

Análise dos Efeitos da Ativação Cerebral por Eletroencefalografia em Pacientes Pós-AVC Durante Imagética Motora, Estimulação Elétrica Funcional e Luva Robótica

Fernanda Vaz de Souza¹, Teodiano Freire Bastos Filho², Leticia Araujo Silva³, Sheida Mehrpour⁴, Jessica Paola Souza Lima⁵, Fernando Bermudes Cabral⁶

Resumo. Objetivo: analisar os efeitos da ativação cerebral por eletroencefalografia (EEG) em pacientes pós-AVC durante estimulações com Imagética Motora (IM), Estimulação Elétrica Funcional (FES) e Luva Robótica (LR). Metodologia: Foram analisados e comparados registros de EEG de dois (02) sujeitos pós-AVC, com acometimento de movimento de mão durante intervenções de IM, FES, LR e associação de FES+LR. Resultados: A análise do ritmo Mu demonstrou que as terapias com LR, FES e FES+LR foram capazes de reduzir a PR de forma significativa esse ritmo no voluntário 1 (V1), quando comparadas a terapia de IM. No voluntário 2 (V2), observamos o mesmo padrão. Após a análise do ritmo Beta Low, foi demonstrado que a terapia de FES+LR foi superior e significativa quando comparada a IM nos dois indivíduos estudados. A terapia apenas com FES também se mostrou significativa em V2 em comparação a IM. Já durante a análise da frequência Beta High, observou-se que a terapia de FES+LR foi superior e significativa quando comparada a IM em V1. Conclusões: Foram obtidos resultados relevantes utilizando as estimulações FES+LR associadas. Diante disso, conclui-se que a associação dessas terapias pode auxiliar no processo de reabilitação neuro-motora pós-AVC, possibilitando a elaboração de novos protocolos de neuro-reabilitação que sejam acessíveis e seguros.

Palavras-chave: AVC. Imagética Motora. FES. Luva Robótica.

DOI:10.21472/bjbs.v12n26-002

Submitted on:
12/28/2024

Accepted on:
12/31/2024

Published on:
01/07/2025



Open Access
Full Text Article



Analysis of the Effects of Brain Activation by Electroencephalography in Post-Stroke Patients During Motor Imagery, Functional Electrical Stimulation and Robotic Glove

Objective. To analyze the effects of brain activation by electroencephalography (EEG) in post-stroke patients during stimulation with Motor Imagery (MI), Functional Electrical Stimulation (FES) and Robotic Glove (RG). Methodology: EEG recordings of two (02) post-stroke subjects, with hand movement impairment during MI, FES, RG and FES+RG combination interventions, were analyzed and compared. Results: The analysis of the Mu rhythm demonstrated that therapies with RG, FES and FES+LR were able to significantly reduce the PR of this rhythm in volunteer 1 (V1), when compared to IMI therapy. Non-volunteer 2 (V2), we observed the same pattern. After analyzing the Beta Low rhythm, it was demonstrated that FES+RG therapy was superior and significant when compared to MI in both trained individuals. FES alone therapy was also found to be significant in V2 compared to MI. During

¹ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo, Brasil. E-mail: fernandavaz.souza@hotmail.com

² Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo, Brasil. E-mail: teodiano.bastos@ufes.br

³ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo, Brasil. E-mail: araujos.leticia@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo, Brasil. E-mail: sheyda.mehrpour@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo, Brasil. E-mail: jessicapaula_sl@hotmail.com

⁶ Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, Brasil. E-mail: cabralneuro@gmail.com

the Beta High frequency analysis, I observed that FES+RG therapy was superior and significant when compared to MI in V1. Conclusions: Relevant results were obtained using associated FES+RG stimulations. Therefore, it is concluded that the association of these therapies can assist in the process of post-stroke neuro-motor rehabilitation, enabling the development of new neuro-rehabilitation protocols that are accessible and safe.

Keywords: Stroke. Motor Imagery. FES. Robotic Glove.

Análisis de los Efectos de La Activación Cerebral Mediante Electroencefalografía en Pacientes Post-ACV Durante Imágenes Motoras, Estimulación Eléctrica Funcional y Guante Robótico

Resumen. Objetivo: analizar los efectos de la activación cerebral mediante electroencefalografía (EEG) en pacientes post-ictus durante la estimulación con Imágenes Motoras (IM), Estimulación Eléctrica Funcional (FES) y Guante Robótico (GR). Metodología: Se analizaron y compararon registros de EEG de dos (02) sujetos post-ictus, con deterioro del movimiento de la mano durante las intervenciones combinadas MI, FES, GR y FES+GR. Resultados: El análisis del ritmo Mu demostró que las terapias con GR, FES y FES+GR fueron capaces de reducir significativamente la PR de este ritmo en el voluntario 1 (V1), en comparación con la terapia IM. No voluntario 2 (V2), observamos el mismo patrón. Después de analizar el ritmo Beta Bajo, se demostró que la terapia FES+GR fue superior y significativa en comparación con IM en ambos individuos entrenados. También se encontró que la terapia sola con FES era significativa en V2 en comparación con IM. Durante el análisis Beta de alta frecuencia, observé que la terapia FES+GR fue superior y significativa en comparación con IM en V1. Conclusiones: Se obtuvieron resultados relevantes utilizando estimulaciones FES+GR asociadas. Por tanto, se concluye que la asociación de estas terapias puede ayudar en el proceso de rehabilitación neuromotora post-ictus, permitiendo el desarrollo de nuevos protocolos de neurorehabilitación que sean accesibles y seguros.

Palabras clave: Accidente Cerebrovascular. Imágenes Motoras. FES. Guante Robótico.

INTRODUÇÃO

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) acomete milhões de pessoas por ano e é considerada uma das principais causa de morte e incapacidade no mundo. As disfunções causadas por esta doença refletem grandes impactos tanto na saúde física e, mental como também na qualidade de vida dos indivíduos acometidos. Estudos estimam que cerca de 30% da população que sofre AVC desenvolve dependência funcional para suas atividades diárias [Baratella, 2019; Chou *et al.*, 2023; Santos, 2023].

A utilização de recursos tecnológicos de reabilitação é uma realidade cada vez mais presente nos protocolos de terapia de pessoas com disfunções motoras, tendo como principal objetivo tornar esse processo mais ágil e eficaz. Entre estas tecnologias, as Luvas Robóticas (LR) têm mostrado grande potencial para auxiliar indivíduos com distúrbios neuromotores ou deficiências físicas durante sua recapacitação. Essas luvas são dispositivos projetados com a finalidade de proporcionar *feedback* sensorial e motor, sendo capazes de auxiliar no ganho de força e mobilidade de mão e dedos, em especial

em pacientes pós-AVC, onde a reabilitação do membro superior é um grande desafio [Duan *et al.*, 2023; Golabichi *et al.*, 2022].

A utilização desse tipo de dispositivo robótico na reabilitação motora geralmente está vinculada a planos de tratamentos amplos e que incluem outras terapias associadas. A Estimulação Elétrica Funcional (ou *FES*, do inglês, *Functional Electrical Stimulation*), as terapias de Imagética Motora (IM) e as Interfaces Cérebro-Computador (ou *BCIs*, do inglês, *Brain-Computer Interfaces*) são exemplos de procedimentos e equipamentos que podem estar associados ao uso das LR durante o processo de recuperação física. Acredita-se que essa associação de terapias possa auxiliar no processo de neuroplasticidade e potencializar a estimulação do córtex motor cerebral [Frisoli *et al.*, 2023], o que poderá auxiliar significativamente na recuperação funcional e qualidade de vida dos indivíduos acometidos.

OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é analisar os efeitos da ativação cerebral por eletroencefalografia em pacientes pós-AVC durante estimulações com Imagética Motora (IM), Estimulação Elétrica Funcional (*FES*) e Luva Robótica (LR).

REFERENCIAL TEÓRICO

O AVC é uma condição médica grave e urgente que ocorre quando o suprimento de sangue para o cérebro é abruptamente interrompido, privando as células cerebrais de oxigênio e nutrientes. Essa interrupção pode ser causada por um coágulo sanguíneo que bloqueia uma artéria no cérebro ou por sangramento no cérebro devido ao rompimento de um vaso sanguíneo. Independente do fator causal que desencadeia o AVC, as consequências decorrentes da falta de aporte sanguíneo e oxigênio adequados ao cérebro, provocam alterações sensoriais, motoras e cognitivas, a depender da área e extensão da lesão, ocasionando uma série de complicações debilitantes, como paralisia, perda de memória, dificuldades de linguagem e até mesmo a morte [Unnithan *et al.*, 2024; Sveinsson *et al.*, 2014; Ly *et al.*, 2014; Rolim *et al.*, 2011].

O AVC pode ser classificado em dois tipos principais: AVC Isquêmico (AVCI) e AVC Hemorrágico (AVCH). O AVCI é o tipo mais frequente e é decorrente da obstrução do fluxo sanguíneo em uma determinada área do encéfalo. Essa interrupção pode ser causada por trombos ou êmbolos que, ao realizarem a obstrução do vaso sanguíneo, ocasionam um evento isquêmico cerebral. Esse evento inicia com a hipoperfusão cerebral súbita ou gradual e incluem insuficiência celular bioenergética,

excitotoxicidade, estresse oxidativo, disfunção da barreira hematoencefálica, lesão microvascular, ativação homeostática, inflamação e eventual necrose neuronal, glial, e de células endoteliais. As alterações decorrentes do AVCI dependem tanto da região cerebral afetada quanto do início dos sintomas e resposta a reperfusão cerebral [Saenger *et al.*, 2010; Yew *et al.*, 2015].

Por outro lado, o AVCH ocorre quando um vaso sanguíneo se rompe no cérebro, resultando em sangramento no tecido cerebral. Esse sangramento pode causar danos significativos às células cerebrais próximas à área afetada, bem como aumento da pressão intracraniana. O AVCH pode ser subclassificado em intracerebral, que ocorre no espaço cerebral parenquimatoso, ou subaracnóideo, quando a hemorragia ocorre fora do cérebro e é liberada no líquido cefalorraquidiano. As causas do AVCH podem ser diversas como, por exemplo, hipertensão arterial crônica não controlada, traumatismo craniano ou anormalidades nos vasos sanguíneos. O surgimento de sintomas pode ser imediato ou gradual, e as manifestações clínicas dependem do volume e da expansão do hematoma [Unnithan *et al.*, 2024].

Ambos os tipos de AVCs são extremamente graves e requerem intervenção médica imediata. Os sintomas comuns que podem indicar a ocorrência de um AVC incluem fraqueza e/ou parestesia (súbita que é o sintoma mais comum, que normalmente ocorre em um lado do corpo e pode afetar o rosto e os membros), disartria, afasia, dificuldade de compreensão e confusão mental, alterações de visão, como visão embaçada, perda de visão em um ou ambos os olhos, visão dupla ou dificuldade em ver em um lado do campo visual, tontura súbita ou perda de equilíbrio, cefaleia súbita e intensa, que são as dores de cabeça atípicas e geralmente acompanhada por vômitos ou perda de consciência [Ly *et al.*, 2014]. O diagnóstico precoce e o tratamento adequado podem reduzir as chances de complicações graves e aumentar as perspectivas de recuperação completa ou parcial [Yew *et al.*, 2015; Mead *et al.*, 2023].

O tratamento agudo do AVC envolve a rápida identificação dos sintomas e o encaminhamento imediato do indivíduo acometido para uma unidade especializada de saúde. Em geral, os protocolos de atendimento incluem a administração de terapias trombolíticas, quando indicado, e a monitorização contínua dos sinais vitais, porém, vale ressaltar, que cada tipo de AVC vai abordar um tratamento diferente. No AVCI, o objetivo principal é restabelecer o fluxo sanguíneo o mais rápido possível. Isso geralmente é alcançado por meio da administração de medicamentos trombolíticos, que ajudam a dissolver os coágulos e restaurar a circulação. Além disso, algumas vezes é necessário realizar procedimentos de desobstrução das artérias, como a trombectomia. Já o tratamento do AVCH é focado em controlar o sangramento e a pressão intracraniana. Em alguns casos de AVCH o tratamento pode envolver a realização de uma cirurgia para remover o sangue acumulado no cérebro ou reparar o vaso sanguíneo danificado [Herpich *et al.*, 2020; Hasan *et al.*, 2021].

A intervenção multidisciplinar é fundamental, com a participação de profissionais de saúde qualificados, a fim de garantir o manejo adequado do paciente durante a fase aguda do AVC. A

colaboração de vários profissionais de saúde, como médicos, enfermeiros, fisioterapeutas, fonoaudiólogos e psicólogos, que devem trabalhar juntos para fornecer um cuidado abrangente e personalizado ao paciente, é de suma importância e ajuda a maximizar os resultados do tratamento e a promover a reabilitação bem-sucedida após um AVC [Mead *et al.*, 2023].

A reabilitação pós-AVC é essencial para maximizar a recuperação e minimizar as sequelas do paciente. Os princípios gerais incluem a individualização do tratamento, garantindo que seja adaptado às necessidades específicas de cada pessoa. Além disso, é fundamental promover a retomada de atividades funcionais para que o paciente possa voltar a realizar as tarefas do dia a dia. O processo de reabilitação tem como objetivo principal restaurar as habilidades perdidas devido ao AVC, promovendo a recuperação funcional e a reintegração na sociedade. Para atingir esses objetivos, são utilizadas diversas técnicas e estratégias terapêuticas, como exercícios físicos, treinamento funcional, terapia da fala e reabilitação cognitiva. Essas terapias visam melhorar a mobilidade, a comunicação, as habilidades motoras finas e a cognição dos pacientes. Além disso, são oferecidos suportes e recursos auxiliares, como órteses e próteses, para facilitar a realização de atividades diárias e promover a independência do paciente [Leonardi *et al.*, 2021; Alessandro *et al.*, 2020].

A utilização de tecnologias assistivas vem ganhando cada vez mais espaço nos protocolos de reabilitação pós-AVC. Essas tecnologias desempenham um papel importante na promoção da independência funcional e na melhoria da qualidade de vida dos pacientes. Dentre os dispositivos e ferramentas disponíveis destacam-se os aparelhos de auxílio para locomoção, os exoesqueletos robóticos e as luvas robóticas, os quais podem auxiliar os pacientes na realização de exercícios terapêuticos e proporcionar um maior suporte e precisão nos movimentos. Também podem ser utilizados ambientes de realidade virtual nas terapias, simulando situações do mundo real. O uso da Estimulação Elétrica Funcional (do inglês, *Functional Electrical Stimulation – FES*), que auxilia na melhora da função motora, e as Interfaces Cérebro Computador (*BCI – do inglês Brain-Computer Interfaces*), que possibilitam que os pacientes realizem movimentos de seus membros inferiores ou superiores por meio da imagética motora através de dispositivos robóticos, também fazem parte das tecnologias assistivas de reabilitação [Malik *et al.*, 2019; Louie *et al.*, 2020; Mang *et al.*, 2023; Kristensen *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2023].

A utilização e associação dessas terapias e tecnologias possibilitam a criação de protocolos de reabilitação mais eficazes e capazes de melhorar a força muscular, coordenação motora e o engajamento dos pacientes na terapia, promovendo a reabilitação física e cognitiva de forma mais eficaz [Malik *et al.*, 2019].

A eletroencefalografia (EEG) é um dos componentes das *BCIs* e trata-se de um método utilizado para o registro da atividade elétrica cerebral. O sinal de EEG reflete a atividade elétrica do cérebro,

registrada através a voltagem gerada pelas correntes extracelulares que fluem durante a excitação sináptica dos dendritos de muitos neurônios piramidais ativados conjuntamente no córtex cerebral. Quando os neurônios são ativados conjuntamente, de forma sincronizada, isso gera padrões reconhecíveis de ondas cerebrais no EEG. Por outro lado, a atividade dessincronizada também contribui para o sinal EEG, refletindo a comunicação neural em regiões do cérebro que estão processando informações de forma independente. Assim, pode-se dizer que essa atividade é gerada pela atividade sincronizada e dessincronizada de neurônios corticais [Pfurtscheller *et al.*, 1999].

Os registros de sinais de EEG têm a função de mostrar o comportamento elétrico do cérebro durante o repouso ou em diferentes atividades. Os chamados potenciais espontâneos são os componentes básicos do sinal de EEG e estão presentes em toda faixa de frequência. Eles refletem as oscilações elétricas que ocorrem no cérebro durante a ausência de estímulos, refletindo a atividade neural contínua durante o relaxamento ou sono. Já o potencial relacionado a evento (do inglês, *Event Related Potential - ERP*) é a mudança do potencial eletroencefalográfico em resposta a um estímulo em particular. Quando esse estímulo é físico e externo, o *ERP* é então chamado de potencial evocado (do inglês, *Evoked Potential - EP*). O *ERP* também pode ser detectado durante uma intenção de movimento, sem que seja necessário um estímulo sensorial para que ele seja produzido. Nesse caso, o evento é denominado potencial relacionado a movimento (do inglês, *Movement-Related Potential - MRP*), que são potenciais gerados como resposta a uma intenção mental de realizar o movimento de um membro (como é o caso da Imagética Motora, de interesse para o nosso trabalho), e medido no córtex motor [Pfurtscheller *et al.*, 1999; Pfurtscheller, G., 2006].

Geralmente, os *ERPs* são detectados e caracterizados através da análise temporal no EEG. Entretanto, alguns *ERPs*, como por exemplo o *MRP*, são melhores detectados e caracterizados no EEG por meio da análise de frequência, devido a esses muitas vezes envolverem mudanças de energia de diferentes bandas de frequência durante a sua captação. Isto significa que esses *ERPs* representam, em termos gerais, o decremento ou incremento de energia de determinada banda de frequência. O decremento de energia de uma determinada banda de frequência é chamado Dessincronização Relacionada a Evento (do inglês *Event-Related Dessynchronization - ERD*) enquanto incremento é chamado Sincronização Relacionada a Evento (do inglês *Event-Related Synchronization - ERS*) [Pfurtscheller *et al.*, 1999; Pfurtscheller, G., 2006].

A EEG é uma ferramenta eficaz na identificação de padrões neurais associados à reabilitação pós-AVC, fornecendo informações valiosas para a implementação de estratégias terapêuticas personalizadas e monitoramento da evolução clínica desses pacientes. A utilização do EEG permite compreender melhor os processos cognitivos e neurofisiológicos envolvidos na recuperação pós-AVC, contribuindo para um tratamento mais eficiente e eficaz.

METODOLOGIA

Este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (parecer nº 70749023.0.0000.5542). Após a aprovação do CEP, o projeto foi submetido e aprovado pelo Instituto Capixaba de Ensino, Pesquisa e Inovação (ICEPi), e havendo sido autorizado o início das coletas dos dados no Centro de Reabilitação Física do Espírito Santo (CREFES). O termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi aplicado a todos os voluntários que participaram da pesquisa.

Amostra

O desenvolvimento deste projeto de pesquisa abrange fases envolvidas com imagética motora, reabilitação robótica e estimulação elétrica funcional. Dois indivíduos foram incluídos nesse estudo, sendo avaliados e seus dados comparados. Os critérios de inclusão de indivíduos para fazer parte desta pesquisa foram os seguintes: idade maior de 18 anos, condição clínica geral estável, que não possuam perturbação psiquiátrica ou doenças musculares degenerativas que possam comprometer sua comunicação e colaboração durante as avaliações e intervenções e que aceitem participar da pesquisa após assinatura do TCLE. Já os critérios de exclusão foram pessoas com disreflexia autonômica, úlceras de pressão, trombose, neuropatia periférica, afasia grave, problemas perceptivos graves, procedimentos cirúrgicos em membros superiores prévios, fraturas osteoporóticas nos últimos dois anos, osteoporose grave, epilepsia não controlada, e que não aceitem assinar o TCLE para os experimentos.

Equipamentos e Intervenções

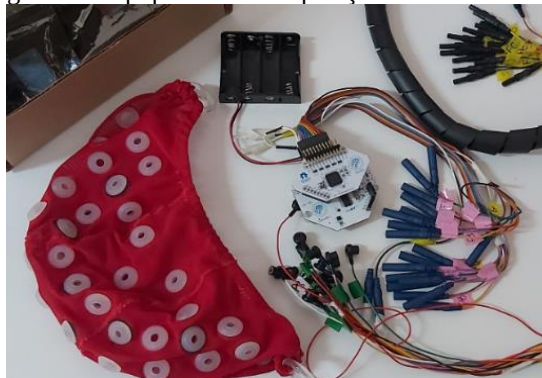
As avaliações e intervenções foram realizadas no CREFES, em Vila Velha - ES. Cada questionário e teste realizado durante o estudo foi feito por um único avaliador. Além disso, todos os aparelhos utilizados na coleta de dados foram periodicamente calibrados e constantemente esterilizados. Inicialmente, após o recrutamento de participantes da pesquisa e avaliação quanto aos critérios de inclusão e exclusão, foi aplicado um questionário para o preenchimento dos dados pessoais e clínicos dos participantes, constituído de número de identificação do participante, sexo, idade, profissão, escolaridade, tempo e tipo de AVC, além do Mini-Exame do Estado Mental - MEEM e aplicação da escala de Medida de Independência Funcional – MIF. O MEEM é um dos testes amplamente utilizados que, de forma isolada ou incorporado a instrumentos mais amplos, permite a avaliação da função cognitiva e rastreamento de quadros demenciais. Já a MIF é um instrumento de avaliação capaz de medir

o grau de independência das pessoas com deficiência para realização de tarefas motoras e cognitivas, estimando o grau de dificuldade ou limitações do voluntário [Lourenço *et al.*, 2006; Silva *et al.* 2012].

Em seguida foi feita uma avaliação física, onde foram coletados dados referentes a graduação da força muscular em membros superiores, a qual foi realizada seguindo a escala de graduação de força muscular do *Medical Research Council* (MRC) e avaliação da espasticidade pela escala de *Ashworth* [Latronico *et al.*, 2005; Harb *et al.*, 2023]. Para realização das avaliações e testes, o participante permaneceu sentado /confortavelmente com os membros superiores apoiados sobre uma superfície plana e estável, em ambiente próprio, com segurança e privacidade. Por se tratar de um estudo de avaliação, cada voluntário participou de apenas uma sessão, em um único encontro, com duração máxima de 2:00 h, incluindo preparação do participante, tempo de adaptação dos equipamentos e execução do protocolo.

A aplicação dos questionários, escalas, teste de força e TCLE foi realizada em um dia diferente da coleta de dados e anterior à mesma. No dia da coleta de dados, o voluntário foi conduzido até a sala de coletas do CREFES. O voluntário foi posicionado sentado confortavelmente e com os membros superiores apoiados. Em seguida foi iniciada a preparação para adaptação da touca de EEG para coleta dos dados. Foi realizada limpeza do couro cabeludo, região frontal do crânio e lobos auriculares com solução de água e álcool para minimizar artefatos e a reduzir impedância eletrodo-couro cabeludo durante a captação de EEG. O equipamento de coleta de EEG foi montado respeitando o sistema internacional 10-20 para o posicionamento de eletrodos sobre o escalpo, com eletrodos alocados em: FP1, FP2, FC3, FC4, C3, CZ, C4, PZ, A1 e A2, com os dois últimos colocados nas orelhas esquerda e direita, respectivamente, como referências. Os dados de EEG foram coletados utilizando o equipamento de aquisição *OpenBCI*, na versão *Cyton-Dayse* com frequência de 250 Hz de amostragem nos 08 canais utilizados. A duração da coleta de EEG foi de 03 minutos para cada intervenção realizada. As intervenções realizadas serão descritas a seguir. As figuras 1 e 2 mostram o equipamento de aquisição de sinais de EEG e a distribuição dos eletrodos de EEG na touca utilizada.

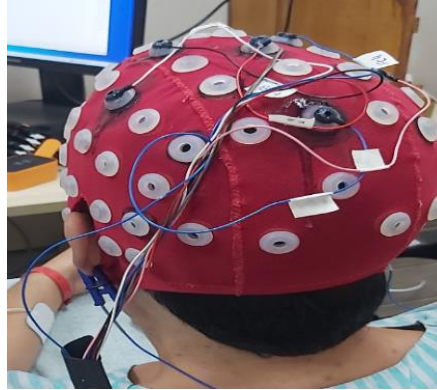
Figura 1 – Equipamento de aquisição de sinais de EEG



Legenda: Touca para coleta de EEG, placas *Cyton-Dayse* e cabos conectores.

Fonte: arquivos do estudo.

Figura 2 – Distribuição dos eletrodos de EEG



Legenda: Distribuição dos eletrodos utilizados para coleta de dados de EEG sobre o crânio

Fonte: Arquivos do estudo.

Após o posicionamento do voluntário, preparação e adaptação da touca de EEG foram iniciadas as intervenções. Inicialmente foi realizada uma coleta de sinais de EEG com Imagética Motora (IM). O voluntário foi orientado a imaginar o movimento de abrir e fechar a mão do hemisfério acometido pelo AVC durante 03 minutos. Na intervenção 02, a luva robótica - LR (modelo ML-115A de Gendoing, China), mostrada na Figura 3, foi adaptada ao membro acometido e foram coletados os sinais de EEG por 03 minutos. Durante todo o tempo da intervenção a luva realizava de forma passiva o movimento de abrir e fechar a mão. Para isso, foi utilizada a configuração de movimento F3 própria do software do equipamento.

Figura 3 – Luva Robótica



Fonte: arquivos do estudo.

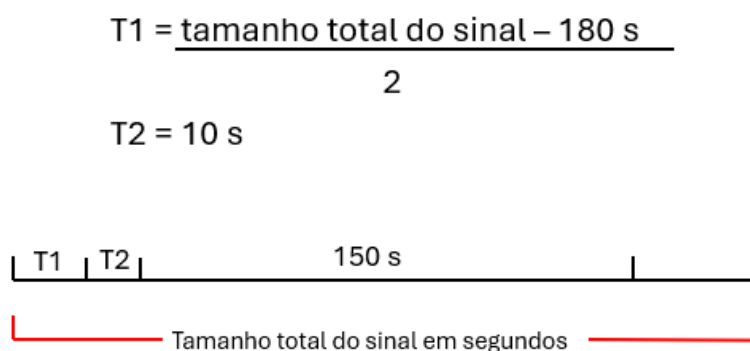
A intervenção 03 foi realizada utilizando o aparelho de Estimulação Elétrica Funcional - FES (Balengo NMES). O FES foi posicionado nas musculaturas flexoras do punho e dos dedos da mão e foi programado um tempo *ON* de 07 segundos e tempo *OFF* de 07 segundos. Durante o tempo *ON* do FES era realizada a contração muscular involuntária, gerando assim o fechamento da mão. Já durante o tempo *OFF* a corrente do FES era interrompida, gerando assim um relaxamento da musculatura e abertura da mão.

Por fim, na intervenção 04 foi realizada a associação dos equipamentos de Luva Robótica e FES, seguindo as mesmas configurações descritas anteriormente em cada intervenção isolada. Ao final de cada intervenção o voluntário descansou 05 minutos antes de iniciar a próxima intervenção.

Processamento de Dados e Análise Estatística

Todos os dados foram coletados e armazenados utilizando o software disponível para o dispositivo *OpenBCI*. O software *Matlab* foi utilizado para processamento dos dados adquiridos de EEG. Foram desenvolvidos algoritmos para *Matlab*, a fim de realizar os tratamentos dos dados, transformação do sinal para o domínio da frequência e a obtenção dos resultados para análise. Para investigar os efeitos corticais das intervenções utilizadas, foram analisados os padrões significativos de Dessincronização Relacionada a Eventos (ERD) na representação tempo-frequência dos sinais de EEG. Os sinais de EEG obtidos tiveram tempo mínimo 180 s, sendo que para análise dos sinais foram extraídos segmentos de 150 s para análise. Foi realizada a divisão do tempo máximo coletado em Tempo 1 (T1), que é a diferença entre 180 s e o tempo total do sinal dividido por 2, e Tempo 2 (T2), que é referente a 10 s, conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4– Tempos utilizados para análise dos sinais de EEG



Fonte: arquivos do estudo.

Para análise dos dados foi utilizado o teste de Friedman, com nível de significância ajustado de 95% ($p < 0,05$), ele foi escolhido por sua natureza não paramétrica, aplicabilidade a amostras relacionadas, tolerância a dados ordinais e robustez a *outliers*. O teste de comparações múltiplas de Dunn também foi utilizado, tendo o mesmo nível de significância. Foram realizadas comparações entre as intervenções aplicadas para o mesmo sujeito. Comparações *post hoc* utilizando a correção de Bonferroni também foram feitas para indicar o escore médio para diferentes condições.

RESULTADOS

Como citado anteriormente, dois voluntários pós-AVC, frequentadores do CREFES, participaram dos testes, sendo todos do sexo masculino. A Tabela 1 apresenta as características dos voluntários.

Tabela 1 – Características dos voluntários – Dados da pesquisa

VOLUNTÁRIO	IDADE	TEMPO DE AVC	TIPO DE AVC	LADO ACOMETIDO
V1	57 Anos	10 Meses	Hemorragico	Esquerdo
V2	28 Anos	22 Meses	Hemorragico	Esquerdo
MÉDIA	42,5 Anos	16 Meses		

Fonte: dados do estudo.

A amostra foi composta 100% por indivíduos do sexo masculino, com média de idade de 42,5 anos e de 16 meses de acometimento pós-AVC. O tipo de AVC da amostra estudada foi o hemorrágico e os voluntários tiveram acometimento do hemisfério esquerdo no pós-AVC.

Para avaliação cognitiva e motora dos voluntários da pesquisa, foram aplicados os testes MEEM, MIF, Escala de *Ashworth* (Tabela 2) e MRC (Tabela 3). A tabela 2 e 3 apresentam os resultados dos testes e avaliações aplicados.

Tabela 2 – Testes MEEM, MIF e Escala de *Ashworth*

VOLUNTÁRIO	MEEM	MIF	ESCALA DE <i>ASHWORTH</i>
V1	25 pontos	115 pontos	1
V2	24 pontos	68 pontos	1

Fonte: dados do estudo

O MEEM é um teste utilizado para avaliar a função cognitiva. Com base no seu score do teste, e após o ajuste da pontuação bruta pela escolaridade, o V1 e V2 apresentaram perda cognitiva leve. Com relação a MIF, V1 apresentou independência modificada. Já V2 apresentou necessidade de assistência moderada para a realização das tarefas avaliadas. A Escala de *Ashworth* é utilizada para avaliação da espasticidade do membro a ser estudado. Nesse estudo V1 e V2 apresentaram grau de espasticidade 1, onde não existe aumento do tônus muscular.

Tabela 3 – Testes de força muscular (MRC)

MOVIMENTO AVALIADO	V 1	V2
FLEXÃO DE PUNHO	2	3
EXTENSÃO DE PUNHO	1	2
FLEXÃO DE DEDOS	2	3
EXTENSÃO DE DEDOS	2	3

Fonte: dados do estudo.

A escala MRC (Tabela 3) foi utilizada para avaliar a força dos movimentos de flexão de punho, extensão de punho, flexão dos dedos e extensão dos dedos. Essa escala classifica de 0 a 5 o grau de força dos músculos avaliados, sendo o grau 0 ausência de contração muscular, grau 1 contração muscular visível sem indício de movimento, grau 02 movimento ativo dos membros com eliminação da gravidade, grau 03 movimento do membro contra a gravidade, grau 04 movimento do membro em relação a pelo menos alguma resistência imposta pelo examinador e grau 05 força muscular normal. Nesse estudo, V1 apresentou força muscular grau 01 para o movimento de extensão de punho e grau 02 para flexão de punho, flexão e extensão de dedos. Já V2 apresentou grau 02 para extensão de punho e grau 03 para flexão de punho, flexão e extensão de dedos.

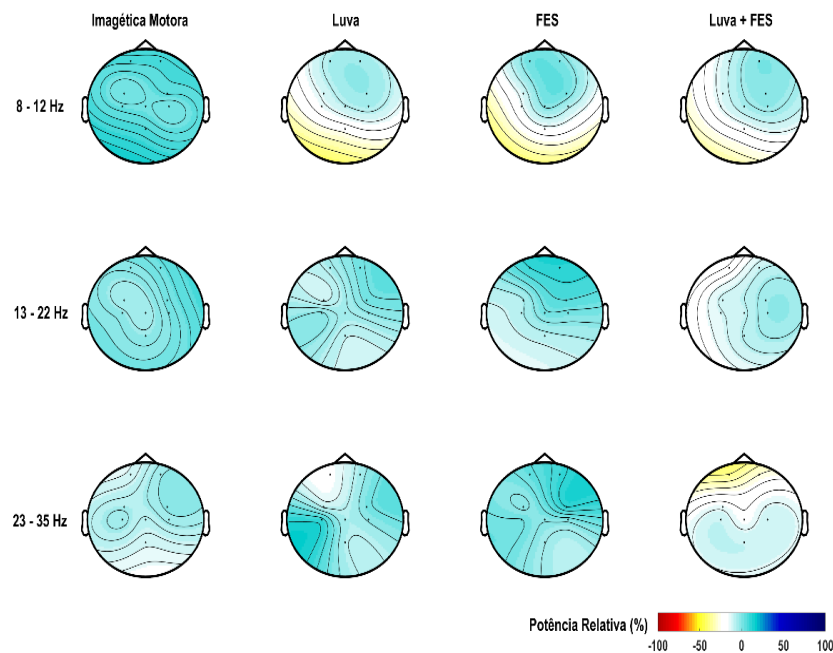
Após a análise estatísticas dos dados obtidos em cada estimulação, os resultados obtidos de cada paciente foram comparados para verificar qual estimulação foi capaz de produzir maior ativação cerebral. Os sinais cerebrais obtidos através do EEG foram traduzidos em frequências dos ritmos Mu (8-12 Hz), Beta Baixo (*Low Beta* - 13-22 Hz) e Beta Alto (*High Beta* - 23-30 Hz).

As quatro intervenções realizadas foram IM, LR, *FES* e *FES+LR*. Tais intervenções foram analisadas e comparadas entre si em cada um dos voluntários avaliados, de acordo com a ritmo estudado. A seguir são descritos os resultados obtidos para os voluntários V1 e V2, respectivamente.

Resultados da Análise de Dados do Voluntário 1

Na Figura 05 pode-se observar a representação da potência relativa da frequência de onda Mu, Beta *Low* e Beta *High*, respectivamente, no mapa cortical de V1 durante as intervenções realizadas.

Figura 5 – Mapa cortical obtido durante a análise dos ritmos Mu, Beta *Low* e Beta *High* em V1



Fonte: dados do estudo.

Legenda: representação gráfica dos dados obtidos na coleta de EEG durante a análise dos ritmos Mu, Beta *Low* e Beta *High* em V1.

Tabela 4 – Análise estatística da frequência Mu para V1

	IM	LR	FES	FES + LR
IM	1.000000	0.000261*	0.009009*	0.000865*
LR	0.000261*	1.000000	0.298640	0.749119
FES	0.009009*	0.298640	1.000000	0.471801
FES+LR	0.000865*	0.749119	0.471801	1.000000

Legenda: IM – Imagética Motora; LR – Luva Robótica; FES – Estimulação Elétrica Funcional. resultados da análise estatística pelo teste de Dunn após comparação entre as intervenções realizadas. Nível de significância P<0.05

Fonte: dados do estudo.

Tabela 5 – Análise estatística da frequência *Low* Beta para V1

	IM	LR	FES	FES + LR
IM	1.000000	0.324107	0.810446	0.003999*
LR	0.324107	1.000000	0.220235	0.058470
FES	0.810446	0.220235	1.000000	0.001820*
FES+LR	0.003999*	0.058470	0.001820*	1.000000

Legenda: Legenda: IM – Imagética Motora; LR – Luva Robótica; FES – Estimulação Elétrica Funcional. resultados da análise estatística pelo teste de Dunn após comparação entre as intervenções realizadas. Nível de significância P<0.05.

Fonte: dados do estudo.

Tabela 6 – Análise estatística da frequência *High Beta* para V1

	IM	LR	FES	FES + LR
IM	1.000000	0.575717	0.015302*	0.042826*
LR	0.575717	1.000000	0.062110	0.009736*
FES	0.015302*	0.062110	1.000000	0.000009*
FES+LR	0.042826*	0.009736*	0.000009	1.000000

Legenda: Legenda: IM – Imagética Motora; LR – Luva Robótica; FES – Estimulação Elétrica Funcional. resultados da análise estatística pelo teste de Dunn após comparação entre as intervenções realizadas. Nível de significância $P < 0.05$.

Fonte: dados do estudo.

De acordo com a Figura 5, ao analisar o ritmo Mu (frequência 8-12 Hz) observou-se uma diminuição importante da Potência Relativa (PR) dessa frequência nas intervenções com LR, FES e LR+FES quando comparadas a IM em todas as regiões cerebrais, especialmente sobre as regiões dos eletrodos de C3, CZ, C4 e PZ. A análise estatística pelo teste de Friedman confirma o resultado significativo dessas intervenções. De acordo com o teste de *post hoc* não houve diferença estatística ao comparar os resultados de LR, FES e LR+FES entre si (Tabela 4).

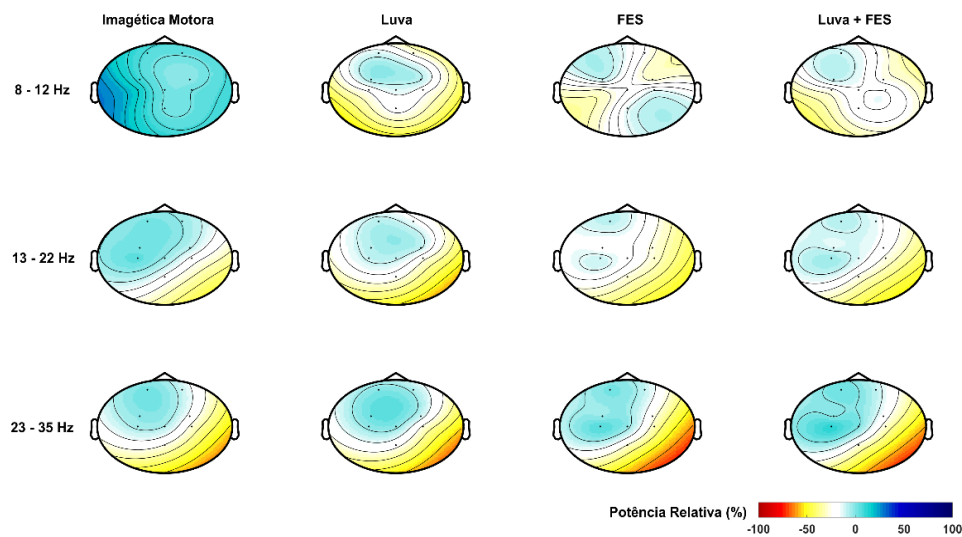
O mapa cortical obtido pela análise de *Low Beta* (frequência 13-22Hz) reflete um padrão de negatização da PR importante sobre todas as regiões cerebrais, além de resultados estatisticamente significativo da intervenção LR+FES em comparação com IM. Quando comparada com as demais estimulações observadas pelo mapa cortical, a intervenção LR+FES apresenta melhores resultados de redução da PR, entretanto, só se apresenta significativa em comparação com a estimulação com LR isoladamente de acordo com o teste de *post hoc* (Tabela 5).

A análise do ritmo *High Beta* demonstra redução importante da PR durante a intervenção LR+FES além de resultados significativos em comparação com as demais intervenções (Tabela 6).

Resultados da Análise de Dados do Voluntário 2

Na Figura 06 pode-se observar a representação da potência relativa da frequência de onda Mu, Beta *Low* e Beta *High*, respectivamente, no mapa cortical de V2 durante as intervenções realizadas.

Figura 6 – Mapa cortical obtido durante a análise dos ritmos Mu, Beta *Low* e Beta *High* em V2



Legenda: representação gráfica dos dados obtidos na coleta de EEG durante a análise dos ritmos Mu, Beta *Low* e Beta *High* em V2.

Fonte: dados do estudo.

Tabela 7 – Análise estatística da frequência Mu para V2

	IM	LR	FES	FES + LR
IM	1.000000	0.002600*	0.000191*	0.000481*
LR	0.002600*	1.000000	0.471801	0.631440
FES	0.000191*	0.471801	1.000000	0.810446
FES+LR	0.000481*	0.631440	0.810446	1.000000

Legenda: IM – Imagética Motora; LR – Luva Robótica; FES – Estimulação Elétrica Funcional. resultados da análise estatística pelo teste de Dunn após comparação entre as intervenções realizadas. Nível de significância $P<0.05$.

Fonte: dados do estudo.

Tabela 8 – Análise estatística da frequência *Low* Beta para V2

	IM	LR	FES	FES + LR
IM	1.000000	0.122176	0.002178*	0.045635*
LR	0.122176	1.000000	0.128749	0.650512
FES	0.002178*	0.128749	1.000000	0.286422
FES+LR	0.045635*	0.650512	0.286422	1.000000

Legenda: Legenda: IM – Imagética Motora; LR – Luva Robótica; FES – Estimulação Elétrica Funcional. resultados da análise estatística pelo teste de Dunn após comparação entre as intervenções realizadas. Nível de significância $P<0.05$.

Fonte: dados do estudo.

Tabela 9 – Análise estatística da frequência *High* Beta para V2

	IM	LR	FES	FES + LR
IM	1.000000	0.575717	0.936277	0.522431
LR	0.575717	1.000000	0.631440	0.936277
FES	0.936277	0.631440	1.000000	0.575717
FES+LR	0.522431	0.936277	0.575717	1.000000

Legenda: Legenda: IM – Imagética Motora; LR – Luva Robótica; FES – Estimulação Elétrica Funcional. resultados da análise estatística pelo teste de Dunn após comparação entre as intervenções realizadas. Nível de significância $P<0.05$.

Fonte: dados do estudo.

De acordo com a Figura 6, ao analisar o ritmo Mu (frequência 8-12 Hz) observou-se uma diminuição importante da potência relativa nas intervenções com Luva, FES e LR+FES quando

comparadas a IM em todas as regiões cerebrais. A análise estatística pelo teste de Friedman confirma o resultado significativo dessas intervenções ($p < 0,05$). De acordo com o teste de *post hoc* não houve diferença estatística ao comparar os resultados de LLR, *FES* e LR+*FES* entre si (Tabela 7).

O mapa cortical obtido pela análise de *Low Beta* (frequência 13-22 Hz) reflete um padrão de negatização da PR importante sobre todas as regiões cerebrais além de resultados estatisticamente significativo da intervenção *FES* e LR+*FES* em comparação com IM (Tabela 8).

A análise do ritmo *High Beta* demonstra redução da PR durante a intervenção *FES* e LR+*FES*, entretanto, sem resultados estatísticos significativos (Tabela 9).

DISCUSSÃO

Neste estudo, a análise do ritmo Mu demonstrou que as terapias com LR, *FES* e *FES*+LR foram capazes de reduzir a PR de forma significativa esse ritmo no V1, quando comparadas a terapia de IM. Após a análise do ritmo *Beta Low*, foi demonstrado que a terapia de LR+*FES* foi superior e significativa quando comparada a IM. Já durante a análise da frequência *Beta High*, observou-se que a terapia de LR+*FES* foi superior e significativa quando comparada a IM.

Os resultados obtidos indicam que as terapias com LR, *FES* e a associação de LR+*FES* foram capazes de estimular a supressão dos ritmos estudados (Mu e Beta), sugerindo adaptações positivas do funcionamento cerebral durante as estimulações realizadas. No ritmo Mu essa diminuição pode estar associada à melhora da aprendizagem motora e consequentemente da recuperação de funções motoras. Já no ritmo Beta, essa diminuição pode estar ligada a uma melhoria na eficiência do controle motor e execução de tarefas motoras específicas. Tais achados podem estar associados ao processo de neuromodulação, reorganização neural ou adaptações compensatórias que ocorrem em decorrência da estimulação aplicada, que podem sugerir potencial neuroplasticidade cerebral.

A neuroplasticidade refere-se à capacidade do cérebro de se adaptar, remodelar e redesenhar seu funcionamento em resposta a uma ampla gama de estímulos, experiências e eventuais lesões. Dentre os mecanismos fundamentais da neuroplasticidade, podemos destacar a sinaptogênese, que é a formação de novas sinapses entre os neurônios, possibilitando a criação de redes neurais mais eficientes e adaptativas, a neurogênese. Isto envolve a geração de novos neurônios, a plasticidade sináptica, que compreende a capacidade das sinapses de se modificar e fortalecer ou enfraquecer e a remielinização. Este é um processo em que o cérebro regenera a mielina que é a camada protetora das fibras nervosas. A neuroplasticidade cerebral é especialmente evidente na reabilitação pós-AVC, onde habilidades motoras e cognitivas podem ser reconquistadas através de treinamento intensivo e terapias de reabilitação.

Nesse estudo, por ser tratar apenas de uma avaliação isolada, não se pode afirmar que as intervenções utilizadas podem ser capazes de gerar neuroplasticidade somente com base nesses resultados. Todavia é evidente que essas intervenções foram capazes de estimular a neuromodulação cerebral dos ritmos estudados.

Não foram encontrados na literatura estudos que comparassem as 04 estimulações utilizadas neste estudo, entretanto, os achados literários das estimulações isoladas, corroboram com os resultados obtidos desta pesquisa. Kim et al. (2016), realizaram um ensaio clínico randomizado controlado com o objetivo de investigar se o treinamento observacional de ação (do inglês *Action Observational Training*) associado ao uso do *FES+BCI* possuía uma influência positiva na recuperação motora do membro superior parético em pacientes pós-AVC. Após 04 semanas de estimulação, foram observadas melhorias motoras que sugerem que o treinamento observacional de ação associada ao uso de *FES* controlados por uma *BCI* pode ser utilizado como uma ferramenta terapêutica para a reabilitação do AVC.

Yaklovev et al. (2023) investigaram a influência da *FES* na IM relacionada à supressão do ritmo Mu. Para isso, treze participantes saudáveis foram estimulados a imaginar o movimento de preensão da mão direita, enquanto um EEG foi registrado. A *FES* foi utilizada nesse estudo para influenciar a ativação sensório-motora durante a imagética motora da mão. A ativação cortical estimando o índice de supressão do ritmo Mu foi avaliado em três condições experimentais: IM, IM +*FES* e *FES*. Os achados de Yaklovev mostram que a IM associada a *FES* ocasiona uma supressão mais proeminente do ritmo Mu, sugerindo assim um efeito direto da estimulação elétrica periférica sobre a ativação cortical, especialmente quando combinada com a IM.

Miao et al. (2020) investigaram se a *BCI* baseada em IM tem um efeito positivo na reabilitação pós-AVC, utilizando realidade virtual e *FES* como *feedback* para proporcionar aos participantes uma integração sensório-motora. Como resultado, observou-se que os pacientes do grupo *BCI* obtiveram melhoras funcionais maiores do que os do grupo controle, e que o sistema *BCI-FES* é eficaz em restaurar a função motora dos membros superiores em pacientes com AVC. Os resultados desse estudo sugerem ainda que, após a reabilitação, o córtex sensório-motor no hemisfério contralateral pode ser ativado, indicando também que as áreas ao redor dos eletrodos C3 e C4 foram fortemente ativadas durante a IM da mão esquerda e direita. Já Biasiucci et al (2018) verificaram se o uso de *FES+BCI* provoca recuperação motora duradoura do braço após acidente vascular cerebral. Como resultado foi observado um aumento na conectividade funcional entre as áreas motoras do hemisfério afetado que se correlaciona significativamente com a melhora funcional dos participantes do estudo. Houve uma recuperação funcional significativa após a intervenção *FES+BCI* que permaneceu de 6 a 12 meses após o término da terapia, demonstrando assim que a terapia de *FES* controlada por *BCI* pode causar reorganização cortical devido a ser eficiente na reabilitação de indivíduos pós-AVC.

Tacchino et al. (2016) realizaram a análise de EEG durante movimentos repetitivos ativos e assistidos para avaliar evidências de diferenças no engajamento neural em nove indivíduos saudáveis realizando um protocolo de planejamento fatorial, com intenção volitiva e auxílio de LR. Como resultado, obtiveram que a combinação entre a contribuição volitiva do sujeito e a assistência de movimento fornecida pela LR é capaz de fornecer ativação cerebral precoce caracterizada por uma *ERD* associada a um *feedback* proprioceptivo mais forte caracterizado por uma *ERD* prolongada. Por fim, Cho et al (2023) realizaram a captura de EEG em 10 voluntários saudáveis durante estimulação passiva LR+FES aplicada nos músculos do antebraço relacionada à extensão dos dedos. Como resultado observou-se que houve uma supressão no ritmo Mu durante o movimento dos dedos produzido pelos dispositivos utilizados, o que tem implicações relevantes para as intervenções de neuroreabilitação.

É importante ressaltar que, apesar desta pesquisa contar com uma amostra limitada, foram obtidos resultados relevantes para a elaboração de novas propostas de terapia para reabilitação neuro-motora utilizando diferentes estimulações (FES, IM e LR) e suas associações.

Um contratempo desta pesquisa foi conseguir alcançar a sincronização entre os movimentos da LR e do aparelho de FES, uma vez que foram utilizados aparelhos independentes entre si. Essa sincronização demandou tempo e colaboração dos voluntários da pesquisa. No presente momento está sendo elaborado um código e um circuito eletrônico para permitir que uma plataforma Arduino Nano gere um pulso de sincronismo para ativar um driver eletrônico que acione tanto o equipamento de FES quanto a LR de forma simultânea.

CONCLUSÃO

O uso de terapias associadas à estimulação elétrica funcional e dispositivos robóticos para reabilitação do AVC pode otimizar a terapia e reduzir o custo total do processo de reabilitação, incluindo serviços de saúde e reabilitação. Neste estudo objetivou-se analisar o padrão de ativação das áreas cerebrais através da eletroencefalografia (EEG) durante a aplicação de terapia com Estimulação Elétrica Funcional (FES) associada a exercícios com uma Luva Robótica (LR) e Imaginação Motora (IM). Nossa hipótese era que haveria uma melhora na atividade cerebral dos pacientes pós-AVC durante a utilização da intervenção FES+LR. Apesar de contar com uma amostra limitada, foram obtidos resultados relevantes utilizando as estimulações FES+LR associadas.

Diante disso, conclui-se que a associação dessas terapias pode auxiliar no processo de reabilitação neuro-motora pós-AVC, possibilitando a elaboração de novos protocolos de neuro-reabilitação que sejam acessíveis e seguros. Com base nos resultados obtidos até o momento, propõe-se

a realização de novos estudos com um tamanho amostral maior para examinar mais detalhadamente os efeitos dessas terapias no pós-AVC.

REFERÊNCIAS

1. ALESSANDRO, L. *et al.* Rehabilitación multidisciplinaria para pacientes adultos con accidente cerebrovascular [Multidisciplinary rehabilitation for adult patients with stroke. **Medicina (B Aires)**, v. 80, n. 1, p. 54–68, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802020000100008>. Acesso em: 30 de Jun. de 2024.
2. BARELLA, R. P. Perfil do atendimento de pacientes com acidente vascular cerebral em um hospital filantrópico do sul de Santa Catarina e estudo de viabilidade para implantação de unidade de AVC. **Arq. Catarin Med**, v. 48, p. 131–143, 2019. Disponível em: <<https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/10/1023423/432-1341-2-rv.pdf>>. Acesso em: 23 de Jun. de 2024.
3. BIASIUCCI, A. *et al.* Brain-actuated functional electrical stimulation elicits lasting arm motor recovery after stroke. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 2421, 2018. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41467-018-04673-z>>. Acesso em 07 de Jul. de 2024
4. CHO, W. *et al.* Cortical processing during robot and functional electrical stimulation. **Frontiers in systems neuroscience**, v. 17, 2023. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/journals/systems-neuroscience/articles/10.3389/fnsys.2023>>. Acesso em: 07 de Jun. de 2024.
5. CHOU, H.-Y. *et al.* Efficacy and cost over 12 hospitalization weeks of postacute care for stroke. **International journal of environmental research and public health**, v. 20, n. 2, p. 1419, 2023. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9859483/>>. Acesso em: 23 de Jun. de 2024.
6. DUAN, H. *et al.* Effectiveness evaluation of repetitive transcranial magnetic stimulation therapy combined with mindfulness-based stress reduction for people with post-stroke depression: A randomized controlled trial. **International journal of environmental research and public health**, v. 20, n. 2, p. 930, 2023. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9858717/>>. Acesso em 24 de Jun. de 2024.
7. FRISOLI, A. *et al.* A randomized clinical control study on the efficacy of three-dimensional upper limb robotic exoskeleton training in chronic stroke. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, v. 19, n. 1, p. 14, 2022. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8817500/>>. Acesso em 25 de Jun. de 2024.
8. GOLABCHI, A.; CHAO, A.; TAVAKOLI, M. A systematic review of industrial exoskeletons for injury prevention: Efficacy evaluation metrics, target tasks, and supported body postures. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 22, n. 7, p. 2714, 2022. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9002381/>>. Acesso em 25 de Jun. de 2024.
9. HARB, A.; KISHNER, S. Modified Ashworth Scale. **StatPearls [Internet]. Treasure Island**, 2023.

10. HASAN, T. F.; HASAN, H.; KELLEY, R. E. Overview of acute ischemic stroke evaluation and management. **Biomedicines**, v. 9, n. 10, p. 1486, 2021. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8533104/>>. Acesso em 28 de Jun. de 2024.
11. HERPICH, F.; RINCON, F. Management of acute ischemic stroke. **Critical care medicine**, v. 48, n. 11, p. 1654–1663, 2020. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7540624/>>. Acesso em 27 de Jun. de 2024.
12. KIM, T.; KIM, S.; LEE, B. Effects of action observational training plus brain-computer interface-based functional electrical stimulation on paretic arm motor recovery in patient with stroke: A randomized controlled trial: Effects of AOT plus BCI-FES on arm motor recovery. **Occupational therapy international**, v. 23, n. 1, p. 39–47, 2016. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/oti.1403>>. Acesso em 02 de Jul. de 2024.
13. KRISTENSEN, M. G. H.; BUSK, H.; WIENECKE, T. Neuromuscular electrical stimulation improves activities of daily living post stroke: A systematic review and meta-analysis. **Archives of rehabilitation research and clinical translation**, v. 4, n. 1, p. 100167, 2022. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8904887/>>. Acesso em 01 de Jul. de 2024.
14. LATRONICO, N.; GOSSELINK, R. Abordagem dirigida para o diagnóstico de fraqueza muscular grave na unidade de terapia intensiva. **Revista Brasileira Terapia Intensiva**, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbti/a/k7HcsFWQvmZWLtb4svX9btG/>>. Acesso em: 02 de Jun. de 2024.
15. LEONARDI, M. **Goal Setting with ICF (International Classification of Functioning, Disability and Health) and Multidisciplinary Team Approach in Stroke Rehabilitation**. 2021 Jan 15. Cham (CH: Springer, 2021. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK585584/>>. Acesso em 30 de Jun. de 2024.
16. LIU, X. et al. Effects of motor imagery based brain-computer interface on upper limb function and attention in stroke patients with hemiplegia: a randomized controlled trial. **BMC neurology**, v. 23, n. 1, 2023. Disponível em: <<https://bmcneurol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12883-023-03150-5>>. Acesso em 01 de Jul. de 2024.
17. LOUIE, D. R. *et al.* Exoskeleton for post-stroke recovery of ambulation (ExStRA): study protocol for a mixed-methods study investigating the efficacy and acceptance of an exoskeleton-based physical therapy program during stroke inpatient rehabilitation. **BMC neurology**, v. 20, n. 1, p. 35, 2020. Disponível em: ><https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6988257/><. Acesso em 01 de Jul. de 2024.
18. LOURENÇO, R. A.; VERAS, R. P. Mini-Exame do Estado Mental: características psicométricas em idosos ambulatoriais. **Revista de saúde pública**, v. 40, n. 4, p. 712–719, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rsp/a/cVxz6HrRKxvtyNDcXqLrdxM/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 0 de Jun. de 2024.
19. LY, J. Accident vasculaire cérébral du sujet âgé [Stroke and aging. **Rev Med Liege**, v. 69, n. 5–6, p. 315–317, 2014. Disponível em: <<https://rmlg.uliege.be/article/2555?lang=en>>. Acesso em: 27/06/2024.

20. MALIK, A. N. *et al.* Technological advancements in stroke rehabilitation. **JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association**, v. 72, n. 8, p. 1672–1674, 2022. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36280946/>>. Acesso em 30 de Jun. de 2024.
21. MANG, J. *et al.* Favoring the cognitive-motor process in the closed-loop of BCI mediated post stroke motor function recovery: challenges and approaches. **Frontiers in neurobotics**, v. 17, p. 1271967, 2023. Disponível em: ><https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10595019/><. Acesso em 01 de Jul. de 2024.
22. MEAD, G. E. *et al.* A systematic review and synthesis of global stroke guidelines on behalf of the World Stroke Organization. **International journal of stroke: official journal of the International Stroke Society**, v. 18, n. 5, p. 499–531, 2023. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10196933/>>. Acesso em 27 de Jun. de 2024.
23. MIAO, Y. *et al.* BCI-based rehabilitation on the stroke in sequela stage. **Neural plasticity**, v. 2020, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2020/8882764>. Acesso em 07 de Jul. de 2024.
24. PFURTSCHELLER, G.; LOPES DA SILVA, F. H. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. **Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology**, v. 110, n. 11, p. 1842–1857, 1999. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1388245799001418?via%3Dihub>>. Acesso em: Acesso em 01 de Jul. de 2024.
25. PFURTSCHELLER, G. The cortical activation model (CAM). Em: **Progress in Brain Research**. [s.l.] Elsevier, 2006. p. 19–27. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079612306590028?via%3Dihub>>. Acesso em 01 de Jul. de 2024.
26. ROLIM, C. L. R. C.; MARTINS, M. Qualidade do cuidado ao acidente vascular cerebral isquêmico no SUS. **Cadernos de saúde pública**, v. 27, n. 11, p. 2106–2116, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2011001100004>>. Acesso em 27 de Jun. de 2024.
27. SAENGER, A. K.; CHRISTENSON, R. H. Stroke biomarkers: Progress and challenges for diagnosis, prognosis, differentiation, and treatment. **Clinical chemistry**, v. 56, n. 1, p. 21–33, 2010. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19926776/>>. Acesso em 27 de Jun. de 2024.
28. SANTOS, J. G. A Cross-Sectional Study: Determining Factors of Functional Independence and Quality of Life of Patients One Month after Having Suffered a Stroke. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 20, p. 5–20, 2023. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9859177/>>. Acesso em: 23 de Jun. de 2024.
29. SILVA, G. A. DA *et al.* Avaliação funcional de pessoas com lesão medular: utilização da escala de independência funcional - MIF. **Texto & contexto enfermagem**, v. 21, n. 4, p. 929–936, 2012. Acesso em: <<https://www.scielo.br/j/tce/a/BBQdWD5VzJqbmZ4vPGP6dbQ/abstract/?lang=pt>>. Disponível em: 06 de Jun. de 2023.

30. SVEINSSON, Ó. Á. *et al.* Heilablóðþurrð / heiladrep. Faraldsfræði, orsakir og einkenni. **Laeknabladid**, v. 2014, n. 05, p. 271–279, 2014. Disponível em: <<https://www.laeknabladid.is/tolublod/2014/05/nr/5163>>. Acesso em 26 de Jun. de 2024.
31. TACCHINO, G. *et al.* EEG analysis during active and assisted repetitive movements: Evidence for differences in neural engagement. **IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**, v. 25, n. 6, p. 761–771, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7529208>>. Acesso em 07 de Jul. de 2024.
32. UNNITHAN, A. K. A.; DAS, J. M.; MEHTA, P. Hemorrhagic stroke. Em: **StatPearls**. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559173/>>. Acesso em 26 de Jun. de 2024.
33. YAKOVLEV, L.; SYROV, N.; KAPLAN, A. Investigating the influence of functional electrical stimulation on motor imagery related μ -rhythm suppression. **Frontiers in neuroscience**, v. 17, p. 1202951, 2023. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2023.1202951/full>>. Acesso em 07 de Jul. de 2024.
34. YEW, K. S.; CHENG, E. M. Diagnosis of acute stroke. **American family physician**, v. 91, n. 8, p. 528–536, 2015. Disponível em: <<https://www.aafp.org/pubs/afp/issues/2015/0415/p528.html>>. Acesso em 27 de Jun. de 2024.