

VOLUME 1

# Ciências do Movimento e Reabilitação Neuromotora:

Fundamentos, Diagnóstico e Intervenções Inovadoras

## ORGANIZADORES:

Jacks Renan Neves Fernandes  
Francisco Elezior Xavier Magalhães  
Valécia Natália Carvalho da Silva  
Thayaná Ribeiro Silva Fernandes



EDITORA  
OMNIS SCIENTIA



VOLUME 1

# Ciências do Movimento e Reabilitação Neuromotora:

Fundamentos, Diagnóstico e Intervenções Inovadoras

## ORGANIZADORES:

Jacks Renan Neves Fernandes

Francisco Elezior Xavier Magalhães

Valécia Natália Carvalho da Silva

Thayaná Ribeiro Silva Fernandes



EDITORA  
OMNIS SCIENTIA



Editora Omnis Scientia

**CIÊNCIAS DO MOVIMENTO E REABILITAÇÃO NEUROMOTORA:  
FUNDAMENTOS, DIAGNÓSTICO E INTERVENÇÕES INOVADORAS**

Volume 1

1ª Edição

RECIFE - PE

2026

## **EDITOR-CHEFE**

Dr. Daniel Luís Viana Cruz

## **ORGANIZADORES**

Jacks Renan Neves Fernandes

Francisco Elezior Xavier Magalhães

Valécia Natália Carvalho da Silva

Thayaná Ribeiro Silva Fernandes

## **CONSELHO EDITORIAL**

Dr. Amâncio António de Sousa Carvalho - ESS-UTAD - Portugal

Dr. Cássio Brancalone - UFFS - Brasil

Dr. Marcelo Luiz Bezerra da Silva - UEPa - Brasil

Dra. Pauliana Valéria Machado Galvão - UPE - Brasil

Dr. Plínio Pereira Gomes Júnior - UFRPE - Brasil

Dr. Walter Santos Evangelista Júnior - UFRPE - Brasil

Dr. Wendel José Teles Pontes - UFPE - Brasil

## **EDITORES DE ÁREA - CIÊNCIAS DA SAÚDE**

Dr. Amâncio António de Sousa Carvalho

Dra. Camyla Rocha de Carvalho Guedine

Dra. Cristieli Sérgio de Menezes Oliveira

Dr. Hugo Barbosa do Nascimento

Dr. Marcio Luiz Lima Taga

Dra. Pauliana Valéria Machado Galvão

## **ASSISTENTE EDITORIAL**

Thialla Laranjeira Amorim

## **IMAGEM DE CAPA**

Freepik e Canva

## **EDIÇÃO DE ARTE**

Nhatallia Laranjeira Amorim

## **REVISÃO**

Os autores



**Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição-  
NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.**

**O conteúdo abordado nos artigos, seus dados em sua forma, correção e  
confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Lumos Assessoria Editorial

C569

Ciências do movimento e reabilitação neuromotora :  
fundamentos, diagnóstico e intervenções inovadoras  
[recurso eletrônico] / organizadores Jacks Renan  
Neves Fernandes ... [et al.]. — 1. ed. — Recife : Omnis  
Scientia, 2026.

Dados eletrônicos (pdf).

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-284-0308-0

DOI: 10.47094/978-65-284-0308-0

1. Doenças neuromusculares - Reabilitação. 2. Sistema  
nervoso - Doenças - Reabilitação. 3. Fisiopatologia.  
4. Distúrbios do movimento - Reabilitação. I. Fernandes,  
Jacks Renan Neves. II. Magalhães, Francisco Elezier  
Xavier. III. Silva, Valécia Natália Carvalho da.  
IV. Fernandes, Thayaná Ribeiro Silva.

I-2301261

CDD23: 616.744

Bibliotecária: Priscila Pena Machado - CRB-7/6971

### **Editora Omnis Scientia**

Av. República do Líbano, nº 251, Sala 2205, Torre A,

Bairro Pina, CEP 51.110-160, Recife-PE.

Telefone: +55 (87) 9920-5762

[editoraomnisscientia.com.br](http://editoraomnisscientia.com.br)

[contato@editoraomnisscientia.com.br](mailto:contato@editoraomnisscientia.com.br)



## PREFÁCIO

Este livro intitulado “Ciências do Movimento e Reabilitação Neuromotora: Fundamentos, Diagnóstico e Intervenções Inovadoras” é uma investigação abrangente que aborda temas fundamentais e inovadores na área das ciências do movimento e reabilitação neuromotora. Com cinco capítulos detalhados, a obra explora desde os fundamentos do ato motor e seu aprendizado até as complexidades dos distúrbios neurológicos, como a Doença de Parkinson, passando por técnicas avançadas de monitoramento cerebral e a integração de tecnologias para reabilitação. Além disso, o livro apresenta uma análise profunda das intervenções com modulação cerebral, como a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC), oferecendo uma visão completa e atualizada das estratégias terapêuticas e de treinamento que podem revolucionar o tratamento de condições neuropsiquiátricas.

O primeiro capítulo “Introdução ao Ato Motor e Aprendizagem Motora” é uma investigação abrangente que explora e esclarece as complexidades do ato motor e seu aprendizado, destacando a importância de entender as fases envolvidas, como planejamento, execução e correção, para aprimorar o desempenho motor e desenvolver estratégias terapêuticas e de treinamento eficazes. A pesquisa sistemática revisa estudos relevantes para fornecer uma base sólida sobre como o ato motor se manifesta em indivíduos saudáveis e como o aprendizado motor pode ser otimizado, contribuindo assim para o avanço do conhecimento na área de ciências do movimento e reabilitação.

O segundo capítulo “Distúrbios Neurológicos e Diagnóstico” explora a complexidade da Doença de Parkinson (DP), abordando suas teorias causais, que incluem fatores genéticos e ambientais, e a fisiopatologia associada à formação de corpos de Lewy, além de discutir os sintomas motores e não motores que impactam a qualidade de vida dos pacientes. O documento também destaca a importância dos exames de imagem, como a ressonância magnética e a tomografia por emissão de pósitrons, no diagnóstico precoce e no acompanhamento da progressão da doença, enfatizando a necessidade de uma abordagem multidisciplinar para entender melhor as causas e desenvolver novos métodos de tratamento.

O capítulo “Técnicas de Monitoramento e Medição” investigou a relação entre a quantidade de eletrodos utilizados em exames de eletroencefalografia (EEG) e a eficácia na captura da atividade elétrica do cérebro, especialmente em contextos clínicos como a detecção de convulsões. O estudo analisou como a redução do número de eletrodos pode simplificar e melhorar a eficiência dos sistemas de monitoramento cerebral, mas também destaca os possíveis compromissos na qualidade do sinal e na capacidade de detecção de eventos específicos. Além disso, o trabalho discute a aplicação de técnicas de inteligência computacional e aprendizagem profunda como formas de compensar a redução do número de eletrodos, enfatizando a necessidade de um equilíbrio entre a quantidade de canais e a qualidade dos dados obtidos.

O quarto capítulo “Integração de Tecnologias no Monitoramento” explora a reabilitação neuromotora assistida por eletroencefalografia (EEG), destacando sua eficácia como uma abordagem não invasiva e portátil para pacientes que sofreram acidente vascular cerebral (AVC) e outras condições neurológicas. O estudo revisa a literatura entre 2012 e 2022, analisando a combinação do EEG com diversas tecnologias, como interfaces cérebro-máquina (BCI), realidade virtual e feedback robótico, com o objetivo de melhorar a comunicação, controle e recuperação motora dos pacientes, além de enfatizar a necessidade de evidências mais robustas sobre os resultados dos tratamentos.

O último capítulo “Intervenções e Modulação Cerebral” explora e descrever de forma abrangente os mecanismos de ação da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) e suas possíveis aplicações no comportamento motor e cognitivo. A revisão sistemática analisa estudos relevantes para entender como a ETCC pode influenciar a atividade cerebral, destacando seu potencial impacto na reabilitação e no tratamento de condições neuropsiquiátricas, além de fornecer uma visão geral das evidências científicas disponíveis sobre essa técnica inovadora.

Com esta publicação, os autores esperam contribuir significativamente para o avanço do conhecimento e das práticas terapêuticas nas áreas de ciências do movimento e reabilitação neuromotora, inspirando novas pesquisas e aperfeiçoando intervenções clínicas que possam melhorar a qualidade de vida dos pacientes.

# SUMÁRIO

## **CAPÍTULO 1.....10**

### **ATO MOTOR E SEU PROCESSO DE APRENDIZAGEM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Francisco Elezior Xavier Magalhães

Jacks Renan Neves Fernandes

Valécia Natália Carvalho da Silva

Thayaná Ribeiro Silva Fernandes

Antônio Thomaz de Oliveira

Valéria de Fátima Veras de Castro

**DOI: 10.47094/978-65-284-0308-0/10-20**

## **CAPÍTULO 2.....21**

### **DOENÇA DE PARKINSON: TEORIAS, SINTOMAS E EXAMES DE IMAGEM**

Valécia Natália Carvalho da Silva

Francisco Elezior Xavier Magalhães

Jacks Renan Neves Fernandes

Thayaná Ribeiro Silva Fernandes

Antônio Thomaz de Oliveira

Valéria de Fátima Veras de Castro

**DOI: 10.47094/978-65-284-0308-0/21-29**

## **CAPÍTULO 3.....30**

### **ANÁLISE DA EFICÁCIA E IMPACTO DA QUANTIDADE DE ELETRODOS NO EEG E O SISTEMA 10-20: UMA MINE REVISÃO E PERSPECTIVAS**

Jacks Renan Neves Fernandes

Francisco Elezior Xavier Magalhães

Valécia Natália Carvalho da Silva

Thayaná Ribeiro Silva Fernandes

Antônio Thomaz de Oliveira

Valéria de Fátima Veras de Castro

**DOI: 10.47094/978-65-284-0308-0/30-41**

**CAPÍTULO 4.....42**

**O EEG COMBINADO A OUTRAS TECNOLOGIAS: MÉTODOS DE REABILITAÇÃO NEUROMOTORA**

Jacks Renan Neves Fernandes

Francisco Elezior Xavier Magalhães

Valécia Natália Carvalho da Silva

Thayaná Ribeiro Silva Fernandes

Antônio Thomaz de Oliveira

Valéria de Fátima Veras de Castro

**DOI: 10.47094/978-65-284-0308-0/42-55**

**CAPÍTULO 5.....56**

**TDCS: MECANISMOS, APLICAÇÕES PARA COMPORTAMENTO MOTOR E COGNITIVO**

Francisco Elezior Xavier Magalhães

Thayaná Ribeiro Silva Fernandes

Jacks Renan Neves Fernandes

Valécia Natália Carvalho da Silva

Antônio Thomaz de Oliveira

Valéria de Fátima Veras de Castro

**DOI: 10.47094/978-65-284-0308-0/56-68**

## ATO MOTOR E SEU PROCESSO DE APRENDIZAGEM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

### **Francisco Elezior Xavier Magalhães<sup>1</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8542-4245?lang=en>

### **Jacks Renan Neves Fernandes<sup>2</sup>;**

Instituto Federal de Educação do Piauí (IFPI), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7868-0673>

### **Valécia Natália Carvalho da Silva<sup>3</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5739-0722>

### **Thayaná Ribeiro Silva Fernandes<sup>4</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6590-4620>

### **Antônio Thomaz de Oliveira<sup>5</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0277-6833>

### **Valéria de Fátima Veras de Castro<sup>6</sup>.**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8281-3029>

**RESUMO:** O Ato Motor (AM) é a capacidade de mover o corpo no espaço. E essa capacidade de realizar movimento envolve vários níveis de complexidade e possui diferentes tipos de ação, a depender do contexto que evoca esse AM. Aditivamente, como ocorre o processo de aprendizado motor nos indivíduos hígidos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi apresentar as formas como o ato motor acontece e como ele é aprendido. A revisão apresenta caráter sistemático, seguindo as recomendações do modelo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, foi dividido em etapas, desde a busca de artigos até a extração dos dados dos estudos incluídos. Para a seleção foram incluídos estudos de casos, estudos piloto, *short reports*, estudos experimentais e ensaios clínicos, publicados entre 2004 e 2020. A busca foi realizada nas bases de dados Scopus e PubMed. Dos 69 artigos selecionados pela triagem inicial, 24 estudos foram selecionados para a inclusão final no trabalho, esses trabalhos englobaram os aspectos do ato motor e seu desempenho

com suas fases e modulações para realização do movimento. Os achados demonstraram as principais fases do ato motor, que discorrem sobre o planejamento, execução e correção. A investigação sobre o ato motor e suas fases é de extrema importância no contexto da compreensão da operação do sistema motor humano, bem como no desenvolvimento de abordagens terapêuticas, técnicas de aprendizagem e treinamentos de maior eficácia. A análise desses elementos é fundamental para a aquisição de um conhecimento mais aprofundado e embasado acerca dos processos envolvidos na execução de movimentos pelo organismo humano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ato Motor. Movimento. Aprendizado Motor.

## **MOTOR ACT AND ITS LEARNING PROCESS: A SYSTEMATIC REVIEW**

**ABSTRACT:** The Motor Act (MA) is the ability to move the body in space. This ability to perform movement involves various levels of complexity and includes different types of actions, depending on the context that evokes this MA. Additionally, the process of motor learning in healthy individuals is explored. In this context, this work aimed to present how the motor act occurs and how it is learned. The review is systematic, following the guidelines of the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses model, and was divided into stages, from article search to data extraction from the included studies. The selection included case studies, pilot studies, short reports, experimental studies, and clinical trials published between 2004 and 2020. The search was conducted using the Scopus and PubMed databases. Out of 69 articles selected in the initial screening, 24 studies were chosen for final inclusion in the work. These studies encompassed aspects of the motor act and its performance, including its phases and modulations for executing movement. The findings demonstrated the main phases of the motor act, which cover planning, execution, and correction. Investigating the motor act and its phases is of utmost importance in the context of understanding the operation of the human motor system. It also has practical implications, such as developing therapeutic approaches, learning techniques, and more effective training methods. Analyzing these elements is fundamental for acquiring a deeper and well-founded understanding of the processes involved in executing movements by the human body.

**KEYWORDS:** Motor Act. Movement. Motor Learning.

## **INTRODUÇÃO**

A capacidade de realizar movimento envolve múltiplos níveis de complexidade e possui diferentes tipos de ações e resultantes, dependendo do contexto em que esse ato motor (AM) é evocado. Assim, atividades simples como correr, falar, escrever e ler são exemplos de movimentos motores, principalmente o AM voluntário (CUNNINGHAM JP, et al.

2019; GOUDAR V et al. 2023). No entanto, existem diferentes tipos de AM como: movimento voluntário, reflexo e movimento automático. Em particular, o movimento voluntário, que é realizado sob a direção da vontade e da intenção, como caminhar em direção a algo ou alguém, dançar ou simplesmente colocar a mão no rosto, são todos movimentos voluntários. Nesse caso, há uma intenção, desejo ou necessidade antes do movimento para que ele possa ser realizado de fato após em forma de movimento (SARLEGNA FR, et al. 2018; LEROY É, KOUN É, THURA D. 2025).

Por outro lado, o movimento reflexo, ao contrário do AM voluntário, não requer um filtro de vontade para ocorrer, porém, só o percebemos após o movimento estar completo. De tal modo que ocorra uma reação orgânica, na qual o receptor sensorial recebe e traduz os estímulos que são direcionados para o sistema nervoso (UGAWA Y. 2019; VIRAMETEEKUL S, BHIDAYASIRI R. 2022). Então, de lá provoca direta e brevemente uma resposta motora reflexa, a qual podemos categorizar em movimentos reflexos inatos e adquiridos. Especificamente, os inatos acontecem mesmo sem passar por um processo de aprendizagem ativa e ocorrem por conta de uma bagagem biológica ancestral, ou seja, são hereditários e permanentes como é visto na míose imediata causada pela incidência luminosa nos olhos (SHIBASAKI H, et al. 2019).

Em contrapartida, os movimentos reflexos adquiridos passam pelo aprendizado e/ou são condicionados, os quais pela experiência de maneira repetida e duradoura torna capaz para promoção de uma resposta reflexa frente a um estímulo reconhecido. Neste contexto, podemos inferir que nos ambientes de práticas esportivas esse tipo de AM é bastante desenvolvido, onde os atletas das mais diversas modalidades realizam movimentos reflexos adquiridos com o treino exaustivo e repetitivo de determinados gestos motores específicos (GALLIVAN JP, et al. 2016; AMES KC, CHURCHLAND MM. 2019; LAI D, et al. 2023). Já o movimento automático depende do processo de aprendizagem, das experiências de vida inerentes e pertencentes a cada indivíduo. Logo, origina-se do treino, da prática e repetição para aquisição dos automatismos. O automatismo é um importante aprendizado para economia de energia gasta em determinado movimento, ao passo que, o automatismo facilita e adapta o movimento ao meio, assim, não necessitando de grandes ferramentas mentais para realizá-lo (DUQUE J, et al. 2016; SVOBODA K, Li N, et al. 2018). Diante do que foi exposto, o objetivo deste trabalho foi apresentar as formas como o ato motor acontece e como ele é aprendido.

## **METODOLOGIA**

O presente estudo constitui-se de uma revisão de caráter sistemático, seguindo o mais próximo possível as recomendações propostas pelo modelo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) para produção de revisões sistemáticas e meta-análises. O estudo foi dividido em etapas, desde a busca dos artigos e sua elegibilidade de acordo com o conteúdo, até o processo de extração dos dados desses

estudos incluídos. Foram realizadas as seguintes etapas:

### **Critérios de elegibilidade**

Esse trabalho faz uma abordagem sobre o ato motor e seu processo de aprendizagem. A proposta do trabalho é englobar as explicações e demonstrar os passos envolvidos na realização do ato motor na população hígida, além do aprendizado motor nesses indivíduos.

Para seleção dos artigos foram incluídos apenas trabalhos originais, incluindo estudos de casos, estudos piloto, *short reports*, estudos experimentais e ensaios clínicos; publicados em periódicos indexados, além disso, utilizarem uma amostra de população humana. Os trabalhos com proposta de demonstrar como ocorre o aprendizado e realização do ato motor foram selecionados e incluídos para análise. Os critérios de exclusão para seleção dos artigos de acordo com o tipo de documento e período que foram publicados: Dissertações, teses, capítulos de livros, estudos de protocolo, estudos de revisão, trabalhos de conferências, cartas editoriais.

### **Fontes de informações**

Para o desenvolvimento dessa revisão realizou-se uma busca de artigos publicados em periódicos indexados e disponíveis nas bases de dados: *PubMed* e *Scopus*. As primeiras buscas foram realizadas em outubro de 2025 e repetidas nos meses de novembro e dezembro de 2025. As buscas foram feitas com base em termos e palavras-chaves mais utilizados pelos artigos com ênfase no assunto, esses termos foram estabelecidos durante um levantamento bibliográfico inicial para o estudo, utilizando o *software* VOSviewer, uma ferramenta para construção e visualização de redes bibliométricas (PERIANES-RODRIGUEZ, WALTMAN e ECK, 2016), depois foram pesquisados os vocabulários controlados equivalentes dos termos no MeSH (*Medical Subject Headings*). Uma busca manual adicional foi realizada, levando em consideração a lista de referências dos artigos incluídos, esses documentos adicionais passaram pelos mesmos critérios de triagem, seleção, elegibilidade e inclusão.

### **Seleção dos artigos**

Dois autores/revisores (F.M e V.C) foram responsáveis pela triagem inicial, com base na leitura independente dos títulos e dos resumos dos documentos identificados pela busca nas bases de dados, nessa etapa, os títulos e resumos que apresentaram quantidade suficiente de termos semelhantes, ou ainda, que transmitissem a ideia geral buscada pela proposta do presente estudo, foram incluídos para a seleção com base nos critérios de inclusão e de elegibilidade; os estudos com títulos considerados irrelevantes foram eliminados. Os desacordos foram gerenciados por um consenso, no entanto, quando não houve consenso entre os revisores do trabalho, um terceiro autor/revisor (J.R) foi acionado

para estabelecer o desempate. Os artigos considerados compatíveis foram lidos na íntegra e sua adequação para a inclusão foi estabelecida de acordo com seu conteúdo, condição tratada no texto, ferramentas utilizadas, procedimento realizados e objetivos.

### **Estratégias de busca**

A combinação dos termos de pesquisa utilizados nas buscas foram: *human AND motor act AND movement AND human AND learning*. Juntamente aos descritores, foram usados filtros de busca nas pesquisas, estabelecidos de acordo com os critérios de inclusão da revisão: Publicações entre 2004 e 2025, ser estudo piloto, relato de caso, *short report*, estudo experimental ou ensaio clínico, e estar publicado em periódicos e revistas científicas. Os trabalhos não sofreram nenhuma restrição de idiomas ou de nacionalidades na filtragem. Todos esses caracteres de delimitação fizeram parte da *string* final que definiu a busca dos trabalhos nas bases de dados.

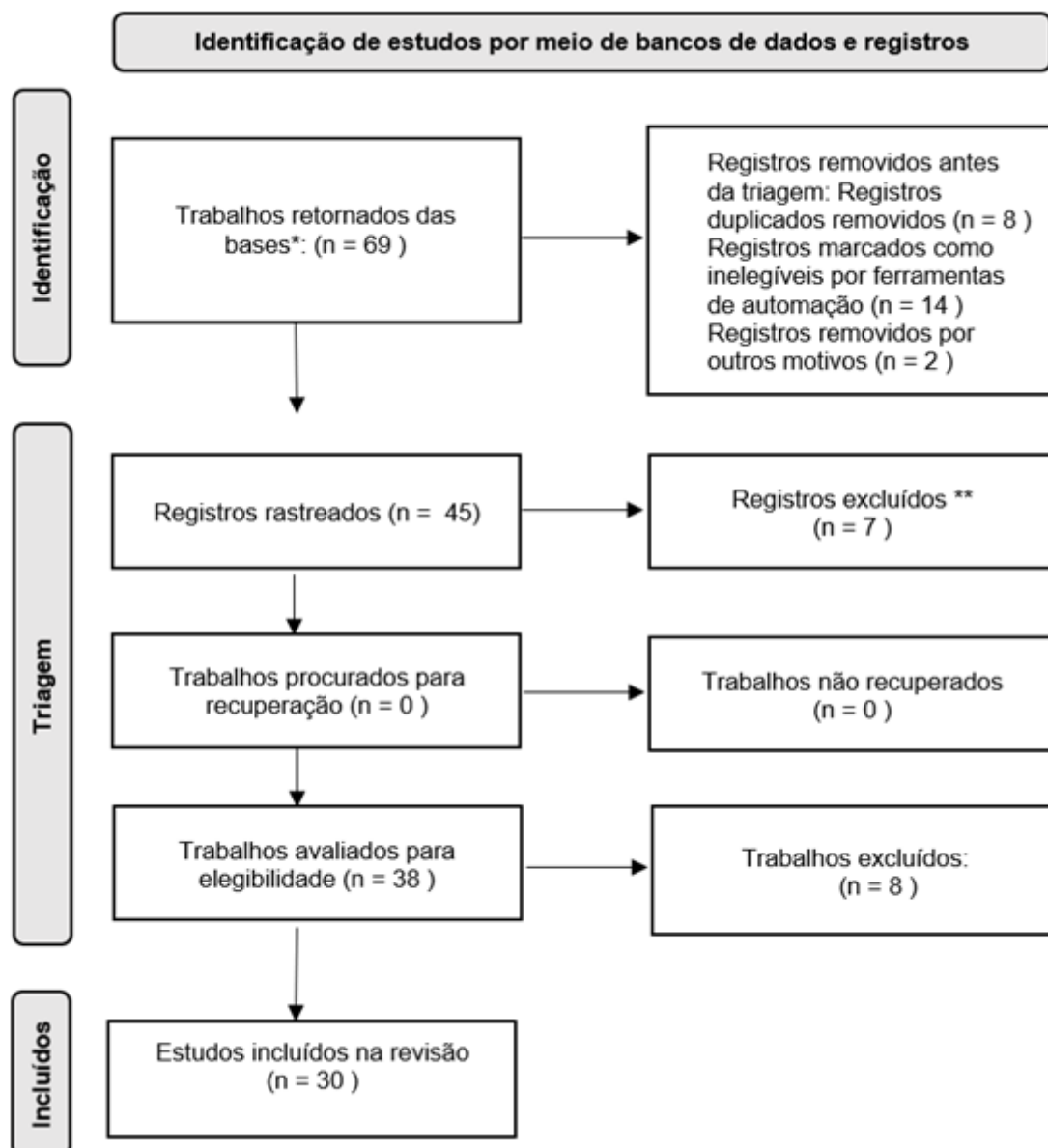
### **Processo de extração dos dados**

A extração dos dados dos estudos foi realizada seguindo uma sequência de informações que abordassem as características qualitativas e quantitativas de cada artigo incluso para a revisão. Os dados extraídos foram organizados em texto de acordo com cada uma das informações descritas nos artigos, sendo eles o objetivo proposto, na população da amostra e na aprendizagem motora.

## **RESULTADOS**

Essa revisão descreve como ocorre o ato motor e sua aprendizagem. O desfecho primário encontrado nos trabalhos remete a descrição a respeito do ato motor e seu processo de aprendizado. Foram selecionados 69 artigos para triagem inicial com base na compatibilidade do seu título e resumo. Desses, 45 artigos foram avaliados com base nos critérios de inclusão, exclusão e elegibilidade estabelecidos pela revisão; 38 foram classificados como preenchendo os critérios de elegibilidade. A próxima etapa envolveu a leitura do texto completo dos artigos selecionados, após o qual, 30 estudos foram separados para a inclusão final da revisão, conforme fluxograma. (Figura 1).

Figura 1: Processo de seleção dos artigos.



Fonte: Os autores.

## DISCUSSÃO

O processo de aprendizagem motora pode ser compreendido como um conglomerado de processos neuronais desencadeados pela exposição repetida e treino de um determinado movimento, como resultado do qual a habilidade em questão é desenvolvida e aprimorada, dada a acurácia da ação coordenada dos grupos musculares afetados, a velocidade do movimento formando os engramas motores (HAALAND KY, et al. 2004). Assim, os processos neuronais são facilitados e evocado frente a uma necessidade com maior facilitação. De certa forma, permite uma interação harmoniosa entre o indivíduo e o ambiente, e permite que uma pessoa execute tarefas motoras frequentemente complexas, tais como acertar um alvo ao chutar uma bola ou dançar (DIEDRICHSEN J, et al. 2005).

Esta aprendizagem é o resultado da interação de várias regiões do sistema nervoso central e periférico, que se comunicam através de uma circuitaria neuronal complexa, fornecendo uma rede de informações que, quando condensadas e reforçadas pela repetição do ato motor, permitem a avaliação do movimento associado, que então avalia a organização e executa correções para posterior execução apropriada. Para entender esse mecanismo, é conveniente dividir pedagogicamente os movimentos em três fases: planejamento, execução e correção final (HAITH AM, KRAKAUER JW. 2013).

## Planejamento

O córtex pré-frontal e o córtex parietal posterior (áreas 5 e 7 de *Brodmann*) são as áreas primariamente envolvidas no planejamento motor. O córtex pré-frontal, e mais especificamente a região do córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo (áreas 9 e 46 de *Brodmann*), está associado à intenção de realizar ações motoras. O córtex parietal posterior relaciona-se à cognição espacial, o qual permite que os indivíduos detenham uma percepção mais realista da posição atual de seu corpo no espaço/tempo por meio de conceitos de profundidade, solidez e distância, bem como relações espaciais entre objetos no ambiente que são relevantes para a realização do ato motor (POLDRACK RA, et al. 2005).

A recepção de aferências pelo córtex somatossensorial primário (áreas 1, 2 e 3 de *Broadmann*) e das áreas corticais visuais, e com essa relação entre elas, organiza o *looping* multimodal pertinentes à percepção espaço-temporal. Em específico, a área cortical pré-frontal dorsolateral esquerda e o córtex parietal posterior, em conjunto, representam o nível maior em hierarquia no controle motor, emitem axônios que alcançam a região 6 de *Broadmann*, denominada área de *Broadmann*, a qual gera com as informações recebidas uma “imagem motora” a ser realizada, que por sua vez envia os sinais de comando de forma direta ao córtex motor primário (área 4 de *Broadmann*) (SCHIEBER MH. 2011).

No entanto, os núcleos da base funcionam controlando o nível de aferências excitatórias dos neurônios talâmicos para o córtex motor (facilitando ou dificultando a excitabilidade dos neurônios motores corticais) antes que o córtex motor primário comece a executar comandos motores. Portanto, os núcleos base funciona como um filtro na hora de escolher quais movimentos realizar. O cerebelo também contribui para o planejamento motor (LEFAUCHEUR JP, et al. 2014). Através da via córtico-ponto-cerebelar, a área motora superior envia sinais eferentes relacionados à “intenção motora” para formar sinapses com neurônios no núcleo denteado. O plano motor idealizado pelo cerebelo então retorna para as áreas motoras do córtex através da via denteada-tálamo-cortical (TODOROV E. 2004; SCHIEBER MH. 2011).

## Execução

A etapa de execução do movimento, é comandada pela área motora primária (área

4 de *Brodmann*) por meio de eferências que descendem pelo trato córtico-espinhal até as sinapses com os motoneurônios alfa, os quais promovem a contração de conjuntos de fibras musculares específicas. Logo os neurônios do movimento alfa se formam juntamente com as fibras musculares específicas envolvidas no movimento necessário. Quando essas sinapses são ativadas pelos sinais neurológicos gerados pelas principais áreas de movimento, as fibras musculares envolvidas ativarão, resultando na produção do movimento necessário (SCHIEBER MH, 2011; GANDOLFO F, et al. 2014).

É importante enfatizar que a atividade dos neurônios motores é ajustada e coordenada em tempo real para garantir a precisão e a fluidez do exercício. Devido a uma série de mecanismos de controle neural, esses mecanismos podem continuar monitorando as informações sensoriais do movimento e do meio ambiente e ajustando as atividades de neurônios para garantir que o exercício seja preciso e coordenado (WOLPERT DM, et al. 2017).

Nesse estágio de execução, em resumo os comandos nervosos gerados pela área de movimento principal são transmitidos através da coluna do córtex, que é um conjunto de fibras nervosas conectadas à medula espinhal pela área de movimento principal. Esses comandos neurais são então transmitidos através do eixo dos neurônios do movimento alfa, responsáveis por ativar as fibras musculares necessárias para gerar o movimento requisitado (SMITH MA, SHADMEHR R, 2005; NACHEV P, et al. 2008).

## **Correção**

Dessa forma, uma vez iniciado, o movimento passa a ser coordenado pela zona intermédia do cerebelo, composta pela porção intermediária dos hemisférios e núcleos interpósitos (globoso e emboliforme), que recebem informações aferentes dos tratos espino-cerebelares anterior e posterior com a informação dos comandos motores e informa a modulação da intensidade da contração muscular e tendinosa advinda dos fusos neuromusculares e órgão neurotendíneo respectivamente. Ao ter percepção dessas informações, o cerebelo compara características do movimento em execução com o que foi planejado anteriormente e em tempo real corrige se for mandatário (TANAKA S, et al. 2013; WENDEROTH N, et al. 2018).

Em seguida, envia eferências pela via interpósito-tálamo-cortical até o córtex motor primário a fim de que seja executado o movimento com as devidas correções. Assim, pode-se inferir que o cerebelo aprende com os seus erros. Quando o movimento não ocorre de acordo com o plano motor prévio, o circuito cerebelar básico (composto pelas células de Purkinje, fibras trepadeiras e fibras paralelas) se reorganiza, através de alterações na excitabilidade de neurônios cerebelares (POHLMAYER EA, et al. 2014).

Tal mecanismo é um exemplo de neuroplasticidade ou plasticidade neural, o qual pode ser definida como a capacidade de o sistema nervoso alterar sua estrutura e função

a partir de experiência, baseando-se no preceito de que o cérebro é um órgão dinâmico e adaptativo, capaz de se modular em função de novas exigências ambientais (CHEN R, et al. 2011; AMIEZ C, et al. 2019; GHOSH S, et al. 2019).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do ato motor é de grande importância, não apenas para a compreensão da coordenação motora humana, mas também para o desenvolvimento de estratégias de reabilitação e treinamento motor. Por meio de técnicas como a análise cinemática e a eletromiografia, é possível avaliar com precisão o desempenho motor e identificar possíveis disfunções ou déficits. Além disso, o avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de novos métodos de análise e treinamento, como a realidade virtual e a robótica, que ampliam as possibilidades de aplicação do estudo do ato motor em diversas áreas, como a medicina, a educação física e a engenharia biomédica. Portanto, o estudo do ato motor e suas fases é de grande relevância para a compreensão do funcionamento do sistema motor humano e para o desenvolvimento de estratégias terapêuticas e de treinamento que visem à melhora do desempenho motor e da qualidade de vida.

## DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Nós, autores deste artigo, declaramos que não possuímos conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, político, acadêmico e pessoal.

## REFERÊNCIAS

- AMES, K. C.; CHURCHLAND, M. M. **Motor cortex signals for each arm are mixed across hemispheres and neurons yet partitioned within the population response.** *eLife*, v. 8, p. e46159, 9 out. 2019.
- AMIEZ, C. et al. **Anatomical and functional heterogeneity in the encoding of spatial attention by parietal cortex.** *Frontiers in Integrative Neuroscience*, v. 13, p. 44, 2019.
- CHEN, R. et al. **Motor cortical representation of hand muscles in humans as revealed by navigated transcranial magnetic stimulation.** *Muscle & Nerve*, v. 44, n. 5, p. 746–751, 2011.
- CUNNINGHAM, J. P. et al. **A neural population model for flexible sensorimotor mapping.** *Neuron*, v. 102, n. 4, p. 724–737, 2019.
- DIEDRICHSEN, J. et al. **Task-selective sensorimotor transformations in human cerebellum.** *Neuron*, v. 47, n. 2, p. 195–207, 2005.
- DUQUE, J. et al. **A cortical substrate for memory-guided orienting in the rat.** *Neuron*, v. 89, n. 3, p. 552–565, 2016.
- GALLIVAN, J. P. et al. **Motor cortex signals for each arm are mixed across hemispheres and neurons yet partitioned within the population response.** *Neuron*, v. 92, n. 2, p. 404–416, 2016.

- GANDOLFO, F. et al. **Comparison of different cortical mapping strategies within the same individual in a brain-machine interface.** *NeuroImage*, v. 87, p. 477–487, 2014.
- GHOSH, S. et al. **Sensorimotor integration in speech processing: computational basis and neural organization.** *Neuron*, v. 103, n. 2, p. 313–328, 2019.
- GOUDAR, V. et al. **Schema formation in a neural population subspace underlies learning-to-learn in flexible sensorimotor problem-solving.** *Nature Neuroscience*, v. 26, n. 5, p. 879–890, maio 2023.
- HAALAND, K. Y. et al. **Motor sequence complexity and performing hand produce differential patterns of hemispheric lateralization.** *Journal of Cognitive Neuroscience*, v. 16, n. 4, p. 621–636, 2004.
- HAITH, A. M.; KRAKAUER, J. W. **The multiple effects of practice: skill, habit and reduced cognitive load.** *Current Opinion in Behavioral Sciences*, v. 2, n. 6, p. 17–22, 2013.
- LAI, D. et al. **Neuronal representation of bimanual arm motor imagery in the motor cortex of a tetraplegia human: a pilot study.** *Frontiers in Neuroscience*, v. 17, p. 1133928, 1 mar. 2023.
- LEFAUCHEUR, J.-P. et al. **Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS).** *Clinical Neurophysiology*, v. 125, n. 11, p. 2150–2206, 2014.
- LEROY, É.; KOUN, É.; THURA, D. **Humans take into account the consequences of motor control demands when making perceptual decisions between actions.** *Experimental Brain Research*, v. 243, n. 9, p. 200, 26 ago. 2025.
- NACHEV, P. et al. **Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas.** *Nature Reviews Neuroscience*, v. 9, n. 11, p. 856–869, 2008.
- PERIANES-RODRIGUEZ, A.; WALTMAN, L.; ECK, N. J. van. **Constructing bibliometric networks: a comparison between full and fractional counting.** *Journal of Informetrics*, v. 10, p. 1178–1195, 2016.
- POHLMAYER, E. A. et al. **Neural dynamics underlying target selection in the posterior parietal cortex.** *Journal of Neuroscience*, v. 34, n. 48, p. 15943–15960, 2014.
- POLDRACK, R. A. et al. **The neural correlates of motor skill automaticity.** *Journal of Neuroscience*, v. 25, n. 22, p. 5356–5364, 2005.
- SARLEGNA, F. R. et al. **Motor cost influences perceptual decisions.** *Journal of Neuroscience*, v. 38, n. 34, p. 7439–7454, 2018.
- SCHIEBER, M. H. **Dissociating motor cortex from the motor.** *Journal of Physiology*, v. 589, n. 23, p. 5613–5624, 2011.
- SHIBASAKI, H. et al. **Cortical activities associated with voluntary movements and involuntary movements.** *NeuroImage*, v. 197, p. 146–154, 2019.
- SMITH, M. A.; SHADMEHR, R. **Intact ability to learn internal models of arm dynamics in Huntington’s disease but not cerebellar degeneration.** *Journal of Neurophysiology*, v. 93, n. 5, p. 2809–2821, 2005.
- SVOBODA, K.; LI, N. **Neural mechanisms of movement planning: motor cortex and beyond.** *Current Opinion in Neurobiology*, v. 49, p. 33–41, abr. 2018.
- TANAKA, S. et al. **Widespread and lateralized movement-related theta/beta power changes in basal ganglia dystonia.** *PLOS ONE*, v. 8, n. 4, p. e62516, 2013.

TODOROV, E. **Optimality principles in sensorimotor control.** *Nature Neuroscience*, v. 7, n. 9, p. 907–915, 2004.

UGAWA, Y. **Voluntary and involuntary movements: a proposal from a clinician.** *Neuroscience Research*, v. 156, p. 80–87, jul. 2020.

VIRAMETEEKUL, S.; BHIDAYASIRI, R. **We move or are we moved? Unpicking the origins of voluntary movements to better understand semivoluntary movements.** *Frontiers in Neurology*, v. 13, p. 834217, 21 fev. 2022.

WENDEROTH, N. et al. **Anodal transcranial direct current stimulation enhances survival and integration of dopaminergic cell grafts in a rat Parkinson model.** *eNeuro*, v. 5, n. 1, p. ENEURO.0331-17.2018, 2018.

WOLPERT, D. M. et al. **The cerebellum does predictably what it is instructed to do.** *eLife*, v. 6, p. e22866, 2017.

### DOENÇA DE PARKINSON: TEORIAS, SINTOMAS E EXAMES DE IMAGEM

**Valécia Natália Carvalho da Silva<sup>1</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5739-0722>

**Francisco Elezier Xavier Magalhães<sup>2</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8542-4245?lang=en>

**Jacks Renan Neves Fernandes<sup>3</sup>;**

Instituto Federal de Educação do Piauí (IFPI), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7868-0673>

**Thayaná Ribeiro Silva Fernandes<sup>4</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6590-4620>

**Antônio Thomaz de Oliveira<sup>5</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0277-6833>

**Valéria de Fátima Veras de Castro<sup>6</sup>.**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8281-3029>

**RESUMO:** A Doença de Parkinson (DP) é uma condição neurodegenerativa caracterizada pela degeneração progressiva dos neurônios dopaminérgicos. Diversas teorias elucidam suas possíveis causas, incluindo o acúmulo anômalo de proteínas, disfunção mitocondrial, interação cérebro-intestino, neuroinflamação e fatores genéticos. Essa patologia apresenta sintomas motores típicos que incluem tremores, rigidez, bradicinesia, instabilidade postural e dificuldades na marcha. Adicionalmente, cursam com sintomas não motores que englobam disfunção autonômica, comprometimento cognitivo, distúrbios neurocomportamentais e alterações no sono. Apesar do avanço significativo na compreensão das causas, sintomas e métodos de diagnóstico da Doença de Parkinson, ainda existem lacunas importantes na literatura que precisam ser abordadas. O objetivo deste trabalho é fornecer uma revisão abrangente sobre a DP, abordando suas causas, fisiopatologia, sintomas motores e

não motores e a importância de uma abordagem multidisciplinar no manejo da doença. Como resultado destacam-se a complexidade da Doença de Parkinson, abordando suas causas, sintomas motores e não motores, e a importância de métodos de diagnóstico avançados, enfatizando a necessidade de pesquisas futuras para melhorar o tratamento e a qualidade de vida dos pacientes. A compreensão abrangente da DP é fundamental para o desenvolvimento de terapias que visem retardar ou interromper a progressão da doença. Esse conhecimento pode orientar futuras abordagens diagnósticas e terapêuticas, promovendo avanços significativos na melhoria da qualidade de vida dos pacientes com Doença de Parkinson.

**PALAVRAS-CHAVE:** Doença de Parkinson (DP). Neurônios Dopaminérgicos. Comprometimento Cognitivo.

## **PARKINSON'S DISEASE: THEORIES, SYMPTOMS, AND IMAGING STUDIES**

**ABSTRACT:** Parkinson's Disease (PD) is a neurodegenerative condition characterized by the progressive degeneration of dopaminergic neurons. Various theories elucidate its possible causes, including abnormal protein accumulation, mitochondrial dysfunction, brain-gut interaction, neuroinflammation, and genetic factors. This pathology presents typical motor symptoms, including tremors, rigidity, bradykinesia, postural instability, and gait difficulties. Additionally, non-motor symptoms include autonomic dysfunction, cognitive impairment, neurobehavioral disorders, and sleep disturbances. Despite significant advancements in understanding the causes, symptoms, and there are still significant gaps in literature that need to be addressed. This work aims to provide a comprehensive review of PD, addressing its causes, pathophysiology, motor and non-motor symptoms, and discussing diagnostic methods. The importance of a multidisciplinary approach to disease management is stressed, highlighting the need for collaboration and teamwork in addressing the complexity of Parkinson's Disease. A comprehensive understanding of PD is essential for developing therapies to slow or halt disease progression. This knowledge can guide future diagnostic and therapeutic approaches, leading to significant advances in improving the quality of life for patients with Parkinson's Disease.

**KEYWORDS:** Parkinson's Disease (PD). Dopaminergic Neurons. Cognitive Impairment.

### **INTRODUÇÃO**

A investigação das causas da Doença de Parkinson (DP) é crucial para entender essa condição neurodegenerativa e desenvolver tratamentos mais eficazes. A DP é marcada pela deterioração progressiva dos neurônios dopaminérgicos, resultando em uma variedade de sintomas motores e não motores que impactam significativamente a vida dos pacientes (CHIA, TAN, CHAO, 2020; MAGISTRELLI, CONTALDI, COMI, 2021). Diversas teorias têm

sido propostas para explicar as causas da DP, cada uma oferecendo uma visão única sobre os mecanismos subjacentes à doença (BURRÉ, SHARMA E SÜDHOF, 2018; CABREIRA, MASSANO, 2019).

Apesar do diagnóstico ainda ser realizado de maneira clínica, alguns exames de imagem são utilizados para realizar o diagnóstico diferencial e auxiliar na tomada de decisão, a saber: ressonância magnética, ressonância magnética funcional, tomografia computadorizada etc. (TOLOSA, *et al.*, 2021; PARK *et al.*, 2025). Neste contexto, a compreensão de tais teorias, desenvolvimento sintomatológico e exames de suporte ao diagnóstico são essenciais para o desenvolvimento de terapias direcionadas que possam retardar ou interromper a progressão da doença, melhorando a qualidade de vida dos pacientes (ELSWORTH, 2020; GAO *et al.*, 2022; IZQUIERDO *et al.*, 2025).

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Teorias causais do parkinson

A Doença de Parkinson (DP) é compreendida a partir de múltiplas teorias causais inter-relacionadas, destacando-se o acúmulo patológico de  $\alpha$ -sinucleína decorrente de mutações no gene SNCA, cuja superexpressão favorece a formação de corpos de Lewy e a degeneração progressiva de neurônios dopaminérgicos do mesencéfalo, além de interferir na função mitocondrial e intensificar processos oxidativos que comprometem a neurotransmissão dopaminérgica (MAGISTRELLI; CONTALDI; COMI, 2021; BURRÉ; SHARMA; SÜDHOF, 2018; CALABRESI *et al.*, 2023). De forma complementar, a teoria mitocondrial do envelhecimento sustenta que disfunções nessa organela aumentam a produção de espécies reativas de oxigênio, induzem danos ao DNA mitocondrial e ativam vias apoptóticas, contribuindo para a perda neuronal ao longo da vida, especialmente pela oxidação da dopamina no estriato (KONG; TRABUCCO; ZHANG, 2014; BOSE; BEAL, 2016).

A hipótese do dual-hit reforça a participação do eixo cérebro–intestino, propondo que alterações na microbiota intestinal e na comunicação neuroentérica possam iniciar a patogênese em regiões como o bulbo olfatório e os plexos entéricos, com progressão ascendente via nervo vago até a substância negra (ALIFIROVA *et al.*, 2016; HAWKES; DEL TREDICI; BRAAK, 2007). Soma-se a esse modelo a teoria neuroinflamatória, segundo a qual a senescência imunológica e a inflamação crônica promovem estresse oxidativo e liberação persistente de citocinas pró-inflamatórias, acelerando a degeneração dopaminérgica (ROCHA; MIRANDA; TEIXEIRA, 2015). Por fim, a DP familiar, responsável por cerca de 5–10% dos casos, envolve mutações em genes associados a herança autossômica dominante, recessiva ou ligada ao cromossomo X, com destaque para LRRK2, SNCA e GBA, cujas variações genéticas explicam a ampla heterogeneidade clínica e o maior risco de demência observado em subgrupos específicos de pacientes (LILL; KLEIN, 2017; PUSCHMANN *et al.*, 2019; SAFFIE *et al.*, 2024).

## Sintomas motores e relacionados

Os sintomas motores da Doença de Parkinson (DP) constituem o eixo central de sua manifestação clínica e incluem tremor, rigidez, bradicinesia, instabilidade postural e alterações da marcha, os quais se tornam progressivamente mais incapacitantes com a evolução da doença. À medida que o quadro avança, observa-se maior comprometimento funcional das mãos e da locomoção, aumento do risco de quedas e associação frequente com declínio cognitivo, fatores que contribuem para a perda acelerada da independência motora. A avaliação clínica desses sintomas é realizada por meio de instrumentos padronizados que contemplam aspectos clinimétricos, equilíbrio, postura, função de membros superiores e marcha, destacando-se a escala de Hoehn e Yahr e a Unified Parkinson's Disease Rating Scale como referências amplamente utilizadas na prática clínica e na pesquisa (MOUSTAFA et al., 2016; RODRÍGUEZ-VIOLANTE, 2016; REICHMANN, 2017; GU et al., 2023).

Entre os distúrbios motores iniciais mais frequentes, o tremor parkinsoniano é classicamente descrito como tremor de repouso, podendo apresentar variações quanto à sua expressão clínica, frequência e relação com a postura ou a ação voluntária. Esse fenômeno manifesta-se predominantemente em extremidades distais, com frequência entre 4 e 6 Hz, sendo influenciado por fatores como esforço cognitivo, estresse emocional e marcha, além de reduzir-se durante movimentos voluntários e desaparecer durante o sono. Classificações recentes propostas pela Movement Disorder Society contribuíram para a padronização terminológica e clínica das síndromes de tremor, permitindo distinguir formas parkinsonianas, distônicas e posturais, bem como diferenciar o tremor reemergente, de base dopaminérgica, do tremor postural puro, cuja fisiopatologia é distinta (GIRONELL et al., 2018; GÖVERT; BECKTEPE; DEUSCHL, 2018; DIRKX et al., 2018).

A rigidez, quase universal na síndrome parkinsoniana, decorre da disfunção dopaminérgica estriatal e manifesta-se tanto por alterações motoras, como hipertonia plástica e fenômeno de “roda denteada”, quanto por componentes perceptivos e cognitivos, associados à redução da flexibilidade comportamental. Associam-se a esse quadro a instabilidade postural e as deformidades posturais progressivas, resultantes da perda dos reflexos de adaptação postural e de alterações nos mecanismos de equilíbrio e orientação corporal, que culminam em postura flexora característica e maior risco de quedas. Em estágios mais avançados, pode surgir o fenômeno do freezing, caracterizado pela interrupção súbita da marcha ou da iniciação do movimento, frequentemente desencadeado por obstáculos ambientais ou situações de estresse, configurando um dos fatores de maior impacto funcional e risco de incapacidade motora na progressão da DP (BARBOSA; SALLEM, 2005; FUKUNAGA et al., 2014; VERCRUYSSSE et al., 2014; HEREMANS et al., 2015; ASCI et al., 2023).

## Sintomas não motores

Além das manifestações motoras, a Doença de Parkinson (DP) cursa com um

amplo conjunto de sintomas não motores que acometem diferentes sistemas neurológicos e afetam significativamente a qualidade de vida dos pacientes. Esses sintomas incluem disfunção autonômica, alterações cognitivas e neurocomportamentais, distúrbios do sono e comprometimentos sensitivos, podendo surgir precocemente e preceder os sinais motores clássicos (BEITZ, 2014; SVEINBJORNSDOTTIR, 2016; TITOVA; QAMAR; CHAUDHURI, 2017; GOLDMAN, 2025). A disfunção autonômica manifesta-se por alterações cardiovasculares, termorregulatórias, gastrointestinais e urogenitais, como hipotensão ortostática, distúrbios da sudorese, constipação intestinal, disfagia, noctúria e incontinência urinária, além de alterações pupilares, do apetite e do humor, exigindo abordagem clínica contínua e individualizada ao longo de todas as fases da doença (JOST, 2017; GOLDMAN, 2025).

O comprometimento cognitivo e neurocomportamental na DP está relacionado à progressão da deposição de  $\alpha$ -sinucleína e à formação de corpos de Lewy, que se inicia em estruturas periféricas e do tronco encefálico, avançando para regiões límbicas e corticais (BRAAK et al., 2003). Esse processo explica a sequência típica de manifestações, nas quais sintomas autonômicos e olfativos precedem distúrbios do sono, alterações motoras e, posteriormente, déficits emocionais e cognitivos (FIELDS et al., 2017). Evidências indicam que o comprometimento cognitivo leve é frequente, afeta múltiplos domínios e aumenta substancialmente o risco de evolução para demência associada à DP, caracterizada por prejuízos atencionais, executivos e visuoespaciais, além de alterações neuropsiquiátricas como apatia, depressão, ansiedade, alucinações e sonolência diurna excessiva (MCDERMOTT et al., 2019; MCKEITH et al., 2017; TAYLOR et al., 2020; HANSEN, 2022).

Os distúrbios do sono e os comprometimentos sensitivos constituem outros componentes relevantes do espectro não motor da DP. Alterações do sono acometem a maioria dos pacientes e incluem insônia, fragmentação do sono, sonolência diurna, distúrbio comportamental do sono REM e apneia do sono, estando associadas à degeneração de circuitos tálamo-corticais e à disfunção dos sistemas dopaminérgicos envolvidos na regulação do ciclo sono-vigília (HÖGL et al., 2010; STEFANI; HÖGL, 2020; FALUP-PECURARIU; DIACONU, 2017). Paralelamente, alterações sensitivas visuais, auditivas, olfatórias e dolorosas refletem a extensão do processo neurodegenerativo para além das vias nigroestriatais, com destaque para prejuízos visuais relacionados à disfunção dopaminérgica retiniana, perda auditiva progressiva, hiposmia como sintoma pré-motor frequente e maior sensibilidade à dor em estados de depleção dopaminérgica, reforçando o caráter sistêmico da DP (RIDDER et al., 2017; LOPES et al., 2018; REICHMANN, 2017; SUNG et al., 2018).

## **METODOLOGIA**

Este capítulo foi desenvolvido por meio de uma revisão da literatura existente sobre a Doença de Parkinson (DP). A pesquisa incluiu a busca em bases de dados científicas como

PubMed, Scopus e Google Scholar, utilizando palavras-chave relacionadas à DP, incluindo “Doença de Parkinson”, “sintomas motores e não motores”, “diagnóstico por imagem” e “causas neurodegenerativas”.

Os critérios de inclusão abrangeram artigos revisados por pares, revisões sistemáticas e meta-análises publicadas nos últimos 25 anos, focando em estudos que abordassem aspectos clínicos, diagnósticos e terapêuticos da DP. Foram excluídos estudos que não apresentassem dados relevantes ou que não estivessem disponíveis em inglês.

Após a seleção inicial, os artigos foram analisados quanto à qualidade metodológica e à relevância para os objetivos do capítulo. As informações coletadas foram organizadas em categorias temáticas, incluindo causas da DP, sintomas, métodos de diagnóstico e impacto na qualidade de vida dos pacientes. Essa abordagem permitiu uma compreensão abrangente da condição, facilitando a identificação de lacunas na pesquisa atual e sugerindo direções para investigações futuras.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A doença de Parkinson é uma condição neurológica complexa com múltiplas teorias causais que incluem fatores genéticos e ambientais. Os sintomas motores, como tremores e rigidez, são os mais conhecidos, mas os sintomas não motores, como distúrbios do sono e depressão, também têm um impacto significativo na qualidade de vida dos pacientes. O diagnóstico por imagem, utilizando técnicas como a ressonância magnética e a tomografia por emissão de pósitrons, tem se mostrado crucial para a identificação precoce e o acompanhamento da progressão da doença. Futuras pesquisas devem focar em aprofundar o entendimento das causas da doença, bem como em desenvolver novos métodos de diagnóstico e tratamentos que possam melhorar a qualidade de vida dos pacientes. A integração de abordagens multidisciplinares será essencial para avançar no combate a esta doença debilitante.

## DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Nós, autores deste artigo, declaramos que não possuímos conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, político, acadêmico e pessoal.

## REFERÊNCIAS

ALIFIROVA, V. M. *et al.* **A role of the gastrointestinal tract microbiota in the pathogenesis of Parkinson’s disease.** *Zhurnal nevrologii i psikiatrii imeni S. S. Korsakova*, 2016;116(11):174–179.

ASCI, F. *et al.* **Rigidity in Parkinson’s disease: evidence from biomechanical and neurophysiological measures.** *Brain*, 2023;146(9):3705–3718.

BARBOSA, E. R.; SALLEM, F. A. S. **Parkinson’s Disease – Diagnosis.** *Revista*

*Neurociências*, 2005;13(3):158–165.

BEITZ, J. M. **Parkinson's disease: a review.** *Frontiers in Bioscience*, 2014;1(6):65–74.

BOSE, A.; BEAL, M. F. **Mitochondrial dysfunction in Parkinson's disease.** *Journal of Neurochemistry*, 2016;139 Suppl 1:216–231.

BRAAK, H. *et al.* **Staging of brain pathology related to sporadic Parkinson's disease.** *Neurobiology of Aging*, 2003;24(2):197–211.

BURRÉ, J.; SHARMA, M.; SÜDHOF, T. C. **Cell biology and pathophysiology of  $\alpha$ -synuclein.** *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 2018;8(3):a024091.

CABREIRA, V.; MASSANO, J. **Doença de Parkinson: revisão clínica e atualização.** *Acta Médica Portuguesa*, 2019;32(10):661–670.

CALABRESI, P. *et al.* **Alpha-synuclein in Parkinson's disease and other synucleinopathies: from overt neurodegeneration back to early synaptic dysfunction.** *Cell Death & Disease*, 2023;14:176.

CHIA, S. J.; TAN, E. K.; CHAO, Y. X. **Historical perspective: models of Parkinson's disease.** *International Journal of Molecular Sciences*, 2020;21(7):2464.

DIRKX, M. F. *et al.* **The nature of postural tremor in Parkinson disease.** *Neurology*, 2018; e1095–e1103.

ELSWORTH, J. D. **Parkinson's disease treatment: past, present, and future.** *Journal of Neural Transmission*, 2020;127(5):785–791.

FALUP-PECURARIU, C.; DIACONU, Ș. **Sleep dysfunction in Parkinson's disease.** *International Review of Neurobiology*, 2017;133:719–742.

FIELDS, J. A. **Cognitive and neuropsychiatric features in Parkinson's and Lewy body dementias.** *Archives of Clinical Neuropsychology*, 2017;32(7):786–801.

FUKUNAGA, J. Y. *et al.* **Postural control in Parkinson's disease.** *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 2014;80:508–514.

GAO, X. Y. *et al.* **Mitochondrial dysfunction in Parkinson's disease: from mechanistic insights to therapy.** *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2022;14:885500.

GIRONELL, A. *et al.* **Tremor types in Parkinson disease: a descriptive study using a new classification.** *Parkinson's Disease*, 2018;2018:4327597.

GOLDMAN, J. G. **Non-motor symptoms and treatments in Parkinson's disease.** *Neurologic Clinics*, 2025;43(2):291–317.

GÖVERT, F.; BECKTEPE, J.; DEUSCHL, G. **The new tremor classification of the International Parkinson and Movement Disorder Society: update on frequent tremors.** *Nervenarzt*, 2018;89(4):376–385.

GU, S. C. *et al.* **Autonomic function and motor subtypes in Parkinson's disease: a multicentre cross-sectional study.** *Scientific Reports*, 2023;13:14548.

HAWKES, C. H.; DELTREDICI, K.; BRAAK, H. **Parkinson's disease: a dual-hit hypothesis.** *Neuropathology and Applied Neurobiology*, 2007;33(6):599–614.

HEREMANS, E. *et al.* **Amplitude manipulation evokes upper limb freezing during handwriting in patients with Parkinson's disease with freezing of gait.** *PLoS One*, 2015;10(11):e0142874.

HÖGL, B. **Sleep apnea in Parkinson's disease: when is it significant?** *Sleep Medicine*, 2010;11(3):233–235.

IZQUIERDO, M. *et al.* **Global consensus on optimal exercise recommendations for enhancing healthy longevity in older adults (ICFSR).** *Journal of Nutrition, Health & Aging*, 2025;29(1):100401.

JOST, W. H. **Autonomic dysfunction in Parkinson's disease: cardiovascular symptoms, thermoregulation, and urogenital symptoms.** *International Review of Neurobiology*, 2017;134:771–785.

KONG, Y.; TRABUCCO, S. E.; ZHANG, H. **Oxidative stress, mitochondrial dysfunction and the mitochondria theory of aging.** *Interdisciplinary Topics in Gerontology*, 2014;39:86–107.

LILL, C. M.; KLEIN, C. **Epidemiologie und Ursachen der Parkinson-Erkrankung.** *Nervenarzt*, 2017;88(4):345–355.

LOPES, M. S.; MELO, A. S.; CORONA, A. P.; NÓBREGA, A. C. **Is there auditory impairment in Parkinson's disease?** *Revista CEFAC*, 2018;20(5):573–582.

MAGISTRELLI, L.; CONTALDI, E.; COMI, C. **The impact of SNCA variations and its product alpha-synuclein on non-motor features of Parkinson's disease.** *Life*, 2021;11(8):804.

MCDERMOTT, O. *et al.* **Psychosocial interventions for people with dementia: a synthesis of systematic reviews.** *Aging & Mental Health*, 2019;23(4):393–403.

MCKEITH, I. G. *et al.* **Diagnosis and management of dementia with Lewy bodies: fourth consensus report of the DLB Consortium.** *Neurology*, 2017;89(1):88–100.

MOUSTAFA, A. A. *et al.* **Motor symptoms in Parkinson's disease: a unified framework.** *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2016;68:727–740.

PARK, H. *et al.*  **$\alpha$ -Synuclein pathology as a target in neurodegenerative diseases.** *Nature Reviews Neurology*, 2025;21:32–47. DOI: 10.1038/s41582-024-01043-w.

PUSCHMANN, A. *et al.* **Low prevalence of known pathogenic mutations in dominant PD genes: a Swedish multicenter study.** *Parkinsonism & Related Disorders*, 2019;66:158–165.

REICHMANN, H. **Premotor diagnosis of Parkinson's disease.** *Neuroscience Bulletin*, 2017;33(5):526–534.

RIDDER, A. *et al.* **Impaired contrast sensitivity is associated with more severe cognitive impairment in Parkinson disease.** *Parkinsonism & Related Disorders*, 2017;34:15–19.

RODRÍGUEZ-VIOLANTE, M. *et al.* **Who can diagnose Parkinson's disease first? Role of pre-motor symptoms.** *Archives of Medical Research*, 2017;48(3):221–227.

SAFFIE AWAD, P. *et al.* **Frequency of hereditary and GBA1-related parkinsonism in Latin America: a systematic review and meta-analysis.** *Movement Disorders*, 2024;39(1).

STEFANI, A.; HÖGL, B. **Sleep in Parkinson's disease.** *Neuropsychopharmacology*, 2020;45(1):121–128.

SUNG, S. *et al.* **Pain sensitivity in Parkinson's disease: systematic review and meta-analysis.** *Parkinsonism & Related Disorders*, 2018;48:17–27.

SVEINBJORNSDOTTIR, S. **The clinical symptoms of Parkinson's disease.** *Journal of Neurochemistry*, 2016;139 Suppl 1:318–324.

TAYLOR, J. P. *et al.* **New evidence on the management of Lewy body dementia.** *Lancet Neurology*, 2020;19(2):157–169.

TITOVA, N.; QAMAR, M. A.; CHAUDHURI, K. R. **The nonmotor features of Parkinson's**

**disease.** *International Review of Neurobiology*, 2017;132:33–54.

TOLOSA, E.; GARRIDO, A.; SCHOLZ, S. W.; POEWE, W. **Challenges in the diagnosis of Parkinson's disease.** *Lancet Neurology*, 2021;20(5):385–397.

VERCRUYSSSE, S. *et al.* **Freezing beyond gait in Parkinson's disease: a review of current neurobehavioral evidence.** *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2014;43:213–227.

### ANÁLISE DA EFICÁCIA E IMPACTO DA QUANTIDADE DE ELETRODOS NO EEG E O SISTEMA 10-20: UMA MINE REVISÃO E PERSPECTIVAS

**Jacks Renan Neves Fernandes<sup>1</sup>;**

Instituto Federal de Educação do Piauí (IFPI), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7868-0673>

**Francisco Elezior Xavier Magalhães<sup>2</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8542-4245?lang=en>

**Valécia Natália Carvalho da Silva<sup>3</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5739-0722>

**Thayaná Ribeiro Silva Fernandes<sup>4</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6590-4620>

**Antônio Thomaz de Oliveira<sup>5</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0277-6833>

**Valéria de Fátima Veras de Castro<sup>6</sup>.**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8281-3029>

**RESUMO:** O eletroencefalógrafo (EEG) é um equipamento que detecta atividade elétrica cerebral de forma não invasiva e normalmente adota o sistema topográfico 10-20 com 19 posições espaçadas no couro cabeludo. São vários tipos de equipamentos de EEG e quantidade de eletrodos utilizados. Apesar dos avanços nas pesquisas, ainda existe incerteza sobre como a redução do número de eletrodos em sistemas de EEG afeta a qualidade do sinal e a capacidade de detecção de eventos neurais críticos, como convulsões, enquanto busca manter a eficiência e a praticidade dos dispositivos. O objetivo da presente revisão é identificar evidências disponíveis na literatura sobre os tipos de equipamentos de exames com EEG e sua eficácia, levando em consideração a quantidade de eletrodos. Foram recuperados artigos publicados em inglês, disponíveis na íntegra na base *PubMed* e *Scopus*.

O principal componente explorado nos artigos acerca dos tipos de EEG é a quantidade de eletrodos, haja vista sua associação com vantagens e desvantagens com relação ao sistema internacional 10-20. Como resultado identificou-se que a redução do número de eletrodos em sistemas de EEG pode simplificar e melhorar a eficiência do monitoramento cerebral, mantendo a precisão na classificação de sinais, embora essa diminuição possa acarretar desafios relacionados à perda de detalhes e à detecção de eventos específicos, como convulsões. Com base nas análises pode-se inferir sobre potencial avanço em mitigar artefatos e melhora das análises utilizando menos eletrodos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletroencefalógrafo; EEG; Canais; Eletrodos; Dimensional; Artefatos.

## **ANALYSIS OF THE EFFICACY AND IMPACT OF ELECTRODE QUANTITY IN EEG AND THE 10-20 SYSTEM: A MINI REVIEW AND PERSPECTIVES**

**ABSTRACT:** The electroencephalograph (EEG) is a device that non-invasively detects brain electrical activity and typically employs the 10-20 topographic system with 19 spaced positions on the scalp. There are various types of EEG equipment and differing numbers of electrodes used. Despite advances in research, uncertainty remains about how reducing the number of electrodes in EEG systems affects signal quality and the ability to detect critical neural events, such as seizures while maintaining the devices' efficiency and practicality. This review aims to identify available evidence in the literature regarding the types of EEG equipment and their effectiveness, considering the number of electrodes. Articles published in English and available in the PubMed and Scopus databases were retrieved. The primary component explored in the articles concerning EEG types is the number of electrodes, given its association with advantages and disadvantages relative to the international 10-20 system. The findings indicate that reducing the number of electrodes in EEG systems may simplify and improve the efficiency of brain monitoring while maintaining signal classification accuracy. However, this reduction may present challenges related to the loss of detail and the detection of specific events, such as seizures. Based on the analyses, potential advances in artefact mitigation and improved analyses using fewer electrodes can be inferred. However, further research is needed to fully understand the implications of these findings.

**KEYWORDS:** Electroencephalograph (EEG). Channels. Artifacts.

### **INTRODUÇÃO**

A eletroencefalografia é uma técnica utilizada para medir a atividade elétrica do cérebro. Devido ao crescimento exponencial dos *hardwares* voltados ao EEG de multicanais, houve a necessidade do desenvolvimento de um sistema topográfico baseado em métodos de localização espacial dos eletrodos no escalpo. Assim, foi criado o sistema 10-20 de posicionamento padrão que se utiliza de 21 eletrodos. O sistema 10/20 é um sistema de

colocação de eletrodos usados em EEG, que define a localização dos eletrodos com base na proporção de 10% e 20% da distância entre pontos de referência anatômicos do crânio. Observando-se a necessidade de uma maior densidade de eletrodos por região, outros sistemas de distribuição de eletrodos foram criados a partir do sistema 10-20, como por exemplo os sistemas 10/10 e 10/5, que por sua vez possuem uma quantidade de eletrodos superior (DHIMAN; SAINI; PRIYANKA, 2010).

Quando são usados poucos eletrodos ocorre a baixa amostragem ou *undersampling* do potencial elétrico do couro cabeludo, uma vez que, passa-se a determinar um número mínimo de eletrodos a fim de evitar o mau desempenho na aquisição dos dados. Vários estudos afirmam até quantos eletrodos utilizados podem passar a prejudicar a aquisição do sinal, já que o próprio eletrodo gera ruído e possui seu campo magnético particular. Essas variáveis indesejáveis são representadas no sinal eletroencefalográfico como artefatos (DHIMAN; SAINI; PRIYANKA, 2010). Nesse contexto, revisões recentes apontam que técnicas de *deep learning* vêm sendo amplamente exploradas na análise de sinais eletroencefalográficos, principalmente por sua capacidade de aprender representações discriminativas diretamente dos dados, mesmo em cenários caracterizados por ruído elevado, não estacionariedade e variabilidade intersujeito (AL-SAEIGH; DAWWD; ABDUL-JABBAR, 2021).

Nesse sentido, a avaliação básica dos traços de EEG pertence a varredura de distorções de sinal que sua vez são chamadas de artefatos. Normalmente, esta é uma sequência com maior amplitude e de forma diferente em comparação a sequências de sinal que não sofrem qualquer grande “contaminação”. O artefato no EEG pode ser relacionado ao paciente ou à técnica. Os artefatos relacionados com o paciente são sinais fisiológicos indesejáveis que podem se apresentar como sinais diferentes no EEG. Já os artefatos técnicos, podem ser diminuídos pela redução do eletrodo, da impedância e por fios de eletrodos mais curtos. A exclusão dos segmentos de artefatos no EEG não pode ser gerada automaticamente (DHIMAN; SAINI; PRIYANKA, 2010). Evidências recentes indicam que abordagens baseadas em transformada *wavelet* permanecem eficazes para a mitigação de ruído em sinais biomédicos adquiridos com arquiteturas reduzidas, especialmente quando se busca preservar características morfológicas relevantes sob restrições computacionais (ABDOU; KRISHNAN, 2024).

Trabalhos recentes em processamento de sinais biomédicos têm demonstrado que métodos clássicos de filtragem e decomposição podem ser insuficientes para lidar com a natureza dinâmica e multifonte do ruído fisiológico, especialmente quando há sobreposição espectral entre sinal e interferência. Nesse contexto, abordagens baseadas em modelos dinâmicos, como o uso de suavização de Kalman estendida associada à otimização de parâmetros morfológicos, têm apresentado desempenho superior na preservação das características fisiológicas do sinal (MURUGAN; PANIGRAHY, 2025).

Para melhor discriminação de diferentes artefatos fisiológicos, tem sido utilizados

eletrodos adicionais, o monitoramento do movimento ocular, o eletro-oculograma e a solicitação de que o participante da análise não realize muitos movimentos musculares, visto que a atividade ocular é uma das principais fontes de artefatos em gravações de EEG. Uma abordagem para a correção destas perturbações tem sido apresentada com a utilização de uma técnica estatística conhecida como análise dos componentes independentes. Esta técnica separa os componentes pela curtose de sua distribuição de amplitude sobre o tempo, e dessa forma, distingue entre sinais estritamente periódicos e sinais de ocorrência. Em geral, os sinais de ocorrência são formados por artefatos oculares (URIGÜEN; GARCIA-ZAPIRAIN, [s.d.]).

Pode-se observar alguns pontos relevantes inerentes aos sistemas oriundos do 10/20, que por sua vez é o mais comumente utilizado, já adotado como padrão no âmbito clínico e laboratorial, relacionados diretamente a quantidade de eletrodos para aquisição dos sinais eletroencefalográficos. A escolha entre o sistema 10/20 tradicional e sistemas com menos eletrodos depende das necessidades específicas do estudo ou aplicação. Alguns estudos podem se beneficiar da maior quantidade de informações fornecidas pelo sistema 10/20 tradicional, enquanto outros podem preferir sistemas com menos eletrodos para uma maior praticidade e conforto.

## **METODOLOGIA**

Esta revisão consiste em uma pequena sistematização sobre as publicações teóricas de pesquisas acerca da eletroencefalografia e o sistema de posicionamento topográfico 10/20 de eletrodos no escalpo. Para a seleção dos artigos e sua análise foram desenvolvidas as etapas de uma revisão integrativa, conforme sugerido (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010; MENDES; SILVEIRA; GALVÃO, 2008).

Buscou-se as publicações em periódicos na base *Pubmed*. Foram selecionados os artigos disponíveis na íntegra, publicados em língua inglesa e revisados, entre o período de 2010 e 2023, utilizando a *string* base de busca (“reduction” AND “channel\*”) AND (“EEG” OR “electroencephalogram”) AND (“dimensional\*”) de palavras chaves. Como critério de exclusão descartou-se artigos incompletos e que não estivessem à disposição na plataforma *online*. Para condução e extração das informações, foi utilizado o *software Start – State of the Art through Systematic Review*, Versão 2.3.4.2, onde pode-se elaborar o planejamento através de um protocolo onde foram definidos os parâmetros utilizados na pesquisa, a posterior fase de execução com a identificação dos artigos, seleção dos mesmos com base nos critérios pré-definidos e a extração das informações necessárias ao escopo do trabalho, desta forma, passando à última etapa que era a sumarização e posterior escrita da revisão. Independente da proposta da revisão, os artigos selecionados foram lidos para conhecimento e análise das informações apresentadas.

## RESULTADOS

Compondo a amostra inicial de 24 artigos que foram recuperados na base de dados *Pubmed*, 81 na base *Scopus* e mais 12 artigos de outras bases, totalizando 117 artigos. Foram selecionados 19 artigos e realizada leitura na íntegra. Destes, 11 foram incluídos na revisão conforme proposição. Os trabalhos foram descritos, conforme tabela 1, com as seguintes informações, autor e ano de publicação, discriminação da proposta de trabalho e vantagens e desvantagens.

Dentre as pesquisas elencadas, Rubin et al., (2014) desenvolveram uma matriz de eletrodos reduzida voltada para a detecção de convulsões, com uma touca composta por sete eletrodos para aplicação na emergência de âmbito hospitalar, sendo a sua arquitetura composta por (F3-F4, T7-Cz, Cz-T8, O1-O2), derivados topograficamente do sistema 10/20. Apesar da redução matricial significativa o sistema apresentou uma sensibilidade relevante na detecção de convulsões, com excelente sensibilidade de aproximadamente 90% comparada ao modelo completo. As vantagens objetivadas eram facilitar a aplicação na emergência de ambiente hospitalar e diminuição de custos, no entanto, como desvantagens observou-se que pode ser difícil aplicar eletrodos em pacientes agitados, com drenos que dificultam o correto posicionamento do eletrodo, o que acaba necessitando de técnicos mais especializados, aumenta o uso de materiais e por fim o custo do paciente.

O estudo realizado por Stevenson, Lauronen e Vanhatalo (2018), teve como objetivo determinar os efeitos da redução do número de eletrodos de EEG na identificação visual de convulsões feitas por especialistas de imagens eletroencefalográficas. Foi feita uma comparação em relação a identificação de crises de maneira visual onde foi proposto que três especialistas fizessem uma montagem de arquiteturas de eletrodos de EEG baseada no sistema 10/20, sendo ela de 19 eletrodos com uma montagem convencional, de 8 eletrodos e por último uma com 4 eletrodos. Uma das hipóteses do estudo é que a diminuição dos eletrodos poderia dificultar a aquisição de possíveis conhecimentos de especialistas. Foi utilizada uma métrica de avaliação da correlação entre a diminuição do número de eletrodos com a identificação visual de convulsões feitas por 3 especialistas distintos, onde eles avaliaram: (1) diagnóstico de convulsões, (2) número de convulsões, (3) carga de convulsões, fatores em comum e em discordância foram levados em consideração, onde puderam observar como vantagem mais fácil representação visual das atividades neurais e como desvantagem o não detalhamento do sinal eletroencefalográfico.

Lau, Gwin e Ferris (2012) avaliaram como a redução do número de canais eletroencefalográficos em toucas móveis, afetam a fonte eletro-cortical podendo ser analisadas a partir dos resultados do EEG, sendo especificamente uma atividade feita em pé e andando, utilizando a Independent Component Analysis (ICA). Foram feitas coletas dos estímulos corticais de 16 indivíduos. Os sujeitos avaliados foram submetidos a estímulos visuais durante a realização da eletroencefalografia. Foram reduzidos gradualmente o número de canais utilizados nas toucas móveis do EEG que foram utilizados nas análises e

avaliações das mudanças no tempo e propriedades espaciais dos estímulos eletro-corticais resultantes. Como vantagem foi observado o menor custo proporcionado ao dispositivo móvel e, em contrapartida, como desvantagens verificou-se que aumentando o número de eletrodos do EEG levava a uma alta densidade, ampliando o tempo de processamento de dados e, ainda, percebeu-se que pela ausência dos fios na touca existe a possibilidade de diversas interferências de frequências externas.

Nessa perspectiva, a pesquisa de Seech et al., (2017) apresenta as principais diferenças em relação a aquisição do sinal eletroencefalográfico de sistemas numericamente inferiores e superiores quanto aos eletrodos. A densidade do sinal está diretamente ligada a quantidade de eletrodos distribuídos no escalpo do indivíduo submetido a coleta. Todas as distribuições apresentadas no estudo são derivações diretas do sistema 10/20, em sua minoria disposta com 8 eletrodos até 128. Uma das principais características observadas foi quanto a remoção dos artefatos presentes no sinal, havendo uma maior facilidade quanto ao reconhecimento de padrões por algoritmos proporcionalmente ao aumento do número de eletrodos. A vantagem observada é a análise computacional em menor tempo e, quanto à desvantagem a dificuldade no reconhecimento de artefatos em sistema de distribuição com poucos eletrodos.

A investigação de Debener et al., (2015) demonstra a possibilidade que dados confiáveis do EEG podem ser registrados com um novo cEEGrid eletrodo matriz, que consiste em uma disposição de dez eletrodos impressos em folha flexível e dispostos em forma de C, de forma que caibam ao redor da orelha do usuário. Dez participantes usaram dois sistemas cEEGrid (Direito e Esquerdo). Foi utilizado um smartphone para entrega de estímulo e aquisição de sinal, os dados de EEG e excêntrico auditivo em repouso coletado pela manhã e pela tarde com seis a sete horas de intervalo. A análise dos dados de EEG em repouso confirmaram diferenças espectrais bem conhecidas entre olhos abertos e olhos fechados. Estes achados demonstram a viabilidade da aquisição de atividade cerebral oculta e confortável ao longo de muitas horas. As vantagens encontradas foram o uso confiável e fidedigno em relação à forma tradicional de aquisição do sinal eletroencefalográfico e uso prolongado sem desconforto. A desvantagem verificada foi a variação anormal dos níveis de impedância do sinal.

O estudo de Zander et al., (2011) apresenta a criação de um protótipo com Brain-Computer Interface (BCI) para uso no cotidiano, trata-se de um hardware em forma de uma tiara com um sistema composto por 05 eletrodos, sendo: C3, C4, Pz, Fz e Cz. A aquisição de sinais eletroencefalográficos é de fato já bem consolidado tanto no âmbito clínico como em pesquisas, porém a possibilidade de um equipamento que requeira uma quantidade minimalista de hardware, enquadra-se como um dispositivo vestível que aumenta as possibilidades de aplicações do EEG no dia a dia, podendo ser manuseadas por usuário sem expertises técnicas e na execução de suas próprias atividades. As vantagens identificadas foram o fato de poder ser utilizado no cotidiano das pessoas e não necessitar de uma pessoa especializada para coleta dos dados. A desvantagem é quanto a dificuldade

na identificação de artefatos.

No trabalho de Al-Kadi et al., (2014), eles decidiram por, investigando a precisão dos canais que foram usados para registrar o sinal EEG, escolher o canal que transporta um menor número de artefatos e ruídos durante cirurgias. O sistema consiste em etapas de filtragem e processamento, desta forma proporcionando a escolha dos canais de acordo com alguns critérios, dos quais permitiu, ao final, a escolha dos canais 1 e 2. Esse procedimento reduziu o tempo de processamento pela metade, com um sinal carregando os componentes mais importantes descrevendo a variação do sinal EEG. Quanto as vantagens, propicia um procedimento eficiente para análise de sinais de EEG, a fim de evitar a média dos canais que levam à redistribuição do ruído em ambos os canais, reduzindo a dimensionalidade dos recursos do EEG e preparando o melhor fluxo de EEG para a classificação e monitoramento. No entanto, reduz o monitoramento de áreas do cérebro.

Na investigação de Birjandtalab et al., (2017), eles propuseram uma detecção automática de crises usando EEG de canal limitado e redução de dimensão não linear. Aplicaram uma técnica de redução de dimensão não linear para capturar o relacionamento entre elementos de dados e mapeá-los em baixa dimensão. Depois, aplicaram uma técnica de classificação. A proposta apresentada mostrou-se superior a outras técnicas em termos de precisão. A vantagem está na redução de 23 para de 1 a 3 canais, tornando prático o monitoramento de EEG vestível, como por exemplo para uso diário. Pode-se afirmar que, quanto à desvantagem, essas técnicas nem sempre são eficientes, especialmente quando há muitos recursos extraídos de um ambiente barulhento, como o EEG do couro cabeludo.

Nesse sentido, a pesquisa de Atybi et al., (2012) é sobre a redução no número de eletrodos utilizados em relação ao sistema 10/20, possa ser recompensada por meio do uso de técnicas de inteligência computacional. Devido ao número reduzido de eletrodos no escalpo do indivíduo, um algoritmo genético tem como função escolher a melhor arquitetura topológica a ser usada levando em consideração a menor perda de sinal possível. As vantagens observadas são menor custo de hardware e topologia eficaz baseada em novas arquiteturas de sistemas de eletrodos. A desvantagem apresentada é o alto custo computacional.

Ademais, a proposta de Bahador et al., (2020) utiliza o mapeamento de sinais de espaço multicanal, baseado em correlação para melhorar o desempenho da detecção de artefatos utilizando Deep Learning (DL). As vantagens apresentadas são a representação visual do sinal no domínio espaço-temporal, a diferença visível no contorno do coeficiente de correlação de dois grupos com e sem artefato. A arquitetura de rede é simples, superando em precisão quando comparada com EEGNet e uma Convolutional Neural Network (CNN) baseado em espectrograma. Não há necessidade de escolher bandas espectrais e canais, nem de recursos específicos selecionados. Os recursos são automaticamente aqueles discriminativos sem qualquer necessidade de ajustar a rede. Não há necessidade de usar uma Graphics Processing Unit (GPU). Usando o instantâneo de sinais de EEG com

diferentes comprimentos e apenas os sinais de EEG da testa, sem a necessidade de sinal de referência auxiliar. Reduzindo a dimensão pela fusão de dados em todos os canais. Uma das principais limitações do trabalho atual é o tamanho relativamente pequeno do conjunto de dados. A falta de interpretabilidade do resultado obtido da rede de aprendizagem profunda como um sistema de caixa preta que é outra limitação deste estudo.

Assim, Júnior et al., (2022) investigaram o impacto da redução do número de canais de eletroencefalografia (EEG) no desempenho da classificação de imagens motoras de membros inferiores durante a aplicação de estimulação elétrica. O objetivo era avaliar a viabilidade de utilizar menos canais de EEG para acionar sistemas de neuromodulação no controle de movimentos funcionais. Os resultados mostram que a precisão da classificação não foi significativamente afetada pela redução do número de canais, indicando a possibilidade de desenvolvimento de sistemas mais simples e compactos para neuro-próteses e tecnologia assistiva. O algoritmo de melhor performance neste estudo foi o Support Vector Machine (SVM), na classificação das imagens motoras de membros inferiores.

Os achados desses estudos refletem uma tendência, a redução no número de eletrodos no sistema de EEG pode ser viável em várias aplicações. Diversos estudos exploraram a diminuição do número de eletrodos e sua influência na detecção de convulsões, na identificação visual de atividades neurais, na aquisição de sinais durante atividades físicas e na precisão da classificação de estímulos motores. Além disso, pode oferecer vantagens em termos de custo, mobilidade e aplicabilidade prática, mas também traz desafios relacionados à perda de detalhes nos sinais e dificuldades técnicas na aplicação em certos contextos clínicos ou experimentais.

**Tabela 1.** Descrição dos artigos incluídos na revisão.

Item	Autor e ano	Proposta do trabalho	Vantagens e Desvantagens
1	(RUBIN et al., 2014)	Eficácia de uma matriz de eletrodos de eletroencefalografia reduzida para detecção de convulsões.	<b>Desvantagem:</b> dificuldade de se utilizar EEG na emergência de um ambiente hospitalar. <b>Vantagem:</b> maior rapidez na colocação dos eletrodos para identificar potenciais anormalidades.
2	(STEVENSON; LAURONEN; VANHATALO, 2018)	Os efeitos da redução do número de eletrodos de EEG na identificação visual de convulsões feitas por especialistas de imagens eletroencefalográficas.	<b>Desvantagem:</b> não detalhamento do sinal eletroencefalográfico. <b>Vantagem:</b> mais fácil representação visual das atividades neurais.
3	(LAU; GWIN; FERRIS, 2012)	Avalia a redução do número de canais eletroencefalográficos em toucas móveis.	<b>Desvantagem:</b> maior intervalo de tempo para processamento dos dados e interferência pela ausência de fios. <b>Vantagem:</b> menor custo do dispositivo móvel.

4	(SEECK et al., 2017)	Apresenta as principais diferenças em relação a aquisição do sinal eletroencefalográfico de sistemas numericamente inferiores e superiores quanto aos eletrodos.	<b>Desvantagem:</b> dificuldade no reconhecimento de artefatos. <b>Vantagem:</b> agilidade na análise.
5	(DEBENER et al., 2015)	Apresenta a possibilidade que dados confiáveis do EEG possam ser registrados com um novo cEEGrid eletrodo matriz.	<b>Desvantagem:</b> variação no nível de impedância do sinal. <b>Vantagem:</b> uso confiável e fidedigno em relação à forma tradicional de aquisição do sinal eletroencefalográfico.
6	(ZANDER et al., 2011)	Apresenta a criação de um protótipo de BCI pra o uso no cotidiano.	<b>Desvantagem:</b> difícil identificação de artefatos. <b>Vantagem:</b> pode ser utilizado no cotidiano e não necessita de conhecimento especializado para aquisição e coleta de dados.
7	(ATYABI et al., 2012)	Propõe a redução no número de eletrodos utilizados em relação ao sistema 10/20 e possa ser recompensada por meio do uso de técnicas de inteligência computacional.	<b>Desvantagem:</b> alto custo computacional. <b>Vantagem:</b> menor custo de hardware e topologia eficaz.
8	(AL-KADI et al., 2014)	Propõe a redução da Dimensionalidade dos Canais de EEG durante Cirurgias de Correção de Escoliose.	<b>Desvantagem:</b> Redução do monitoramento de áreas cerebral. <b>Vantagem:</b> reduzir a dimensionalidade dos recursos do EEG e preparar o melhor fluxo de EEG para a classificação e monitoramento.
9	(BIRJANDTALAB et al., 2017)	Propõe uma detecção automática de crises usando EEG de canal limitado e redução de dimensão não linear.	<b>Desvantagem:</b> ineficientes, quando recursos são extraídos de um ambiente barulhento, como o EEG do couro cabeludo. <b>Vantagem:</b> torna prático o monitoramento de EEG vestível.
10	(BAHADOR et al., 2020)	Usar o mapeamento baseado em correlação para melhorar o desempenho da detecção de artefatos.	<b>Desvantagem:</b> Tamanho relativamente pequeno do conjunto de dados. A falta de interpretabilidade do resultado (caixa preta). <b>Vantagem:</b> Viável para imagem de correlação de canais de EEG e aprendizado profundo (redução de dimensionalidade, fusão de canais e captura de vários padrões de artefatos em domínios espaço-temporais) e para tomada de decisão em tempo real.
11	(JÚNIOR et al., 2022)	Propõe a redução do número de canais de EEG para classificação de imagens motoras de membros inferiores durante a aplicação de estimulação elétrica.	<b>Desvantagem:</b> Custo computacional de processamento dos dados. <b>Vantagem:</b> precisão da classificação não foi afetada pela redução do número de canais; possibilidade de desenvolvimento de sistemas mais leves para neuro-próteses e tecnologia assistiva.

Fonte: os autores.

## DISCUSSÃO

O levantamento do estudo sobre sistemas de eletroencefalografia proporcionou conhecimentos de técnicas utilizadas para mitigar artefatos e a variação do número de eletrodos utilizados em exames de EEG. Vários artigos evidenciaram o esforço em melhorar a eficiência e eficácia em capturar a atividade elétrica do cérebro, como Rubin et al., (2014) e Stevenson, Lauronen e Vanhatalo (2018) que reduzem a quantidade de eletrodos com o intuito de melhorar a qualidade das análises, no entanto, a captura do sinal perde em propriedade e a detecção de convulsão em ambos os trabalhos é reduzida, o que se pode inferir que reduzir as derivações do EEG pode não ser o meio ideal para otimizar a eficiência do mesmo nesta finalidade específica.

Nesse sentido, resultados obtidos com análise ciclostacionária sugerem que a eficiência de sistemas de EEG não depende exclusivamente da quantidade de eletrodos, mas da capacidade do método de extração em capturar correlações estruturais do sinal. A correlação espectral tem se mostrado eficaz ao explorar periodicidades ocultas e relações fundamentais entre canais, contribuindo para melhorias no desempenho classificatório mesmo com topologias reduzidas (PANAHI; AMIRANI; VALIZADEH, 2023).

No trabalho de Lau, Gwin e Ferris (2012), foi proposto diminuir o custo com utilização de dispositivo móvel mas perde com interferência pela ausência dos fios, enquanto Debener et al., (2015) apresenta uma proposta mais 'confortável' para aquisição do sinal demonstrando viabilidade, entretanto perde pela impedância apresentada.

Os autores Atyabi et al., (2012) utilizam técnicas de inteligência computacional tentando compensar a redução de eletrodos, assim como Al-Kadi et al., (2014) e Birjandtalab et al., (2017) propõem soluções para minimizar a redução da qualidade pelo número pequeno de eletrodos. Passa-se a ideia de quanto menos eletrodos, menor a qualidade do sinal e maior o esforço para se obter consecução no processo de captura do sinal. Segundo Porr et al., (2022), resultados semelhantes são observados em pesquisas que utilizam sinais fisiológicos distintos do EEG, nas quais a aplicação de técnicas de processamento eficientes demonstrou ser capaz de mitigar perdas associadas à redução de eletrodos, reforçando o papel central dos algoritmos na manutenção da qualidade do monitoramento.

Nos últimos anos, a aprendizagem profunda foi utilizada pelos autores Bahador et al., (2020) e demonstrou viabilidade no mapeamento de sinais, independentemente do número de canais, baseado na correlação destes canais de EEG, para melhorar o desempenho da detecção de artefatos utilizando uma rede neural convolucional. Por outro lado, Júnior et al., (2022) pesquisou sobre o impacto da redução do número de canais do EEG na classificação de imagens motoras dos membros inferiores durante a estimulação elétrica. O algoritmo de melhor desempenho foi o SVM na classificação das imagens motoras dos membros inferiores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que reduzir o número de eletrodos utilizados em exames de EEG pode ser uma estratégia para simplificar e melhorar a eficiência dos sistemas de monitoramento cerebral. No entanto, é importante ponderar os possíveis comprometimentos na qualidade e na capacidade de detecção de eventos específicos, como convulsões. Além disso, a escolha do dispositivo móvel pode trazer vantagens em termos de custo, mas pode enfrentar desafios relacionados a interferências e impedância. A aplicação de técnicas de inteligência computacional e aprendizagem profunda tem mostrado potencial para compensar a redução do número de eletrodos e melhorar o desempenho na detecção de artefatos e classificação de padrões. No entanto, é necessário considerar o equilíbrio entre a redução dos canais e a qualidade do sinal obtido. Essas considerações ressaltam a importância de um estudo cuidadoso das técnicas e abordagens utilizadas na redução de canais de EEG, levando em conta as necessidades e objetivos específicos de cada aplicação.

Portanto, a escolha entre um sistema com mais eletrodos, como o sistema 10/20 tradicional, e um sistema com menos eletrodos depende das necessidades e objetivos específicos do estudo ou aplicação em questão. O sistema 10/20 tradicional oferece uma maior cobertura cerebral, melhor localização e resolução espacial, mas pode exigir mais tempo de preparação, ter maior probabilidade de artefatos e ser menos confortável para os participantes. Por outro lado, sistemas com menos eletrodos podem ser mais rápidos de aplicar, mais confortáveis e apresentar menor probabilidade de artefatos, mas podem ter uma cobertura cerebral limitada e resolução espacial inferior. Portanto, a escolha deve levar em consideração o equilíbrio entre a quantidade de informações desejadas, a praticidade e o conforto dos participantes.

## DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Nós, autores deste artigo, declaramos que não possuímos conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, político, acadêmico e pessoal.

## REFERÊNCIAS

- ABDOU, Abdelrahman; KRISHNAN, Sridhar. **Enhancement of single-lead dry-electrode ECG through wavelet denoising.** *Frontiers in Signal Processing*, v. 4, 27 mar. 2024.
- AL-KADI, M. I. et al. **Reduction of the dimensionality of the EEG channels during scoliosis correction surgeries using a wavelet decomposition technique.** *Sensors*, v. 14, n. 7, p. 13046–13069, 2014.
- AL-SAEGH, A.; DAWWD, S. A.; ABDUL-JABBAR, J. M. **Deep learning for motor imagery EEG-based classification: a review.** *Biomedical Signal Processing and Control*, v. 63, p. 102172, jan. 2021.
- ATYABI, A. et al. **Evolutionary feature selection and electrode reduction for EEG**

- classification.** In: *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2012)*. 2012. p. 10–15.
- BAHADOR, N. et al. **A correlation-driven mapping for deep learning application in detecting artifacts within the EEG.** *Journal of Neural Engineering*, v. 17, n. 5, p. 056018, 12 out. 2020.
- BIRJANDTALAB, J. et al. **Automated seizure detection using limited-channel EEG and non-linear dimension reduction.** *Computers in Biology and Medicine*, v. 82, p. 49–58, 2017.
- DEBENER, S. et al. **Unobtrusive ambulatory EEG using a smartphone and flexible printed electrodes around the ear.** *Scientific Reports*, v. 5, p. 1–11, 2015.
- DHIMAN, R.; SAINI, J. S.; PRIYANKA, A. P. **Artifact removal from EEG recordings: an overview.** In: *Proc. NCCI*. 2010. p. 1–6.
- JÚNIOR, P. B. et al. **Influence of EEG channel reduction on lower limb motor imagery during electrical stimulation in healthy and paraplegic subjects.** *Research on Biomedical Engineering*, v. 38, n. 2, p. 689–699, 1 jun. 2022.
- LAU, T. M.; GWIN, J. T.; FERRIS, D. P. **How many electrodes are really needed for EEG-based mobile brain imaging?** *Journal of Behavioral and Brain Science*, v. 2, n. 3, p. 387–393, 2012.
- MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. **Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem.** *Texto & Contexto Enfermagem*, v. 17, n. 4, p. 758–764, 2008.
- MURUGAN, V.; PANIGRAHY, D. **Optimized extended Kalman smoother framework for interference reduction in electrocardiogram signal.** *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, v. 49, p. 1751–1769, 28 jun. 2025.
- PANAHI, N.; AMIRANI, M. C.; VALIZADEH, M. **An EEG-based brain-computer interface using spectral correlation function.** *IEEE Access*, v. 11, p. 33236–33247, 27 mar. 2023.
- PORR, B.; DARYANAVARD, S.; BOHOLLO, L. M.; COWAN, H.; DAHIYA, R. **Real-time noise cancellation with deep learning.** *PLOS ONE*, v. 17, n. 11, p. 1–17, 11 nov. 2022.
- RUBIN, M. N. et al. **Efficacy of a reduced electroencephalography electrode array for detection of seizures.** *The Neurohospitalist*, v. 4, n. 1, p. 6–8, 19 jan. 2014.
- SEECK, M. et al. **The standardized EEG electrode array of the IFCN.** *Clinical Neurophysiology*, v. 128, n. 10, p. 2070–2077, 2017.
- SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. **Integrative review: what is it? How to do it?** *Einstein (São Paulo)*, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010.
- STEVENSON, N. J.; LAURONEN, L.; VANHATALO, S. **The effect of reducing EEG electrode number on the visual interpretation of the human expert for neonatal seizure detection.** *Clinical Neurophysiology*, v. 129, n. 1, p. 265–270, 2018.
- URIGÜEN, J. A.; GARCIA-ZAPIRAIN, B. **EEG artifact removal: state-of-the-art and guidelines.** *Journal of Neural Engineering*, v. 12, n. 3, p. 031001, 2015.
- ZANDER, T. O. et al. **A dry EEG-system for scientific research and brain-computer interfaces.** *Frontiers in Neuroscience*, v. 5, p. 1–10, 2011.

### O EEG COMBINADO A OUTRAS TECNOLOGIAS: MÉTODOS DE REABILITAÇÃO NEUROMOTORA

**Jacks Renan Neves Fernandes<sup>1</sup>;**

Instituto Federal de Educação do Piauí (IFPI), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7868-0673>

**Francisco Elezior Xavier Magalhães<sup>2</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8542-4245?lang=en>

**Valécia Natália Carvalho da Silva<sup>3</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5739-0722>

**Thayaná Ribeiro Silva Fernandes<sup>4</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6590-4620>

**Antônio Thomaz de Oliveira<sup>5</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0277-6833>

**Valéria de Fátima Veras de Castro<sup>6</sup>.**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8281-3029>

**RESUMO:** O acidente vascular cerebral (AVC) quando não mata pode provocar incapacidade neuromotora. Essa doença neurológica afeta toda a família pela dependência gerada. A reabilitação auxiliada pela eletroencefalografia (EEG) é utilizada na maioria dos casos pela portabilidade e por ser um método não invasivo. A alta demanda por reabilitação e a utilização de várias tecnologias combinadas carece de evidências quanto aos resultados dos tratamentos. O objetivo deste trabalho é revisar a eficácia da reabilitação neuromotora assistida por EEG combinada com outras tecnologias, visando estabelecer padrões de avaliação para melhorar os resultados dos tratamentos. Foi realizada uma revisão em trabalhos entre 2012 e 2022 com foco na reabilitação neuromotora utilizando EEG e tecnologias combinadas. Foram selecionados 19 trabalhos com a utilização do EEG com

tecnologias com *Brain-Computer Interfaces* (BCI), *Robot-Assisted Gait Training* (RAGT), *Virtual Reality* (VR), abordagens com imagética motora e terapia de *neurofeedback*, *feedback* robótico, fNIRS e fMRI, EMG, ECG, RAGT e tDCS. Os resultados indicam que a combinação da EEG com diversas tecnologias, como EMG, BCI, realidade virtual e outras, possui potencial promissor na reabilitação neuromotora de pacientes pós-AVC e com outras disfunções motoras. No entanto, eles também ressaltam a necessidade de padronização nos protocolos de coleta e processamento de biosinais, além de mais pesquisas para validar a eficácia dessas abordagens na prática clínica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletroencefalografia. Reabilitação neuromotora. Tecnologias combinadas.

## EEG COMBINED WITH OTHER TECHNOLOGIES AND NEUROMOTOR REHABILITATION METHODS

**ABSTRACT:** Stroke, when not fatal, can lead to neuromotor disability, significantly impacting the entire family due to the dependency it creates. Neuromotor rehabilitation assisted by electroencephalography (EEG) is widely used because of its portability and non-invasive nature. However, the high demand for rehabilitation and various combined technologies require evidence regarding treatment outcomes. This study aims to review the efficacy of neuromotor rehabilitation assisted by EEG and other technologies to establish evaluation standards to improve treatment outcomes. A review of studies published between 2012 and 2022 focused on neuromotor rehabilitation using EEG and combined technologies. Nineteen studies were selected, utilizing EEG in combination with technologies such as Brain-Computer Interfaces (BCI), Robot-Assisted Gait Training (RAGT), Virtual Reality (VR), motor imagery approaches, neurofeedback therapy, robotic feedback, fNIRS, fMRI, EMG, ECG, RAGT, and tDCS. The results indicate that combining EEG with various technologies, including EMG, BCI, virtual reality, and others, shows promising potential in neuromotor rehabilitation for post-stroke patients and those with other motor dysfunctions. However, they also highlight the urgent need for standardization in biosignal collection and processing protocols and further research to validate the efficacy of these approaches in clinical practice.

**KEYWORDS:** Electroencephalography. Neuromotor Rehabilitation. Combined Technologies.

## INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) aponta o acidente vascular cerebral (AVC) como a segunda doença em causa de morte no mundo e a primeira em incapacidade motora. É uma doença neurológica e afeta a mobilidade da pessoa, 50% dos pacientes precisam da família para atividades da vida cotidiana (BERGER et al., 2019). São aproximadamente 13,7 milhões de casos novos por ano de acidente vascular cerebral e com custos relevantes.

Estima-se que 20% das pessoas acometidas pela doença permanecem em cadeiras de rodas e 79% delas tem a capacidade de andar reduzidas (LENNON et al., 2020). Logo, o AVC quando não causa muitas mortes no mundo segundo a OMS, provoca incapacidades (VATINNO et al., 2022).

Nesse contexto, a demanda por reabilitação está crescendo, como também a necessidade de entendimento quanto as melhores práticas no tratamento do AVC a fim de melhor atender aos pacientes com eficiência e eficácia nos resultados. São realizados estudos visando a recuperação motora e novas abordagens são propostas para reabilitação das incapacidades neuromotoras.

Destaque-se nesse processo de recuperação dos pacientes com doenças neuromotoras a EEG, que é um dos procedimentos não invasivos mais utilizados para o acompanhamento da atividade cerebral e baseia-se em alterações de voltagem captadas por vários eletrodos sobre o escalpo (GOMES, 2015). Para execução do exame é necessário um profissional, um amplificador de sinais EEG, eletrodos e computador para armazenamento dos dados (RAMOS, 2017).

A EEG permite avaliar a neuroplasticidade de pacientes auxiliando na reabilitação de funções motoras por meio do movement-related cortical potential (MRCP) onde se verifica as possíveis alterações motoras devido resultado do treinamento (BUTT et al., 2020). Nesse sentido, o EEG registra sinais elétricos no córtex cerebral de forma não invasiva e pode ser utilizada na prática clínica, no auxílio à exames diagnósticos, complementar ao prognóstico em reabilitação convencional e das funções sensorio-motoras combinado ao sistema de Brain-Computer Interfaces (BCIs), Virtual Reality (VR), Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS), Robot-Assisted Gait Training (RAGT), dentre outras tecnologias. Nesse sentido, segundo Babu et.al. (2025), estudos experimentais têm demonstrado a viabilidade do uso de interfaces cérebro-computador baseadas em EEG para o controle direto de dispositivos robóticos com múltiplos graus de liberdade, utilizando arquiteturas de baixo custo integradas a microcontroladores, reforçando o potencial dessas tecnologias em aplicações assistivas e de reabilitação.

O sistema EEG é portátil e de baixo custo, utilizado para avaliar e/ou direcionar o processo de reabilitação de pacientes com incapacidades neuromotoras. Logo, objetivou-se buscar evidências quanto à eficácia do EEG em métodos de reabilitação neuromotora combinado com outras tecnologias, uma vez que, é importante devido a demanda de reabilitação em pacientes pós-AVC, lesão de medula espinal (SCI) e outras deficiências neurológicas. Identificar o uso do EEG na reabilitação neuromotora e descrever os tipos de reabilitação que utiliza o EEG combinado com outras tecnologias.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O EEG é importante na reabilitação de pacientes com deficiências neuromotoras

pela sua portabilidade, custo e fácil utilização. Clinicamente é viável para acompanhamento no processo de reabilitação e no auxílio de eventuais especificidades de terapias o que permite a individualização da recuperação dos pacientes (SIMIS et al., 2020). Várias são as tecnologias combinadas ao EEG na neuroreabilitação com potenciais benefícios no tratamento de várias disfunções motoras e neurológicas. Relacionou-se as pesquisas incluídas neste trabalho com as tecnologias utilizadas, doenças tratadas e resultados apresentados, conforme (Tabela 1).

Tabela 1: Resumo dos artigos incluídos.

#	Autores	Tecnologias combinadas com EEG	Doenças tratadas	Resultados
1	(LAZAROU et al., 2018)	BCI com base em EEG com três modalidades diferentes de entrada: <i>Slow cortical potentials</i> (SCPs), <i>Sensorimotor rhythms</i> (SMR), <i>Steady state visual evoked potentials</i> (SSVEPs) e P300 que é um tipo de <i>Event-related potential</i> (ERP).	Lesão medular e AVC.	Potencial benefício em pacientes com necessidade de reabilitação motora nas doenças elencadas.
2	(MELINCAK et al., 2016)	BCI e terapia de Neurofeedback (NFB) com imagem motora.	Basicamente AVC e TDAH.	Potencial de evidências positivas na neuroreabilitação e recuperação de pacientes com déficits motores.
3	(BRAMBILLA et al., 2021)	Eletromiografia (EMG) e surface (sEMG).	Pacientes pós-AVC na reabilitação de membros superiores e inferiores.	O uso combinado do EEG/EMG parece ter potencial na reabilitação dos distúrbios neuromotores no tratamento.
4	(AL-QURAIHI et al., 2018)	Dispositivos assistivos para reabilitação, como exoesqueleto de membros superior e inferior, avatar, joelho protético, braço robótico, mão protética	AVC e SCI.	Potencial eficácia na terapia de neuroreabilitação combinando EEG e tecnologias assistivas.
5	(VATINNO et al., 2022)	EEG	AVC isquêmico e hemorrágico	O EEG demonstrou potencial prognóstico observado nas fases aguda e crônica pós-AVC e melhora a capacidade prognóstica em comparação ao preditor convencional clínico.
6	(TEO; CHEW, 2014)	BCI com imagética motora (IM).	AVC	O estudo demonstrou evidências de viabilidade e eficácia do MI-BCI na reabilitação.

7	(LENNON <i>et al.</i> , 2020)	EMG e RAGT.	AVC	O estudo demonstrou resultados promissores para utilização das tecnologias na reabilitação pós-AVC, no entanto, carece de uma padronização do protocolo de coleta e processamento de biossinal para RAGT.
8	(ANSADO <i>et al.</i> , 2021)	BCI, <i>Functional near-infrared spectroscopy</i> (fNIRS), <i>Functional magnetic resonance imaging</i> (fMRI) e Realidade Virtual (RV) combinada com neuroimagem.	Acidente vascular cerebral, lesão cerebral traumática ou transtorno de déficit de atenção.	O estudo demonstrou haver ganhos práticos como o uso da RV na neuroreabilitação, no entanto, no cenário clínico recomenda a individualização da aplicação terapêutica da RV adaptada às limitações do paciente combinada com imagens cerebrais (EEG, fMRI, fNIRS).
9	(ZULAUF-CZAJA <i>et al.</i> , 2021)	BCI e <i>Functional electrical stimulation</i> (FES).	SCI e AVC.	O estudo demonstrou potencial para combinação EEG, BCI e FES como terapia de reabilitação de mão em casa por pessoas com SCI ou AVC.
10	(SIMIS <i>et al.</i> , 2020)	<i>Transcranial direct current stimulation</i> (tDCS) e RAGT.	SCI.	O estudo demonstrou achados significativos na reabilitação de pacientes com lesão medular.
11	(MONGE-PEREIRA <i>et al.</i> , 2017)	BCI	AVC e reabilitação de membros superiores.	O estudo demonstrou que a abordagem EEG/BCI na reabilitação de membros superiores em pacientes pós-AVC parece ser promissora.
12	(ANG <i>et al.</i> , 2015)	BCI, imagens motoras e feedback robótico.	AVC	Foi demonstrado que a terapia com EEG/BCI e imagens motoras apresentou resultados positivos na reabilitação das funções motoras.
13	(PALUMBO <i>et al.</i> , 2021)	EMG, Eletrocardiograma (ECG) e BCI.	Distúrbios do movimento, musculoesqueléticos, doenças neuromotoras.	Apresenta a contribuição dos sistemas de monitoramento fisiológicos na reabilitação com EEG, ECG e em especial o EMG como um dos principais apoios aos profissionais no protocolos de reabilitação e controle de atividade muscular.

14	(CAMARGO-VARGAS; CALLEJAS-CUERVO; MAZZOLENI, 2021)	BCI, RV e imagens motoras.	AVC, disfunções motoras e neurológicas.	Foi demonstrado que a integração de BCIs e neurofeedback na reabilitação potencializa os resultados impactando na qualidade de vida das pessoas com limitações motoras.
15	(BANIQUED <i>et al.</i> , 2021)	BCI com feedback robótico.	AVC	Demonstrou a necessidade de um protocolo padrão para avaliar com precisão evidências quanto eficiência e eficácia na reabilitação assistida por EEG/BCI.
16	(BERGER <i>et al.</i> , 2019)	RAGT e fNIRS.	Neurológicas.	Foi demonstrado que a combinação EEG/fNIRS e o RAGT parece promissora na neuroreabilitação de doenças neurológicas.
17	(BUTT <i>et al.</i> , 2020)	Dispositivo robótico AMADEO (Tyromotion GmbH, Graz, Austria).	AVC	Foi demonstrado a melhora das habilidades motora da mão dos pacientes.
18	(NOJIMA <i>et al.</i> , 2022)	BCI	AVC	Foi demonstrado que a reabilitação assistida pelo sistema EEG/BCI parece ter melhores resultados quando combinada às intervenções convencionais para pacientes com AVC em recuperação motora dos membros superiores.
19	(CARDOSO <i>et al.</i> , 2022)	BCI com IM.	AVC	Foi demonstrado que o sistema EEG/BCI com IM em pacientes pós-AVC produziu atividades corticais relacionadas à tarefa de ciclismo.

Fonte: Os autores.

## A ELETROENCEFALOGRAFIA A ELETROMIOGRAFIA

O AVC é uma das doenças que causa mais morte no mundo ou incapacidades neuromusculares e prejudicam sua qualidade de vida mesmo após a reabilitação. Não obstante, a reabilitação é a melhor forma para recuperar a condição física do paciente (TEO; CHEW, 2014). Nesse cenário, existem evidências que a EEG pode auxiliar no prognóstico na reabilitação de pacientes pós-AVC conjuntamente às avaliações clínicas

padrão, principalmente no primeiro mês pós-AVC. No entanto, a função neural é seu preditor mais significativo de desfecho, o que torna o EEG adequado ao medir a atividade elétrica cerebral direta e funcional com uma resolução temporal que captura alterações em milissegundos da atividade cortical, além de não ter contraindicação e ser mais barato que exames similares (VATINNO et al., 2022).

Vários são os tratamentos utilizados combinados com EEG como a reabilitação motora manual padronizada, treinamento de discriminação auditiva, endovascular mecânica, treinamento de rastreamento visuomotor, de realidade virtual, terapia de base semântica/fonológica, de interface cérebro-computador e assistida por robô (VATINNO et al., 2022).

Neste contexto, tecnologias são integradas ao monitoramento eletrofisiológico, como as técnicas quantitativas de EEG e de EMG são utilizadas para coletar sinais biológicos nos níveis cortical e muscular, respectivamente. São exploradas de forma independente, no entanto, mais recentemente, a combinação de ambas as técnicas começou a ser observada como uma possibilidade de abordagem com o objetivo de melhorar a eficácia na reabilitação (BRAMBILLA et al., 2021).

A EEG e a EMG são técnicas que permitem avaliações clínicas do desempenho neuromotor dos pacientes. A EEG registra potencial elétrico de nível cortical e é adequada para um contexto tanto clínico quanto de pesquisa experimental, enquanto a EMG ou surface (sEMG) registra o potencial elétrico da ação muscular. Ambas as técnicas tem características não-invasivas e permitem monitorar integridade/deficiência neuromotora na reabilitação de pacientes (BRAMBILLA et al., 2021).

As direções futuras podem ser orientadas para abordagens multidomínio capazes de explorar todo o potencial da combinação de EEG e EMG, por exemplo, visando uma gama mais ampla de patologias e implementando ensaios clínicos mais estruturados para confirmar os resultados dos estudos pilotos atuais (BRAMBILLA et al., 2021).

## **A EEG E O SISTEMA DE INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA**

O sistema Brain-Computer Interface (BCI) registra a atividade cerebral e extrai sinais que são utilizados para comunicação e reabilitação de pessoas, utilizando pipelines clássicos de aquisição, pré-processamento e extração de características do EEG para tradução dos sinais neurais em comandos de controle (SCHMOIGL-TONIS; SCHRANZ; MÜLLER-PUTZ, 2023). Os sistemas BCI baseados em EEG tem grande potencial para uso clínico generalizado por apresentar uma abordagem não invasiva para pessoas com paralisia grave ou parcial com o objetivo de comunicação e controle com o meio ambiente e a reabilitação motora perdida por algum distúrbio neurológico. Há um aumento da demanda por reabilitação das funções sensório-motoras utilizando sistemas BCIs baseados em EEG não invasivos para abordagens individualizadas, destinadas a ajudar pacientes com deficiências neurológicas graves (LAZAROU et al., 2018).

O sistema BCI/EEG para comunicação, controle e reabilitação tem como usuários potenciais pessoas com esclerose lateral amiotrófica, atrofia muscular espinhal, distrofia muscular de Duchenne, lesão da medula espinhal, paralisia cerebral, esclerose múltipla, malformação de Arnold Chiari, derrame e Parkinson. O sistema BCI/EEG tem, ainda, por base três sinais diferentes de entrada, Event-Related Potentials (ERPs), Slow Cortical Potential (SCPs) e Sensorimotor Rhythm (SMR) alpha (8-12Hz), mu (8-12Hz) e beta (18-26Hz) (LAZAROU et al., 2018).

A comunicação e o controle são realizados por meio de dispositivos computacionais hardware/software como sistemas orientados a testes, web browsers, feedback visual, Graz-BCI, sistemas de movimento do cursor, aplicativos de jogos, ambientes virtuais, controle de dispositivos externos, sistemas ortográficos, aplicativos de pintura. O treinamento e reabilitação são possíveis por meio de IM, reorganização de circuito, apoio à recuperação funcional e substituição funcional. O sistema EEG/BCI tem por fim recuperar o movimento do paciente, promover independência, uma melhor comunicação e integração social (LAZAROU et al., 2018).

## **EEG/BCI E A ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA FUNCIONAL**

O sistema EEG/BCI aliado aos métodos de feedback por Neuromuscular Electrical Stimulation Systems (NMES) e estímulo perceptivo, quando utilizado na reabilitação em treinamento de pacientes pós-AVC na recuperação motora de membros superiores tem maior potencial de melhora quando combinado às intervenções convencionais (NOJIMA et al., 2022).

Como exemplo, foi realizado um estudo de usabilidade em pessoas com lesão medular e acidente vascular cerebral com a combinação de EEG, BCI e Functional Electrical Stimulation (FES) para recuperar a função da mão dos pacientes e, como resultado, os autores encontraram potencial para ser usado para reabilitação destas enfermidades (ZULAUF-CZAJA et al., 2021).

## **EEG/BCI, IMAGÉTICA MOTORA E TERAPIA DE NEUROFEEDBACK**

O sistema BCI que emprega a IM e EEG para retornar o feedback neurofisiológico de uma tarefa motora é bem utilizada pelos seus custos, portabilidade e característica não invasiva (TEO; CHEW, 2014).

Os sistemas EEG/BCI desenvolvidos para a reabilitação motora em pacientes pós-AVC utilizam de IM para simular uma ação motora. Estes sistemas trabalham a neuroplasticidade e são considerados procedimentos alternativos no auxílio à reabilitação neuromotora. Como exemplo, uma pesquisa combinou exercícios de pedaladas e IM com o objetivo de reaprendizagem dos movimentos dos membros inferiores a fim de melhorar a neuroplasticidade. Este estudo em 8 indivíduos saudáveis e 2 pacientes de pós-AVC

demonstrou potencial para reabilitação dos membros inferiores dos pacientes (CARDOSO et al., 2022).

Aplicações de neuroreabilitação usando BCI/EEG exploram propriedades neuroplásticas do cérebro na reabilitação motora e parece fornecer evidências positivas na recuperação destes pacientes. No entanto, mesmo com as evidências em adultos, não há muita pesquisa para reabilitação motora e BCI com base em sinais de EEG em crianças (MELINSCAK et al., 2016).

A criança, por ainda estar em desenvolvimento, parece ter potencial em se utilizar da neuroplasticidade e as imagens motoras em aplicações de reabilitação usando BCI/EEG. A intervenção com neuroreabilitação em pouca idade por meio de BCI/EEG é a possibilidade de acesso a todos níveis de carência física. Criar aplicações para reabilitação EEG/BCI para crianças passa por compreender as características implícitas do EEG e suas bandas-chaves de frequência, topografia e distribuição de energia conforme idade (MELINSCAK et al., 2016).

## **EEG/BCI, IMAGÉTICA MOTORA E FEEDBACK ROBÓTICO**

Os sinais de EEG são utilizados para o controle de dispositivos assistivos de reabilitação, como exoesqueletos e próteses de membros inferiores e superiores. A reabilitação visa melhorar a qualidade de vida do paciente, restaurando habilidades físicas, neurológicas ou psicológicas. A reabilitação física de forma convencional de um paciente é muito trabalhosa, deste modo, existe uma demanda por tecnologias assistivas que auxiliem o paciente a otimizar sua recuperação (AL-QURAIISHI et al., 2018).

O EEG tem papel fundamental nessa vertente de reabilitação com tecnologias assistivas. Vários sinais de EEG são utilizados para controlar dispositivos assistivos como sensorimotor rhythms (SMR), movement-related cortical potentials (MRCP), event-related desynchronization (ERD), event-related synchronization (ERS). Os dispositivos assistivos mais comuns são exoesqueleto de membros superior e inferior, avatar, joelho protético, braço robótico, mão protética. O controle destes dispositivos é baseado em EEG e às vezes junto ao EMG, eletro-oculografia ou goniômetro. Quanto às principais tarefas de movimento realizadas, 57% é por IM utilizando 68% dos sinais ERD/ERS do EEG e 35% é por execução de movimento utilizando 18% dos sinais de MRCP do EEG nos trabalhos selecionados no estudo (AL-QURAIISHI et al., 2018).

A IM e uma intervenção BCI com EEG parece ser uma atividade potencial no auxílio à reabilitação assistida por robô e feedback robótico. Os pesquisadores avaliaram o sistema EEG/BCI com imagens motoras e dividiram o estudo em dois grupos BCI-Manus e Manus. BCI-Manus com intervenção baseado em EEG/BCI e imagens motoras com feedback robótico e Manus que usou o robô comercial MIT-Manus denominado pelos pesquisadores como BCI-Manus system (Interactive Motion Technologies USA, Watertown,

MA) e constituiu-se de exercícios com feedback visual do robô Manus. Como resultado a terapia apresentou resultados positivos com mais de 60% dos pacientes alcançando melhorias nas funções motoras (ANG et al., 2015).

Um estudo de revisão sistemática avaliou sistemas BCI assistidos por robô na reabilitação motora associada ao movimento das mãos de pacientes pós-AVC. Os autores encontraram melhorias estatisticamente relevantes em relação ao controle na maioria dos estudos selecionados, no entanto, demonstraram a necessidade de desenvolvimento de um protocolo padrão para avaliar a eficiência e eficácia dessas tecnologias (BANIQUED et al., 2021). Em outro estudo experimental os autores utilizaram um dispositivo robótico denominado AMADEO em um programa de reabilitação assistida em pacientes pós-AVC utilizando EEG. Como resultados os pacientes apresentaram relevante recuperação motora funcional da mão após 8 semanas de treinamento (BUTT et al., 2020).

## **EEG/BCI, REALIDADE VIRTUAL, IMAGÉTICA MOTORA, fNIRS e fMRI**

Os sistemas BCI/EEG tem evoluído nas últimas décadas principalmente no suporte ao processo de reabilitação de membros superiores e inferiores do corpo humano. Estes sistemas em conjunto com equipamentos não invasivos, com baixo custo, de boa resolução, usabilidade e portabilidade, demonstram potencial na reabilitação neuromotora, principalmente quando empregam realidade virtual e são apoiados em feedback com estimulação visual, auditiva, háptica (CAMARGO-VARGAS; CALLEJAS-CUERVO; MAZZOLENI, 2021).

A realidade virtual (RV) na reabilitação é uma ferramenta com resultados já demonstrados na literatura científica. Não obstante, os programas de RV são mais utilizados para melhorar tarefas de funções cognitivas, no entanto, com a combinação de RV e a neuroimagem pode-se avaliar a evolução de treinamento com RV na neuroreabilitação motora. Várias técnicas de neuroimagens são utilizadas com EEG e RV como o treinamento de neurofeedback, treinamento motor, treinamento de movimentos, interação visual, auditiva e hápticas. O EEG auxilia no treinamento de RV com o monitoramento simultâneo do paciente que fornece dados ao BCI, ajudando a melhorar na reabilitação cognitiva e motora de pacientes (ANSADO et al., 2021).

Combinar EEG, BCI, RV com neuroimagem permite conhecer as áreas corticais que respondem à estimulação na neuroreabilitação. As técnicas de neuroimagem comumente utilizadas são funcional magnetic resonance imaging (fMRI), functional near infrared spectroscopy (fNIRS) e EEG. Estas técnicas podem avaliar o impacto do treinamento com RV e a combinação delas pode determinar biomarcadores que auxiliam o prognóstico da reabilitação, principalmente em pacientes no pós-AVC, lesão cerebral traumática (TCE), transtorno do déficit de atenção (TDAH) (ANSADO et al., 2021).

A união do EEG-fNIRS parece ter o potencial de caracterizar as informações

espaço-temporais associadas a distúrbios da marcha em pacientes na reabilitação com RAGT (treinamento de marcha assistida por robô), melhorando o resultado e a eficácia do tratamento de doenças neurológicas (BERGER et al., 2019).

### **EEG/BCI, EMG e ECG**

Vários são os avanços na EEG, EMG e ECG principalmente pelos benefícios na reabilitação de distúrbios do movimento. São também utilizados como sensores vestíveis e dispositivos portáteis pois impulsionam o monitoramento na reabilitação clínica e médica, como: monitorar a reabilitação no ambiente de fisioterapia, monitorar uma intervenção pós-cirúrgica, monitorar a mobilidade de um paciente, detectar riscos, monitorar a tarefa de reabilitação em pacientes com doenças crônicas. São dispositivos que fornecem bio-sinais que são gerados pelo cérebro, músculos e coração, caracterizados como sinais elétricos de baixas amplitude e frequência (PALUMBO *et al.*, 2021).

### **EEG/BCI, RAGT e EMG**

O AVC é uma doença com alta taxa de incapacidade relacionada e na reabilitação, o treinamento de marcha assistida por robô (RAGT) baseado em EEG e/ou EMG é uma técnica para a reeducação da marcha pós AVC. Fornecer os exercícios ao paciente e sua intensidade está associado aos resultados funcionais da marcha, assim, a dosagem proporcional à evolução é o ponto crítico na reabilitação convencional. No entanto, o RAGT permite aos pacientes a prática da marcha com assistência eletromecânica, o que parece superar as dificuldades da reabilitação usual, uma vez que, a interface neural auxiliada por EEG e/ou EMG fornece feedback adequado ao redirecionamento necessário da tarefa ou treinamento (LENNON et al., 2020).

A reabilitação para pacientes dependentes fisicamente é um desafio quanto ao volume de treinamento. Nesse contexto, o RAGT demonstrou bons resultados por individualizar as dosagens dos exercícios (LENNON et al., 2020).

### **EEG/BCI, RAGT e tDCS**

Foi realizado um estudo randomizado de análise neurofisiológica com 39 pacientes com SCI onde receberam 30 sessões de tDCS ou simulação na área motora primária em conjunto com RAGT. O EEG foi utilizado para analisar o espectro de potência e a modulação relacionada à tarefa associado à função da marcha determinado pelo índice Walk Index for Spinal Cord Injury (WISCI-II). Como resultado, nas oscilações da frequência beta do EEG no córtex sensório-motor desses indivíduos parece ser um tipo de organização compensatória que aumenta a plasticidade local, logo, intervenções com tDCS combinado com RAGT também permitem um aumento da ativação na área sensório-motora que leva à melhora

da marcha e por conseguinte a diminuição da potência beta alta, o que permite inferir que as oscilações da banda beta possivelmente são biomarcadores da função da marcha e reabilitação de pessoas com SCI (SIMIS et al., 2020).

## **METODOLOGIA**

Foi realizada uma pesquisa com abordagem qualitativa, exploratória. A pesquisa recuperou artigos, no período entre 2012 e 2022, nas bases de dados *online* PubMed, ISI Web of Science e Scopus. Utilizou-se *strings* de busca na PubMed ((*Rehabilitation*) OR (*Movements*)) AND ((*Electroencephalography*) OR (*Electroencephalogram*) OR (EEG)) AND (*motor*), na ISI Web of Science utilizou-se *Rehabilitation* AND (EEG OR *Electroencephalogra\**), e na Scopus *Movement* AND *Rehabilitation* AND (EEG OR *Electroencephalogra\**), recuperando um total de 125 artigos, 78 na base PubMed, 26 da ISI *Web of Science* e 21 da Scopus. Foram removidos 13 artigos duplicados, 61 foram rejeitados a partir da leitura de título e resumo e 32 rejeitados após leitura na íntegra, perfazendo um total de 19 artigos incluídos no trabalho.

Os critérios de seleção quanto à inclusão foram estudos que propuseram ou relataram processos de reabilitação neuromotora com utilização de EEG. Os critérios de exclusão foram artigos incompletos, com acesso fechado, não escrito em inglês, não revisado por pares e publicados antes de 2012.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A eletroencefalografia foi combinada a várias tecnologias, como EMG, ECG, BCI, RV, RAGT, FES, tDCS, fNIRS, fMRI, imagética motora e feedback robótico, a fim de melhorar métodos de reabilitação neuromotora. Pela observação dos aspectos analisados, todas com potencial ainda a ser explorado no processo de reabilitação neuromotora de AVC, SCI e outras disfunções motoras ou neurológicas. As evidências quanto aos benefícios do da EEG combinada à outras tecnologias nos tratamentos de reabilitação em pacientes pós-AVC, SCI e outras doenças neuromotoras demonstram potencial. Os resultados são promissores, no entanto, parece ser necessário estabelecer padrões para avaliar de forma mais eficaz essas abordagens e suas tecnologias a fim de buscar melhores indicativos quanto à eficiência e eficácia.

## **DECLARAÇÃO DE INTERESSES**

Nós, autores deste artigo, declaramos que não possuímos conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, político, acadêmico e pessoal.

## REFERÊNCIAS

- AL-QURAISHI, M. S. et al. **EEG-based control for upper and lower limb exoskeletons and prostheses: a systematic review.** *Sensors*, v. 18, n. 10, p. 3342, 7 out. 2018.
- ANG, K. K. et al. **A randomized controlled trial of EEG-based motor imagery brain-computer interface robotic rehabilitation for stroke.** *Clinical EEG and Neuroscience*, v. 46, n. 4, p. 310–320, 1 out. 2015.
- ANSADO, J. et al. **How brain imaging provides predictive biomarkers for therapeutic success in the context of virtual reality cognitive training.** *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, v. 120, p. 583–594, 1 jan. 2021.
- BABU, T. K.; EDLA, D. R.; DARA, S. **A survey on neural prosthetic devices using EEG signal classification.** In: *International Conference on Research Methodologies in Knowledge Management, Artificial Intelligence and Telecommunication Engineering (RMKMATE)*, 2., 2025. Anais [...]. p. 1–8, 25 jun. 2025.
- BANIQUED, P. D. E. et al. **Brain–computer interface robotics for hand rehabilitation after stroke: a systematic review.** *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 18, n. 1, p. 1–25, 1 dez. 2021.
- BERGER, A. et al. **Current state and future prospects of EEG and fNIRS in robot-assisted gait rehabilitation: a brief review.** *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 13, p. 172, 1 fev. 2019.
- BRAMBILLA, C. et al. **Combined use of EMG and EEG techniques for neuromotor assessment in rehabilitative applications: a systematic review.** *Sensors*, v. 21, n. 21, p. 7014, 22 out. 2021.
- BUTT, M. et al. **Assessment of neuroplasticity using EEG signal in rehabilitation of brain stem stroke patients.** In: *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2020. Anais [...], 30 ago. 2020.
- CAMARGO-VARGAS, D.; CALLEJAS-CUERVO, M.; MAZZOLENI, S. **Brain-computer interfaces systems for upper and lower limb rehabilitation: a systematic review.** *Sensors*, v. 21, n. 13, p. 4312, 24 jun. 2021.
- CARDOSO, V. F. et al. **BCI based on pedal end-effector triggered through pedaling imagery to promote excitability over the feet motor area.** *Research on Biomedical Engineering*, p. 1–11, 27 jan. 2022.
- GOMES, M. **Bases fisiológicas do eletroencefalograma.** *Rev. Bras. Neurol.*, v. 51, n. 1, p. 12–7, 2015.
- LAZAROU, I. et al. **EEG-based brain–computer interfaces for communication and rehabilitation of people with motor impairment: a novel approach of the 21st century.** *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 12, p. 14, 31 jan. 2018.
- LENNON, O. et al. **A systematic review establishing the current state-of-the-art, the limitations, and the desired checklist in studies of direct neural interfacing with robotic gait devices in stroke rehabilitation.** *Frontiers in Neuroscience*, v. 14, p. 578, 2020.
- MELINSCAK, F. et al. **Expanding the (kaleido)scope: exploring current literature trends for translating electroencephalography (EEG) based brain–computer interfaces for motor rehabilitation in children.** *Journal of Neural Engineering*, v. 13, n. 6, p. 061002, 20 out. 2016.
- MONGE-PEREIRA, E. et al. **Use of electroencephalography brain-computer interface systems as a rehabilitative approach for upper limb function after a stroke: a systematic**

**review.** *PM&R*, v. 9, n. 9, p. 918–932, 1 set. 2017.

NOJIMA, I. et al. **Brain–computer interface training based on brain activity can induce motor recovery in patients with stroke: a meta-analysis.** *Neurorehabilitation and Neural Repair*, v. 36, n. 2, p. 83–96, 1 fev. 2022.

PALUMBO, A. et al. **Biopotential signal monitoring systems in rehabilitation: a review.** *Sensors*, v. 21, n. 21, p. 7172, 28 out. 2021.

RAMOS, Camila Davi. **Caracterização do eletroencefalograma normal em situação de vigília: elaboração da base de dados e análise quantitativa.** 2017. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SCHMOIGL-TONIS, M.; SCHRANZ, C.; MÜLLER-PUTZ, G. R. **Methods for motion artifact reduction in online brain-computer interface experiments: a systematic review.** *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 17, 2023.

SIMIS, M. et al. **Beta-band oscillations as a biomarker of gait recovery in spinal cord injury patients: a quantitative electroencephalography analysis.** *Clinical Neurophysiology*, v. 131, n. 8, p. 1806–1814, 1 ago. 2020.

TEO, W. P.; CHEW, E. **Is motor-imagery brain-computer interface feasible in stroke rehabilitation?** *PM&R*, v. 6, n. 8, p. 723–728, 1 ago. 2014.

VATINNO, A. A. et al. **The prognostic utility of electroencephalography in stroke recovery: a systematic review and meta-analysis.** *Neurorehabilitation and Neural Repair*, v. 36, n. 4–5, p. 255–268, 20 abr. 2022.

ZULAUF-CZAJA, A. et al. **On the way home: a BCI-FES hand therapy self-managed by sub-acute SCI participants and their caregivers: a usability study.** *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 18, n. 1, p. 1–18, 1 dez. 2021.

### TDCS: MECANISMOS, APLICAÇÕES PARA COMPORTAMENTO MOTOR E COGNITIVO

**Francisco Elezior Xavier Magalhães<sup>1</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8542-4245?lang=en>

**Thayaná Ribeiro Silva Fernandes<sup>2</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6590-4620>

**Jacks Renan Neves Fernandes<sup>3</sup>;**

Instituto Federal de Educação do Piauí (IFPI), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7868-0673>

**Valécia Natália Carvalho da Silva<sup>4</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5739-0722>

**Antônio Thomaz de Oliveira<sup>5</sup>;**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0277-6833>

**Valéria de Fátima Veras de Castro<sup>6</sup>.**

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8281-3029>

**RESUMO:** A Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) é uma técnica não invasiva que modula a atividade cerebral através da aplicação de corrente elétrica de baixa intensidade. A ETCC utiliza eletrodos no couro cabeludo para estimular ou inibir a atividade cortical e a excitabilidade neuronal. A técnica também pode modificar o microambiente sináptico. Apesar de possíveis efeitos adversos como desconforto, a ETCC mostra potencial no tratamento de doenças neuropsiquiátricas e no estudo da função cerebral. Este trabalho explora os fundamentos, mecanismos e aplicações cognitivas e motoras da ETCC. O estudo seguiu a metodologia PRISMA para revisões sistemáticas e meta-análises. Foram realizadas etapas de busca, avaliação de elegibilidade e extração de dados. Os critérios de elegibilidade incluíram estudos originais sobre a ETCC em periódicos indexados, excluindo dissertações,

capítulos de livros e outros documentos. A busca foi feita nas bases de dados PubMed e Scopus, utilizando palavras-chave relevantes. Dois revisores triaram os documentos, com consulta a um terceiro em caso de discordância. Os dados dos estudos incluídos foram extraídos de publicações de 1962 a 2020. Foram selecionados 224 artigos e pela triagem inicial 48 estudos foram elegidos para a inclusão final no trabalho, esses trabalhos englobaram os aspectos da aplicação do ETCC para o comportamento motor e cognitivo. Os achados demonstraram os principais mecanismos que isso ocorre, além de trazer um embasamento inicial para o melhor entendimento sobre sua aplicabilidade. Conclui-se que ETCC é uma técnica de neuromodulação não invasiva que vem se mostrando relevante no tratamento de condições neuropsiquiátricas e no estudo da neurofisiologia. Os resultados sugerem que ela afeta a excitabilidade neuronal, a atividade cortical e a plasticidade neural, modulando processos cognitivos e motores. Apesar de limitações potenciais, é uma boa alternativa para intervenções neuromodulatórias e avanços na compreensão dos circuitos neurais para tratamentos neuroterapêuticos personalizados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. Córtex Motor. Córtex Somatossensorial.

## **TDCS: MECHANISMS, APPLICATIONS FOR MOTOR AND COGNITIVE BEHAVIOR**

**ABSTRACT:** Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) is a non-invasive technique that modulates brain activity by applying low-intensity electrical current. tDCS uses electrodes on the scalp to stimulate or inhibit cortical activity and neuronal excitability. The technique can also modify the synaptic microenvironment. Despite potential adverse effects such as discomfort, tDCS shows promise in treating neuropsychiatric disorders and studying brain function. This paper explores the fundamentals, mechanisms, and cognitive and motor applications of tDCS. The study followed the PRISMA methodology for systematic reviews and meta-analyses, a rigorous approach that includes search stages, eligibility assessment, and data extraction. Eligibility criteria included original studies on tDCS published in indexed journals, excluding dissertations, book chapters, and other documents. The search was conducted using relevant keywords in the PubMed and Scopus databases. Two reviewers screened the documents, with a third consulted in case of disagreement. Data from the included studies were extracted from publications ranging from 1962 to 2020. A total of 224 articles were selected, with 48 studies ultimately included in the final analysis. These studies encompassed aspects of tDCS application for motor and cognitive behaviour. The findings demonstrated the primary mechanisms by which this occurs and provided an initial foundation for better understanding its applicability. It is concluded that tDCS is a non-invasive neuromodulation technique that is becoming increasingly relevant in treating neuropsychiatric conditions and studying neurophysiology. The results suggest that it affects neuronal excitability, cortical activity, and neural plasticity, thereby modulating cognitive and motor processes. Despite

potential limitations, it is a promising alternative for neuromodulatory interventions and advances in understanding neural circuits for personalized neurotherapeutic treatments.

**KEYWORDS:** Transcranial Direct Current Stimulation. Motor Cortex. Somatosensory Cortex.

## INTRODUÇÃO

A compreensão e tratamento do sistema nervoso central (SNC) têm impulsionado uma maior busca por avanços e descobertas de técnicas inovadoras. Nesse contexto, podemos destacar a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC), uma modalidade não invasiva que surgiu na década de 1960 com o objetivo de modular a atividade cerebral por meio da aplicação de corrente elétrica de baixa intensidade. Estudos sobre estimulação cerebral têm contribuído para o desenvolvimento da ETCC como uma técnica segura e indolor (BRUNONI et al., 2011; NITSCHKE et al., 2008; DEDONCKER J et al., 2021; CHIRIAC VF et al., 2025).

Há cerca de quinze anos, essa abordagem inovadora foi reintroduzida em pesquisas, despertando o interesse de neurocientistas e profissionais da saúde (FREGNI et al., 2005; DELDAR Z et al., 2019). Ao posicionar eletrodos no couro cabeludo e regiões externas ao cérebro, a ETCC utiliza uma bateria para estimular a atividade cortical e a excitabilidade neuronal. Os eletrodos posicionados no couro cabeludo permitem que a corrente elétrica flua entre eles, desencadeando hipopolarização ou hiperpolarização da membrana dos neurônios subjacentes. Essas alterações resultam em modificações na excitabilidade neuronal e na atividade cortical.

A estimulação anódica, ou seja, a aplicação da corrente positiva, é capaz de aumentar a atividade cortical e a excitabilidade neuronal, enquanto a estimulação catódica, com corrente negativa, tem um efeito contrário (NITSCHKE & PAULUS, 2000; NITSCHKE & PAULUS, 2011; ROSSON S et al., 2022; SABÉ M et al., 2024). Essas modulações refletem-se nas taxas de disparo neuronal espontâneo e na capacidade de resposta às entradas sinápticas. A técnica também é capaz de modificar o microambiente sináptico, influenciando a força sináptica, a atividade GABAérgica e do glutamato, a síntese de proteínas e as concentrações de cálcio (STAGG & NITSCHKE, 2011; SALE et al., 2015; JAMIL A et al., 2020).

Apesar dos benefícios potenciais da ETCC, é importante considerar que a técnica pode apresentar alguns efeitos adversos, tais como desconforto, formigamento, coceira e sensação de queimação em alguns participantes (POREISZ et al., 2007; KLÍROVÁ M et al., 2021). No entanto, com pesquisas contínuas e refinamentos nos protocolos de aplicação, espera-se que a ETCC possa se tornar uma ferramenta cada vez mais promissora no campo da neuromodulação, contribuindo para avanços significativos no tratamento de doenças neuropsiquiátricas e no estudo da função cerebral.

Diante desse contexto, este trabalho explora de forma generalista as bases da

Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua, destacando seu mecanismo de ação, suas possíveis aplicações para cognição e comportamento motor. A compreensão desses aspectos permitirá uma visão mais abrangente dessa técnica inovadora e seu potencial impacto no campo da reabilitação.

## **METODOLOGIA**

Este estudo é uma revisão exploratória de pequeno porte, conduzida de forma sistemática, seguindo as recomendações do modelo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) para produção de revisões sistemáticas e meta-análises. O estudo foi dividido em várias etapas, que incluíram a busca de artigos relevantes e a avaliação de sua elegibilidade com base no conteúdo, bem como a extração dos dados dos estudos incluídos. As seguintes etapas foram realizadas:

### ***Critérios de elegibilidade***

Este trabalho aborda os mecanismos, aplicações na cognição e comportamento motor relacionados à utilização da ETCC. O objetivo principal é fornecer explicações abrangentes e destacar os principais mecanismos fisiológicos e aplicações para o comportamento cognitivo e comportamento motor inerentes a essa ferramenta.

Para a seleção dos artigos, foram incluídos apenas trabalhos originais, como estudos de casos, estudos piloto, *short reports*, estudos experimentais e ensaios clínicos, publicados em periódicos indexados, que envolvessem amostras da população humana. Foram selecionados e incluídos para análise os estudos que abordassem os mecanismos subjacentes à ETCC, diferentes tipos de aplicações, a saber: na cognição e atividade motora nessa modalidade terapêutica.

Os critérios de exclusão foram aplicados para remover documentos como dissertações, teses, capítulos de livros, estudos de protocolo, estudos de revisão, trabalhos de conferências e cartas editoriais, levando em consideração o tipo de documento e a data de publicação.

### ***Fontes de informações***

Para essa revisão, realizamos uma busca de artigos em periódicos indexados, utilizando as bases de dados *PubMed* e *Scopus*. As buscas foram conduzidas em outubro, novembro e dezembro de 2025, utilizando termos e palavras-chave relevantes identificados durante um levantamento bibliográfico inicial com o auxílio do software VOSviewer. Além disso, foram pesquisados os vocabulários controlados equivalentes dos termos no MeSH (Medical Subject Headings). Realizamos também uma busca manual adicional, considerando as referências dos artigos incluídos, seguindo os mesmos critérios de triagem, seleção,

elegibilidade e inclusão.

### **Seleção dos artigos**

Dois autores/revisores (F.M e V.C) realizaram a triagem inicial dos documentos encontrados nas bases de dados, com base na leitura independente dos títulos e resumos. Foram incluídos os documentos que apresentaram termos semelhantes ou transmitiram a ideia geral buscada pelo presente estudo, de acordo com os critérios de inclusão e elegibilidade. Os títulos considerados irrelevantes foram excluídos. Em caso de desacordo, um terceiro autor/revisor (J.R) foi consultado para chegar a um consenso. Os artigos considerados relevantes foram lidos na íntegra e sua inclusão foi determinada com base em seu conteúdo, condição tratada no texto, ferramentas utilizadas, procedimentos realizados e objetivos.

### **Estratégias de busca**

A combinação dos termos de pesquisa utilizados nas buscas foram: *Transcranial direct current stimulation* AND *motor cortex* AND *brain stimulation* AND *somatosensory cortex*. Juntamente aos descritores, foram usados filtros de busca nas pesquisas, estabelecidos de acordo com os critérios de inclusão da revisão: Publicações entre 1962 e 2025, ser estudo piloto, relato de caso, *short report*, estudo experimental ou ensaio clínico, e estar publicado em periódicos e revistas científicas. Os trabalhos não sofreram nenhuma restrição de idiomas ou de nacionalidades na filtragem. Todos esses caracteres de delimitação fizeram parte da *string* final que definiu a busca dos trabalhos nas bases de dados.

### **Processo de extração dos dados**

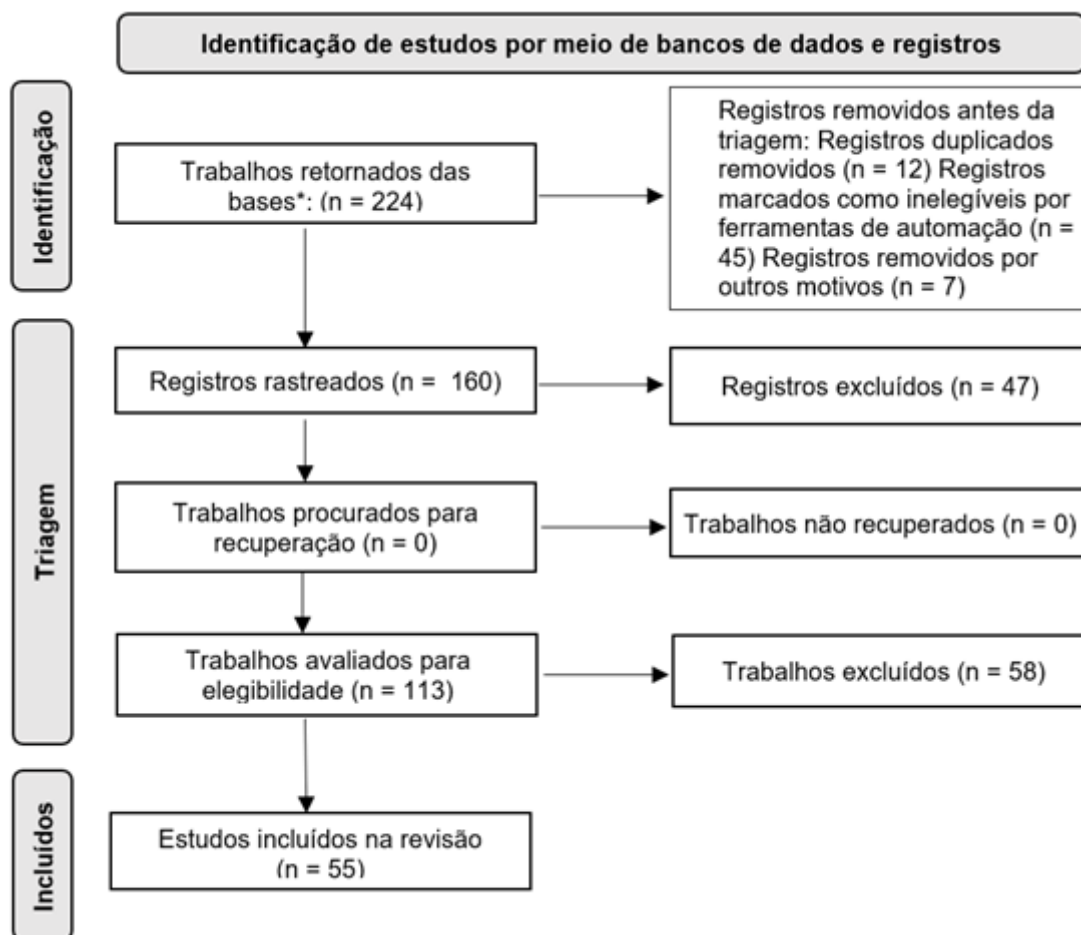
A extração dos dados dos estudos incluídos na revisão foi conduzida de forma sequencial, abordando as características qualitativas e quantitativas de cada artigo. Os dados foram organizados em texto, considerando as informações descritas nos artigos, como o objetivo proposto, a população da amostra, a aplicação da ETCC, os mecanismos e os desafios.

## **RESULTADOS**

Essa revisão explora e descreve de forma generalista as bases da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua, destacando seu mecanismo de ação, suas possíveis aplicações para cognição e comportamento motor. O desfecho primário encontrado nos trabalhos remete a descrição a respeito do comportamento motor e cognitivo após a aplicação do ETCC. Foram selecionados 224 artigos para triagem inicial com base na compatibilidade do seu título e resumo. Desses, 113 artigos foram avaliados com base nos

critérios de inclusão, exclusão e elegibilidade estabelecidos pela revisão, 65 foram excluídos após leitura e observação dos critérios de elegibilidade. Nessa etapa envolveu a leitura do texto completo dos artigos selecionados, após o qual, 48 estudos foram separados para a inclusão final da revisão, conforme fluxograma (Figura 1).

Figura 1: Processo de seleção dos artigos.



## Histórico da ETCC

A ETCC é uma técnica não-invasiva de estimulação cerebral que surgiu em 1960, com o intuito de produzir alterações na excitabilidade no sistema nervoso central (SNC), por meio da aplicação de uma corrente elétrica de baixa intensidade no cérebro. (WOODS et al., 2016; TRUONG; BIKSON, 2018). Os primeiros achados sobre a aplicação de estimulação cerebral são relatados desde o Império Romano, com a utilização de peixes elétricos para dores de cabeça e reumatismo. A avaliação do efeito da estimulação só foi possível a partir da introdução da bateria elétrica em meados do século 18. Estudiosos como Luigi Galvani ao aplicar a estimulação elétrica nos músculos de rã (1791, 1797) e Alessandro Volta com a invenção da “pilha de Volta” (1772), reconheceram que a duração da estimulação elétrica acarretava uma gama de efeitos fisiológicos. Posteriormente, foi introduzida a utilização de correntes elétricas em animais (ZAGO et al., 2008; WEXLER, 2017). Sua reintrodução como

uma técnica não-invasiva, segura, indolor e inovadora com sua aplicação em humanos, se deu há aproximadamente quinze anos (PRIORI et al., 1988; NITSCHKE e PAULUS, 2000).

Esta técnica de neuromodulação consiste em uma bateria que se conecta a dois eletrodos, o ânodo e o cátodo, que são colocados diretamente sobre o couro cabeludo e regiões extraencefálicas. A corrente elétrica flui entre os eletrodos e induz a hipopolarização ou hiperpolarização da membrana dos neurônios subjacentes, que depende da natureza anódica ou catódica do eletrodo, por meio da modulação sublimiar dos potenciais em repouso e do fluxo através dos neurônios-alvo, ocasiona a alteração da excitabilidade neuronal, que resulta na modificação da atividade cortical (PURPURA e McMURTRY, 1965; NITSCHKE et al., 2008; ZAGHI et al., 2010).

### **Mecanismos neurofisiológicos da ETCC**

A ETCC modula a atividade da rede neuronal espontânea provocando uma oscilação na excitabilidade cortical (PRIORI, 2003; NITSCHKE et al., 2008; PRIORI et al., 2009; GILLICK; ZIRPEL, 2012). O seu principal mecanismo de ação se dá por meio do deslocamento dependente da polarização do potencial de membrana em repouso. Desta forma, enquanto a estimulação anódica, geralmente, aumenta a atividade cortical e a excitabilidade, a estimulação catódica atua de forma contrária (NITSCHKE et al., 2000). Estudos sugerem que as mudanças na excitabilidade refletem nas duas taxas de disparo neuronal espontâneo (CREUTZFELDT et al., 1962; BINDMAN et al., 1964); e na capacidade de resposta relacionadas às entradas sinápticas aferentes (JEFFERYS, 1981; BIKSON et al., 2004). Este mecanismo primário, chamado de mecanismo de polarização, subjaz aos efeitos agudos das correntes elétricas de baixa intensidade na excitabilidade cortical em humanos (PRIORI et al., 1998).

No entanto, a ETCC produz efeitos posteriores à sua aplicação com duração de até uma hora (NITSCHKE et al., 2003; NITSCHKE et al., 2001). Desse modo, os seus mecanismos de ação não podem ser correlacionados somente com as alterações no potencial de membrana neuronal elétrica. Pesquisas demonstram que a aplicação da ETCC também é capaz de modificar o microambiente sináptico, como por exemplo, alterações na força sináptica dependente do receptor N-metil D-Aspartato (NMDA), modificações na atividade GABAérgica (GABAa) e glutamato, aumento da síntese de proteínas e nas concentrações de cálcio (LIEBETANZ et al., 2002; STAGG et al., 2009; FRITSCH et al., 2010; BACHTIAR; JOHANSEN-BERG, 2011). Além disso, Fritsch et al. (2010), sugerem que os efeitos da ETCC são semelhantes ao da potenciação à longo prazo, ou seja, aumentam de forma duradoura os potenciais pós-sinápticos excitatórios.

Em relação a modulação cortical com base na polaridade do eletrodo, pode-se classificar a estimulação em anódica e catódica. Na estimulação anódica, ocorre a hipopolarização da membrana neuronal, a qual aproxima o potencial de repouso ao limiar de disparo dos potenciais de ação, ou seja, a atividade nessa região se torna mais fácil e

possibilita a elevação das taxas de disparos dos potenciais de ação (NITSCHKE et al., 2008). Já a estimulação catódica, há a hiperpolarização, que dificulta a atividade na região e reduz a taxa de disparo neuronal espontânea (PRIORI et al., 1998; NITSCHKE e PAULUS, 2000). A estimulação anódica aumenta a excitabilidade do córtex subjacente, e a catódica diminui a excitabilidade do córtex subjacente (BRUNONI et al., 2012; NITSCHKE et al., 2008).

Além disso, a utilização da ETCC também pode oferecer efeitos adversos, pois a gama de informações e dados obtidos até meados dos anos 2000 eram provenientes apenas de estudos com voluntários saudáveis e a sua aplicação era realizada em uma única sessão (BRUNONI et al., 2011). Dessa forma, a maioria dos estudos destacaram não haver nenhum efeito adverso nos participantes após estimulação, em contradição a alguns que apontaram um certo grau de desconforto como formigamento, coceira e sensação de queimação na maior parte dos participantes que sofreram a estimulação, comparados aos da estimulação simulada (RUSSO, 2013).

### **A ETCC na produção de plasticidade neural**

A ETCC abrange a modulação da plasticidade da rede neural por meio da aplicação de correntes contínuas fracas através do couro cabeludo (NITSCHKE e PAULUS, 2000; NITSCHKE et al., 2003a). Entretanto, a plasticidade induzida pela ETCC é relativamente não focal e inespecífica com relação a sinapse, pois sua aplicação modifica a excitabilidade cortical sob a área de estimulação. Dessa forma, estudos realizados em humanos e animais forneceram inúmeras informações dos mecanismos relacionados aos efeitos da aplicação da ETCC na neuroplasticidade (FRITSCH et al., 2010; KUO et al., 2007) e sua distribuição com base na área que está recebendo a estimulação (WAGNER et al., 2007; DATTA et al., 2010).

Alguns estudos evidenciaram que a ETCC poderia induzir modificações específicas na atividade neuropsicológica, psicofisiológica e motora em função das áreas estimuladas (FREGNI et al., 2005; BOGGIO et al., 2006; FECTEAU et al., 2007). Além disso, a ETCC pode produzir efeitos colaterais que chegam a durar uma hora ou mais, dependendo da metodologia utilizada para sua aplicação (NITSCHKE & PAULUS, 2000, 2001). Um desses efeitos colaterais é a plasticidade, que advém da associação de receptores Nmetil-D-aspartato (NMDA) de sinapses glutamatérgicas e canais de cálcio (NITSCHKE et al., 2003). Ademais, a produção da plasticidade neural depende da relação entre a polaridade-excitabilidade da estimulação neural, a qual é considerada complexa, pois não há homogeneidade na modulação dos neurônios devido a orientação do campo elétrico e da profundidade das camadas corticais (RADMAN et al., 2009; STAGG E NITSCHKE, 2011).

### **Associação da estimulação transcraniana por corrente contínua na cognição**

A ETCC vem sendo utilizada na modulação da função cognitiva (COFFMAN,

CLARK e PARASURAMAN, 2014), como meio de intervenção associada ao tratamento e reabilitação de pacientes neurológicos e psiquiátricos (FLÖEL et al., 2011; KUO et al., 2013). Em estudo sobre a modulação dos parâmetros de excitabilidade durante e após a estimulação, Nitsche (2005), sugere que a ETCC anódica e catódica tem efeitos opostos sobre a excitabilidade neuronal em relação a M1. Lefebvre e Liew (2017); Li, Uehara & Hanawaka (2015), sugerem que fatores como, o estado do cérebro, variando desde a anatomia, orientação dos neurônios (ARLOTTI et al., 2012), e estado psicológico (SARKAR et al., 2014), também influencia diretamente nos efeitos e respostas da estimulação.

Além disso, uma metanálise realizada mediante os resultados comportamentais concluiu que a aplicação única da ETCC não produz efeito em uma série de tarefas cognitivas (HORVATH *et al.*, 2015), ou seja, se a estimulação interage com a atividade cerebral subjacente de curta duração não é considerada suficiente para influenciar a atividade cerebral (LUCIA *et al.*, 2018). Este fato alimenta o ceticismo de que a ETCC tenha algum potencial capaz de modular a atividade cortical e a função cognitiva. Em estudo combinando a ETCC com treinamento cognitivo a fim de avaliar a tomada de decisão do indivíduo, foi constatado que a ETCC interfere diretamente na melhora dos resultados funcionais e na qualidade de vida de pacientes debilitados psicologicamente, por exemplo, os impulsivos (GILMORE, et al., 2018).

### **Associação da ETCC no comportamento motor**

O comportamento motor tem sido alvo comum para a modulação usando a ETCC, devido sua variância mínima entre os indivíduos em relação à orientação dos neurônios no córtex motor, que, conseqüentemente, pode aumentar a eficácia da estimulação (NITSCHKE e PAULUS, 2001). Além disso, tem sido realizada a investigação do efeito da estimulação com a atividade motora, por intermédio da análise do desempenho dos indivíduos em tarefas motoras consideradas simples (BOGGIO *et al.*, 2006; TANAKA *et al.*, 2009; HUMMEL *et al.*, 2010). Por exemplo, em uma tarefa de reação de série, Nitsche *et al.* (2003), mostraram que a estimulação anódica em M1 leva a respostas mais rápidas realizadas pela mão contralateral ao local da estimulação. Tanaka *et al.* (2009), mediram as forças de compressão máxima do dedo antes e após a aplicação da ETCC anódica e observaram aumento transitório na força de pinça.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base na análise dos achados apresentados, conclui-se que a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) emerge como uma técnica não invasiva e promissora de neuromodulação, que pode afetar a excitabilidade neuronal e a atividade cortical por meio da aplicação de corrente elétrica de baixa intensidade através de eletrodos posicionados no couro cabeludo. Esse método tem se mostrado como uma abordagem

potencialmente relevante no tratamento de condições neuropsiquiátricas e no estudo da neurofisiologia cerebral. Em especial, os resultados sugerem que a técnica pode alterar a eficiência sináptica, bem como a plasticidade neural em áreas-alvo do cérebro, implicando na modulação de processos cognitivos e motores. Apesar das limitações potenciais, como eventuais efeitos adversos e a necessidade de refinar protocolos de estimulação, a ETCC demonstrou-se uma boa alternativa para intervenções neuromodulatórias e avanços na compreensão dos circuitos neurais subjacentes a funções comportamentais e cognitivas. Seu contínuo desenvolvimento e aprofundamento científico podem trazer contribuições significativas no avanço do conhecimento sobre a plasticidade cerebral e abrir novas perspectivas para tratamentos neuroterapêuticos inovadores e personalizados.

## DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Nós, autores deste artigo, declaramos que não possuímos conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, político, acadêmico e pessoal.

## REFERÊNCIAS

- ARLOTTI, M.; RAHMAN, A.; MINHAS, P.; BIKSON, M. **Axon terminal polarization induced by weak uniform DC electric fields: a modeling study.** In: *Conference Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, p. 4575–4578, 2012.
- BACHTIAR, V.; NEAR, J.; JOHANSEN-BERG, H.; STAGG, C. J. **Modulation of GABA and resting state functional connectivity by transcranial direct current stimulation.** *eLife*, v. 4, p. e08789, 2015.
- BIKSON, M.; INOUE, M.; AKIYAMA, H.; DEANS, J. K.; FOX, J. E.; MIYAKAWA, H. **Effects of uniform extracellular DC electric fields on excitability in rat hippocampal slices in vitro.** *The Journal of Physiology*, v. 557, p. 175–190, 2004.
- BINDMAN, L. J.; LIPPOLD, O. C. J.; REDFEARN, J. W. T. **The action of brief polarizing currents on the cerebral cortex of the rat (1) during current flow and (2) in the production of long-lasting after-effects.** *The Journal of Physiology*, v. 172, p. 369–382, 1964.
- BOGGIO, P. S. et al. **Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease.** *Journal of the Neurological Sciences*, v. 249, n. 1, p. 31–38, 2006.
- BRUNONI, A. R. et al. **A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation.** *The International Journal of Neuropsychopharmacology*, v. 14, n. 8, p. 1133–1145, 2011.
- BRUNONI, A. R. et al. **Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): challenges and future directions.** *Brain Stimulation*, v. 5, n. 3, p. 175–195, 2012.
- CHIRIAC, V. F.; MOȘOIU, D. V. **A systematic review of reporting adverse effects associated with transcranial direct current stimulation in chronic pain.** *American Journal of Therapeutics*, v. 32, n. 5, p. e481–e491, set./out. 2025.
- COFFMAN, B. A.; CLARK, V. P.; PARASURAMAN, R. **Battery powered thought: enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial**

**direct current stimulation.** *NeuroImage*, v. 85, pt. 3, p. 895–908, 2014.

CREUTZFELDT, O. D.; FROMM, G. H.; KAPP, H. **Influence of transcortical d-c currents on cortical neuronal activity.** *Experimental Neurology*, v. 5, p. 436–452, 1962.

DATTA, A.; BAKER, J. M.; BIKSON, M.; FRIDRIKSSON, J. **Individualized model predicts brain current flow during transcranial direct-current stimulation treatment in responsive stroke patient.** *Brain Stimulation*, v. 4, n. 3, p. 169–174, 2011.

LIEBETANZ, D. et al. **Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability.** *Brain*, v. 125, n. 10, p. 2238–2247, 2010.

DEDONCKER, J. et al. **Combined transcranial direct current stimulation and psychological interventions: state of the art and promising perspectives for clinical psychology.** *Biological Psychology*, v. 158, p. 107991, jan. 2021.

DELDAR, Z. et al. **Improving working memory and pain inhibition in older persons using transcranial direct current stimulation.** *Neuroscience Research*, v. 148, p. 19–27, nov. 2019.

FECTEAU, S. et al. **Activation of prefrontal cortex by transcranial direct current stimulation reduces appetite for risk during ambiguous decision making.** *The Journal of Neuroscience*, v. 27, n. 23, p. 6212–6218, 2007.

FLÖEL, A. et al. **Short-term anomia training and electrical brain stimulation.** *Stroke*, v. 42, n. 7, p. 2065–2067, 2011.

FREGNI, F. et al. **Transcranial direct current stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients.** *NeuroReport*, v. 16, n. 14, p. 1551–1555, 2005.

FREGNI, F. et al. **Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory.** *Experimental Brain Research*, v. 166, n. 1, p. 23–30, 2005.

FRITSCH, B. et al. **Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning.** *Neuron*, v. 66, n. 2, p. 198–204, 2010.

GILLICK, B. T.; ZIRPEL, L. **Neuroplasticity: an appreciation from synapse to system.** *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 93, n. 10, p. 1846–1855, 2012.

GILMORE, C. S. et al. **Transcranial direct current stimulation (tDCS) paired with a decision-making task reduces risk-taking in a clinically impulsive sample.** *Brain Stimulation*, v. 11, n. 2, p. 302–309, 2018.

HORVATH, J. C.; FORTE, J. D.; CARTER, O. **Quantitative review finds no evidence of cognitive effects in healthy populations from single-session transcranial direct current stimulation (tDCS).** *Brain Stimulation*, v. 8, n. 3, p. 535–550, 2015.

JACOBSON, L.; KOSLOWSKY, M.; LAVIDOR, M. **tDCS polarity effects in motor and cognitive domains: a meta-analytical review.** *Experimental Brain Research*, v. 216, n. 1, p. 1–10, 2012.

JAMIL, A. et al. **Current intensity- and polarity-specific online and aftereffects of transcranial direct current stimulation: an fMRI study.** *Human Brain Mapping*, v. 41, n. 6, p. 1644–1666, 2020.

JEFFERYS, J. G. **Influence of electric fields on the excitability of granule cells in guinea-pig hippocampal slices.** *The Journal of Physiology*, v. 319, p. 143–152, 1981.

KLÍROVÁ, M. et al. **Modulating inhibitory control processes using individualized**

**high-definition theta transcranial alternating current stimulation (HD  $\theta$ -tACS) of the anterior cingulate and medial prefrontal cortex.** *Frontiers in Systems Neuroscience*, v. 15, p. 611507, 30 mar. 2021.

KUO, M. F. et al. **Focusing effect of acetylcholine on neuroplasticity in the human motor cortex.** *The Journal of Neuroscience*, v. 27, n. 52, p. 14442–14447, 2007.

LEFAUCHEUR, J.-P. et al. **Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS).** *Clinical Neurophysiology*, v. 128, n. 1, p. 56–92, 2017.

LEFEBVRE, S.; LIEW, S. L. **Anatomical parameters of tDCS to modulate the motor system after stroke: a review.** *Frontiers in Neurology*, v. 8, p. 29, 2017.

LI, L. M.; UEHARA, K.; HANAKAWA, T. **The contribution of interindividual factors to variability of response in transcranial direct current stimulation studies.** *Frontiers in Cellular Neuroscience*, v. 9, 2015.

NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. **Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation.** *The Journal of Physiology*, v. 527, pt. 3, p. 633–639, 2000.

NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. **Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans.** *Neurology*, v. 57, n. 10, p. 1899–1901, 2001.

NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. **Transcranial direct current stimulation—update.** *Restorative Neurology and Neuroscience*, v. 29, n. 6, p. 463–492, 2011.

NITSCHKE, M. A.; BIKSON, M.; BESTMANN, S. **On the use of meta-analysis in neuromodulatory non-invasive brain stimulation.** *Brain Stimulation*, v. 13, n. 3, p. 642–644, 2020.

NITSCHKE, M. A. et al. **Transcranial direct current stimulation: state of the art 2008.** *Brain Stimulation*, v. 1, n. 3, p. 206–223, 2008.

NITSCHKE, M. A. et al. **Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans.** *The Journal of Physiology*, v. 553, pt. 1, p. 293–301, 2003.

PALM, U. et al. **Prefrontal transcranial direct current stimulation for treatment of major depressive disorder: updated systematic review and meta-analysis.** *The International Journal of Neuropsychopharmacology*, v. 22, n. 8, p. 1–22, 2019.

POREISZ, C.; BOROS, K.; ANTAL, A.; PAULUS, W. **Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients.** *Brain Research Bulletin*, v. 72, n. 4–6, p. 208–214, 2007.

PRIORI, A. **Brain polarization in humans: a reappraisal of an old tool for prolonged non-invasive modulation of brain excitability.** *Clinical Neurophysiology*, v. 114, n. 4, p. 589–595, 2003.

PRIORI, A. et al. **Polarization of the human motor cortex through the scalp.** *NeuroReport*, v. 9, n. 10, p. 2257–2260, 1998.

PRIORI, A.; HALLETT, M.; ROTHWELL, J. C. **Repetitive transcranial magnetic stimulation or transcranial direct current stimulation?** *Brain Stimulation*, v. 2, n. 4, p. 241–245, 2009.

PURPURA, D. P.; MCMURTRY, J. G. **Intracellular activities and evoked potential changes during polarization of motor cortex.** *Journal of Neurophysiology*, v. 28, p. 166–185, 1965.

RADMAN, T.; RAMOS, R. L.; BRUMBERG, J. C.; BIKSON, M. **Role of cortical cell type and**

**morphology in subthreshold and suprathreshold uniform electric field stimulation in vitro.** *Brain Stimulation*, v. 2, n. 4, p. 215–228, 2009.

ROSSON, S. et al. **Brain stimulation and other biological non-pharmacological interventions in mental disorders: an umbrella review.** *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, v. 139, p. 104743, ago. 2022.

RUSSO, R.; WALLACE, D.; FITZGERALD, P. B.; COOPER, N. R. **Perception of comfort during active and sham transcranial direct current stimulation: a double-blind study.** *Brain Stimulation*, v. 6, n. 6, p. 946–951, 2013.

SABÉ, M. et al. **Transcranial magnetic stimulation and transcranial direct current stimulation across mental disorders: a systematic review and dose-response meta-analysis.** *JAMA Network Open*, v. 7, n. 5, p. e2412616, 1 maio 2024.

SALE, M. V.; RIDDING, M. C.; NORDSTROM, M. A. **Factors influencing the magnitude and reproducibility of corticomotor excitability changes induced by paired associative stimulation.** *Brain Stimulation*, v. 8, n. 6, p. 1132–1143, 2015.

STAGG, C. J.; NITSCHKE, M. A. **Physiological basis of transcranial direct current stimulation.** *The Neuroscientist*, v. 17, n. 1, p. 37–53, 2011.

STAGG, C. J. et al. **Polarity-sensitive modulation of cortical neurotransmitters by transcranial stimulation.** *The Journal of Neuroscience*, v. 29, n. 16, p. 5202–5206, 2009.

TRUONG, D. Q.; BIKSON, M. **Physics of transcranial direct current stimulation devices and their history.** *The Journal of ECT*, v. 34, n. 3, p. 137–143, 2018.

TURI, Z. et al. **Transcranial direct current stimulation over the human secondary somatosensory cortex disrupts perception of tactile temporal order.** *Brain Structure and Function*, v. 224, n. 4, p. 1413–1424, 2019.

WAGNER, T. et al. **Transcranial direct current stimulation: a computer-based human model study.** *NeuroImage*, v. 35, n. 3, p. 1113–1124, 2007.

WEXLER, A. **Recurrent themes in the history of the home use of electrical stimulation: transcranial direct current stimulation (tDCS) and the medical battery (1870–1920).** *Brain Stimulation*, v. 10, n. 2, p. 187–195, 2017.

WOODS, A. J. et al. **A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools.** *Clinical Neurophysiology*, v. 127, n. 2, p. 1031–1048, 2016.

ZAGHI, S. et al. **Noninvasive brain stimulation with low-intensity electrical currents: putative mechanisms of action for direct and alternating current stimulation.** *The Neuroscientist*, v. 16, n. 3, p. 285–307, 2010.

# ÍNDICE REMISSIVO

## A

acidente vascular cerebral 42  
AVC 42, 45, 46, 47

## C

campo magnético 32  
cEEGGrid 38  
convulsões 30, 37, 39  
corpos de Lewy 23, 25  
córtex motor 16, 17, 63  
córtex parietal posterior 16  
córtex somatossensorial primário 16

## D

diagnóstico por imagem 26  
DNA mitocondrial 23  
Doença de Parkinson 21, 22, 23, 24, 25, 27  
DP 21, 22, 23, 24, 25, 26  
dual-hit 23, 27

## E

EEG 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47  
eletrodos 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 40, 61, 63  
eletroencefalografia 31, 33, 42  
Eletroencefalografia 43  
eletroencefalógrafo 30  
Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua 63  
ETCC 60, 61, 62, 63  
eventos neurais 30

## F

fatores genéticos 21, 26  
fisiopatologia 21, 24

## G

GBA 23

## H

heterogeneidade clínica 23

## L

LRRK2 23

## M

microambiente sináptico 61

## N

neuroinflamação 21

neurônios 16, 17, 21, 22, 23, 61, 62, 63  
neuroplasticidade 17, 62  
núcleos interpósitos 17

## O

órgão neurotendíneo 17

## P

patogênese 23  
plasticidade neural 17, 62, 64

## R

RAGT 43, 45, 46  
reabilitação neuromotora 42  
Reabilitação neuromotora 43

## S

sintomas motores 21, 22, 24, 26  
sinucleína 23, 25  
sistema 10/20 31, 33, 38, 40  
sistema topográfico 30, 31  
SNCA 23, 28

## T

Tecnologias combinadas 43, 45



**contato@editoraomnisscientia.com.br** 

**https://editoraomnisscientia.com.br/** 

**@editora\_omnis\_scientia** 

**https://www.facebook.com/omnis.scientia.9** 

**+55 87 99920-5762** 



**contato@editoraomnisscientia.com.br** 

**<https://editoraomnisscientia.com.br/>** 

**@editora\_omnis\_scientia** 

**<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9>** 

**+55 87 99920-5762** 