ISSN 1746-8094. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809421006984>.

SINGH, A. K.; KRISHNAN, S. Trends in eeg signal feature extraction applications. *Frontiers in Artificial Intelligence*, v. 5, 2023. ISSN 2624-8212. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2022.1072801>. World Health Organization. Non-communicable diseases Portal. 2019. Acesso em: 13 de março de 2024. Disponível em: <https://ncdportal.org/CountryProfile/GHE110/BRA>.

ZHUANG, M. et al. State-of-the-art non-invasive brain-computer interface for neural rehabilitation: A review. *Journal of Neurorestoratology*, v. 8, n. 1, p. 12–25, 2020. ISSN 2324-2426. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2324242622000080>.