



Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

Departamento de Engenharia Biomédica

Graduação em Engenharia Biomédica

Thifany Ketuli Silva de Souza

Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral
para Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico

Recife

2023

Thifany Ketuli Silva de Souza

**Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral para
Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico**

Trabalho apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Biomédica do Departamento de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Biomédica.

Área de Concentração: Engenharia Biomédica

Orientadora: Carina Marconi Germer

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Souza, Thifany Ketuli Silva de.

Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral para
Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico / Thifany Ketuli Silva de
Souza. - Recife, 2023.

52 p. : il., tab.

Orientador(a): Carina Marconi Germer

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Biomédica -
Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. Reabilitação. 2. Interface Cérebro-Máquina. 3. AVC. 4. Eletroestimulação
Funcional. I. Germer, Carina Marconi. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

Thifany Ketuli Silva de Souza

Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral
para Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico

Trabalho apresentado ao curso de Graduação
em Engenharia Biomédica do Departamento
de Engenharia Biomédica da Universidade
Federal de Pernambuco como requisito par-
cial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Biomédica.

Aprovado em 04/10/2023

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Carina Marconi Germer (Orientadora)
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG - UFPE
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - UNICAMP

Prof. Dr. Nivaldo Antonio Portela de Vasconcelos
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG - UFPE

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de expressar minha gratidão à minha família pelo apoio e motivação constantes ao longo da minha vida. Em especial, gostaria de agradecer à minha mãe, Adriana Maria, à minha irmã Yalu, à minha tia do coração, Ana Maria, e às minhas tias, Marinete e Adriana Meira. São elas a principal razão pela qual me dediquei durante todos esses anos, além de me incentivarem a acreditar nos meus sonhos e a nunca desistir. Vocês são as pessoas mais importantes da minha vida, meu alicerce. Espero poder encher vocês de orgulho.

A José Pacífico, agradeço por já fazer parte da minha família, a ponto de rir das histórias malucas que eu invento.

A Aymar Pinheiro, agradeço pelo seu cuidado e por sempre ter me incentivado a voar e almejar os céus, como uma águia.

Às minhas amigas mais dark-góticas, Livs e Ray, pela amizade de longa data e por terem suportado minha chatice ariana desde sempre. Certamente um dia vamos rir de tudo isso em um show do One Direction em Paris.

Às minhas amigas Débora (minha advogada) e Vitória (minha sócia), agradeço pela amizade e por terem sido fundamentais nessa fase da minha vida. Espero que continuemos sendo as mais babilônicas, faraônicas, suméricas, gregônicas, caóticas, bombásticas e apocalípticas pelo resto das nossas vidas.

Aos meus amigos da LAERPE, em especial à Julia, Laís Lopes, Laís Amorim, Maria Eduarda e Paulo, agradeço pelo companheirismo. Cuidem da liga!

Aos professores que tive o prazer de ser orientada, Carina Germer e Nivaldo Vasconcelos, agradeço pela paciência e pelos ensinamentos. Vocês são exemplos de profissionais que almejo me tornar um dia.

Aos profissionais da Clínica Reintegrar Saúde e à Neurobots, expresso minha gratidão pela parceria no desenvolvimento deste trabalho. Nada disso seria possível sem a colaboração e dedicação de vocês.

Por fim, mas não menos importante, aos meus amores de quatro patas Sherlock, Sol, Edward Cullen, Duque, Paixão, Bene, Lord, Dora, Dory e Aloha. Amo vocês!

*A mente é tudo. O que você
pensa, você se torna.*

Sidarta Gautama (Buda)

RESUMO

O acidente vascular cerebral (AVC) é a segunda principal causa de morte no Brasil e no mundo, sendo também uma das principais causas de incapacidade física. A eletroestimulação funcional tem demonstrado ser uma abordagem eficaz na reabilitação de pacientes pós-AVC na fisioterapia. Com os avanços na neurociência, a eletroestimulação funcional condicionada pela atividade cerebral mostra-se uma técnica promissora para melhora da função motora em pacientes crônicos de AVC. Apesar do cenário promissor em estudos para membro superior, há uma lacuna na pesquisa sobre a aplicação dessa técnica para reabilitação de membros inferiores em pacientes pós-AVC. Deste modo, o presente estudo visa avaliar os efeitos da eletroestimulação funcional condicionada por uma interface cérebro-máquina (FES-BCI) aplicada a membro inferior em pacientes crônicos de AVC para reabilitação da dorsiflexão plantar. O estudo é do tipo duplo-cego, onde os pacientes foram divididos em dois grupos: grupo controle (CTR) e grupo FES-BCI. Ambos os grupos receberam 10 sessões de fisioterapia com um protocolo de estimulação específico. No grupo controle, os pacientes foram orientados a permanecer relaxados durante a estimulação do músculo tibial anterior, enquanto no grupo FES-BCI, os pacientes foram incentivados a tentar realizar voluntariamente o movimento de dorsiflexão, de forma que o estímulo foi liberado após detecção da intenção de movimento. Os resultados mostram melhorias significativas na amplitude de articulação do tornozelo, na velocidade da marcha e na cadência, sem diferenças substanciais entre os grupos. Por outro lado, não foram obtidos resultados estatisticamente relevantes na escala de Fugl-Meyer nos quesitos da sensibilidade, movimento articular passivo e dor articular. Este trabalho contribui para o desenvolvimento de tecnologias de reabilitação para pacientes neurológicos e destaca a importância de investir em novas técnicas e abordagens nesta área.

Palavras-chave: Reabilitação, Interface Cérebro-Máquina, AVC, Eletroestimulação Funcional.

ABSTRACT

Stroke is the second leading cause of death in Brazil and worldwide, as well as one of the primary causes of physical disability. Functional electrical stimulation (FES) has demonstrated its effectiveness as an approach in post-stroke patient rehabilitation. With advancements in neuroscience, FES conditioned by brain activity emerges as a promising technique for enhancing motor function in chronic stroke patients. Despite promising outcomes in upper limb studies, there is a research gap concerning the application of this technique for lower limb rehabilitation in post-stroke patients. Thus, the present study aims to evaluate the effects of functional electrical stimulation conditioned by a brain-computer interface (FES-BCI) applied to the lower limb in chronic stroke patients for plantar dorsiflexion rehabilitation. The study is a double-blind design, wherein patients were divided into two groups: the control group (CTR) and the FES-BCI group. Both groups underwent ten physiotherapy sessions following a specific stimulation protocol. In the control group, patients were instructed to remain relaxed during tibial anterior muscle stimulation, while in the FES-BCI group, patients were encouraged to attempt voluntary dorsiflexion movements, triggering stimulus release upon the detection of movement intent. Results show significant improvements were observed in gait velocity and cadence in both groups, with no substantial differences between the groups. On the other hand, statistically significant results were not obtained in the Fugl-Meyer scale regarding in sensitivity, passive joint movement, and joint pain. This work contributes to the development of rehabilitation technologies for neurological patients and underscores the importance of investing in new techniques and approaches in this field.

Keywords: Rehabilitation, Brain-Computer Interface, Stroke, Functional Electrical Stimulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação gráfica do neurônio e suas principais regiões	14
Figura 2	Tipos de neurônios classificados de acordo com a funcionalidade	15
Figura 3	Estruturação funcional do Sistema Nervoso	17
Figura 4	Representação de uma sinapse química.....	19
Figura 5	Distribuição geográfica da ocorrência de AVC (por 100 mil) no ano de 2019	21
Figura 6	Fases do ciclo da marcha	22
Figura 7	Esquemático de uma aplicação BCI	25
Figura 8	Interface do usuário do Dorsiflex.....	34
Figura 9	Interface do usuário durante realização dos exercícios.....	35
Figura 10	Síntese da sessão após finalização dos exercícios	35
Figura 11	Pontuação na escala de Barthel	37
Figura 12	Resultados de amplitude de dorsiflexão, inversão, flexão plantar e eversão do tornozelo	38
Figura 13	Resultados do desempenho da marcha	39
Figura 14	Resultados testes funcionais	40
Figura 15	Resultado Máxima Contração Voluntária	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estruturas do encéfalo e suas respectivas funções	16
Tabela 2	Detalhes demográficos dos participantes apresentados como média e des- vio padrão	30

LISTA DE SIGLAS

AVC	Acidente Vascular Cerebral
BCI	Brain-computer Interface
CEP-UFPE	Comitê de ética da Universidade Federal de Pernambuco
CTR	Controle
EEG	Eletroencefalograma
EMG	Eletromiograma
FES	Eletroestimulação funcional
FES-BCI	Eletroestimulação condicionada por brain-computer interface
FUGM	Escala de Fugl-Meyer
ICD-10	Código internacional de doenças
IDH	Índice de desenvolvimento humano
mANOVA	Análise multivariada de variância
SN	Sistema nervoso
SNP	Sistema nervoso periférico
SNC	Sistema nervoso central
TUG	Teste timed up and go
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
1.1	Divisão do Sistema Nervoso	13
1.1.1	As unidades básicas do Sistema Nervoso	13
1.1.2	Sistema Nervoso Central	15
1.1.3	Sistema Nervoso Periférico	17
1.2	Transmissão de Sinais Elétricos e Neurotransmissores	18
1.3	Neuroplasticidade	19
1.4	Acidente Vascular Cerebral	20
1.5	A Marcha e as sequelas do AVC	22
1.6	Eletroestimulação Funcional	23
1.7	Interface Cérebro-Máquina	24
2	INTRODUÇÃO	26
3	OBJETIVOS	28
3.1	Objetivos específicos	28
4	METODOLOGIA	29
4.1	Recrutamentos dos Pacientes	29
4.1.1	CrITÉRIOS de inclusão	29
4.1.2	CrITÉRIOS de exclusão	29
4.1.3	Amostra de participantes	30
4.2	Equipe de Fisioterapia	30
4.3	Testes Clínicos	31
4.4	Protocolo de Estimulação	32
4.5	Especificações do equipamento	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
6	CONCLUSÃO	42

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Divisão do Sistema Nervoso

O sistema nervoso (SN) pode ser dividido de duas formas: baseado em sua estrutura, sistema nervoso central (SNC) e sistema nervoso periférico (SNP); e baseado em sua funcionalidade, somático e visceral (DRAKE; VOGL; MIRCHELL, 2020).

O sistema nervoso periférico é formado pelos neurônios sensoriais (aferentes) e neurônios eferentes (SILVERTHORN et al., 2017). Por outro lado, o sistema nervoso central é composto pelo cérebro e medula espinhal, com três níveis principais de funcionalidade. No nível medular, os circuitos neurais intrínsecos enviam sinais aos centros de controle da medula espinhal, resultando em movimentos como marcha e reflexos do corpo. No nível cerebral inferior, encontram-se as regiões subcorticais encefálicas, onde ocorrem atividades inconscientes, como controle da pressão arterial, respiração, reflexos alimentares, padrões emocionais (raiva, excitação, resposta sexual, dor e prazer) e equilíbrio. Por fim, no nível cerebral superior, há uma região de armazenamento de informações associada às estruturas subcorticais, convertendo suas funções em operações precisas (GUYTON; HALL, 2011).

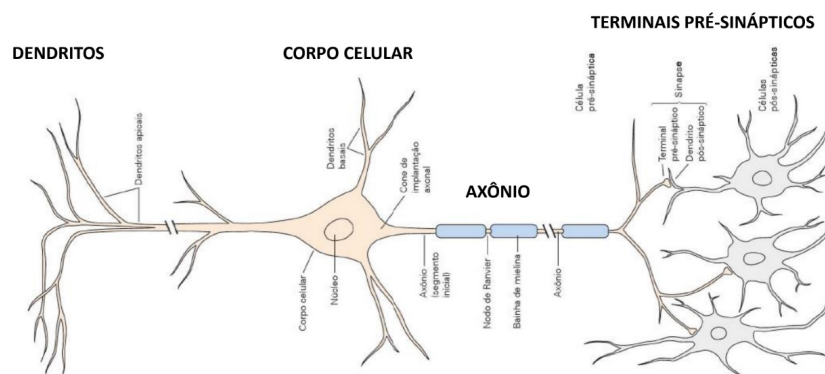
1.1.1 As unidades básicas do Sistema Nervoso

O SN é composto por duas unidades: neurônios e as células gliais (glia). Enquanto a glia é responsável principalmente por nutrir e isolar eletricamente os neurônios, os neurônios realizam a integração e transmissão de informações (KANDEL et al., 2014).

No geral, o neurônio possui quatro regiões definidas morfológicamente, são elas: corpo celular, dendritos, axônio e terminais pré-sinápticos. Na Figura 1 é possível observar as estruturas que compõem esta célula nervosa.

O corpo celular é o centro metabólico do neurônio, onde estão contidas organelas como núcleo e retículo endoplasmático. Esta estrutura gera dois processos: dendritos, que recebem sinais de outras células; e axônio, que irão transmitir esses sinais. Nas extremidades do axônio ocorre a conexão entre neurônios chamada de sinapse. As células que transmitem o sinal nervoso são chamadas de pré-sinápticas, e são esses terminais que conectam-se com os dendritos das células pós-sinápticas (KANDEL et al., 2014).

Figura 1: Representação gráfica do neurônio e suas principais regiões



Fonte: Kandel et al. (2014)

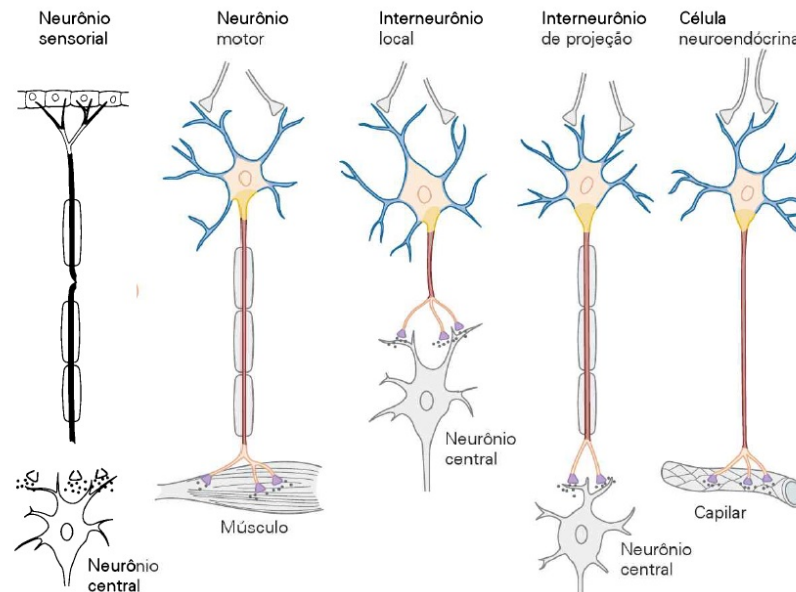
De acordo com o princípio de polarização dinâmica de Santiago Ramón y Cajal, as estruturas que compõem o neurônio podem ser classificadas funcionalmente: unidade de entrada (dendritos), unidade de integração (corpo celular), unidade de condução (axônios) e unidade de saída (terminais pré-sinápticos).

Funcionalmente, os neurônios são classificados em três tipos: sensoriais (neurônios aferentes), motores (neurônios eferentes) e interneurônios. Os neurônios aferentes são responsáveis por transmitir informações sensoriais ao sistema nervoso central, mais precisamente à medula espinhal, de forma que a informação transmitida ascende, direcionando-se ao tronco encefálico onde passará por um processo de análise e interpretação, e culminará na percepção consciente do estímulo. Por outro lado, os neurônios motores são responsáveis pelos comandos do sistema nervoso central aos músculos e glândulas, de forma a coordenar as respostas motoras e atividade glandular. Por fim, os interneurônios atuam na comunicação entre diferentes neurônios, de forma a transmitir sinais e estabelecer ligações importantes no processo de integração e regulação do SN (KANDEL et al., 2014). Essas estruturas são ilustradas na Figura 2.

Diferentemente dos neurônios, as células gliais não são excitáveis (não geram potenciais elétricos), mas são primordiais no suporte estrutural e proporcionando a aceleração da transmissão de sinais ao longo das células nervosas. Estas células são formadas da mielina, estrutura concêntrica de fosfolípidos de membrana (SILVERTHORN et al., 2017).

A interação entre essas estruturas irá proporcionar a integração e funcionamento do sistema nervoso, de forma a permitir a transmissão de informações que são responsáveis pelas atividades mentais, sensoriais e motoras do organismo.

Figura 2: Tipos de neurônios classificados de acordo com a funcionalidade



Fonte: Kandel et al. (2014)

1.1.2 Sistema Nervoso Central

O sistema nervoso central é formado por duas estruturas: encéfalo e medula espinal. O tecido nervoso é dividido em substância cinzenta, consistente em corpos, dendritos e axônios de células nervosas não mielinizadas, e substância branca, constituída por axônios mielinizados e com poucos corpos celulares (SILVERTHORN et al., 2017).

Encéfalo

O encéfalo é composto por quatro estruturas: o telencéfalo (cérebro), o diencefalo, o tronco encefálico e o cerebelo. Suas subdivisões e funções detalhadas encontram-se resumidas na Tabela 1.

O cérebro é dividido por hemisférios, esquerdo e direito, que são interligados pela fissura longitudinal. Em sua superfície encontram-se giros e sulcos, que configuram elevações e dobras, respectivamente. Cada um dos hemisférios cerebrais são subdivididos de acordo com os ossos do crânio relacionados: frontal, parietal, occipital e temporal, além da ínsula, que é uma estrutura mais profunda e não possui ligação com ossos cranianos (MACHADO; HAERTEL, 2013). O diencefalo divide-se em quatro partes: tálamo, hipotálamo, epítalamo e subtálamo. O tronco encefálico

Tabela 1: Estruturas do encéfalo e suas respectivas funções

Estrutura	Divisão	Subdivisão	Função
Encéfalo	Telencéfalo (cérebro)	Lobo frontal	Área motora primária, além da área motora da fala (área de Broca), raciocínio, emoções, personalidade e resolução de problemas.
		Lobo parietal	Responsável pela percepção sensitiva relacionada à dor, temperatura, tato e pressão, além de orientação e percepção espacial, e pela parte sensorial da linguagem (área de Wernicke).
		Lobo temporal	Atua na percepção auditiva, aprendizado e memória
		Lobo occipital	Responsável pela visão
		Insula	Funções viscerais
	Diencefalo	Tálamo	Transmissão e processamento do sistema somatossensitivo e de algumas partes do sistema motor
		Hipotálamo	Controle do sistema nervoso autônomo e sistema endócrino
		Epitálamo	Controle do ritmo circadiano (glândula pineal)
		Subtálamo	Inclui núcleo subtalâmico, relacionado ao movimento somático
	Tronco encefálico	Mesencéfalo	Visão, audição, movimento dos olhos e movimento do corpo
		Ponte	Controle da respiração e transmissão de impulsos para o cerebelo
		Medula oblonga (bulbo)	Funções autônomas
	Cerebelo	-	Equilíbrio, postura, tônus muscular e marcha

Fonte: Norton (2012) e Moraes (2009)

abrange o mesencéfalo, a ponte e a medula oblonga (NORTON, 2012).

Medula Espinal

A medula espinal é uma estrutura cilíndrica com um ligeiro achatamento no sentido ântero-posterior, localizado dentro do canal vertebral. Ao longo de seu comprimento, apresenta duas expansões conhecidas como intumescência cervical e intumescência lombar. Nessas regiões, encontram-se raízes nervosas espessas que formam os plexos braquial e lombossacral, os quais fornecem inervação dos membros superiores e inferiores, respectivamente (MACHADO; HAERTEL, 2013).

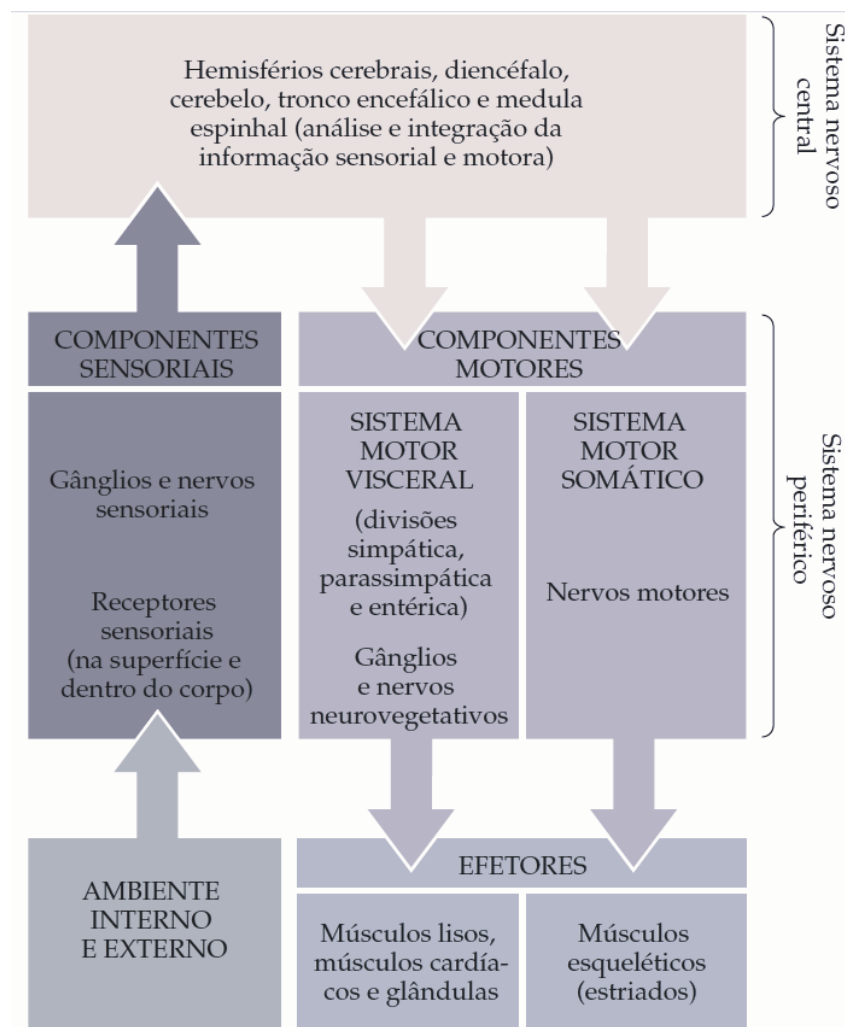
A medula espinal desempenha um papel crucial. Ela é responsável por integrar informações sensoriais provenientes da pele, articulações, músculos do tronco e dos membros e enviar a informação aos músculos e circuitos superiores. Além disso,

abriga neurônios motores que são responsáveis pela coordenação de movimentos voluntários e involuntários (KANDEL et al., 2014).

1.1.3 Sistema Nervoso Periférico

O sistema nervoso periférico (SNP) é composto por nervos cranianos, nervos espinais, nervos autônomos e o sistema nervoso entérico (DRAKE; VOGL; MIRCHELL, 2020). Esta subdivisão do sistema nervoso é responsável pela captação de estímulos e informações provenientes do ambiente externo, bem como na transmissão dessas informações para o sistema nervoso central (SNC).

Figura 3: Estruturação funcional do Sistema Nervoso



Fonte: Purves et al. (2010)

As vias aferentes do SNP consistem em gânglios e nervos sensoriais, enquanto as vias eferentes se subdividem em componentes visceral e somático. O sistema nervoso motor

visceral é responsável pelo controle de funções involuntárias, como aquelas mediadas pela atividade de fibras musculares lisas, fibras musculares cardíacas e glândulas. Esta porção do sistema nervoso periférico se divide adicionalmente em sistema nervoso simpático e sistema nervoso parassimpático, sendo que o primeiro está associado a respostas de "luta ou fuga" e o segundo é responsável por restabelecer o funcionamento do organismo após ocorrência da situação citada (PURVES et al., 2010).

A Figura 3 ilustra de que forma ocorre a integração entre as diversas divisões do sistema nervoso e como essas divisões estão organizadas funcionalmente.

1.2 Transmissão de Sinais Elétricos e Neurotransmissores

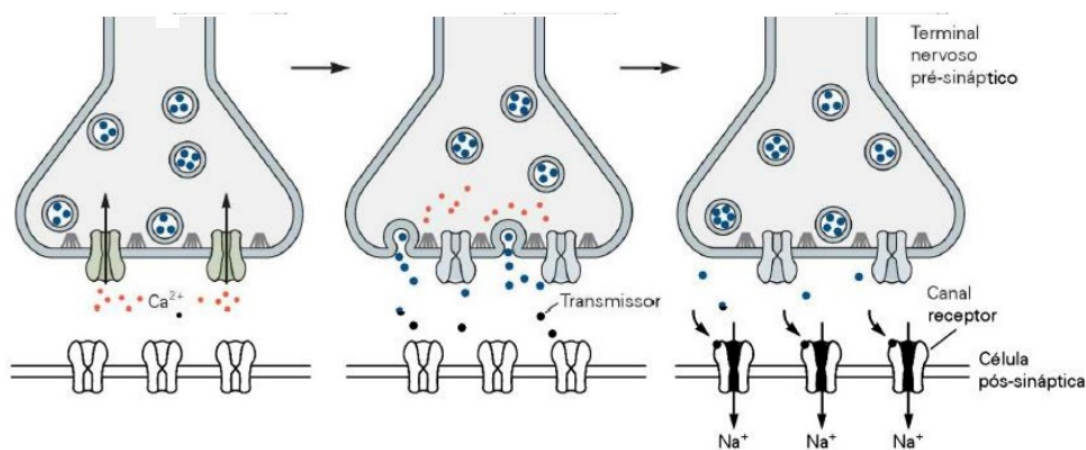
A transmissão de sinais elétricos entre os neurônios é o que proporciona a comunicação entre estas células, as chamadas sinapses. Em termos gerais, as células nervosas podem manter milhões de comunicações sinápticas, de forma a proporcionar uma complexa rede de interações (KANDEL et al., 2014).

As sinapses podem ser classificadas em: elétricas e químicas. Enquanto que nas sinapses químicas os neurônios comunicantes estão separados por uma lacuna denominada fenda sináptica (com aproximadamente 20 a 40 nm), as sinapses elétricas são realizadas através dos canais de junção comunicante (gap), de forma que o citoplasma das células mantêm-se interligados. Além disso, nas transmissões elétricas, a corrente iônica é o principal agente transmissor, e de forma geralmente bidirecional. Em contrapartida, nas sinapses químicas, que caracteriza a maioria das sinapses do sistema nervoso, a comunicação é unidirecional e envolve moléculas neurócrinas de ação rápida, denominadas neurotransmissores (KANDEL et al., 2014; SILVERTHORN et al., 2017).

Nas sinapses químicas, após a informação ser recebida na forma de um potencial de ação, o neurônio pré-sináptico libera neurotransmissores armazenados em vesículas. Canais de cálcio dependentes de voltagem são abertos, o que causa a liberação de neurotransmissores por meio da exocitose das vesículas (SUDHOF, 2012). Esse processo é ilustrado na Figura 4.

O neurotransmissor irá atuar em um espaço extracelular, interagindo com proteínas receptoras do neurônio pós-sináptico. A partir desta interação, os neurotransmissores têm a capacidade de abrir ou fechar os canais iônicos, de modo a alterar a permeabilidade da membrana a íons. Dessa forma, alterações no potencial de membrana da célula ocorrerão,

Figura 4: Representação de uma sinapse química



Fonte: Kandel et al. (2014)

o que desencadeará um sinal elétrico que influencia proteínas sensíveis à voltagem. Este processo pode resultar em excitação ou inibição da célula receptora, de forma a dar continuidade ao impulso ou diminuir a probabilidade de ocorrência (KANDEL et al., 2014; SILVERTHORN et al., 2017).

Um exemplo deste processo é o que ocorre com os canais iônicos sensíveis à acetilcolina dos músculos esqueléticos. Quando os receptores desses canais se ligam à acetilcolina, os canais se abrem, permitindo o fluxo de íons Na^+ e K^+ , resultando em despolarização celular e subsequente contração muscular (SILVERTHORN et al., 2017).

1.3 Neuroplasticidade

A capacidade do sistema nervoso de modificar sua estrutura e função devido a padrões de experiência é denominada neuroplasticidade ou plasticidade neural (HAASE; LACERDA, 2004). Neste processo dinâmico, novas conexões neurais são feitas, de modo a modificar as já existentes ou redistribuí-las.

Através da neuroreabilitação, alguns casos clínicos comprovam a recuperação do sistema nervoso após lesões. Isso se deve à integração entre a ciência comportamental e a neurociência, que buscam novas abordagens para melhorias de habilidades comportamentais, perceptivas e cognitivas após dano neurológico (TAUB; USWATTE; ELBERT, 2002).

Alguns trabalhos buscam utilizar a plasticidade neural como aliada na reabilitação de pacientes com condições neurológicas. No caso de pacientes de AVC, a realização

de exercícios focados na reabilitação promovem o recrutamento de neurônios próximos à lesão, de modo a contribuir para o suprimento e possível inervação do músculo parético do hemicorpo afetado (RAMOS; SILVA, 2023).

Em outras aplicações, como na educação, algumas técnicas favorecem a adaptação curricular para crianças com deficiência intelectual, de modo a favorecer o desenvolvimento de atividades de vida diária e escolares, como leitura, escrita e aritmética (FREITAS; RIBEIRO, 2019).

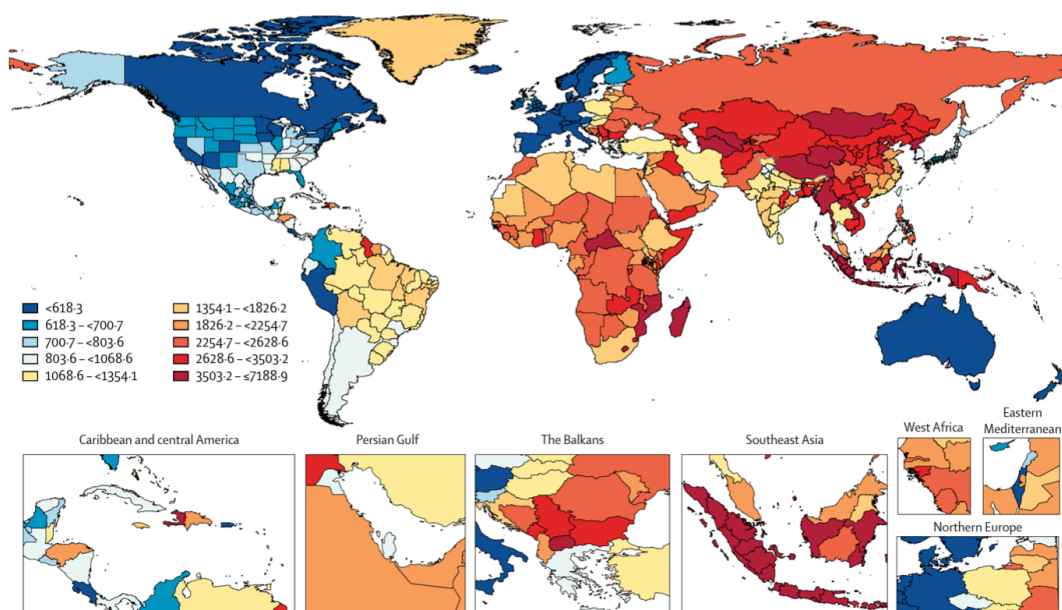
1.4 Acidente Vascular Cerebral

O Acidente Vascular Cerebral (AVC), também chamado de Acidente Vascular Encefálico, consiste no aparecimento súbito de déficits neurológicos ocasionados por problemas na irrigação sanguínea cerebral (como a falta de oxigênio e glicose).

Apesar de doenças cardíacas manterem-se como principal causa de morte em todo o mundo, dados do Global Burden of Diseases Study apontam que 6.55 milhões de mortes foram registradas em decorrência de AVC em 2019. Ao todo, foram 12.2 milhões de AVCs contabilizados, com prevalência de 101 milhões de casos. No Brasil, no mesmo ano, 295 mil casos foram registrados, resultando em 131 mil mortes e uma prevalência de 2.98 milhões (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2019). Ademais, quando comparado a países ricos, a taxa de mortalidade por AVC é 3.6 vezes maior em países mais pobres, como pode ser visto na Figura 5. Sob essa perspectiva, as regiões com baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) enfrentam não apenas os impactos das mudanças climáticas, poluição e corrupção, mas também a falta de um sistema de saúde eficiente que possa oferecer tratamento para esses indivíduos (United Nations, 2020). Essa situação torna a qualidade de vida dessas pessoas ainda mais difícil, limitando as chances de tratar as sequelas ocasionadas da ocorrência.

O AVC pode ser classificado em dois tipos principais: isquêmico e hemorrágico. O AVC do tipo isquêmico caracteriza-se pela obstrução de uma artéria cerebral, de forma a comprometer a oxigenação e o fornecimento de nutrientes às células nervosas. Por outro lado, o AVC do tipo hemorrágico ocorre quando um vaso sanguíneo cerebral é rompido, gerando hemorragias e danos às células nervosas (GUYTON; HALL, 2011). Segundo a Classificação Internacional de Doenças (sigla em inglês, ICD-10), os casos de AVC são categorizados de acordo com o hemisfério cerebral (esquerdo ou direito), lobo, distribuição

Figura 5: Distribuição geográfica da ocorrência de AVC (por 100 mil) no ano de 2019



Fonte: Institute for Health Metrics and Evaluation (2019)

arterial e etiologia (World Health Organization, 2019).

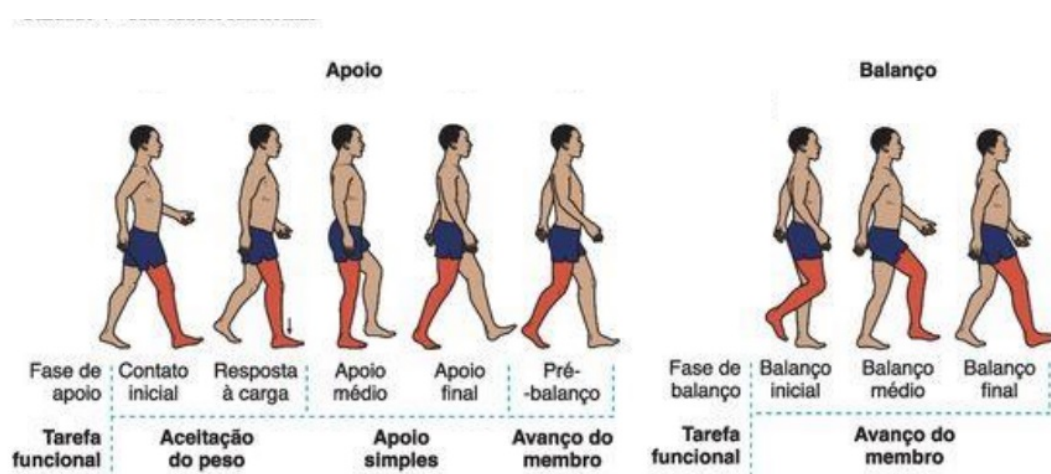
De acordo com o Ministério da Saúde, alguns fatores podem aumentar a probabilidade de ocorrência de um AVC. Dentre esses fatores, os mais frequentes são: hipertensão, diabetes tipo 2, colesterol alto, sobrepeso, obesidade, tabagismos, idade avançada, sedentarismo, histórico familiar e uso de drogas ilícitas. Além disso, o reconhecimento de alguns sinais podem ser determinantes para o diagnóstico de AVC, tais como: fraqueza ou formigamento em um lado do corpo, confusão mental, alteração na fala e compreensão, alterações na visão, dificuldade de equilíbrio, tontura e dor de cabeça súbita, intensa e sem causa aparente (Ministério da Saúde, 2023).

Sob o ponto de vista das atividades cotidianas, pacientes acometidos por AVC apresentam influências adversas significativas em relação a funcionalidades afetadas e mudanças na qualidade de vida. Estes indivíduos tendem a apresentar diversos graus de paralisia, assim como déficits sensoriais e comprometimentos cognitivos e visuais (VIEIRA, 2020). No que diz respeito ao campo psicossocial, o paciente apresenta sentimentos de isolamento e impotência, gerados por problemas de mobilidade e comunicação (MORALES et al., 2009).

1.5 A Marcha e as sequelas do AVC

A marcha é caracterizada pela maneira como um indivíduo caminha. O período entre o momento em que o calcanhar de um pé toca o solo até o momento que volta a tocá-lo, é a unidade fundamental da marcha, conhecida como ciclo da marcha (HOUGLUM; BERTOTI, 2014). Esse ciclo pode ser dividido em duas fases distintas: apoio (quando o pé está em contato com o solo) e balanço (quando o pé não está em contato com o solo), e cada uma dessas fases pode ser subdividida de acordo com a Figura 6.

Figura 6: Fases do ciclo da marcha



Fonte: Houglum e Bertoti (2014)

A fase de apoio desempenha um papel crucial na aceitação do peso, no apoio simples e no avanço do membro durante a caminhada. É neste momento que ocorre uma mudança lateral do centro de massa do corpo, concentrando-se no membro de suporte, o que afeta o equilíbrio do indivíduo. Além disso, o avanço do membro requer forças propulsoras que impulsionam o indivíduo para a frente, otimizando a absorção de força eficaz e o gasto energético eficiente durante a atividade. Por outro lado, na fase de balanço, ocorre a flexão das articulações do quadril, joelho e tornozelo, encurtando o membro e evitando o arraste no chão. Na fase final do balanço, o joelho se estende, permitindo que o membro seja enrijecido para promover estabilidade no contato inicial do calcanhar com o solo e iniciar um novo ciclo (HOUGLUM; BERTOTI, 2014).

A análise da marcha de um indivíduo envolve o exame de características temporais, como velocidade e cadência. A velocidade é a relação entre distância percorrida durante uma unidade de tempo. A cadência é a relação de passos numa unidade de tempo (ge-

ralmente dada em minutos). Numa caminhada, um indivíduo saudável possui velocidade média de marcha de 80m/min, de forma que valores maiores ou menores necessitam de maior esforço muscular e energia. Por outro lado, é típico em adultos saudáveis uma cadência de 100 - 120 passos/min para homens e 105 - 125 passos/min para mulheres (HOUGLUM; BERTOTI, 2014).

Pacientes com disfunções motoras apresentam assimetrias nas variáveis da passada e menor flexibilidade, resultando em uma caminhada mais lenta. Em casos de AVC, os indivíduos sofrem com déficits na força, tônus muscular, controle motor, mobilidade passiva e equilíbrio, impactando diretamente na eficiência da marcha. Como resultado, os movimentos são mal coordenados, devido à incapacidade de ativar os músculos de forma sequencial, e ocorrem problemas na distribuição uniforme do peso, diminuindo a quantidade de peso apoiada no membro parético. Além disso, a duração do ciclo da marcha é prolongada, resultando em diminuição da velocidade, cadência e comprimento da passada (ADAMS; PERRY, 1998).

O músculo tibial anterior, como principal dorsiflexor do tornozelo, é isometricamente ativado durante a fase de balanço da marcha para manter o tornozelo e os dedos afastados do solo, além de desacelerar a pronação do pé durante a resposta à carga (HOUGLUM; BERTOTI, 2014). Em pacientes com sequelas de AVC, o músculo tibial anterior é significativamente afetado. Dentre os problemas gerados, tem-se a marcha com pé equino, onde o contato inicial ocorre pela parte dianteira do pé, devido à flexão plantar persistente, em vez de pelo calcanhar. Isso resulta em prejuízos nos mecanismos de compensação musculares que mantêm o movimento suave, além do arrasto dos pés e da baixa eficiência energética durante a caminhada (ADAMS; PERRY, 1998).

1.6 Eletroestimulação Funcional

A eletroestimulação funcional (FES) é uma técnica de estimulação muscular que induz contrações musculares de forma controlada. Essa técnica é frequentemente usada na reabilitação muscular de pacientes que sofreram algum tipo de dano no sistema nervoso central (SNC) que, em conjunto com outros problemas de saúde, podem levar à diminuição do desempenho motor. Na FES, pulsos elétricos curtos geram um campo elétrico que desencadeia potenciais de ação nas vias neurais aferentes e eferentes, ou nas fibras musculares, quando aplicado sobre músculos (POPOVIĆ, 2014).

Trabalhos sobre o tema mostram que a FES pode beneficiar a marcha de pacientes pós-AVC e melhorar habilidades de alcance e agarre quando aplicado em membro superior, mesmo em pacientes com hemiparesia severa (ALON; LEVITT; MCCARTHY, 2007). Além disso, o aumento da força e o aprimoramento da habilidade motora de membros superiores e inferiores com diferentes disfunções são observados após a intervenção com estimulação elétrica funcional (BAO et al., 2020).

Nos membros inferiores, um dos principais benefícios são observados na marcha de pacientes que sofrem de pé equino, como é o caso de acidente vascular encefálico (ALON; LEVITT; MCCARTHY, 2007) e lesão da medula espinhal (KAPADIA et al., 2014). Nos membros superiores, observa-se uma melhora nas funções de alcançar e agarrar nos pacientes acometidos por hemiparesia severa e acidente vascular encefálico crônico (HEBERT et al., 2017) caracterizado por usualmente ser uma população com baixos níveis de recuperação em métodos terapêuticos convencionais.

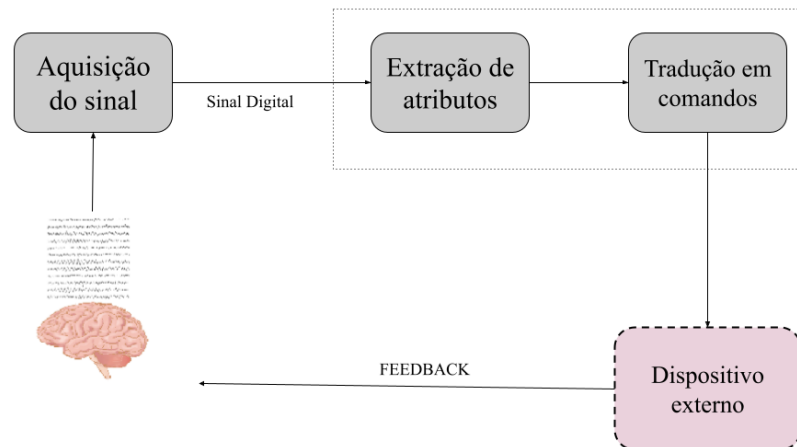
1.7 Interface Cérebro-Máquina

Uma interface cérebro-máquina (do inglês "brain-computer interface", BCI) é uma tecnologia que capta sinais elétricos produzidos pela atividade cerebral, que são captados através do couro cabeludo, na superfície cortical, ou de forma invasiva. As BCIs traduzem esses sinais em saídas e permitem a interação do usuário sem a participação de nervos periféricos e músculos (MCFARLAND; WOLPAW, 2011)

Um sistema BCI é composto por módulos de aquisição de sinais, extração de atributos, tradução de atributos e saída, como mostrado na Figura 7. Na etapa de aquisição de sinais, ocorre a medição de sinais cerebrais por meio de sensores, seguida da amplificação, digitalização e transmissão desses sinais para um computador. No ambiente computacional, o sinal digitalizado é analisado para extrair características relevantes associadas às intenções do paciente. Nesse processo, são considerados fatores como amplitude e latência do sinal, potência em frequências específicas e taxas de disparo neuronal. Uma vez extraídas as características pertinentes, esses dados são convertidos em comandos para controlar dispositivos externos. Por fim, o dispositivo externo fornece uma resposta ao usuário, concluindo o ciclo com um feedback (SHIH; KRUSIENSKI; WOLPAW, 2012).

Dentre as aplicações das BCIs, alguns exemplos de destaque são: controle de próteses e membros robóticos, possibilitando a movimentação de membros artificiais; reabilitação de

Figura 7: Esquemático de uma aplicação BCI



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

pacientes, acoplando a BCI à dispositivos médicos e ajudando na recuperação do controle muscular e melhora na mobilidade; Além da utilização em jogos e entretenimento (como controle de avatares e drones) que aprimora a experiência do usuário durante a utilização da tecnologia (LEBEDEV; NICOLELIS, 2017).

2 INTRODUÇÃO

Conforme os avanços na neurociência ocorrem, o aprimoramento do conhecimento acerca de métodos terapêuticos para reabilitação motora são cada vez mais necessários. Em vista disso, métodos de intervenção fisioterapêutica são utilizados para tratar sequelas em pacientes pós lesão neurológica, de forma a reabilitar funções prejudicadas e, consequentemente, oferecer independência a essas pessoas.

Pesquisadores de diferentes instituições têm investido na eletroestimulação de músculos e nervos como terapia de reabilitação. Esta técnica mostra-se benéfica não apenas para substituir, mas também para restaurar a função motora. Alguns estudos destacam a capacidade da estimulação elétrica funcional em promover alterações plásticas nos circuitos do SNC devido à ativação simultânea das vias sensoriais e motoras (BERGQUIST et al., 2011; RUSHTON, 2003; TAYLOR; MARTIN, 2009). Isso fortalece o fluxo de informação sensorial no SNC e nos neurônios motores, reforçando as estruturas de integração a nível medular e supraespinal, com o objetivo de reestabelecer o controle motor.

Por outro lado, a imaginação do movimento em conjunto com o tratamento é capaz de restaurar em algum grau a capacidade motora mesmo quando a disfunção ou lesão impede que o paciente movimente o membro (VUčković; WALLACE; ALLAN, 2015). Logo, a eficácia do tratamento depende da aplicação síncrona do estímulo com a intenção ou efetivo movimento voluntário, de forma que a evolução natural das terapias de FES é a sua integração. Sob essa perspectiva, alguns trabalhos mostram que a FES ativada por BCI é superior à terapia convencional, onde apenas o estímulo elétrico é aplicado (BIASIUCCI et al., 2018; CHEN et al., 2021; JANG; KIM; LEE, 2016).

Porém, mesmo com o cenário promissor, poucos trabalhos avaliaram a eficácia da terapia por eletroestimulação funcional integrada à interface cérebro-máquina em um estudo sistemático e controlado. A maioria das pesquisas são relatos de estudo piloto com um ou poucos pacientes e sem comparação com um grupo controle (FES convencional) (DALY et al., 2009; ALON; LEVITT; MCCARTHY, 2007; VUčković; WALLACE; ALLAN, 2015), além de aplicações da terapia na restauração de funções motoras de membros superiores (BIASIUCCI et al., 2018; CHEN et al., 2021; JANG; KIM; LEE, 2016). Em vista disso, estudos que visam comprovar a eficácia da terapia de FES condicionada por BCI, bem como sua aplicação em membros inferiores para reabilitar a marcha de pacientes

neurológicos, ainda são necessários.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a eficácia do tratamento da estimulação elétrica funcional condicionada por biomarcadores de intenção de movimento em membro inferior de pacientes pós acidente vascular cerebral em estágio crônico.

3.1 Objetivos específicos

Diante do objetivo geral do trabalho, os seguintes objetivos específicos foram abrangidos:

- Comparação entre o tratamento tradicional de estimulação elétrica funcional (FES) como reabilitação motora e a estimulação elétrica condicionada por biomarcadores de intenção de movimento (FES-BCI) através de um estudo sistematizado e controlado;
- Avaliar a eficácia da estimulação elétrica na reabilitação motora da dorsiflexão plantar;
- Avaliar a manutenção do aprendizado motor reabilitado comparando as duas formas de terapia aplicadas.

4 METODOLOGIA

O estudo realizado se enquadra em um desenho de pesquisa experimental longitudinal duplo-cego, de forma que o participante e o avaliador clínico não têm conhecimento de qual terapia foi empregada: FES convencional (controle CTR) ou FES condicionada por BCI (FES-BCI). Além disso, foram avaliadas variáveis quantitativas e qualitativas realizadas em três condições temporais: antes do início do tratamento, imediatamente após a finalização do tratamento, e após seis meses da finalização do tratamento.

4.1 Recrutamentos dos Pacientes

O recrutamento de pacientes foi realizado através de convite na lista de espera de Hospitais-escola de fisioterapia, como da Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Estácio de Sá, Universidade Católica de Pernambuco e Centro Universitário Ti-radentes de Pernambuco, além de pacientes da Clínica Reintegrar Saúde e por meio de indicações. Após a sinalização de interesse por parte do paciente, realizou-se uma breve entrevista com levantamento de dados biométricos, informações da lesão e outras possíveis disfunções para garantir que todos os critérios de inclusão e exclusão foram mantidos. Dessa forma, o recrutamento de pacientes foi sequencial de grupos de dois a três pacientes de forma que, ao término do tratamento, os grupos fossem renovados com novos participantes.

4.1.1 Critérios de inclusão

Como critérios de inclusão, o paciente recrutado deveria ser hemiparético por único acidente vascular encefálico; estar no estágio crônico da lesão, ou seja, ter mais de 6 meses após o trauma; apresentar espasticidade menor do que grau 4 de acordo com a escala de Ashworth modificada; ser capaz de caminhar uma distância de 10 metros; ter idade mínima de 18 anos; e apresentar visão boa ou corrigida.

4.1.2 Critérios de exclusão

Foram excluídos da amostra pacientes que, por questões cognitivas, a qual foi avaliada através do mini exame do estado mental, não foram capazes de executar tarefa motora

proposta, ou que não completaram o tratamento dentro do prazo de 1 mês.

4.1.3 Amostra de participantes

Foram recrutados 16 participantes, nos quais 14 atenderam os critérios de inclusão. Dois pacientes foram excluídos da análise, pois não completaram o tratamento. Ao final, ficaram 7 participantes por grupo. Detalhes demográficos dos pacientes estão listados na Tabela 2.

Baseado na declaração de Helsinque, o trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Pernambuco - CEP-UFPE (CAAE: 57913722.6.0000.5208) e todos os participantes assinaram Termo de Consentimento Livre e Esclarecido após serem informados sobre a pesquisa, antes da avaliação de elegibilidade.

Tabela 2: Detalhes demográficos dos participantes apresentados como média e desvio padrão

Variável	FES-BCI	Controle CTR	Total
Idade (anos)	53,29 (11,8)	56,29 (12,55)	53,33 (12,15)
Sexo (M/Total)	4/7	3/7	7/14
Altura (cm)	164,14 (7,76)	165,57 (12,23)	160,83 (10,24)
Peso (kg)	71,57 (15,87)	79,14 (20,02)	76,33 (11,03)
Tempo AVC (anos)	4 (4,12)	4 (1,83)	3,80 (1,91)
Mini-mental	26,14 (4,41)	26,57 (3,64)	25,33 (4,82)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.2 Equipe de Fisioterapia

O estudo foi desenvolvido na Clínica Reintegrar Saúde, localizada no bairro do Espinheiro na cidade de Recife (PE). Além disso, este projeto foi contemplado pelo edital Programa de Incentivo à Ciência Neurobots 2021.

Os fisioterapeutas que contribuíram neste trabalho foram divididos em duas equipes: tratamento e avaliação. Aos fisioterapeutas da equipe tratamento foram passadas as informações do grupo de cada paciente, sob a orientação de que não seria informado nem ao paciente nem à equipe responsável pelas avaliações clínicas o grupo de tratamento que foi realizado. Por outro lado, o profissional responsável pelas avaliações clínicas, em nenhum momento foi informado o tipo de tratamento que o avaliado recebeu. Dessa forma,

foi possível manter o estudo com a configuração duplo-cego, sem que o conhecimento sobre o grupo influenciasse o objeto de estudo (o paciente) nem o avaliador.

4.3 Testes Clínicos

Foi analisada a eletromiografia (EMG800-8, EMG System, Brasil) do músculo tibial anterior durante sua máxima contração, de forma a avaliar o aumento no recrutamento de unidades motoras e a força aplicada. Dessa forma, a curva do sinal eletromiográfico foi avaliada através do cálculo do valor eficaz (raiz do valor quadrático médio) e filtrado a 4 Hz, usando janela deslizante de 250 ms. Por fim, foi determinado o valor máximo desse sinal (FARINA; MERLETTI; ENOKA, 2014).

Para análise da evolução dos pacientes, testes clínicos foram utilizados com o propósito de adotar uma abordagem objetiva. Essa metodologia permite uma avaliação precisa do progresso, de forma a identificar quaisquer mudanças associadas ao tratamento e, ao mesmo tempo, servir como indicadores de mobilidade motora dos pacientes.

Neste contexto, foram analisados os ângulos de amplitude de movimento articular, velocidade e cadência da marcha, pontuação da Escala de Barthel, teste Timed Up and Go (TUG) e a pontuação da escala modificada de Fugl Meyer para membros inferiores.

A avaliação da amplitude de movimento do tornozelo serviu como base para análise de fatores como encurtamento de cápsula articular, ligamentos e tecidos moles, anormalidades articulares e ósseas, além de dor e fraqueza muscular (SULLIVAN; SCHMITZ; FULK, 2017).

A escala de Barthel (ou Índice de Barthel) foi desenvolvida com o objetivo de avaliar os problemas referentes às atividades cotidianas de pacientes com problemas crônicos, mobilidade reduzida e idade avançada (MAHONEY; BARTHEL, 1965). A escala contém dez perguntas referentes às atividades diárias de acordo com o tempo ou assistência necessária do paciente. As perguntas avaliam questões referentes à alimentação, transferências (da cama para cadeira e vice-versa), realização de atividades de higiene pessoal, cuidados pessoais, utilização do banheiro, marcha e continências. Cada uma das perguntas é avaliada com uma pontuação, onde a soma total varia de zero a dez (QUINN; LANGHORNE; STOTT, 2011).

O teste Timed Up and Go (TUG) é realizado para avaliar o tempo (em segundos) que um indivíduo leva para levantar-se de uma cadeira, andar uma distância de 3 metros,

virar, andar mais 3 metros na volta e sentar-se novamente. Este teste tem o objetivo de analisar a mobilidade e o equilíbrio funcional do paciente, de forma a avaliar os fatores associados à queda (PODSIADLO; RICHARDSON, 1991). Este teste foi repetido duas vezes, e o valor médio de tempo foi adotado.

A avaliação da velocidade e cadência da marcha consistiu em medir o tempo e o número de passos necessários para que o paciente percorresse três metros, começando e terminando o teste em pé. Esse teste foi repetido duas vezes, e os valores médios de velocidade e cadência foram utilizados.

A avaliação de Desempenho Físico de Fugl-Meyer (FUGM) foi desenvolvida como um instrumento de avaliação padronizado para medição de desempenho motor de pacientes com lesões neurológicas (FUGL-MEYER et al., 1975). O método é amplamente utilizado na fisioterapia por se tratar de um exame clínico viável e eficiente, além de ter sido amplamente testado em pacientes de AVC (GLADSTONE; DANELLS; BLACK, 2002). Neste trabalho, foi realizado apenas o teste de FUGM para membros inferiores. A FUGM é utilizada para estimar cinco dimensões de comprometimento físico, como movimento articular, dor, sensibilidade, comprometimento da extremidade superior ou inferior, e equilíbrio (CACHO; MELO; OLIVEIRA, 2019), sendo eficaz na quantificação de desempenho motor, sem desconsiderar a que análise qualitativa dos casos (SENKIIIO et al., 2005).

Por fim, todas as variáveis dependentes foram avaliadas através da análise de variância mista de dois fatores (mANOVA), adotando-se o tempo como medida repetida do lado longitudinal (pré e imediatamente após tratamento) e o protocolo de estimulação (controle CTR e FES-BCI) o fator independente.

4.4 Protocolo de Estimulação

Os participantes receberam dez sessões de fisioterapia (dentro de um mês), que consistiam em 15 minutos de mobilização dos nervos fibular e ciático, que é utilizado na fisioterapia para diminuição da dor, aumento da força muscular e amplitude de movimento (BRANCO, 2020), seguidos pelo protocolo de estimulação elétrica no músculo tibial anterior.

Após a mobilização, os pacientes foram posicionados sentados confortavelmente para a aplicação do estímulo. Foram utilizados suportes abaixo da região da fossa poplíteia,

enquanto o pé permaneceu livre para facilitar a dorsiflexão.

Métodos de eletroencefalografia (EEG) foram utilizados para o controle da do FES. Todos os pacientes usaram uma touca de neoprene para EEG e seis eletrodos posicionados nas regiões cz, fcz, cpz, fpl, afz e fp2.

O protocolo de estimulação adotado pelo grupo submetido ao FES-BCI consistiu na tentativa voluntária de realizar a dorsiflexão. O ciclo de estimulação foi composto por 4 blocos sucessivos: Relaxar (12 segundos), Preparar (4 segundos), Pensar (8 segundos) e Mover (8 segundos).

Por meio da identificação da dessincronização da banda alfa a partir dos sinais eletroencefalográficos (EEG), a intenção de movimento foi capturada e o estímulo foi iniciado. Em um intervalo de 8 segundos, durante o bloco Pensar, sempre que uma dessincronização era capturada por mais de 3 segundos, o estímulo era ativado por 1 segundo. Ou seja, se durante o bloco o paciente mantivesse um padrão de ativação cortical equivalente a imagética motora por 3 segundos a eletroestimulação era ativada. A estimulação era prolongada caso o padrão de dessincronização se mantivesse por 4 ou mais segundos, de forma que o estímulo se prolongasse pela duração equivalente.

Posteriormente no bloco Mover, os pacientes recebiam um período adicional de 8 segundos de estímulo, independente da presença de intenção de movimento, mas ainda incentivados a realizá-lo. A estimulação independente da imagética motora era ativada automaticamente uma vez a cada dois segundos, de forma que ocorriam quatro vezes no bloco correspondente.

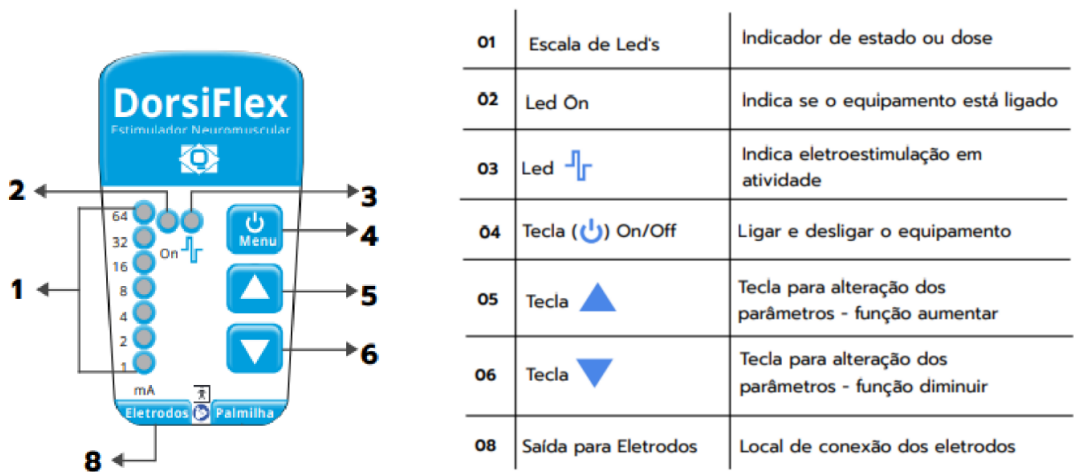
Após o período de estimulação, um intervalo de descanso de 16 segundos era realizado (tempo correspondente ao bloco Relaxar e Preparar) e esse ciclo se repetia durante 35 minutos. Por outro lado, os pacientes no grupo controle foram instruídos a relaxar enquanto trens de estimulação de 5 segundos de duração eram aplicados. Após cada ciclo de estimulação, um intervalo de repouso de 10 segundos era realizado, e esse padrão era repetido ao longo de 30 minutos.

A localização e a intensidade da corrente elétrica (entre 10 e 25 mA) foram ajustadas para permitir que a estimulação induzisse a máxima dorsiflexão com o menor nível de desconforto. Além disso, todos utilizaram a touca de EEG, apesar de ativada apenas nos pacientes FES-BCI.

4.5 Especificações do equipamento

O equipamento utilizado na terapia foi o Exobots MI, desenvolvido pela Neurobots Pesquisa e Desenvolvimento Ltda e adquirido através do edital do Programa de Incentivo à Ciência (PIC - Neurobots). O dispositivo é conectado ao estimulador elétrico (Dorsiflex) e à touca de EEG. O Dorsiflex é um estimulador elétrico neuromuscular transcutâneo multifuncional que, através de eletrodos posicionados nos músculos responsáveis, controla a dorsiflexão do tornozelo e proporciona condicionamento muscular (NEUROBOTS, 2021). Na Figura 8 é mostrada a interface do usuário. Após ligar o equipamento, o usuário deve ajustar a corrente de estimulação nas teclas de alteração de parâmetros, onde o ajuste de intensidade de eletroestimulação ocorre em passos de 1mA.

Figura 8: Interface do usuário do Dorsiflex



Fonte: Neurobots (2021)

A touca de EEG é fixada no queixo do paciente. Para facilitar a captação de sinais cerebrais, gel é aplicado em todos os eletrodos. Além disso, para evitar anormalidades no sinal, o paciente é orientado a não tensionar os músculos faciais e deve estar longe de tomadas e aparelhos eletroeletrônicos que podem causar algum tipo de interferência.

No software do equipamento, quando utilizado o modo de eletroestimulação com BCI, o paciente passa por uma etapa de treinamento e logo em seguida inicia-se a terapia. Cada bloco (Relaxar, Preparar, Pensar e Mover) é instruído por uma voz que o conduz ao longo dos exercícios. Na tela do computador é exibida uma barra que indica se o paciente está relaxando ou pensando, como mostrado na Figura 9. Ao fim dos exercícios, uma síntese da

sessão é mostrada (Figura 10), contendo um mapa de calor mostrando as regiões do córtex motor que mais foram ativadas, as ativações do equipamento e pontuações alcançadas de imagética motora.

Figura 9: Interface do usuário durante realização dos exercícios



Fonte: Neurobots (2021)

Figura 10: Síntese da sessão após finalização dos exercícios



Fonte: Neurobots (2021)

Quando o modo sem BCI é utilizado, o Dorsiflex é ajustado no modo de condicionamento muscular, onde o ciclo de eletroestimulação é automático.

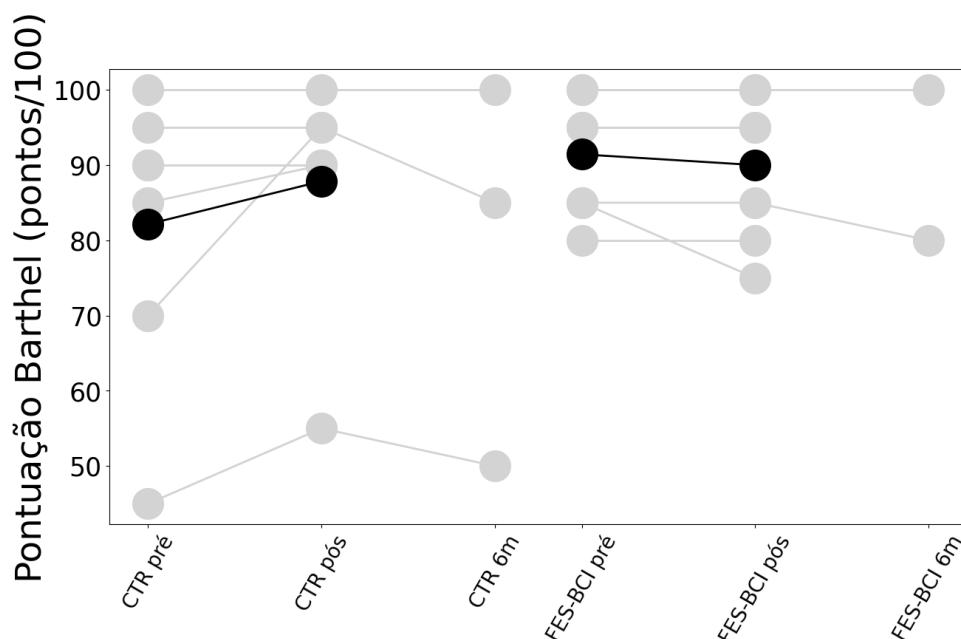
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados dos testes clínicos realizados com os pacientes. Os gráficos exibidos têm a finalidade de ilustrar a evolução dos grupos, comparando individualmente cada paciente (representado em cinza) e a média do grupo (em preto). Além disso, a comparação entre grupos, de forma a oferecer uma perspectiva mais clara sobre a eficácia do tratamento proposto. Todos os pacientes de ambos os grupos foram avaliados antes e imediatamente após o tratamento. Após 6 meses, 3 pacientes do grupo controle e 2 do grupo FES-BCI foram reavaliados. Os dados após 6 meses estão apresentados nesta seção, mas não entraram nas análises estatísticas.

Na Figura 11, são apresentadas as informações referentes à pontuação de Barthel com o propósito de avaliar possíveis mudanças na independência funcional em atividades cotidianas após o tratamento. De forma geral, os pacientes de ambos os grupos apresentaram melhora ou mantiveram a mesma avaliação comparando-se os resultados pré e pós tratamento. No caso dos pacientes que mantiveram a pontuação, é possível observar que esses dados já estavam bastante próximos dos melhores resultados esperados, o que indica que esses indivíduos já possuíam um certo grau de independência nas atividades rotineiras antes do tratamento. Os pacientes que aumentaram a pontuação após o tratamento inicialmente tinham uma pontuação mais baixa, o que sugere que a intervenção terapêutica tende a melhorar as atividades cotidianas de pacientes que eram mais dependentes anteriormente. No entanto, apenas um paciente do grupo FES-BCI apresentou uma diminuição na pontuação de Barthel. Isso ocorreu devido a um acidente doméstico durante o tratamento, o que explica a redução da sua pontuação na escala. Apesar disso, o paciente permaneceu no projeto, uma vez que o tipo de lesão não afetaria o objetivo do estudo, que se concentra no movimento de dorsiflexão. Sob o ponto de vista dos pacientes reavaliados após 6 meses do fim da fisioterapia, um paciente de cada grupo (que já possuíam a pontuação máxima de independência) permaneceram com os mesmos resultados. Os demais pacientes apresentaram uma piora do grau de independência, o que sugere que o tratamento oferece independência funcional logo após o tratamento mas que pacientes mais frágeis tendem a diminuí-la com o passar do tempo.

Na Figura 12, são apresentados os dados referentes à angulação do tornozelo. Esses dados fornecem informações essenciais sobre flexibilidade e mobilidade da articulação, o

Figura 11: Pontuação na escala de Barthel

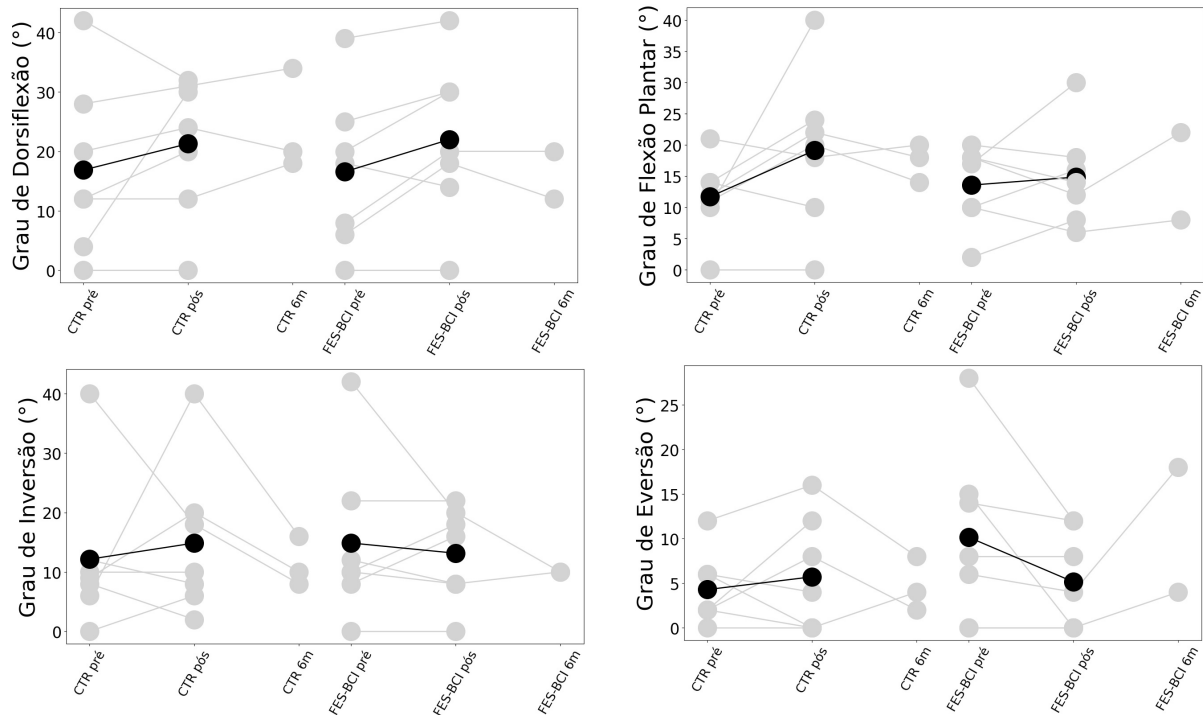


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

que é essencial para a locomoção. Do ponto de vista dos resultados pré e pós-tratamento, é possível notar melhora na dorsiflexão e flexão plantar de ambos os grupos, estabilidade dos resultados na inversão, independentemente do grupo, e diminuição no grau de eversão no grupo FES-BCI. No entanto, estatisticamente, não foram observadas melhoras no fator *tempo* na angulação da dorsiflexão ($p = 0.062$), da inversão ($p = 0.897$), da flexão plantar ($p = 0.117$) ou da eversão ($p = 0.319$), independentemente da interação *tempo* e *grupo* ($p = 0.838$, $p = 0.570$, $p = 0.257$ e $p = 0.086$, respectivamente). Com relação aos resultados após 6 meses, na dorsiflexão, a média do grupo controle mostrou um leve aumento na angulação, enquanto que no grupo FES-BCI, um dos pacientes avaliados teve uma pequena diminuição da angulação quando comparado ao resultado pós-tratamento. Esses resultados indicam que houve melhorias na dorsiflexão de ambos os grupos com pequenas mudanças nos resultados após 6 meses de tratamento. As mesmas conclusões podem ser feitas em relação à angulação da flexão plantar, que ambos os grupos apresentaram pequenas oscilações após os 6 meses da finalização do tratamento. Com relação à inversão, todos os pacientes avaliados diminuíram a angulação, exceto uma leve melhora de um dos pacientes FES-BCI, de forma que é possível concluir que o tratamento prejudicou este movimento, uma vez que não foi o foco das mobilizações e FES. Por fim, com relação à eversão, é possível notar que em ambos os grupos, os pacientes que não tinham

nenhum grau de angulação antes e depois do tratamento apresentaram melhora quando reavaliados após 6 meses, e pacientes que já possuíam algum grau de eversão no grupo controle diminuíram e no grupo FES-BCI aumentaram.

Figura 12: Resultados de amplitude de dorsiflexão, inversão, flexão plantar e eversão do tornozelo



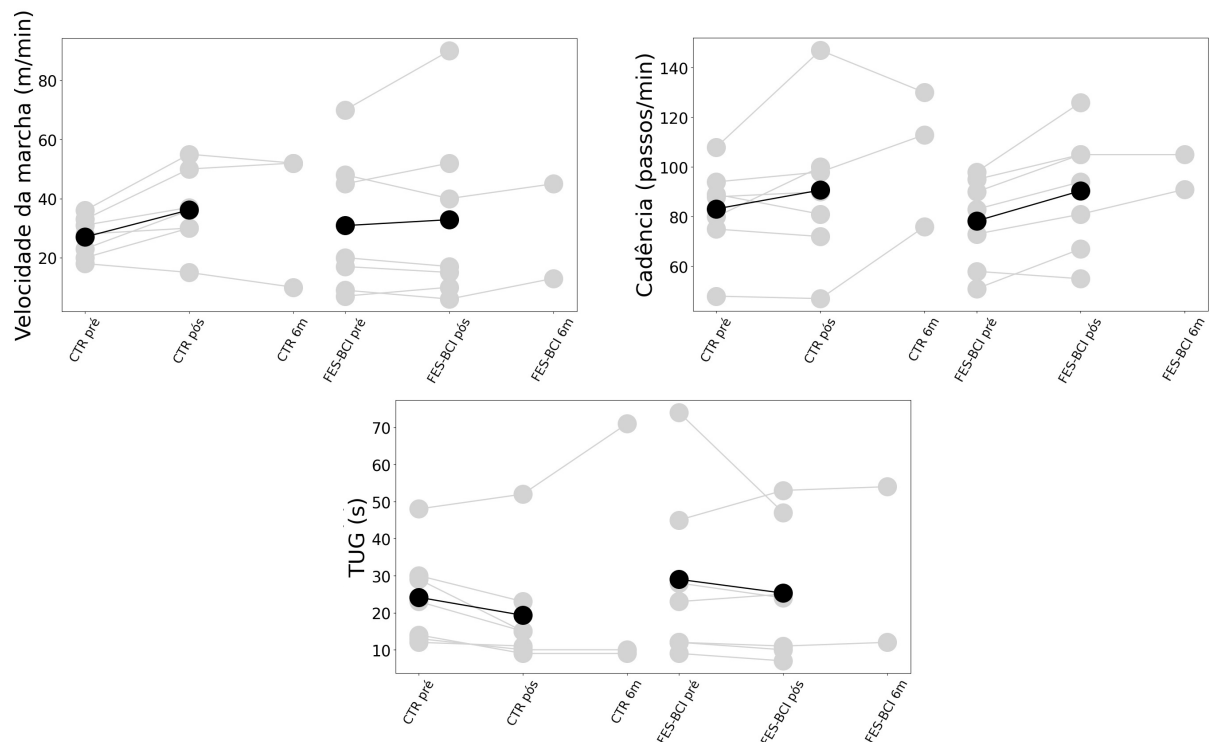
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Na Figura 13, apresentam-se os resultados relativos à marcha dos pacientes. Em relação aos resultados pré e pós-tratamento, é evidente que ambos os grupos obtiveram resultados semelhantes em todos os testes propostos. No que se refere à velocidade da marcha, o fator *tempo* apresentou resultado estatisticamente relevante ($p = 0.026$). Este dado demonstra um aumento na velocidade da marcha como resultado do tratamento, independentemente da interação *tempo* e *grupo* ($p = 0.157$). Além disso, os resultados referentes ao aumento da cadência também indicam aumento desses valores. Do ponto de vista estatístico, esta análise apresentou fator *tempo* relevante ($p = 0.017$), mas novamente sem diferenças na interação *tempo* e *grupo* ($p = 0.534$). Ambos os resultados convergem para a melhoria da marcha dos pacientes, independentemente do grupo de tratamento, indicando melhorias na eficiência do movimento, no esforço muscular e consumo energético. Por outro lado, embora o teste TUG aparente uma diminuição em ambos os grupos, não foram observados resultados estatisticamente significativos nem para o fator *tempo* ($p = 0.092$) nem para

interação *tempo* e *grupo* ($p = 0.811$). Dessa forma, é possível sugerir que não houve melhora no equilíbrio, pois apesar de ter sido observada melhora nas componentes da marcha, não foi observado efeito significativo no TUG.

Ao analisar os resultados após 6 meses, percebe-se que a velocidade da marcha dos pacientes avaliados teve poucas alterações, enquanto a cadência aumentou para a maioria. Esses valores indicam que houve uma adaptação na marcha. Além disso, esses resultados mostram que ocorreu uma diminuição na amplitude do movimento, dado que são necessários mais passos para manter a velocidade. Com relação ao TUG, apenas um paciente do grupo controle levou mais tempo para concluir o teste após 6 meses da finalização da fisioterapia, o que indica uma piora no equilíbrio.

Figura 13: Resultados do desempenho da marcha



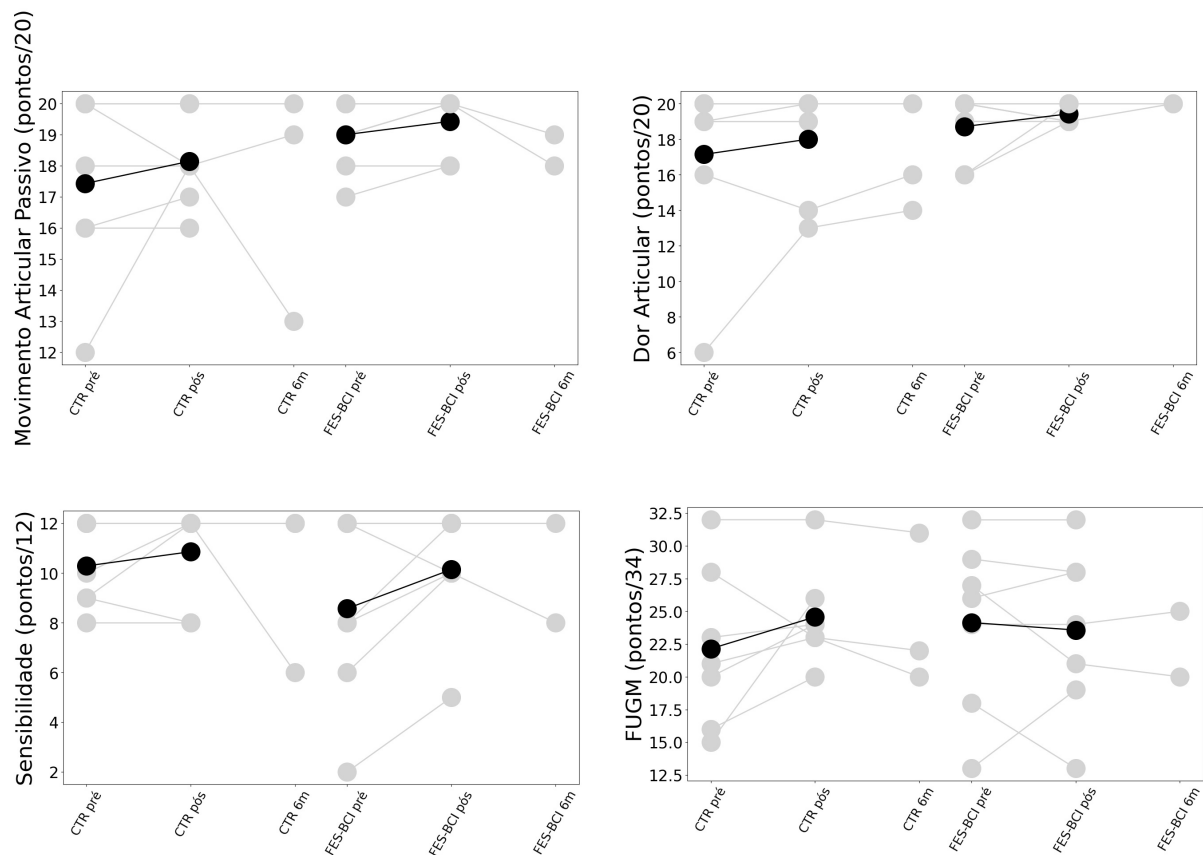
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Na Figura 14, são apresentadas as pontuações de função motora (observadas na Escala de Fugl-Meyer para membro inferior), dor articular, sensibilidade e movimento articular passivo, com o intuito de detectar possíveis mudanças motoras e sensoriais após a intervenção terapêutica. Nos gráficos, é possível observar singelas melhorias nos testes em ambos os grupos antes e após o tratamento. Com relação à Escala de Fugl-Meyer, não foram observados valores estatisticamente significativos no fator *tempo* ($p = 0.472$) e na

interação *tempo* e *grupo* ($p = 0.109$). A dor articular também não apresentou resultados estatísticos relevantes no fator *tempo* ($p = 0.254$) e na interação *tempo* e *grupo* ($p = 0.915$). As mesmas conclusões aplicam-se no fator *tempo* ($p = 0.057$) e na interação *tempo* e *grupo* ($p = 0.345$) da sensibilidade e no fator *tempo* ($p = 0.259$) e na interação *tempo* e *grupo* ($p = 0.772$) do movimento articular passivo. Pode-se inferir que, como o tratamento se concentrou na dorsiflexão, as habilidades motoras avaliadas nos testes mencionados podem não ter sido beneficiadas pelo tratamento. Além disso, a subjetividade do avaliador e do paciente pode afetar a sensibilidade dos testes, uma vez que diferentes percepções podem ocorrer em diferentes dias de avaliação, o que pode influenciar nas respostas. Por fim, existe a possibilidade de que a melhoria nos testes mencionados necessite de mais intervenções para se tornar mais expressiva.

Após 6 meses do tratamento, os resultados obtidos nos testes funcionais mostram que, novamente, os testes avaliados não indicaram mudanças motoras ou sensoriais relevantes.

Figura 14: Resultados testes funcionais

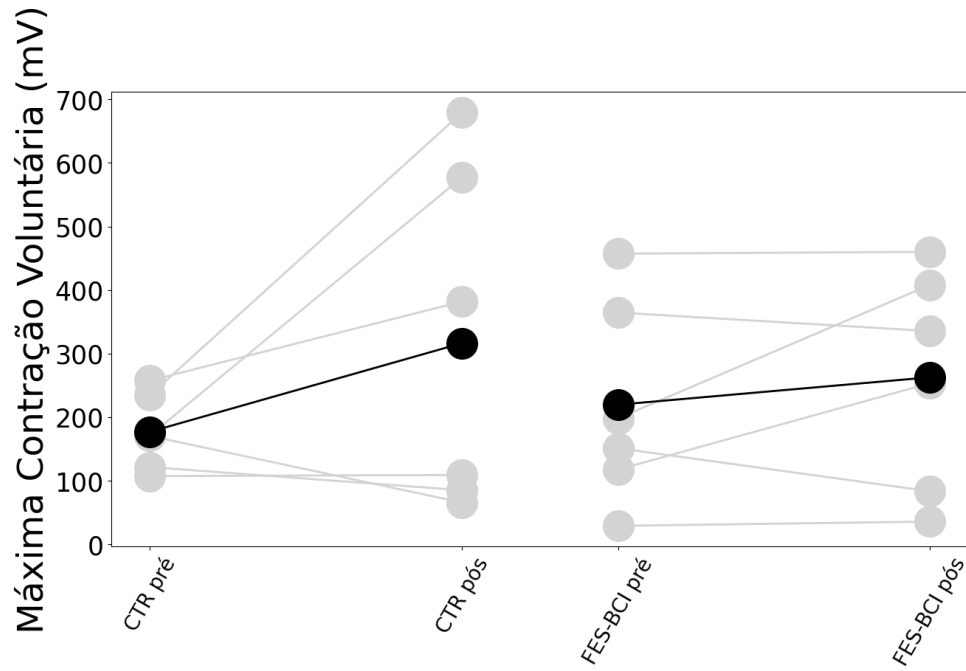


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Finalmente, na Figura 15 são apresentados os valores máximos do EMG durante a

contração voluntária do músculo tibial anterior. Apesar de aparentar um ligeiro aumento da amplitude do EMG após o tratamento, estatisticamente não foram obtidos resultados significativos nem no fator *tempo* ($p = 0.113$) nem a interação *tempo* e *grupo* ($p = 0.381$). Este resultado indica que após o tratamento não foram observados aumentos no recrutamento de unidades motoras e na força aplicada.

Figura 15: Resultado Máxima Contração Voluntária



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Por fim, é válido mencionar alguns relatos dos pacientes percebidos após o tratamento. Em ambos os grupos, houve relatos de melhora na marcha, percebidos através de maior segurança na caminhada, independência e velocidade. Além disso, no grupo FES-BCI, alguns pacientes relataram melhora em outras funções motoras, principalmente nos membros superiores, onde foram observados mais precisão na escrita e aumento da mobilidade em movimentos que, antes do tratamento, eram mais difíceis (como movimentos articulares do ombro e punho).

6 CONCLUSÃO

A eletroestimulação funcional é uma técnica amplamente utilizada na fisioterapia para reabilitar pacientes com lesões neurológicas, visando substituir ou restaurar a função motora.

Após o tratamento, observou-se que a eletroestimulação condicionada por atividade cerebral teve o mesmo efeito na reabilitação dos membros inferiores de pacientes crônicos de AVC quanto o tratamento convencional por FES, ambos apresentando melhorias significativas na marcha desses pacientes. Dessa forma, todos os objetivos propostos neste estudo foram entendidos como alcançados, e o tratamento proposto pode ser considerado um aliado na reabilitação motora, comparável ao tratamento convencional.

Por fim, espera-se a continuação deste trabalho por meio de estudos semelhantes que avaliem indicadores adicionais relevantes para a técnica proposta. Além disso, ressalta-se a importância deste trabalho para futuras pesquisas sobre o tema, dada a falta de estudos sistemáticos e controlados nessa área, com o objetivo de aprimorar as funções dos membros inferiores.

Finalmente, espera-se que este trabalho seja de grande valia para o futuro da engenharia biomédica e sirva de inspiração para investimento em pesquisa nas áreas da neuroengenharia e da reabilitação, uma vez que essa temática é de grande relevância para uma sociedade que busca oferecer melhores condições de saúde para todos os seus cidadãos.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J. M.; PERRY, J. *Análise da Marcha: Aplicação Clínica*. 1998. 147-173 p. 23
- ALON, G.; LEVITT, A. F.; MCCARTHY, P. A. Functional electrical stimulation enhancement of upper extremity functional recovery during stroke rehabilitation: A pilot study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, v. 21, p. 207–215, 5 2007. ISSN 1545-9683. 24, 26
- BAO, S. chun et al. Rewiring the lesioned brain: Electrical stimulation for post-stroke motor restoration. *Journal of Stroke*, v. 22, p. 47–63, 1 2020. ISSN 2287-6391. 24
- BERGQUIST, A. J. et al. Neuromuscular electrical stimulation: implications of the electrically evoked sensory volley. *European Journal of Applied Physiology*, v. 111, p. 2409–2426, 10 2011. ISSN 1439-6319. 26
- BIASIUCCI, A. et al. Brain-actuated functional electrical stimulation elicits lasting arm motor recovery after stroke. *Nature Communications*, v. 9, p. 2421, 6 2018. ISSN 2041-1723. 26
- BRANCO, A. Q. P. C. Efeitos da mobilização neural sobre a dor, força muscular e amplitude de movimento: revisão de literatura. *Saúde em Revista*, v. 18, p. 77, 2 2020. ISSN 2238-1244. 32
- CACHO, E. W. A.; MELO, F. R. L. V. de; OLIVEIRA, R. de. Avaliação da recuperação motora de pacientes hemiplégicos através do protocolo de desempenho físico fugl-meyer. *Revista Neurociências*, v. 12, p. 94–102, 1 2019. ISSN 1984-4905. 32
- CHEN, L. et al. Eeg-controlled functional electrical stimulation rehabilitation for chronic stroke: system design and clinical application. *Frontiers of Medicine*, v. 15, p. 740–749, 10 2021. ISSN 2095-0217. 26
- DALY, J. J. et al. Feasibility of a new application of noninvasive brain computer interface (bci): A case study of training for recovery of volitional motor control after stroke. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, v. 33, p. 203–211, 12 2009. ISSN 1557-0576. 26
- DRAKE, R. L.; VOGL, A. W.; MIRCHELL, A. W. M. *Gray's: Anatomy for Students*. 4. ed. [S.l.]: Elsevier, 2020. 13, 17
- FARINA, D.; MERLETTI, R.; ENOKA, R. M. The extraction of neural strategies from the surface emg: an update. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, v. 117, p. 1215–30, 12 2014. ISSN 1522-1601. 31
- FREITAS, P. M. de; RIBEIRO, D. O. Neuroplasticidade na educação e reabilitação cognitiva da deficiência intelectual. *Revista Educação Especial*, 6 2019. ISSN 1984-686X. 20
- FUGL-MEYER, A. R. et al. The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, v. 7, p. 13–31, 1975. ISSN 0036-5505. 32

- GLADSTONE, D. J.; DANELLS, C. J.; BLACK, S. E. The fugl-meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties. *Neurorehabilitation and neural repair*, v. 16, p. 232–40, 9 2002. ISSN 1545-9683. 32
- GUYTON, A. C.; HALL, M. E. *Tratado de Fisiologia Médica*. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 978-85-352-4980-4. 13, 20
- HAASE, V.; LACERDA, S. Neuroplasticidade, variação interindividual e recuperação funcional em neuropsicologia. *Temas psicol*, p. 28–42, 2004. 19
- HEBERT, D. A. et al. Examining a new functional electrical stimulation therapy with people with severe upper extremity hemiparesis and chronic stroke: A feasibility study. *British Journal of Occupational Therapy*, v. 80, p. 651–659, 11 2017. ISSN 0308-0226. 24
- HOUGLUM, P. A.; BERTOTI, D. B. *Cinesiologia Clínica de Brunnstrom*. 6. ed. [S.l.: s.n.], 2014. 22, 23
- Institute for Health Metrics and Evaluation. *Global Health Metrics: Stroke - Level 3 cause*. 2019. Disponível em: https://www.healthdata.org/results/gbd_summaries/2019/stroke-level-3-cause. 20, 21
- JANG, Y. Y.; KIM, T. H.; LEE, B. H. Effects of brain-computer interface-controlled functional electrical stimulation training on shoulder subluxation for patients with stroke: A randomized controlled trial. *Occupational Therapy International*, v. 23, p. 175–185, 6 2016. ISSN 09667903. 26
- KANDEL, E. R. et al. *Princípios da Neurociência*. [S.l.: s.n.], 2014. ISBN 9788580554069. 13, 14, 15, 17, 18, 19
- KAPADIA, N. et al. A randomized trial of functional electrical stimulation for walking in incomplete spinal cord injury: Effects on walking competency. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, v. 37, p. 511–524, 9 2014. ISSN 1079-0268. 24
- LEBEDEV, M. A.; NICOLELIS, M. A. L. Brain-machine interfaces: From basic science to neuroprostheses and neurorehabilitation. *Physiological Reviews*, v. 97, p. 767–837, 4 2017. ISSN 0031-9333. 25
- MACHADO, A.; HAERTEL, L. M. *Neuroanatomia funcional*. 3. ed. [S.l.]: Editora Atheneu, 2013. 15, 16
- MAHONEY, F. I.; BARTHEL, D. W. Functional evaluation: The barthel index. *Maryland state medical journal*, v. 14, p. 61–5, 2 1965. ISSN 0025-4363. 31
- MCFARLAND, D. J.; WOLPAW, J. R. Brain-computer interfaces for communication and control. *Communications of the ACM*, v. 54, p. 60–66, 5 2011. ISSN 0001-0782. 24
- Ministério da Saúde. *Acidente Vascular Cerebral*. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/avc>. 21
- MORAES, A. P. Q. O livro do cérebro. v. 1, 2009. 16
- MORALES, A. P. et al. Qualidade de vida pós-avc. *ComCiência [online]*, 2009. 21
- NEUROBOTS. *Neurobots: Manual do Usuário*. 4^a Edição. 2021. 34, 35

- NORTON, N. S. *Netter Atlas de Cabeça e Pescoço*. [S.l.: s.n.], 2012. ISBN 9788535256055. 16
- PODSIADLO, D.; RICHARDSON, S. The timed "up go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, v. 39, p. 142–8, 2 1991. ISSN 0002-8614. 32
- POPOVIĆ, D. B. Advances in functional electrical stimulation (fes). *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 24, p. 795–802, 12 2014. ISSN 10506411. 23
- PURVES, D. et al. *Neurociências*. 4. ed. [S.l.]: Artmed, 2010. 17, 18
- QUINN, T. J.; LANGHORNE, P.; STOTT, D. J. Barthel index for stroke trials: development, properties, and application. *Stroke*, v. 42, p. 1146–51, 4 2011. ISSN 1524-4628. 31
- RAMOS, J. M.; SILVA, S. S. da. Exercício físico e a neuroplasticidade encefálica em paciente pós-acidente vascular encefálico isquêmico: Um estudo de caso. *Revista da Associação Brasileira de Atividade Motora Adaptada*, v. 23, p. 211–232, 1 2023. ISSN 2674-8681. 20
- RUSHTON, D. Functional electrical stimulation and rehabilitation—an hypothesis. *Medical Engineering Physics*, v. 25, p. 75–78, 1 2003. ISSN 13504533. 26
- SENKHO, C. H. et al. A utilização da escala de fugal-meyer no estudo do desempenho funcional de membro superior no tratamento em grupo de indivíduos hemiparéticos pós-ave. 2005. 32
- SHIH, J. J.; KRUSIENSKI, D. J.; WOLPAW, J. R. Brain-computer interfaces in medicine. *Mayo Clinic proceedings*, v. 87, p. 268–79, 3 2012. ISSN 1942-5546. 24
- SILVERTHORN, D. U. et al. *Fisiologia Humana: Uma Abordagem Integrada*. [S.l.: s.n.], 2017. ISBN 8582714033. 13, 14, 15, 18, 19
- SUDHOF, T. The presynaptic active zone. *Neuron*, v. 75, p. 11–25, 7 2012. ISSN 08966273. 18
- SULLIVAN, S. B.; SCHMITZ, T. J.; FULK, G. D. *Fisioterapia: Avaliação e tratamento*. 5. ed. [S.l.: s.n.], 2017. 31
- TAUB, E.; USWATTE, G.; ELBERT, T. New treatments in neurorehabilitation founded on basic research. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 3, p. 228–236, 3 2002. ISSN 1471-003X. 19
- TAYLOR, J. L.; MARTIN, P. G. Voluntary motor output is altered by spike-timing-dependent changes in the human corticospinal pathway. *The Journal of Neuroscience*, v. 29, p. 11708–11716, 9 2009. ISSN 0270-6474. 26
- United Nations. *Human Development Report 2020*. [S.l.]: United Nations, 2020. ISBN 9789210055161. 20
- VIEIRA, I. P. Funcionalidade e qualidade de vida em pacientes pós acidente vascular cerebral. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, p. 17391–17403, 2020. ISSN 25258761. 21

VUčkOVIć, A.; WALLACE, L.; ALLAN, D. B. Hybrid brain-computer interface and functional electrical stimulation for sensorimotor training in participants with tetraplegia. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, v. 39, p. 3–14, 1 2015. ISSN 1557-0576. 26

World Health Organization. *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision*. 2019. Disponível em: <https://icd.who.int/browse10/2019/en>. 21

ANEXOS

Anexo A - Modelo de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado pelos

pacientes



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

CAAE: 57913722.6.0000.5208

(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa **“Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral para Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico”**, que está sob a responsabilidade do (a) pesquisador (a) **Carina Marconi Germer, com endereço em: Departamento de Engenharia Biomédica (UFPE), Av. da Arquitetura - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550. Telefone: 2126-7325, email: carina.germer@ufpe.br**

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

O (a) senhor (a) estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

➤ **DESCRIÇÃO DA PESQUISA:** O acidente vascular encefálico é uma patologia de alta incidência que geralmente provoca a redução da mobilidade motora aos portadores, como a dificuldade na locomoção e realização de atividades manuais. Uma das terapias empregadas para promover a restauração motora é a estimulação elétrica funcional. Nesta técnica, pulsos elétricos indolores induzem a contração muscular e promovem aumento da capacidade de controle e geração de força do músculo. Esta pesquisa tem o objetivo de avaliar a eficácia de uma terapia por estimulação elétrica funcional em membros inferiores em pacientes pós acidente vascular encefálico. Caso o(a) senhor(a) aceite participar, receberá um tratamento intensivo de fisioterapia na Clínica Reintegrar Saúde, Recife-PE.

➤ **PROCEDIMENTO:** Primeiramente, coletaremos de forma remota algumas informações relevantes suas (ex: idade, sexo, peso e altura) e do acidente encefálico vascular (ex: classificação hemorrágica ou isquêmica, tempo decorrido, e lado afetado). Caso todos os critérios de inclusão sejam atendidos, o(a) senhor(a) será convidado(a) a iniciar o tratamento fisioterapêutico. Uma avaliação física da sua capacidade de locomoção será realizada ao início e término do tratamento, bem como após seis meses do término do tratamento para acompanhamento da sua restauração motora. O tratamento consiste em três sessões por semana, durante quatro semanas seguidas, o que totalizará 12 sessões de 1h cada. O tratamento será realizado individualmente na Clínica Reintegrar Saúde. Fisioterapeutas experientes conduzirão a sessão que contará com 15 min de fisioterapia manipulativa seguidas por 30 min de estimulação elétrica. Serão posicionados dois eletrodos na superfície da sua pele sobre o músculo de interesse, e o(a) senhor(a) também vestirá uma touca para registro da sua atividade cerebral. É importante deixar claro que não será realizada estimulação elétrica na cabeça, apenas no músculo.

➤ **RISCOS:** Todos os equipamentos utilizados durante o tratamento são seguros. No entanto, alguns riscos podem ocorrer pela estimulação elétrica, como:

- Leve desconforto e irritação no local da estimulação, além de sensação de fadiga ou dormência. Os fisioterapeutas têm controle sobre o estímulo e podem readequar a intensidade para diminuir tais desconfortos. A estimulação elétrica é indolor, mas é inevitável que um formigamento seja sentido durante a aplicação. No entanto, acreditamos que a possibilidade de melhora motora se sobressai a este leve desconforto.
- Choque elétrico doloroso na retirada dos eletrodos. Este risco ocorre no mal uso do equipamento. No entanto, os fisioterapeutas têm experiência nesta técnica e seguirão com todos os protocolos de segurança para evitar este risco.
- Erupção alérgica na pele por debaixo ou em torno dos eletrodos em seguida a estimulação. Apesar de rara incidência, caso ocorra, o tratamento será imediatamente interrompido e o(a) senhor(a) será assessorado para tratamento dermatológico.
- Vazamento de dados pessoais. Tal risco será minimizado pelo compromisso de confidencialidade e sigilo assumido pela pesquisadora principal deste estudo.

➤ **BENEFÍCIOS:** Como benefício direto, o(a) senhor(a) receberá tratamento fisioterapêutico exclusivo no membro inferior afetado pelo acidente encefálico vascular. Espera-se que o(a) senhor(a) se beneficie do aumento da força muscular e capacidade de locomoção, proporcionando aumento da sua qualidade de vida. Como benefício indireto, o(a) senhor(a) contribuirá em pesquisas científicas que visam aprimoramento da técnica de estimulação elétrica como terapia de restauração de função motora, bem como contribui para maiores esclarecimentos quanto às sequelas do acidente encefálico vascular e seus possíveis tratamentos.

Esclarecemos que o(a) senhor(a) tem plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (testes clínicos e sinais eletrofisiológicos), ficarão armazenados em um computador pessoal, sob a responsabilidade da pesquisadora principal, no endereço Departamento de Engenharia Biomédica - UFPE, pelo período de mínimo 5 anos após o término da pesquisa.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extrajudicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, o (a) senhor (a) poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: **(Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cephumanos.ufpe@ufpe.br).**

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo “Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral para Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico”, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data _____

Assinatura do participante: _____

Impressão
digital
(opcional)

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome: _____	Nome: _____
Assinatura: _____	Assinatura: _____

Anexo B - Carta de Anuência UNIT



CLÍNICA ESCOLA DE FISIOTERAPIA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO TIRADENTES DE PERNAMBUCO

CARTA DE ANUÊNCIA

Declaramos para os devidos fins, que aceitaremos que a aluna Thifany Ketuli Silva de Souza recrute pacientes da lista de espera da Clínica Escola de Fisioterapia do Centro Universitário Tiradentes de Pernambuco Tiradentes – UNIT PE para seu projeto de pesquisa “Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral para Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico”, que está sob a orientação da Prof.^a Carina Marconi Germer, cujo objetivo é avaliação da eficácia do tratamento da estimulação elétrica funcional ativada por biomarcadores de intenção de movimento na reabilitação de membro inferior parético de pacientes pós acidente vascular encefálico.

Esta autorização está condicionada ao cumprimento da pesquisadora aos requisitos das Resoluções do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares, comprometendo-se utilizar os dados pessoais dos participantes da pesquisa, exclusivamente para os fins científicos, mantendo o sigilo e garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades.

Antes de iniciar a coleta de dados o/a pesquisador/a deverá apresentar a esta Instituição o Parecer Consubstanciado devidamente aprovado, emitido por Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

Recife, em 07 de junho de 2022


Prof. Msc. Ivanacha Maria Carneiro do Nascimento


Prof.^a Ivanacha Carneiro
Coord. do Curso de Fisioterapia

Anexo C - Carta de Anuência Estácio



CLÍNICA ESCOLA DE FISIOTERAPIA DA ESTÁCIO RECIFE

CARTA DE ANUÊNCIA

Declaramos para os devidos fins, que aceitaremos que a aluna Thifany Ketuli Silva de Souza recrute pacientes da lista de espera da Clínica Escola de Fisioterapia da Estácio para seu projeto de pesquisa “Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral para Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico”, que está sob a orientação da Prof.^a Carina Marconi Germer, cujo objetivo é avaliação da eficácia do tratamento da estimulação elétrica funcional ativada por biomarcadores de intenção de movimento na reabilitação de membro inferior parético de pacientes pós acidente vascular encefálico.

Esta autorização está condicionada ao cumprimento da pesquisadora aos requisitos das Resoluções do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares, comprometendo-se utilizar os dados pessoais dos participantes da pesquisa, exclusivamente para os fins científicos, mantendo o sigilo e garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades.

Antes de iniciar a coleta de dados o/a pesquisador/a deverá apresentar a esta Instituição o Parecer Consubstanciado devidamente aprovado, emitido por Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

Recife, 13 de junho de 2022.

Natália Feitoza do Nascimento.

Prof.^a Me. Natália Feitoza do Nascimento

Natália Feitoza do Nascimento
Fisioterapeuta
CREFITO: 172672-5

Anexo D - Carta de Anuência CEFisio UFPE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA
CLÍNICA ESCOLA DE FISIOTERAPIA

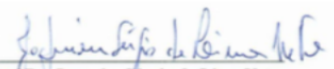
CARTA DE ANUÊNCIA

Declaramos para os devidos fins, que aceitaremos que a aluna Thifany Ketuli Silva de Souza recrute pacientes da lista de espera da Clínica Escola de Fisioterapia da UFPE para seu projeto de pesquisa “Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral para Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico”, que está sob a orientação da Prof.^a Carina Marconi Germer, cujo objetivo é avaliação da eficácia do tratamento da estimulação elétrica funcional ativada por biomarcadores de intenção de movimento na reabilitação de membro inferior parético de pacientes pós acidente vascular encefálico.

Esta autorização está condicionada ao cumprimento da pesquisadora aos requisitos das Resoluções do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares, comprometendo-se a utilizar os dados pessoais dos participantes da pesquisa, exclusivamente para os fins científicos, mantendo o sigilo e garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades.

Antes de iniciar a coleta de dados o/a pesquisador/a deverá apresentar a esta Instituição o Parecer Consubstanciado devidamente aprovado, emitido por Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

Recife, em 03 de Junho de 2022


Prof. Dr. Joaquim Sérgio de Lima Neto
Coordenador da Clínica Escola de Fisioterapia da UFPE

 Prof. Joaquim Sérgio de Lima Neto
Clínica Escola de Fisioterapia
Coordenador
SIAPE 1182670

Anexo E - Carta de Anuência UNICAP



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO LABORATÓRIOS DE FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL CORPORE SANO

CARTA DE ANUÊNCIA

Declaramos para os devidos fins, que aceitaremos que a aluna Thifany Ketuli Silva de Souza recrute pacientes da lista de espera dos Laboratórios de Fisioterapia e Terapia Ocupacional Corpore Sano da Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP para seu projeto de pesquisa “Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral para Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico”, que está sob a orientação da Prof.^a Carina Marconi Germer, cujo objetivo é a avaliação da eficácia do tratamento da estimulação elétrica funcional ativada por biomarcadores de intenção de movimento na reabilitação de membro inferior parético de pacientes pós acidente vascular encefálico.

Esta autorização está condicionada ao cumprimento da pesquisadora aos requisitos das Resoluções do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares, comprometendo-se utilizar os dados pessoais dos participantes da pesquisa, exclusivamente para os fins científicos, mantendo o sigilo e garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades.

Antes de iniciar a coleta de dados o/a pesquisador/a deverá apresentar a esta Instituição o Parecer Consubstanciado devidamente aprovado, emitido por Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

Recife, em 06 de junho de 2022

Prof. Valéria Conceição Passos de Carvalho

Coordenadora dos Laboratórios de Fisioterapia e Terapia Ocupacional Corpore Sano/
Curso de Fisioterapia/Universidade Católica de Pernambuco

Anexo F - Carta de Anuência Clínica Reintegrar Saúde



CLÍNICA REINTEGRAR SAÚDE

CARTA DE ANUÊNCIA

Declaramos para os devidos fins, que aceitaremos a pesquisadora Thifany Ketuli Silva de Souza a desenvolver o seu projeto de pesquisa “Estimulação Elétrica Funcional Condicionada por Atividade Cerebral para Reabilitação Motora de Acidente Vascular Encefálico”, que está sob a orientação da Prof.^a Carina Marconi Germer, cujo objetivo é avaliação da eficácia do tratamento da estimulação elétrica funcional ativada por biomarcadores de intenção de movimento na reabilitação de membro inferior parético de pacientes pós acidente vascular encefálico, na Clínica Reintegrar Saúde, Recife-PE.

Esta autorização está condicionada ao cumprimento da pesquisadora aos requisitos das Resoluções do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares, comprometendo-se utilizar os dados pessoais dos participantes da pesquisa, exclusivamente para os fins científicos, mantendo o sigilo e garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades.

Antes de iniciar a coleta de dados o/a pesquisador/a deverá apresentar a esta Instituição o Parecer Consubstanciado devidamente aprovado, emitido por Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

Recife, em 11 de abril de 2022

Renata Rodrigues Russo

Renata Estela
Fisioterapeuta
125230

Renata Estela de Melo Rodrigues Russo