

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós Graduação em Neurociências

Déborah Lima Ferreira

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA CEREBELAR POR CORRENTE
CONTÍNUA NA APRENDIZAGEM DE TAREFAS DE SEQUÊNCIA E ADAPTAÇÃO
MOTORA EM PESSOAS COM PARALISIA CEREBRAL**

BELO HORIZONTE
2024

Déborah Lima Ferreira

**EFEITO DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA CEREBELAR POR CORRENTE
CONTÍNUA NA APRENDIZAGEM DE TAREFAS DE SEQUÊNCIA E ADAPTAÇÃO
MOTORA EM PESSOAS COM PARALISIA CEREBRAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Neurociências da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Neurociências .

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage.

Belo Horizonte

2024

043

Ferreira, Déborah Lima.

Efeito da estimulação transcraniana cerebelar por corrente contínua na aprendizagem de tarefas de sequência e adaptação motora em pessoas com paralisia cerebral [manuscrito] / Déborah Lima Ferreira. – 2024.

97 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Neurociências.

1. Neurociências. 2. Aprendizagem. 3. Paralisia Cerebral. 4. Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. 5. Atividade Motora. I. Lage, Guilherme Menezes. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 612.8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ICB - COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS - SECRETARIA

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DA ALUNA
DÉBORAH LIMA FERREIRA**

Realizou-se, no dia 07 de outubro de 2024, às 09:00 horas, Sala Maria Lúcia Paixão _ EEFFTO, da Universidade Federal de Minas Gerais, a 253ª defesa de dissertação, intitulada *EFEITO DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA CEREBELAR POR CORRENTE CONTÍNUA NA APRENDIZAGEM DE TAREFAS DE SEQUÊNCIA E ADAPTAÇÃO MOTORA EM PESSOAS COM PARALISIA CEREBRAL*, apresentada por DÉBORAH LIMA FERREIRA, número de registro 2022668248, graduada no curso de FISIOTERAPIA, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em NEUROCIÊNCIAS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. Guilherme Menezes Lage - Orientador (UFMG), Profa. Lidiane Aparecida Fernandes (UFOP), Profa. Angela Maria Ribeiro (UFMG).

A Comissão considerou a dissertação:

(X) Aprovada

() Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.
Belo Horizonte, 07 de outubro de 2024.

Renata Angélica França Mendes - Secretária

Assinatura dos membros da banca examinadora:

Prof. Guilherme Menezes Lage (Doutor)

Profa. Lidiane Aparecida Fernandes (Doutora)

Profa. Angela Maria Ribeiro (Doutora)



Documento assinado eletronicamente por **Lidiane Aparecida Fernandes, Usuário Externo**, em 01/11/2024, às 14:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Menezes Lage, Professor do Magistério Superior**, em 21/11/2024, às 21:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Angela Maria Ribeiro, Professora do Magistério Superior**, em 22/11/2024, às 14:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

1/2



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3690937** e o código CRC **9370E813**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Ivone e Márcio, e aos meus irmãos, por sempre me apoiarem e incentivarem a correr atrás dos meus sonhos. Agradeço ao meu namorado, Diogo, por ser meu suporte e minha referência de calma nos momentos incertos. Sem você, eu não teria conseguido!

Ao meu irmão Douglas, pelo apoio essencial na elaboração da tarefa. Sua ajuda foi crucial!

Agradeço ao meu orientador, Dr. Guilherme Menezes Lage, por me introduzir ao fascinante mundo do comportamento motor, por me mostrar as vastas possibilidades deste campo e por me permitir fazer parte deste grupo, que tem sido uma fonte inesgotável de conhecimento e oportunidades.

Ao Professor Tércio Apolinário, pela paciência e assistência nos momentos em que precisei. Suas contribuições foram fundamentais durante todo o processo.

Aos colegas do NNeuroM, pela parceria e pelas contribuições valiosas durante as reuniões. O apoio de vocês foi crucial para a execução deste projeto.

Aos meus amigos, por toda a parceria e compreensão durante este período, por entenderem minha ausência em diversos momentos e por estarem ao meu lado em todas as situações.

Por fim, agradeço a todos os voluntários que participaram desta pesquisa.

RESUMO

A estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) é considerada uma ferramenta promissora para neuroreabilitação. Quando aplicada ao cerebelo, a ETCC tem mostrado efeitos positivos na aquisição e consolidação de habilidades motoras em adultos saudáveis. Em indivíduos com paralisia cerebral (PC), a ETCC associada a treinamentos motores tem mostrado resultados promissores em desfechos como função manual, marcha, mobilidade e equilíbrio. Esses indivíduos apresentam alterações na excitabilidade cortical e déficits na aprendizagem motora, um processo complexo que pode ser influenciado por diversos fatores, incluindo a natureza da tarefa. As tarefas podem ser divididas em duas categorias principais: adaptação motora e sequência motora. Tarefas de adaptação motora envolvem ajustes em resposta a mudanças ambientais e tendem a recrutar mais o cerebelo à medida que a aprendizagem avança. Por outro lado, tarefas de sequência motora, que envolvem a coordenação progressiva de elementos do movimento, dependem mais de estruturas como o corpo estriado na fase automática do desempenho. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da ETCC cerebelar na aprendizagem de tarefas de adaptação e sequência motora em indivíduos com PC. Participaram do estudo 20 indivíduos com PC espástica, com idade entre 8 e 20 anos (média de 14 anos), de ambos os sexos (57% masculino) e inexperientes nas tarefas. O estudo foi dividido em dois experimentos, realizados com um intervalo de um mês. Os participantes foram aleatoriamente alocados em quatro grupos experimentais e realizaram a prática motora associada a ETCC ou ao seu placebo. Após um mês, 18 participantes foram redistribuídos em novos grupos e realizaram a tarefa motora que ainda não haviam executado. Na tarefa de sequência motora, os participantes foram instruídos a digitar uma sequência de teclas em um teclado adaptado o mais rápido possível após a apresentação inicial no monitor. Na tarefa de adaptação motora, as informações sobre as teclas apareciam uma a uma, sem conhecimento prévio da sequência completa. Os participantes praticaram 100 tentativas da tarefa motora e foram analisadas medidas de tempo de reação, tempo de movimento e tempo de resposta em blocos de tentativas. Os resultados mostraram que o grupo que realizou a ETCC associada à tarefa de adaptação motora apresentou uma melhora significativa no tempo de reação durante a mudança *online*, no tempo de movimento na

mudança *offline* e no tempo de resposta do bloco pré para o pós-teste, em comparação ao grupo controle, que melhorou o tempo de reação do fim da fase de aquisição para o pós-teste. Em contraste, o grupo que realizou a ETCC associada à prática da tarefa de sequência motora demonstrou um desempenho inferior no tempo de reação, tempo de movimento e tempo de resposta durante os blocos de aquisição, em comparação ao grupo controle. Os resultados sugerem que a ETCC anódica cerebelar pode melhorar aspectos específicos da aprendizagem em tarefas de adaptação motora. No entanto, os dados indicam que essa estimulação pode ter efeitos negativos na fase de aquisição de tarefas de sequência motora.

Palavras-chave: Aprendizagem; estimulação cerebelar; paralisia cerebral; tarefa de sequência motora; tarefa de adaptação motora.

ABSTRACT

Transcranial direct current stimulation (tDCS) is considered a promising tool for neurorehabilitation. When applied to the cerebellum, tDCS has shown positive effects on the acquisition and consolidation of motor skills in healthy adults. In individuals with cerebral palsy (CP), tDCS combined with motor training has shown promising results in outcomes such as manual function, gait, mobility, and balance. These individuals exhibit changes in cortical excitability and deficits in motor learning, a complex process that can be influenced by various factors, including the nature of the task. Tasks can be divided into two main categories: motor adaptation and motor sequence. Motor adaptation tasks involve adjustments in response to environmental changes and tend to recruit the cerebellum more as learning progresses. On the other hand, motor sequence tasks, which involve the progressive coordination of movement elements, rely more on structures such as the striatum during the automatic phase of performance. This study aimed to evaluate the effect of cerebellar tDCS on the learning of motor adaptation and motor sequence tasks in individuals with CP. The study involved 20 individuals with spastic CP, aged between 8 and 20 years (average age of 14 years), of both genders (57% male), and inexperienced in the tasks. The study was divided into two experiments, conducted one month apart. Participants were randomly allocated into four experimental groups and performed motor practice associated with tDCS or its placebo. After one month, 18 participants were redistributed into new groups and performed the motor task they had not yet executed. In the motor sequence task, participants were instructed to type a sequence of keys on an adapted keyboard as quickly as possible after the initial presentation on the monitor. In the motor adaptation task, information about the keys appeared one by one, without prior knowledge of the complete sequence. Participants practiced 100 attempts of the motor task, and measures of reaction time, movement time, and response time in blocks of trials were analyzed. The results showed that the group that underwent cerebellar tDCS associated with the motor adaptation task showed a significant improvement in reaction time during the online change, movement time during the offline change, and response time from the pre-test to the post-test block, compared to the control group, which improved reaction time from the end of the acquisition phase to the post-test. In contrast, the group that performed tDCS associated with motor

sequence task practice demonstrated poorer performance in reaction time, movement time, and response time during the acquisition blocks, compared to the control group. The results suggest that anodal cerebellar tDCS may improve specific aspects of learning in motor adaptation tasks. However, the data indicate that this stimulation may have negative effects on the acquisition phase of motor sequence tasks.

Keywords: Motor Learning; cerebellar stimulation; cerebral palsy; motor sequence task; motor adaptation task.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1: Modelo de circuito córtico-estriatal e córtico-cerebelar que ocorre durante a aprendizagem de sequência motora e adaptação motora.....	27
- Figura 2: Representação esquemática das principais vias de comunicação de redes de controle motor.....	29
- Figura 3: Desenho esquemático das posições dos eletrodos para ETCC cerebelar e aparelho utilizado	39
- Figura 4: Desenho esquemático dos aparatos utilizados na tarefa de sequência e adaptação motora.	40
- Figura 5: Desenho esquemático do <i>design</i> da tarefa de sequência motora.....	41
- Figura 6: Desenho esquemático do <i>design</i> da tarefa de adaptação motora.....	42
- Figura 7: Desenho experimental.	44
- Gráfico 1: Médias do erro dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste	48
- Gráfico 2: Medida de variação das mudanças <i>online</i> e <i>offline</i> do erro dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora.....	49
- Gráfico 3: Médias do tempo de reação dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste	50

- Gráfico 4: Medida de variação das mudanças <i>online</i> e <i>offline</i> do tempo de reação dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora.....	51
- Gráfico 5: Médias do tempo de movimento dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste.	52
- Gráfico 6: Medida de variação das mudanças <i>online</i> e <i>offline</i> do tempo de movimento dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora.....	53
- Gráfico 7: Médias do tempo de resposta dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste.	54
- Gráfico 8: Medida de variação das mudanças <i>online</i> e <i>offline</i> do tempo de resposta dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora	55
-Gráfico 9: Médias do erro dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste	57
- Gráfico 10: Medida de variação das mudanças <i>online</i> e <i>offline</i> do erro dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora.....	57
- Gráfico 11: Médias do tempo de reação dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste.	59
- Gráfico 12: Medida de variação das mudanças <i>online</i> e <i>offline</i> do tempo de reação dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora	59

- Gráfico 13: Médias do tempo de reação dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste	61
- Gráfico 14: Medida de variação das mudanças <i>online</i> e <i>offline</i> do tempo de movimento dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora.....	61
- Gráfico 15: Médias do tempo de resposta dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste	63
- Gráfico 16: Medida de variação das mudanças <i>online</i> e <i>offline</i> do tempo de resposta dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização e descrição da amostra	47
Tabela 2- Principais resultados da Tarefa de Adaptação Motora	65
Tabela 3- Principais resultados da Tarefa de Sequência Motora.....	65

LISTA DE ABREVIações

AM- Aprendizagem motora

ETCC: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua

PC: Paralisia Cerebral

SNC: Sistema Nervoso Central

M1: Córtex Motor Primário

fMRI: Ressonância Magnética Funcional

PET: Tomografia Por Emissão De Pósitrons

ND: Núcleo Dentado

CBI: Inibição Cerebelo-Cortical

ETCCa: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua Anódica

ETCCb: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua Catódica

ETCC-CRB: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua Cerebelar

GMFCS: Sistema de Classificação da Função Motora Grossa

MACS: Sistema Manual de Classificação de Habilidades

CFCS: Sistema de Classificação da Função de Comunicação

cm²: Centímetros Quadrados

mA: Miliampères

ms: Milissegundos

TCLE: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TALE: Termo de Assentimento Livre e Esclarecido

ETCC-A: Grupo experimental da tarefa de adaptação motora associada a ETCC.

ETCC-B: Grupo experimental da tarefa de sequência motora associada a ETCC.

SHAM-A: Grupo experimental da tarefa de adaptação motora associada ao SHAM.

SHAM-B: Grupo experimental da tarefa de sequência motora associada ao SHAM.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 Paralisia cerebral	22
2.2 Aprendizagem motora	25
2.2.1 Natureza da tarefa	26
2.3 Cerebelo e Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua	28
2.4 Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua e paralisia cerebral	32
3 EXPERIMENTO	34
3.1 Objetivo geral	34
3.1.1 Objetivos específicos	34
3.2 Hipóteses	34
3.3 Materiais e Métodos	35
3.3.1 Amostra	35
3.3.2 Cuidados éticos	35
3.3.3 Instrumentos	36
3.3.3.1 Entrevista semiestruturada	36
3.3.3.2 Sistema de Classificação da Função Motora Grossa (GMFCS)	36
3.3.3.3 Sistema Manual de Classificação de Habilidades (MACS)	37
3.3.3.4 Sistema de Classificação da Função de Comunicação (CFCS)	38
3.3.3.5 Estimulação Transcraniana por corrente contínua	38
3.3.3.6 Tarefas Motoras	40
3.3.3.6.1 Tarefa de sequência motora	40
3.3.3.6.2 Tarefa de adaptação motora	41
3.4 Delineamento experimental e procedimentos	42
3.5 Variáveis do experimento	44
3.5.1 Variáveis independentes	44
3.5.2.1 Erro	45
3.5.2.2 Tempo de reação	45
3.5.2.3 Tempo de movimento	45
3.5.2.4 Tempo de resposta	45

3.5.2.5 Mudança <i>online</i>	45
3.5.2.6 Mudança <i>offline</i>	45
3.6 Análise dos dados	46
4 RESULTADOS	47
4.1 Amostra	47
4.2 Tarefa de adaptação motora	47
4.2.1 Medida de erros	47
4.2.1.1. Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste	47
4.2.1.2. Análise dos blocos da aquisição	48
4.2.1.3 Mudança <i>online</i>	489
4.2.1.4. Mudança <i>offline</i>	499
4.2.2 Medida do tempo de reação	49
4.2.2.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste	49
4.2.2.2 Análise dos blocos da aquisição	50
4.2.2.3 Mudança <i>online</i>	51
4.2.2.4 Mudança <i>offline</i>	51
4.2.3 Tempo de movimento	51
4.2.3.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste	51
4.2.3.2 Análise dos blocos da aquisição	52
4.2.3.3 Mudança <i>online</i>	53
4.2.3.4 Mudança <i>offline</i>	53
4.2.4 Tempo de resposta	53
4.2.4.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste	53
4.2.4.2 Análise dos blocos da aquisição	55
4.2.4.3 Mudança <i>online</i>	55
4.2.4.4 Mudança <i>offline</i>	55
4.3 Tarefa de sequência motora	56
4.3.1 Medida de erros	56
4.3.1.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste	56
4.3.1.2 Análise dos blocos da aquisição	56
4.3.1.3 Mudança <i>online</i>	56
4.3.1.4 Mudança <i>offline</i>	56

4.3.2 Tempo de reação	58
4.3.2.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste	58
4.3.2.2 Análise dos blocos da aquisição	58
4.3.2.3 Mudança <i>online</i>	58
4.3.2.4 Mudança <i>Offline</i>	58
4.3.3 Tempo de movimento	60
4.3.3.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste	60
4.3.3.2 Análise dos blocos da aquisição	60
4.3.3.3 Mudança <i>online</i>	60
4.3.3.4 Mudança <i>offline</i>	60
4.3.4 Tempo de resposta	62
4.3.4.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste	62
4.3.4.2 Análise dos blocos da aquisição	62
4.3.4.3 Mudança <i>online</i>	62
4.3.4.4 Mudança <i>offline</i>	62
4.4 Principais resultados	64
5 DISCUSSÃO	66
6 CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICES	82
APÊNDICE A- Estudo piloto	82
Objetivo	82
Amostra	82
Delineamento	82
Resultados	83
APÊNDICE B- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) Para voluntários com idade acima de 18 anos	85
APÊNDICE C-Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) - Pais e responsáveis	88
APÊNDICE D-Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) 8-12 anos	91
APÊNDICE E-Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) 12-17 anos	93
APÊNDICE F - Entrevista semiestruturada	95
ANEXOS	97

1 INTRODUÇÃO

A aquisição, retenção e adaptação de habilidades motoras são essenciais para a vida cotidiana, influenciando significativamente a capacidade de realizar tarefas diárias (DEBAS *et al.*, 2010). A aprendizagem motora (AM) é um processo complexo que envolve a prática de tarefas e mudanças em mecanismos internos, resultando em melhorias relativamente duradouras na execução de habilidades motoras (SCHMIDT; WRISBERG, 2008).

Inicialmente, a aquisição de habilidades ocorre de forma rápida, seguida de um desenvolvimento gradual ao longo de várias sessões de prática. Essas alterações podem acontecer de forma *online*, quando há mudanças no desempenho durante a prática, ou *offline*, quando as mudanças ocorrem entre as sessões de prática. A mudança offline, que envolve a estabilização e o aprimoramento das habilidades, está relacionada ao processo de consolidação de habilidades motoras (DAYAN; COHEN, 2011).

O complexo processo de aprendizagem motora envolve diversas estruturas cerebrais, sendo que a duração das etapas de aprendizagem é específica para cada tarefa, que podem ser divididas em tarefas de sequência e adaptação motora (DAYAN; COHEN, 2011).

A aprendizagem de tarefas de adaptação motora é caracterizada pela capacidade de ajustar os movimentos em resposta a mudanças no ambiente ou nas entradas sensoriais (SEIDLER; BO; ANGUEIRA, 2012). Por outro lado, a aprendizagem de uma tarefa de sequência motora envolve a integração de movimentos isolados em ações coordenadas e sua prática ocorre em ambientes mais estáveis (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003; SEIDLER; BO; ANGUEIRA, 2012). Embora ambas as tarefas mobilizem estruturas cerebrais semelhantes no início do aprendizado, a adaptação motora e a sequência motora fazem uso circuitos cerebrais distintos à medida que a aprendizagem avança.

Dois principais circuitos estão envolvidos na aprendizagem motora: o circuito córtico-basal-ganglio-tálamo-cortical e o circuito córtico-cerebelo-tálamo-cortical. Inicialmente, ambos os circuitos são ativados durante o processo de aprendizagem, mas mudanças na representação cerebral ocorrem com o avanço da prática (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003). O cerebelo, por exemplo, é mais ativo nas fases

iniciais da aprendizagem, mas sua atividade diminui à medida que uma tarefa de sequência motora é aprendida. Em contraste, o corpo estriado se torna mais relevante na fase automática do desempenho e no armazenamento de informações a longo prazo (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003). Durante a aprendizagem de tarefas de adaptação motora, a atividade do corpo estriado diminui conforme a aprendizagem avança, enquanto há um aumento na atividade de regiões do cerebelo. Quando uma habilidade motora bem aprendida é evocada após um período de inatividade, os mesmos circuitos córtico-subcorticais são reativados (DAYAN; COHEN, 2011; DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003).

Nesse contexto, uma vez que a excitabilidade cortical e a deflagração do potencial de ação são fundamentais para a ativação das áreas cerebrais envolvidas na execução de tarefas motoras (NEVALAINEN *et al.*, 2011), a modulação da excitabilidade cortical tem atraído considerável interesse científico. A partir do uso de técnicas como a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) é possível alterar a excitabilidade cerebral. (MORYA *et al.*, 2019). A ETCC consiste na aplicação de uma corrente elétrica de baixa intensidade em áreas específicas do cérebro por meio de eletrodos colocados sobre o couro cabeludo (LEFAUCHEUR *et al.*, 2017). Apesar de ser um método não invasivo e bem tolerado, a compreensão dos mecanismos subjacentes à modulação da excitabilidade cortical induzidos pela ETCC ainda é limitada, especialmente em cérebros em desenvolvimento (ZEWDIE *et al.*, 2020, COLE *et al.*, 2018).

A ETCC tem se mostrado eficaz na melhoria do desempenho motor. Estudos associaram a ETCC a melhorias na aquisição, consolidação, tempo de reação, velocidade e precisão do movimento em tarefas de coordenação unimanual e bimanual em adultos saudáveis (AZARPAIKAN *et al.*, 2021; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017). Esses resultados destacam o potencial da ETCC como uma ferramenta promissora para intervenções de neuroreabilitação. (LEFAUCHEUR *et al.*, 2017).

Esse potencial é particularmente relevante no contexto da paralisia cerebral (PC), uma condição caracterizada por alterações na excitabilidade cortical (ROSE *et al.*, 2011) e déficits na aprendizagem motora (WINNICK *et al.*, 2004). Esse tema foi explorado em uma revisão sistemática realizada por Novak *et al.* (2019), que avaliou a eficácia das

intervenções para essa condição. A revisão concluiu que a ETCC, quando associada ao treinamento motor, apresentou bons níveis de evidência e foi associada a melhoras da função manual, marcha, mobilidade, equilíbrio e redução da espasticidade. De maneira semelhante estudos que investigaram sessões repetidas de treinamento combinando ETCC, realidade virtual e marcha observaram melhorias significativas em desfechos como velocidade da marcha, cadência, função motora grossa, mobilidade, independência, equilíbrio e desempenho funcional em indivíduos com PC (GRECCO *et al.*, 2015; 2016). Adicionalmente, um estudo que avaliou uma única sessão de ETCC demonstrou uma melhoria temporária na função do membro superior em crianças com PC (MOURA *et al.*, 2017). Esses achados destacam o potencial da ETCC como uma ferramenta valiosa na aprendizagem motora em indivíduos com paralisia cerebral.

Pesquisas anteriores sobre o efeito da ETCC na aprendizagem de habilidades motoras em pessoas com PC focaram principalmente em desfechos de função motora grossa, função manual, marcha, mobilidade, espasticidade e equilíbrio (HAMILTON; WAKELY; MARQUEZ, 2018; FLEMING *et al.*, 2018; NOVAK *et al.*, 2019). No entanto, pouco se sabe sobre a influência da natureza da tarefa e da ETCC cerebelar na aprendizagem motora desses indivíduos. A investigação das hipóteses levantadas neste projeto de pesquisa permitirá uma compreensão mais aprofundada do processo de aprendizagem motora em relação ao tipo de tarefa e suas especificidades em pessoas com PC com possíveis implicações práticas para o processo de reabilitação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Paralisia cerebral

Estima-se que a paralisia cerebral (PC) afete entre 1,5 e 3 a cada 1.000 nascidos vivos em países desenvolvidos, tornando-se a deficiência física mais comum na infância. No entanto, em países de baixa e média renda, a prevalência da PC pode ser ainda maior (SADOWSKA *et al.*, 2020; MCINTYRE *et al.*, 2022; NOVAK *et al.*, 2020; BRANDENBURG; FOGARTY; SIECK, 2019). A PC engloba um conjunto de distúrbios no desenvolvimento do controle motor e postural, resultantes de um comprometimento não progressivo do sistema nervoso central (SNC) em desenvolvimento. Além dos distúrbios motores, a PC pode estar associada a condições musculoesqueléticas secundárias e dificuldades na integração e interpretação de informações sensoriais, perceptivas e cognitivas, bem como na comunicação (ROSENBAUM *et al.*, 2007).

As disfunções motoras associadas à paralisia cerebral variam de acordo com a localização da lesão cerebral (GRAHAM *et al.*, 2016). É importante notar que a paralisia cerebral é uma condição clínica caracterizada por uma grande heterogeneidade em termos de etiologia e fisiopatologia (KORZENIEWSKI *et al.*, 2018). Em cerca de 90% dos casos, a condição resulta de lesões que danificam o tecido cerebral saudável, ao invés de disfunções no desenvolvimento cerebral. Embora a hipóxia e a isquemia sejam tradicionalmente consideradas as principais causas dessas lesões, o estágio de maturação cerebral durante o qual esses eventos patogênicos ocorrem desempenha um papel crucial na definição do tipo e da localização das lesões, bem como na resposta específica do cérebro à lesão (GRAHAM *et al.*, 2016).

Após uma lesão cerebral, diversas alterações fisiopatológicas são desencadeadas, resultando em uma série de efeitos adversos. A redução das células gliais, danos axonais e perda neuronal na substância branca e cinza, e a apoptose contribuem para a perda de estruturas corticais e redução nas conexões tálamo-corticais. Além das anormalidades subcorticais, as lesões atrapalham o desenvolvimento do circuito sináptico cortical e da organização cortical cerebral (KURZ; WILSON, 2011; BURTON *et al.*, 2009).

Reduções em conexões tálamo-corticais foram demonstradas em um estudo realizado por Rose *et al.* (2011), que evidenciou que, em hemisférios cerebrais lesionados, o volume cortical e a conectividade entre as vias córtico-espinhais e córtico-talâmicas estavam reduzidos em comparação com o hemisfério não lesionado. Além disso, projeções do trato córtico-espinhal para os córtices motores e as vias tálamo-corticais que se projetam no córtex motor primário estavam diminuídas. Essas alterações resultam em mudanças significativas no córtex sensório-motor, afetando sua função e contribuindo para déficits motores e sensoriais observados após a lesão cerebral.

Esses eventos provocam alterações significativas na excitabilidade cortical motora, com aumento dos limiares de excitabilidade e, portanto, maior dificuldade na deflagração do potencial de ação em áreas motoras e áreas associativas (ROSE *et al.*, 2011). A deflagração do potencial de ação é determinante para a ativação de uma área durante a execução de uma tarefa motora (NEVALAINEN *et al.*, 2011). A PC resulta em uma diminuição das vias nervosas responsáveis pelo processamento e execução dos atos motores (SHIN *et al.*, 2012), e essas alterações impactam na transmissão de informações ao longo dos tratos tálamo-corticais, que são essenciais para a comunicação adequada de informações sensoriais; levam a redução no controle e coordenação motora, controle postural, bem como em alterações no desenvolvimento e na aprendizagem motora (KURZ; WILSON, 2011; WINNICK, 2004).

Historicamente, o diagnóstico de paralisia cerebral era predominantemente clínico, baseado no reconhecimento de características de distúrbios de função motora, como atraso no desenvolvimento motor, e alterações no tônus muscular ou reflexos que ocorrem na primeira infância e persistem até o fim da vida; eles não são progressivos, mas podem se alterar com a idade (GRAHAM *et al.*, 2016; SADOWSKA *et al.*, 2020). No entanto, com o avanço das técnicas de imagem, houve uma evolução significativa na abordagem diagnóstica. Atualmente, recomenda-se que o diagnóstico clínico de paralisia cerebral seja corroborado por exames de imagem sempre que possível. Adicionalmente, há um interesse crescente na avaliação qualitativa dos movimentos gerais como uma ferramenta complementar ao diagnóstico, oferecendo uma visão mais detalhada da qualidade dos movimentos espontâneos (GRAHAM *et al.*, 2016).

Além do diagnóstico clínico, a classificação da PC é realizada com base na natureza do distúrbio do movimento predominante e na distribuição do acometimento no corpo. Em relação aos distúrbios do movimento, a PC pode ser classificada em atáxica, distônica, espástica ou mista (quando há mais de um distúrbio neuromotor envolvido) (ROSENBAUM *et al.*, 2007).

A paralisia cerebral atáxica caracteriza-se por um distúrbio da coordenação dos movimentos em razão da dissinergia, apresentando, usualmente, uma marcha com aumento da base de sustentação e tremor intencional; é ocasionada por uma disfunção no cerebelo (ROSENBAUM *et al.*, 2007). Já a paralisia cerebral discinética caracteriza-se por movimentos atípicos mais evidentes quando um movimento voluntário é eliciado, produzindo movimentos e posturas atípicas. É caracterizada por variação do tônus desencadeada pelo movimento, contrações musculares sustentadas, presença de movimentos involuntários e movimentos compensatórios associados. É ocasionada por uma lesão do sistema extrapiramidal, principalmente nos núcleos da base (ROSENBAUM *et al.*, 2007; BRANDENBURG; FOGARTY; SIECK, 2019).

A espasticidade é o distúrbio do movimento mais comum, afetando aproximadamente 80% das crianças com paralisia cerebral (ROSENBAUM *et al.*, 2007). A PC espástica é causada por uma lesão piramidal e é definida como um distúrbio de regulação do tônus que é dependente da postura e do movimento (SCHOLTES *et al.*, 2006). Os quadros de espasticidade devem ser classificados ainda quanto à sua distribuição topográfica em: unilateral (anteriormente classificados como hemiplégicos) e bilateral (anteriormente classificados como diplégicos e quadriplégicos) (ROSENBAUM *et al.*, 2007).

Os tipos clínicos e a classificação topográfica, tradicionalmente utilizados para caracterizar indivíduos com PC, são, portanto, definidos a partir da sintomatologia e de informações sobre o local e a extensão da lesão no sistema nervoso central (PALISANO *et al.*, 2007).

Embora atualmente haja uma variedade limitada de tratamentos baseados em evidências que alteram a patologia subjacente da paralisia cerebral, há muitas áreas nas quais os profissionais de saúde podem alterar a história natural da paralisia cerebral e melhorar a participação e a qualidade de vida desses indivíduos (GRAHAM *et al.*, 2019).

As alterações e os comprometimentos associados à PC podem limitar, portanto, a capacidade funcional, a aprendizagem e o desenvolvimento dos indivíduos afetados (ROSENBAUM *et al.*, 2007). Consequentemente, a paralisia cerebral exerce um impacto significativo na aprendizagem, desenvolvimento motor, nas atividades de vida diárias, no bem-estar das famílias e nos custos sociais relacionados à assistência médica (ROSENBAUM *et al.*, 2007; O'SHEA, 2008).

2.2 Aprendizagem motora

Aprender novas habilidades motoras é essencial, pois nos permite adaptar a novas demandas ambientais (RAMNANI *et al.*, 2006). Esse processo envolve um conjunto de mecanismos relacionados à prática de uma tarefa motora e aos ajustes subsequentes nos processos e mecanismos internos, resultando em mudanças relativamente permanentes na capacidade de executar a habilidade motora (SCHMIDT; WRISBERG, 2008). O sucesso da aprendizagem motora é indicado pela redução de erros e pela melhoria do desempenho, superando os níveis basais da tarefa realizada (REIS *et al.*, 2009). Este processo complexo envolve não apenas a aquisição de novos padrões de movimento e o refinamento dessas habilidades, mas também a adaptação a diferentes demandas ambientais e variações contextuais (GLENCROSS; WHITING; ABERNETHY, 1994; SCHMIDT; WRISBERG, 2008).

A aquisição de habilidades inicia-se de maneira relativamente rápida, seguida por um desenvolvimento incremental ao longo de várias sessões de prática. Durante esse processo, as mudanças de desempenho podem ocorrer em processos *online* e *offline*. Os processos *online* referem-se às mudanças no desempenho que acontecem durante a prática motora, enquanto os processos *offline* envolvem a alteração do desempenho entre as sessões de prática motora. Especificamente, a mudança *offline*, que abrange a estabilização e a melhoria das habilidades motoras, está associada à consolidação das habilidades motoras e ocorre principalmente durante o sono (DAYAN; COHEN, 2011; RUBIN *et al.*, 2022).

A aquisição de uma habilidade motora também produz mudanças representacionais em diferentes estruturas cerebrais ao longo do aprendizado. A duração dessas etapas é relativa e altamente específica da tarefa. Pesquisadores começaram a

delinear a natureza e os correlatos neurais dos processos cognitivos que contribuem para o aprendizado de habilidades motoras. Estudos sobre mudanças representacionais têm utilizado paradigmas experimentais da natureza da tarefa, abordando tarefas de aprendizagem de sequência motora e adaptação motora para entender como o cérebro se adapta e se reorganiza em resposta ao aprendizado e à prática de habilidades motoras (CANTARERO *et al.*, 2015; DAYAN; COHEN, 2011; DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003).

2.2.1 Natureza da tarefa

A aprendizagem de uma tarefa de adaptação motora é caracterizada pela capacidade de compensar mudanças ambientais e por ajustes no movimento, que ocorrem em resposta a modificações na entrada sensorial ou na resposta motora (SEIDLER *et al.*, 2012). Uma tarefa de adaptação motora envolve, portanto, a correção de perturbações ambientais, onde o cérebro compara o resultado real do movimento com o previsto. Essas perturbações ambientais causam erros de previsão que informam o cérebro sobre mudanças no ambiente. Para ajustar o desempenho, o cérebro adapta gradualmente suas previsões e comandos motores à nova dinâmica (JALALI; MIAL; GALEA, 2017).

Já a aprendizagem de uma sequência motora é representada pela associação progressiva entre elementos isolados do movimento, sua integração em ações sequenciais coordenadas e a aquisição e refinamento desses elementos, executados em ambientes estáveis (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003; SEIDLER *et al.*, 2012). A aprendizagem de uma sequência motora permite que uma sequência de múltiplos elementos seja realizada. Nesse tipo de aprendizagem, é necessário aprender a relação dos componentes do movimento sob uma dinâmica de manipulação de informações que não difere tentativa a tentativa. Tarefas experimentais (ex., tarefas de digitação sequencial, tarefas de tempo de reação em série) são utilizadas para verificar a aprendizagem de sequência motora através de melhorias no desempenho (SEIDLER *et al.*, 2012).

Várias estruturas cerebrais são consideradas importantes para a aquisição e/ou retenção de comportamentos motores, formando dois circuitos córtico-subcorticais

distintos: uma alça córtico-basal gânglio-tálamo-cortical e uma alça córtico-cerebelo-tálamo-cortical. As tarefas de sequência e adaptação motora recrutariam estruturas cerebrais semelhantes no início do aprendizado, mas, à medida que o aprendizado avança, mudanças representacionais podem ser observadas. O cerebelo estaria ativo na fase inicial da aprendizagem, mas, conforme os movimentos de uma sequência motora são aprendidos, essa atividade diminuiria. Já o corpo estriado estaria envolvido na fase mais automática do desempenho, na recordação tardia e no armazenamento a longo prazo, que parece ser mediado predominantemente pelo córtex motor primário (M1) e córtex parietal. Nas tarefas de adaptação motora, à medida que a aprendizagem avança, o corpo estriado reduz sua atividade e há um aumento da atividade em regiões do cerebelo, córtex parietal e regiões corticais motoras onde essas habilidades agora estão representadas. Finalmente, quando um comportamento motor bem aprendido é elicitado novamente, mesmo após um longo período sem prática, propõe-se que os mesmos sistemas córtico-subcorticiais sejam reativados (DAYAN; COHEN, 2011; DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003) (FIGURA 1).

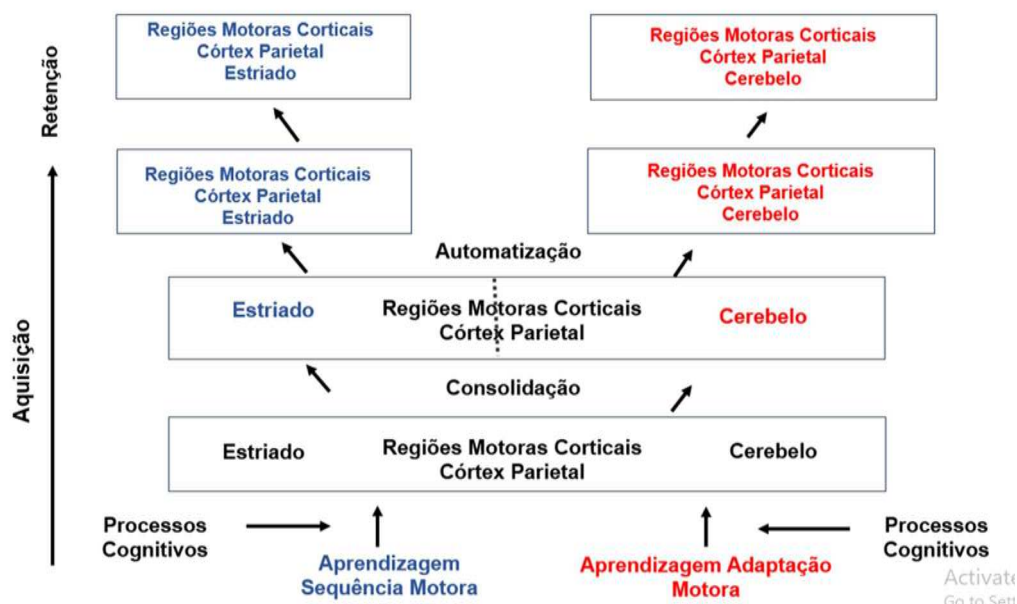


Figura 1 – Modelo de circuito córtico-estriatal e córtico-cerebelar que ocorre durante a aprendizagem de tarefas de sequência e adaptação motora.

Fonte: Adaptado de Doyon; Penhune; Ungerleider, 2003

A contribuição do cerebelo para a adaptação motora foi estudada por Imamizu *et al.* (2000) usando uma técnica de neuroimagem, a ressonância magnética funcional (fMRI), em tarefas que requerem ajustes e adaptação do aprendiz a mudanças no ambiente. Os achados desse estudo sugerem que regiões cerebelares podem estar envolvidas na criação de uma representação a longo prazo para executar tarefas de adaptação. Além disso, o cerebelo exerce um papel importante durante a aprendizagem de uma tarefa de adaptação motora e seu envolvimento estaria relacionado a processos de correção de erros (CANTARERO *et al.*, 2015; GALEA *et al.*, 2011).

2.3 Cerebelo e Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua

Uma das particularidades do cerebelo é a sua alta densidade neuronal. Embora represente apenas 10% do volume cerebral, o cerebelo abriga mais de 80% dos neurônios do cérebro (HERCULANO-HOUZEL, 2009). Essa região desempenha um papel crucial no controle motor e trabalha em conjunto com o córtex e os gânglios basais em tarefas motoras e cognitivas complexas, estabelecendo comunicação com diferentes áreas corticais. Recentes descobertas mostram que há comunicação bidirecional entre o cerebelo e os gânglios basais: o cerebelo projeta para o estriado via tálamo, enquanto o núcleo subtalâmico projeta para o córtex cerebelar através dos núcleos da ponte (FIGURA 2) (DE ZEEUW; TEN BRINKE, 2015; CALIGIORE *et al.*, 2017).

Complementando essas descobertas, a relação entre o cerebelo e o córtex motor primário (M1) foi detalhada por Penhune e Doyon (2005), que utilizaram tomografia por emissão de pósitrons (PET) para examinar o aprendizado de tarefas motoras sequenciais cronometradas. O estudo revelou que a interação entre o cerebelo e o M1 é mediada pelo núcleo dentado (ND), com a atividade nessas regiões diretamente relacionada ao desempenho. Inicialmente, um pior desempenho foi associado a maior atividade nos hemisférios cerebelares, sugerindo que eles estão envolvidos na correção de erros e na otimização do movimento (CALIGIORE *et al.*, 2017).

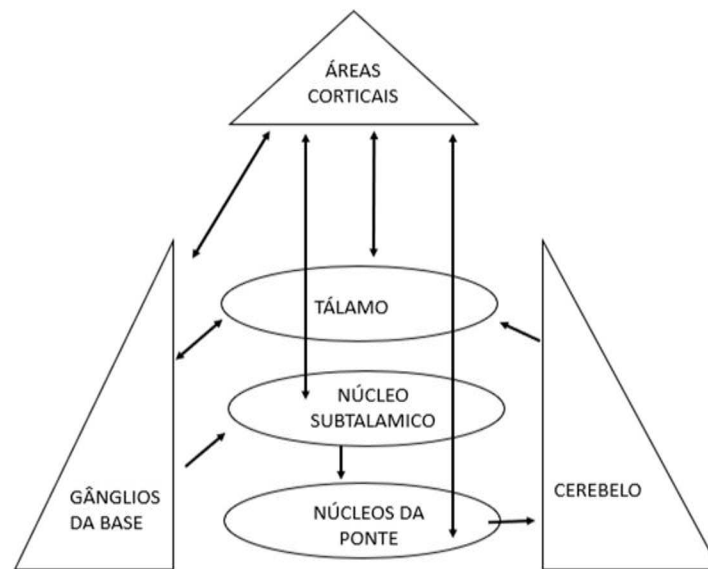


Figura 2 –Representação esquemática das principais vias de comunicação de redes de controle motor.

Fonte: Adaptado de Caligiore *et al.*, 2017.

Além disso, estudos de imagem realizados por Sakai *et al.* (1999, 2000) forneceram informações adicionais sobre o papel das diferentes regiões do cerebelo. Esses estudos mostraram que o cerebelo anterior está envolvido na memória de ritmos simples, enquanto a memória de ritmos complexos e o ajuste do tempo de movimento em resposta a estímulos externos irregulares envolvem a parte posterior do cerebelo. O cerebelo anterior parece fornecer modelos internos para prever tempos regulares e controlar detalhes do movimento, enquanto o cerebelo posterior é responsável pela predição de eventos sensoriais e ajuste do tempo (DOYA, 2000).

Dada a organização anatômica do cerebelo, diretamente abaixo do crânio, a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) surge como uma técnica particularmente interessante para neuromodulação dos circuitos cerebelares. Estudos sobre neuromodulação do cerebelo mostram que a ETCC promove mudanças significativas na excitabilidade cerebelar (DUN *et al.*, 2016; PARAZZINI *et al.*, 2014; FERRUCCI *et al.*, 2014). A ETCC é uma técnica não invasiva que aplica uma corrente direta de baixa intensidade na área cerebral selecionada por meio de eletrodos de esponja embebidos em solução salina colocados sobre o couro cabeludo (LEFAUCHEUR *et al.*, 2017). Embora seja bem tolerada e de baixo risco (BIKSON *et al.*, 2016; ZEWDIE

et al., 2020), a compreensão dos mecanismos subjacentes à modulação da ETCC ainda é limitada (COLE *et al.*, 2018).

Embora os efeitos da ETCC no cerebelo não sejam totalmente compreendidos, há evidências de que essa técnica pode provocar alterações funcionais significativas, particularmente nas células de Purkinje, e modula a conectividade entre o cerebelo e o M1. Em estado basal, o cerebelo exerce um tônus inibitório global sobre o M1, conhecido como inibição cerebelo-cortical (CBI), mediado provavelmente pelas vias dentado-tálamo-corticais (GALEA *et al.*, 2009). A ETCC pode influenciar a precisão dos potenciais de resposta sináptica nas células de Purkinje e também afetar outros tipos neuronais, como células granulares, fibras musgosas, fibras trepadeiras e células gliais. A ativação das células de Purkinje induz a inibição do núcleo dentado, o que reduz a excitabilidade do M1 via tálamo. Essa inibição é crucial para garantir uma modulação motora adequada e a supressão de comportamentos motores indesejados (ZHANG *et al.*, 2021; FERRUCCI *et al.*, 2014; GRIMALDI *et al.*, 2014; PRIORI *et al.*, 2014).

Seguindo essa linha, Galea *et al.* (2019) demonstraram que os efeitos da CBI podem depender da polaridade da ETCC. A ETCC catódica resultou em uma diminuição da CBI, enquanto a ETCC anódica levou a um aumento na CBI. Na literatura sobre ETCC, os termos "ETCC anódica (ETCCa)" e "ETCC catódica (ETCCb)" descrevem a colocação dos eletrodos em relação à área cerebral alvo. O eletrodo pelo qual a corrente entra no corpo é denominado ânodo, e a estimulação anódica é frequentemente associada a um aumento na excitabilidade neuronal abaixo do local da estimulação. Em contraste, o eletrodo por onde a corrente sai é denominado cátodo, e a estimulação catódica tende a reduzir a excitabilidade neuronal (BIKSON *et al.*, 2016; DUN *et al.*, 2016; RAHMAN *et al.*, 2013).

Quando a ETCC é aplicada, cria-se uma diferença de potencial elétrico entre o ânodo e o cátodo, resultando em um fluxo constante de corrente que modula o potencial da membrana neuronal em neurônios ativos. Embora essa modulação possa alterar a excitabilidade da membrana, a ETCC não é capaz de induzir potenciais de ação neuronais, pois os campos elétricos estáticos utilizados não proporcionam a despolarização rápida necessária para gerar esses potenciais. Portanto, a ETCC deve

ser considerada uma intervenção neuromodulatória, que ajusta a excitabilidade e a atividade neuronal (NITSCHKE *et al.*, 2003; WOODS *et al.*, 2016).

Os efeitos dependentes da polaridade também foram investigados em estudos sobre aprendizagem motora. Esses estudos analisaram o efeito da ETCC anódica e catódica tanto no cerebelo quanto no M1. Os resultados revelaram que a estimulação cerebelar anódica aprimorou a adaptação dos movimentos do braço, enquanto a estimulação do M1 foi mais eficaz para movimentos das mãos e dedos, enquanto a ETCC catódica no cerebelo comprometeu a adaptação dos movimentos do braço, mas melhorou a adaptação dos movimentos das mãos (WEIGHTMAN *et al.*, 2020; 2021).

Adicionalmente, a estimulação anódica cerebelar demonstrou efeitos positivos no desempenho motor, na transferência, na velocidade e na precisão em tarefas de coordenação unimanual e bimanual (AZARPAIKAN *et al.*, 2021; 2019; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017; HARDWICK; CELNIK, 2014). Em uma tarefa de adaptação locomotora, a ETCC cerebelar anódica acelerou o processo adaptativo, enquanto a ETCC cerebelar catódica o retardou. Notavelmente, a ETCC cerebelar influenciou a taxa de adaptação dos elementos espaciais da caminhada, mas não dos elementos temporais (JAYARAM *et al.*, 2012).

Esses achados têm implicações importantes para a compreensão do impacto da ETCC cerebelar (ETCC-CRB) em diferentes contextos e faixas etárias. Em particular, um estudo mais recente avaliou o efeito da ETCC- CRB no aprendizado motor em adultos jovens e idosos durante uma tarefa de destreza manual. Os participantes foram randomizados para receber ETCC anódica ou uma estimulação simulada. Os resultados mostraram que, para os adultos mais velhos, a estimulação melhorou o aprendizado de curto prazo, mas prejudicou a consolidação do aprendizado, sem efeito na retenção a longo prazo. Assim, esses dados sugerem que a ETCC cerebelar pode ser vantajosa para promover aprendizado rápido em idosos, especialmente em tarefas complexas, embora possa interferir na consolidação do aprendizado (LINDBERG *et al.*, 2022).

A ETCC-CRB teve efeito positivo na aprendizagem e no desempenho motor e seu efeito na aprendizagem parece depender da interação entre as especificações de montagem (área estimulada e polaridade) e as características da tarefa motora (GUIMARÃES *et al.*, 2023). Devido ao seu potencial como ferramenta clínica, a ETCC-

CRB tem sido investigada em distúrbios neurológicos como: Parkinson, esclerose múltipla, tremor essencial, ataxia e paralisia cerebral (LEFAUCHEUR *et al.*, 2017; FERRUCCI *et al.*, 2015; GRECCO *et al.*, 2016).

2.4 Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua e paralisia cerebral

Uma revisão sistemática conduzida por Novack *et al.* (2019) analisou o nível de evidência de intervenções e tratamentos disponíveis na literatura para a paralisia cerebral (PC). Dentre essas técnicas, avaliou-se o nível de evidência atual para ETCC associada ao treinamento motor na PC. Essa técnica demonstrou um bom nível de evidência para as estimulações do córtex motor primário (M1) e foi classificada como eficaz para melhorar a função manual, a marcha, a mobilidade, o equilíbrio e a redução da espasticidade. Sessões repetidas de treinamento, combinadas com a ETCCa e treino de realidade virtual, resultaram em melhoras na velocidade da marcha, cadência, função motora grossa, mobilidade, independência, equilíbrio e performance funcional (COLLANGE GRECCO *et al.*, 2015, 2016). Além disso, uma única sessão de ETCCa levou a uma melhora temporária na função do membro superior em crianças com paralisia cerebral (MOURA *et al.*, 2017).

Além dos resultados positivos mencionados, Duarte *et al.* (2014) compararam o efeito de um treinamento em esteira combinado com estimulação anódica do córtex motor primário em crianças com paralisia cerebral a um grupo controle que recebeu estimulação placebo. Os resultados indicaram que a combinação de treinamento e estimulação anódica foi mais eficaz para melhorar o equilíbrio, medido pela oscilação ântero-posterior e mediolateral, além da Escala de Equilíbrio Pediátrico e a funcionalidade das crianças.

Em outro estudo, GRECCO *et al.* (2014) investigaram os efeitos de 10 sessões consecutivas de estimulação anódica sobre o M1, associadas ao treinamento em esteira em crianças com paralisia cerebral diparética espástica. O grupo submetido à ETCC ativa apresentou melhorias significativas na marcha e na mobilidade funcional, além de um aumento na excitabilidade corticoespinhal. Uma única sessão de ETCC também mostrou uma melhora significativa no equilíbrio e na marcha, com redução das oscilações posturais e aumento na velocidade e cadência da marcha em relação ao grupo controle (GRECCO; DUARTE; ZANON *et al.*, 2014).

O efeito da ETCC-CRB anódica associada ao treino locomotor em esteira foi avaliado em crianças com paralisia cerebral atáxica. Após a aplicação da ETCC-CRB anódica, observou-se uma redução significativa nas oscilações do centro de pressão com os olhos fechados. Além disso, os benefícios do treinamento em esteira para o equilíbrio funcional e a mobilidade foram mantidos exclusivamente no grupo que recebeu a ETCC ativa (GRECCO *et al.*, 2016).

Pesquisas prévias que analisaram o efeito da ETCC na aprendizagem de habilidades motoras em pessoas com PC concentraram-se predominantemente na estimulação do córtex motor primário (M1). Esses estudos abordaram desfechos relacionados à função motora grossa, função manual, marcha, mobilidade, espasticidade e equilíbrio (HAMILTON; WAKELY; MARQUEZ, 2018; FLEMING *et al.*, 2018; NOVAK *et al.*, 2019). Por outro lado, o efeito da ETCC direcionada ao cerebelo, assim como a compreensão da influência do tipo de tarefa no processo de aprendizagem motora desses indivíduos, ainda são pouco explorados. A investigação das hipóteses propostas neste projeto de pesquisa permitirá uma compreensão mais aprofundada do impacto da ETCC cerebelar na aprendizagem motora, da natureza da tarefa e de suas especificidades em pessoas com paralisia cerebral, com possíveis implicações práticas para o processo de reabilitação.

3 EXPERIMENTO

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar o efeito da estimulação transcraniana por corrente contínua anódica (ETCCa) cerebelar na aprendizagem de tarefas de sequência e de adaptação motora em pessoas com paralisia cerebral.

3.1.1 Objetivos específicos

1. Investigar o efeito da ETCCa cerebelar no desempenho de tarefas de adaptação motora em pessoas com paralisia cerebral.
2. Investigar o efeito da ETCCa cerebelar no desempenho de tarefas de sequência motora em pessoas com paralisia cerebral.
3. Investigar o efeito da ETCCa cerebelar na aprendizagem de tarefas de adaptação motora em pessoas com paralisia cerebral.
4. Investigar o efeito da ETCCa cerebelar na aprendizagem de tarefas de sequência motora em pessoas com paralisia cerebral.

3.2 Hipóteses

- **H1:** A ETCCa cerebelar irá beneficiar o desempenho da tarefa de adaptação motora no grupo experimental quando comparado ao grupo controle.
- **H2:** A ETCCa cerebelar não irá beneficiar o desempenho da tarefa de sequência motora no grupo experimental quando comparado ao grupo controle.
- **H3:** A ETCCa cerebelar beneficiará a aprendizagem da tarefa de adaptação motora no grupo experimental quando comparado ao grupo controle.
- **H4:** A ETCCa cerebelar não irá beneficiar a aprendizagem da tarefa de sequência motora quando comparada ao grupo controle.

3.3 Materiais e métodos

3.3.1 Amostra

A amostra do estudo foi composta por 21 indivíduos com paralisia cerebral espástica, de ambos os sexos (14 do sexo masculino; 7 do sexo feminino), com idades entre 8 e 20 anos (média de $14,08 \pm 4$ anos). Esses participantes participaram de dois experimentos: no primeiro, a amostra contou com 20 indivíduos, enquanto no segundo experimento, a amostra foi composta por 18 desses mesmos participantes.

A seleção dos participantes foi realizada por meio de convite pessoal e divulgação em redes sociais. Foram incluídos na amostra indivíduos que concordaram em assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) ou Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para pais e responsáveis (TCLE) e o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE); que não participaram anteriormente de experimentos similares; sem implantes de metal no crânio ou marca-passos cardíacos; idade entre 8 e 22 anos; que possuíam diagnóstico de paralisia cerebral; classificação nos níveis I, II ou III do Sistema de Classificação da Função Motora Grossa (GMFCS); classificação nos níveis I, II ou III do Sistema Manual de Classificação de Habilidades (MACS); classificados nos níveis I e II do Sistema de Classificação da Função de Comunicação (CFCs); relato de ausência de crises convulsivas (foram considerados os 6 meses anteriores a coleta) e/ou disfunções neurológicas associadas; ausência de histórico de lesões nos membros superiores nos últimos 6 meses; que não realizaram intervenções nos membros superiores que possam impactar o desempenho funcional nos últimos 6 meses (por exemplo, cirurgia ou aplicação de toxina botulínica).

No primeiro experimento, um participante foi excluído por não concluir o treinamento da tarefa motora associada à ETCCa. No segundo experimento, além de um participante excluído pelo mesmo motivo, dois outros desistiram de participar.

3.3.2 Cuidados éticos

O estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais e aprovado sob o parecer CAAE:74265423.1.0000.5149. Foram

respeitadas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde (Resolução nº 466/12) para pesquisas envolvendo seres humanos. Os voluntários foram previamente instruídos sobre os objetivos e procedimentos, informados que eram livres para recusar participar ou desistir do experimento a qualquer momento sem que isso pudesse lhes causar prejuízo e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE B e C) e o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) (APÊNDICE D e E).

Todos os dados e anotações relativos aos participantes são estritamente confidenciais e utilizados apenas para os fins da pesquisa.

3.3.3 Instrumentos

3.3.3.1 Entrevista semiestruturada

Foi conduzida uma entrevista semiestruturada (Anexo F) para a coleta de informações demográficas dos participantes. As informações obtidas incluem: idade, sexo, nível de função motora grossa, nível de função manual e de comunicação, histórico de lesão nos membros superiores, ocorrência de crises convulsivas ou transtornos neurológicos associados, uso de implantes metálicos e de medicamentos.

3.3.3.2 Sistema de Classificação da Função Motora Grossa (GMFCS)

O sistema mais utilizado para classificar a mobilidade é o Sistema de Classificação da Função Motora Grossa (GMFCS) (CHAGAS *et al.*, 2008) e foi desenvolvido para fornecer um sistema padronizado de descrição e classificação da gravidade da deficiência motora em crianças com paralisia cerebral. Trata-se de um sistema de classificação em 5 níveis que avalia os movimentos autoiniciados das crianças, com ênfase especial em sentar, andar e mobilidade com rodas (SILVA; PFEIFER; FUNAYAMA, 2013).

No NÍVEL 1: Anda sem limitações; NÍVEL II – Anda com limitações; NÍVEL III – Anda utilizando um dispositivo manual de mobilidade; NÍVEL IV – Auto-mobilidade com limitações; pode utilizar mobilidade motorizada; NÍVEL V – Transportado em uma cadeira de rodas manual (PALISANO *et al.*, 2008).

A versão em português do GMFCS E & R (versão estendida) é considerada confiável para uso por pais e terapeutas. Os pais tendem a classificar as limitações de seus filhos de forma mais severa, pois têm um conhecimento detalhado do desempenho das crianças em diversos ambientes (SILVA; PFEIFER; FUNAYAMA, 2013).

O GMFCS é confiável e estável entre avaliadores, e possui validade de conteúdo, construto, discriminativa e preditiva. Isso significa que a ferramenta não apenas fornece uma medida consistente das habilidades motoras, mas também é eficaz em diferenciar entre os níveis de capacidade e prever a evolução da função motora ao longo do tempo (PALISANO *et al.*, 2008, PISCITELLI *et al.*, 2021).

3.3.3.3 Sistema Manual de Classificação de Habilidades (MACS)

O Sistema Manual de Classificação de Habilidades (MACS) (ELIASSON *et al.*, 2006) foi desenvolvido para avaliar como crianças com paralisia cerebral (PC) utilizam as mãos ao manusear objetos nas atividades diárias. A classificação do MACS foca no desempenho manual típico da criança considerando a função dos membros superiores e fatores ambientais, pessoais e contextuais em vez de sua capacidade máxima. O sistema é projetado para refletir o uso colaborativo de ambas as mãos durante as atividades, fornecendo uma visão sobre a funcionalidade manual geral da criança. O MACS descreve, em cinco níveis, como indivíduos com PC usam as mãos pra manipular objetos nas atividades diárias. No nível I: o indivíduo manipula os objetos facilmente e com sucesso; II: Manipula a maioria dos objetos; III: Manipula objetos com dificuldade e geralmente necessitam de ajuda e /ou requerem que a qualidade e/ou velocidade seja reduzida; IV: Manipula uma variedade limitada de objetos e requer suporte e assistência para completar parcialmente a tarefa; V: Não manipula objetos e requer assistência total para as atividades. As distinções entre os níveis ajudam a identificar o grau de suporte necessário e as limitações enfrentadas por cada criança, facilitando a personalização do suporte e das adaptações para maximizar a participação nas atividades diárias. A versão brasileira do MACS é um instrumento confiável para ser usado em conjunto por pais e terapeutas, (ELIASSON *et al.*, 2006; SILVA; FUNAYAMA; PFEIFER, 2015).

3.3.3.4 Sistema de Classificação da Função de Comunicação (CFCS)

O Sistema de Classificação da Função de Comunicação (CFCS) fornece uma linguagem padronizada para descrever o desempenho funcional da comunicação. Ao reconhecer todos os métodos eficazes de comunicação, incluindo comunicação aumentativa e alternativa (CAA), o CFCS garante que diferentes estratégias de comunicação sejam consideradas. Pode ser utilizado para descrever as habilidades de comunicação dos participantes em pesquisas e, clinicamente, auxilia pais e profissionais a discutirem como diferentes ambientes, parceiros ou tarefas podem influenciar o nível de CFCS de um indivíduo. Criado para aprimorar a compreensão das habilidades comunicativas em indivíduos com paralisia cerebral, o CFCS substitui descrições vagas como "leve" ou "severo" por cinco níveis distintos. A avaliação considera o papel do remetente e receptor, o ritmo da comunicação e a familiaridade com o parceiro de comunicação. Os níveis são: I) Eficaz com parceiros conhecidos e desconhecidos; II) Eficaz, mas com ritmo mais lento; III) Eficaz apenas com parceiros conhecidos; IV) Inconsistente com parceiros conhecidos; V) Raramente eficaz, mesmo com parceiros conhecidos (HIDECKER *et al.*, 2011). A versão em português foi traduzida e adaptada por Guedes-Granzotti *et al.* (2016).

3.3.3.5 Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua

A Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) foi realizada através de um estimulador de corrente constante acionado por bateria *Soterix Medical 1x1 tDCS Low Intensity Stimulator* (Soterix LTE) com dois eletrodos cobertos por esponjas, cada uma com uma área de superfície de 25 centímetros quadrados (cm²) e uma intensidade corrente de 1,5 miliamperes (mA). As esponjas foram embebidas em solução salina para garantir uma condutividade adequada e evitar a transmissão de calor para o couro cabeludo (NITSCH *et al.*, 2008).

Esse equipamento possui um sistema de controle eletrônico que permite ajustes da corrente e monitoramento em tempo real durante a aplicação. A intensidade da corrente pode ser ajustada através de um painel de controle digital, que exibe a corrente aplicada em miliamperes (mA) e o tempo restante da sessão. A qualidade do contato

entre os eletrodos e a pele é monitorada através de um painel de impedância para garantir que a corrente seja distribuída uniformemente e para minimizar qualquer desconforto durante a aplicação.

Além da estimulação ativa, o Soterix LTE possui uma função de simulação (sham), que foi utilizada como controle. A função sham é projetada para fornecer uma sensação semelhante à estimulação real, sem, no entanto, aplicar uma corrente elétrica efetiva suficiente para provocar mudanças na excitabilidade cortical. Nessa configuração o participante recebe a corrente por 30s, seguida por uma diminuição lenta de 5 segundos. Esta função ajuda a manter a cegueira dos participantes quanto à condição de tratamento e assegura a validade dos resultados ao controlar os efeitos placebo.

O eletrodo anodo foi posicionado a 3 cm lateral ao ínion, abrangendo a parte inferior do cerebelo ipsilateral ao membro utilizado para a tarefa. O cátodo foi posicionado sobre o músculo bucinador ipsilateral ao membro superior utilizado para a tarefa (TAUBERT *et al.*, 2016) (FIGURA 3).

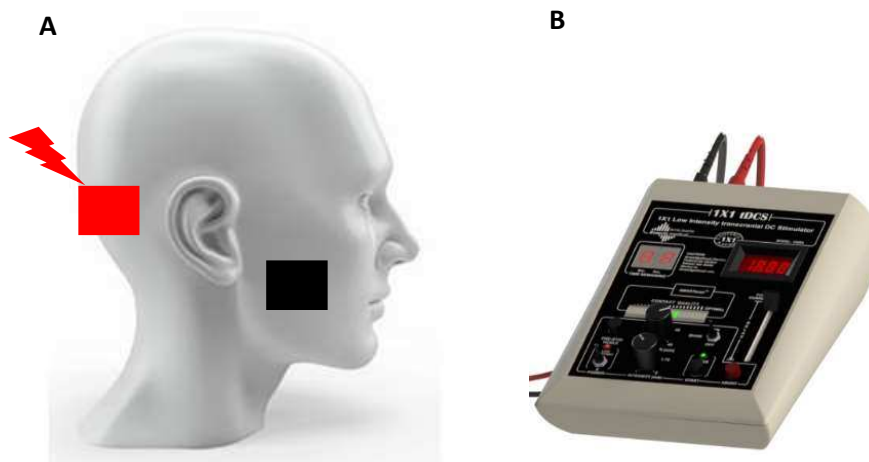


Figura 3 – Desenho esquemático das posições dos eletrodos para ETCC cerebelar e aparelho utilizado. Legenda: a) Anodo (na cor vermelha) localizado em toda a parte inferior do cerebelo. Posicionamento do catodo (na cor preta) sobre o músculo bucinador; b) Aparelho de ETCC.

Fonte: a) Imagem adaptada do estudo Grimaldi *et al.* (2016) p. 88; b) Imagem adaptada da internet.

3.3.3.6 Tarefas motoras

As tarefas foram realizadas em um computador e controladas por um *software* customizado (disponível em <https://github.com/douglaslf97/serial-reaction>) e foram divididas em tarefas de sequência motora e tarefas da adaptação motora.

3.3.3.6.1 Tarefa de sequência motora

A tarefa utilizada foi semelhante à descrita por Apolinário-Souza *et al.* (2021), e consistiu na execução de uma sequência de movimentos. Para essa tarefa, foi utilizado um microcomputador com monitor colorido e um teclado mecânico adaptado de quatro teclas, que foi posicionado sobre uma mesa (FIGURA 4). Os participantes foram instruídos a sentar-se confortavelmente em uma cadeira, posicionando seus dedos mínimo, anelar, médio e indicador sobre as teclas "a", "s", "d" e "f" do teclado com a mão dominante, sendo que esse posicionamento deveria ser mantido durante a tarefa.



Figura 4– Desenho esquemático dos aparatos utilizados na tarefa de sequência e adaptação motora. Legenda: a) Posicionamento da mão no teclado com a mão dominante direita. b) Posicionamento da mão no teclado com a mão dominante esquerda. C) Teclado mecânico de 4 teclas.

Fonte: Imagem de autoria do próprio autor (2024).

Um estímulo visual preparatório, indicado pela mensagem "INICIAR" na tela, sinalizou o início da tarefa. O participante deveria pressionar a tecla "enter" quando se sentisse pronto para começar. A sequência de teclas aparecia centralizada na tela, e os participantes foram instruídos a executá-la com a máxima precisão e rapidez. Após o

primeiro pressionamento de tecla, a sequência desaparecia da tela. Não foi estipulado tempo máximo de execução por tentativa. Caso uma tecla incorreta fosse pressionada, um alerta visual em vermelho era exibido (FIGURA 5).

Cada bloco de tentativas consistiu em 10 sequências de 4 teclas, geradas de forma aleatória pelo *software*. Foram realizados 10 blocos durante a fase de aquisição da tarefa.

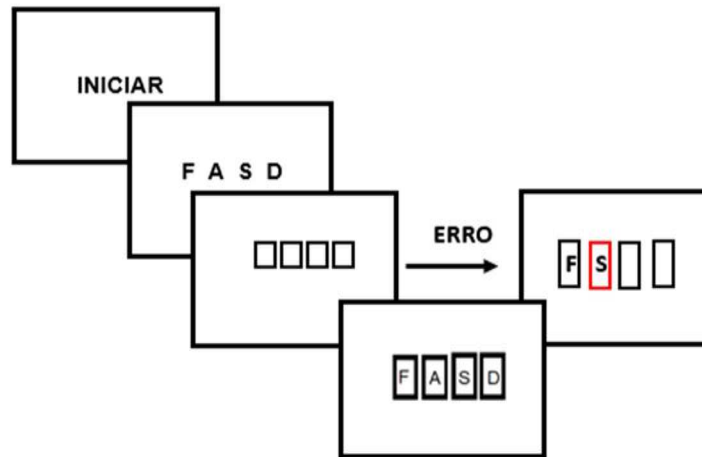


Figura 5– Desenho esquemático do *design* da tarefa de sequência motora

Fonte: Imagem de autoria do próprio autor (2024).

3.3.3.6.2 Tarefa de adaptação motora

Os procedimentos para a tarefa de adaptação motora foram semelhantes aos da tarefa de sequência motora (FIGURA 4), no entanto, nesta tarefa, a informação sobre a tecla a ser pressionada foi apresentada uma de cada vez, sem permitir ao participante ter conhecimento prévio da sequência completa. Cada tecla foi exibida na tela de forma isolada e em posições diferentes, obrigando o participante a realizar uma busca visual ativa, criando uma condição dinâmica de estímulos e respostas a cada tentativa (FIGURA 6). As letras foram geradas aleatoriamente pelo *software*.

Os participantes foram orientados a sentar-se confortavelmente em uma cadeira e posicionar os dedos mínimo, anelar, médio e indicador sobre as teclas "a", "s", "d" e "f" do teclado com a mão dominante, sendo que esse posicionamento deveria ser mantido durante a tarefa. Eles deveriam pressionar essas teclas na ordem apresentada no espaço

reservado na tela, o mais rapidamente possível. Caso um erro ocorresse, um estímulo visual em vermelho apareceria para indicar a tecla pressionada incorretamente (FIGURA 6). Cada bloco de tentativas consistiu em 10 sequências de 4 teclas, dispostas de forma aleatória. Foram realizados 10 blocos de tentativas.

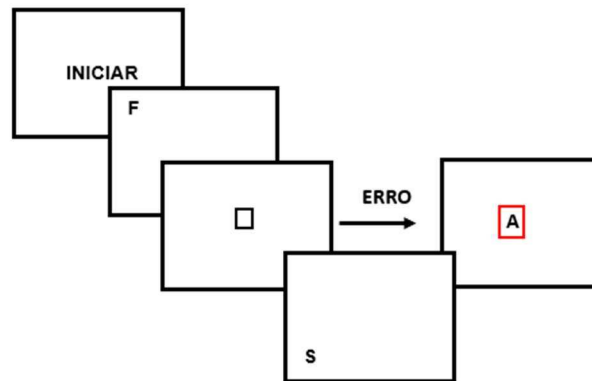


Figura 6 – Desenho esquemático do *design* da tarefa de adaptação motora

Fonte: Imagem de autoria do próprio autor (2024).

3.4 Delineamento experimental e procedimentos

O presente estudo contou com um delineamento experimental cruzado.

Com o intuito de testar e avaliar as tarefas motoras desenvolvidas para este estudo, foi conduzido um estudo piloto, cujos dados obtidos estão apresentados no APÊNDICE A.

A coleta de dados foi conduzida pela discente do Programa de Pós-Graduação em Neurociências da Universidade Federal de Minas Gerais no Laboratório do Grupo de Estudos de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO-UFMG) e nas dependências da clínica Proativa Habilitação Integrada, conforme detalhado na carta de anuência (ANEXO 1).

O estudo foi estruturado em dois experimentos realizados com um intervalo de um mês entre eles. Cada experimento ocorreu em dois dias consecutivos. No primeiro dia, todas as dúvidas sobre a pesquisa foram esclarecidas e os voluntários com idade superior a 17 anos e 11 meses anos assinaram o Termo de Consentimento Livre e

Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE B), e voluntários com idade inferior a 18 anos assinaram o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE), (APÊNDICE D e E) e seu responsável assinou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para pais e responsáveis (APÊNDICE C). Em seguida, os participantes/responsáveis responderam a uma entrevista semiestruturada. Foram então instruídos verbalmente sobre a tarefa, em seguida, realizaram o pré-teste, que consistiu em 10 sequências aleatórias de 4 teclas da tarefa motora sem a aplicação de ETCC para estabelecer a linha de base da tarefa na qual foi alocado.

Os participantes foram aleatoriamente alocados em quatro grupos experimentais. O primeiro grupo recebeu ETCC cerebelar ativa associada à prática da tarefa de sequência motora (ETCC-S), o segundo grupo recebeu ETCC cerebelar simulada (sham) associada à prática da tarefa de sequência motora (SHAM-S), o terceiro grupo recebeu ETCC cerebelar ativa associada à prática da tarefa de adaptação motora (ETCC-A), e o quarto grupo recebeu ETCC cerebelar simulada (sham) associada à prática da tarefa de adaptação motora (SHAM-A). Somente o pesquisador responsável pela intervenção tinha conhecimento da alocação dos participantes nos grupos.

Nos grupos que receberam ETCC ativa, a estimulação transcraniana anódica foi aplicada ao cerebelo ipsilateral ao membro utilizado para a tarefa motora durante 20 minutos. Após a estimulação, os participantes realizaram a prática da tarefa motora. Para os participantes alocados ao grupo Sham, foi realizada uma configuração de ETCC simulada comparável, que incluiu uma corrente de 1,5mA por 30 segundos, seguida por uma diminuição lenta de 5 segundos, sem corrente elétrica sustentada durante os 20 minutos. Essa configuração foi associada à prática da tarefa nas mesmas condições dos grupos com ETCC ativa. A prática da tarefa motora consistiu em 10 blocos de 10 sequências de 4 teclas aleatórias.

Aproximadamente 24 horas após a fase de aquisição os participantes realizaram o pós-teste, que consistiu em um teste de retenção que consistiu em 10 sequências aleatórias de 4 teclas da tarefa motora nas mesmas condições, sem a aplicação da ETCC.

Após um mês, os 18 participantes que concordaram em participar do segundo experimento foram reorganizados em novos grupos e realizaram a tarefa motora que ainda não haviam executado. No segundo experimento, os participantes que receberam a ETCC ativa na primeira fase passaram a receber a ETCC simulada (sham), enquanto aqueles que receberam a ETCC simulada na primeira fase passaram a receber a ETCC ativa. Com essa nova alocação, o grupo ETTC-A contou com 10 participantes, o ETTC-S com 9 participantes, o SHAM-A também contou com 10 participantes e o SHAM-S com 9 participantes. Um resumo do delineamento, dos procedimentos e da tarefa está apresentado na FIGURA 7.

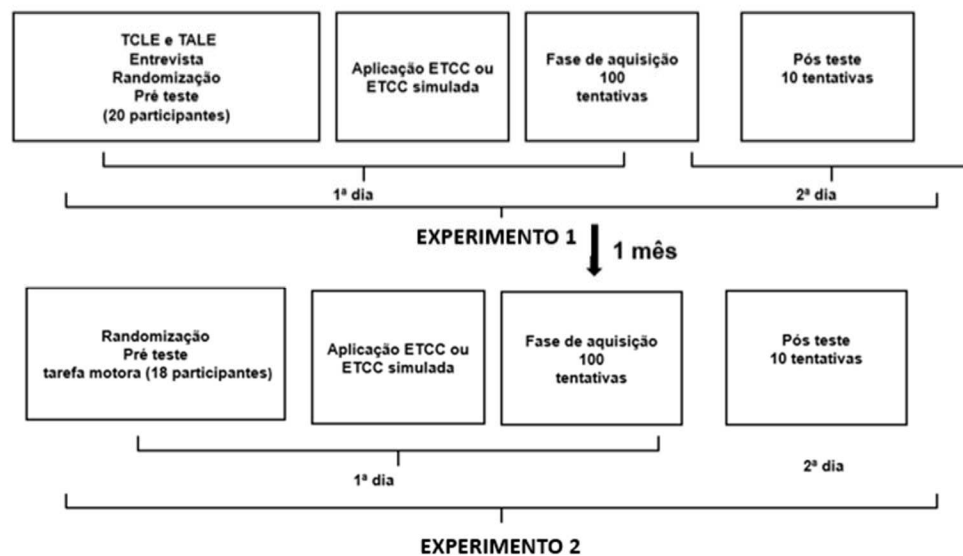


Figura 7 - Desenho experimental. O desenho esquemático apresenta o desenho experimental dividido em dois experimentos. Cada experimento foi dividido em dois dias consecutivos. O desenho experimental também apresenta o detalhamento de cada dia do experimento.

Legenda: ETCC – Estimulação transcraniana por corrente contínua.

Fonte: Imagem de autoria do próprio autor (2024).

3.5 Variáveis do experimento

3.5.1 Variáveis independentes

Aplicação da ETCC.

3.5.2 Variáveis dependentes motoras

3.5.2.1 Erro

O erro foi considerado como um toque incorreto na tecla, e foram contabilizados com base no número absoluto de toques errados realizados nas teclas.

3.5.2.2 Tempo de reação

Foi considerado como o tempo de reação o intervalo de tempo entre o aparecimento do estímulo na tela e o primeiro toque no teclado em milissegundos.

3.5.2.3 Tempo de movimento

Foi considerado como o tempo de movimento o intervalo entre o primeiro toque no teclado até o fim da execução dos toques de teclas necessários para completar a sequência de toques em milissegundos.

3.5.2.4 Tempo de resposta

Foi considerado como tempo de resposta a soma do tempo de reação e do tempo de movimento de uma sequência de toques em milissegundos.

3.5.2.5 Mudança *online*

Mudança no desempenho ao longo da fase de aquisição no primeiro dia foi considerada uma medida de aprendizado *online*. As mudanças *online* foram calculadas subtraindo-se o desempenho médio do primeiro bloco da fase de aquisição (BLOCO1) do último bloco da fase de aquisição (BLOCO10). Esse valor foi considerado como o delta de mudança *online*.

$$\text{Delta de mudança online} = \text{BLOCO10} - \text{BLOCO1}$$

3.5.2.6 Mudança *offline*

Mudança no desempenho entre o último bloco fase de aquisição (B10) no primeiro dia e o pós-teste (realizado 24h após o fim da aquisição) foi considerada uma medida de

aprendizado *offline*. As mudanças *offline* foram calculadas subtraindo-se o desempenho médio do último bloco da fase de aquisição (BLOCO10) do desempenho médio do bloco de pós-teste. Esse valor foi considerado como o delta de mudança *offline*.

$$\text{Delta de mudanças } \textit{offline} = \text{PÓS-TESTE} - \text{BLOCO10}$$

3.6 Análise dos dados

Estatística descritiva, com cálculo de frequência, porcentagem, médias e desvio-padrão, foi utilizada para caracterizar a amostra. Para cada variável dependente, a média e desvio padrão dos participantes no pré-teste, pós-teste, blocos de aquisição (bloco 1 a bloco 10), mudança *online* e *offline* foram calculadas. A normalidade dos dados foi avaliada com o teste Shapiro-Wilk a partir dos seguintes conjuntos de dados: (1) blocos do pré-teste e pós-teste; (2) blocos da fase da aquisição; (3) bloco de mudança online; (4) bloco de mudança offline para cada uma das medidas dependentes em cada uma das tarefas.

Devido a robustez da Análise de variância, optou-se por usar a Anova Two-way com medidas repetidas mesmo quando os dados dos (1) blocos pré-teste e pós-teste (2 Grupos X 2 blocos) e (2) blocos da fase de aquisição (2 Grupos X 10 blocos) não atendiam os pressupostos de normalidade (SCHMIDER *et al.*, 2010). Para comparação entre grupos, (1) bloco de mudança online e (2) bloco de mudança offline, utilizou-se o test *t* de Student independente, optou-se pela utilização do teste Mann-Whitney quando os pressupostos de normalidade não foram atendidos.

O valor de alfa adotado para todas as análises foi de $p \leq 0,05$. O tamanho do efeito foi interpretado com base nos critérios propostos por Cohen (1988), sendo classificados como pequeno ($\eta^2 < 0,01$), médio (η^2 entre 0,02 e 0,06) e grande ($\eta^2 > 0,14$).

A organização dos dados e as análises foram realizadas utilizando o software Statistica 10.0.

4. RESULTADOS

4.1 Amostra

A TABELA 1 apresenta as características demográficas e clínicas dos participantes distribuídos em quatro grupos experimentais: ETCC-A, ETCC-B, SHAM-A e SHAM-B. As variáveis analisadas incluem idade, sexo e classificação do tipo de PC espástica em unilateral ou bilateral. A média de idade dos participantes varia entre os grupos, sendo predominantemente entre 12 e 16 anos, enquanto a distribuição de sexo permanece equilibrada em todos os grupos. Além disso, a tabela detalha a distribuição dos participantes conforme os níveis de função motora grossa (GMFCS), função manual (MACS) e comunicação (CFCS).

		ETCC-A	ETCC-B	SHAM-A	SHAM-B
PARTICIPANTES		10	9	10	9
IDADE (ANOS)	MÉDIA	15,8	12,1	12,7	15,7
	DESVIO PADRÃO	3,2	3,3	3,7	3,4
SEXO	FEMININO	40%	44,4%	40%	44,4%
	MASCULINO	60%	55,6%	60%	55,6%
DIAGNÓSTICO PC ESPÁSTICA	UNILATERAL	50%	44,4%	40%	44,4%
	BILATERAL	50%	55,6%	60%	55,6%
GMFCS	I	10%	44,4%	40%	11,1%
	II	70%	33,4%	40%	66,7%
	III	20%	22,2%	20%	22,2%
MACS	I	20%	33,7%	30%	22,2%
	II	80%	66,7%	70%	77,8%
CFCS	I	100%	100%	100%	100%

Tabela 1. Caracterização e descrição da Amostra. A tabela apresenta as características demográficas e clínicas dos participantes, distribuídos em quatro grupos experimentais: ETCC-A, ETCC-B, SHAM-A e SHAM-B.

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

4.2 Tarefa de adaptação motora

4.2.1 Medida de erros

4.1.1.1. Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 1,96$, $p = 0,17$, $\eta^2_p = 0,09$], Blocos [$F(1,18) = 3,79$, $p = 0,06$, $\eta^2_p = 0,17$], assim como interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 1,16$, $p = 0,29$, $\eta^2_p = 0,06$]. O GRÁFICO 1 mostra os dados descritivos.

4.2.1.2. Análise dos blocos da aquisição

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 3,20$, $p = 0,09$, $\eta^2_p = 0,15$], Blocos [$F(1,18) = 1,08$, $p = 0,37$, $\eta^2_p = 0,05$], assim como interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 0,72$, $p = 0,68$, $\eta^2_p = 0,03$]. O GRÁFICO 1 mostra os dados descritivos.

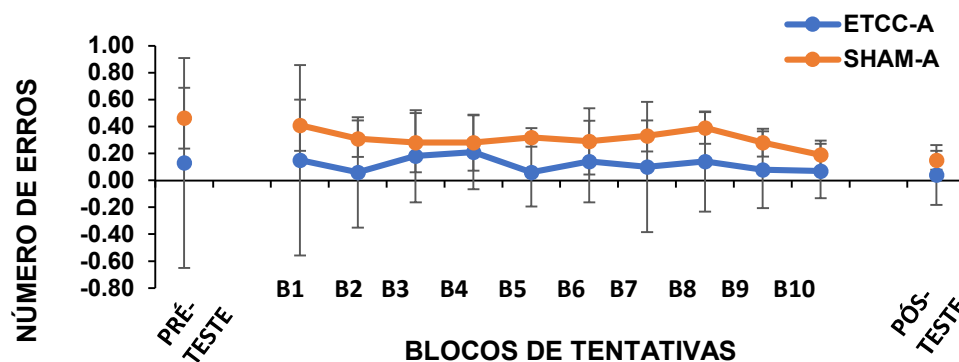


Gráfico 1 - Médias do número de erros dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora durante o pré-teste, a fase de aquisição e o pós-teste. O eixo X representa os blocos de tentativas no pré-teste, os blocos da fase de aquisição (B1 a B10) e o pós-teste, enquanto o eixo Y indica o número de erros. A análise descritiva é fornecida por meio das médias e do erro padrão do número de erros por bloco para ambos os grupos na tarefa de adaptação motora. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas não revelou diferenças significativas entre os grupos, blocos ou interações entre os grupos em qualquer bloco analisado. De forma descritiva, ambos os grupos apresentaram uma redução no número de erros no pós-teste quando comparado ao pré-teste.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.2.1.3 Mudança *online*

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$Z(44,5) = 0,03$, $p = 0,96$]. O GRÁFICO 2 mostra os dados descritivos.

4.2.1.4 Mudança *offline*

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$Z(45,0) = 0,37$, $p = 0,70$]. O GRÁFICO 2 mostra os dados descritivos.

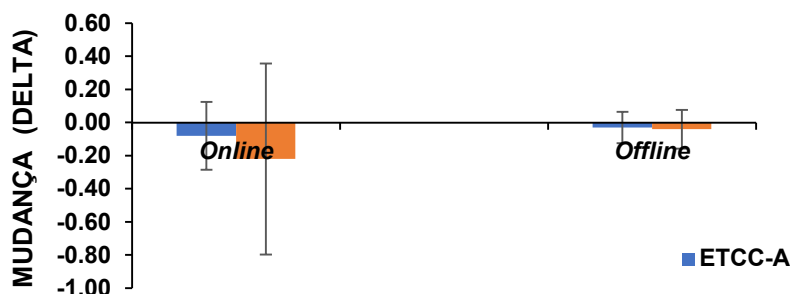


Gráfico 2 – Medida de variação das mudanças *online* e *offline* do número de erros dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora. A análise inferencial realizada através do teste Mann-Whitney não revelou diferenças significativas entre os grupos em relação à mudança *online* ($p = 0,93$) e à mudança *offline* ($p = 0,70$).

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.2.2 Medida do tempo de reação

4.2.2.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 0,09$, $p = 0,76$, $\eta^2_p = 0,00$]. Foi detectada diferença significativa entre Blocos [$F(1,18) = 31,40$, $p < 0,01$, $\eta^2_p = 0,63$]. A análise descritiva mostra que o pós-teste apresentou menor tempo de reação do que o pré-teste. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 3,09$, $p = 0,09$, $\eta^2_p = 0,14$]. O GRÁFICO 3 mostra os dados descritivos.

4.2.2.2 Análise dos blocos da aquisição

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 1,99$, $p = 0,17$, $\eta^2_p = 0,09$]. Foi

detectada diferença significativa entre Blocos [$F(1,18) = 2,39$, $p = 0,01$, $\eta^2_p = 0,11$]. A análise descritiva dos principais resultados mostrou que o bloco 1 apresentou menor tempo de reação do que os blocos 6, 7, 8 e 9 e o bloco 2 menor tempo de reação dos que os blocos de 6 a 10. Foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 2,13$, $p = 0,02$, $\eta^2_p = 0,10$]. O último bloco da fase de aquisição do grupo ETCC-A apresentou menor tempo de reação do que o último bloco do grupo SHAM-A. É importante destacar que o tamanho de efeito foi considerado grande na análise comparativa entre os testes. O GRÁFICO 3 mostra os dados descritivos.

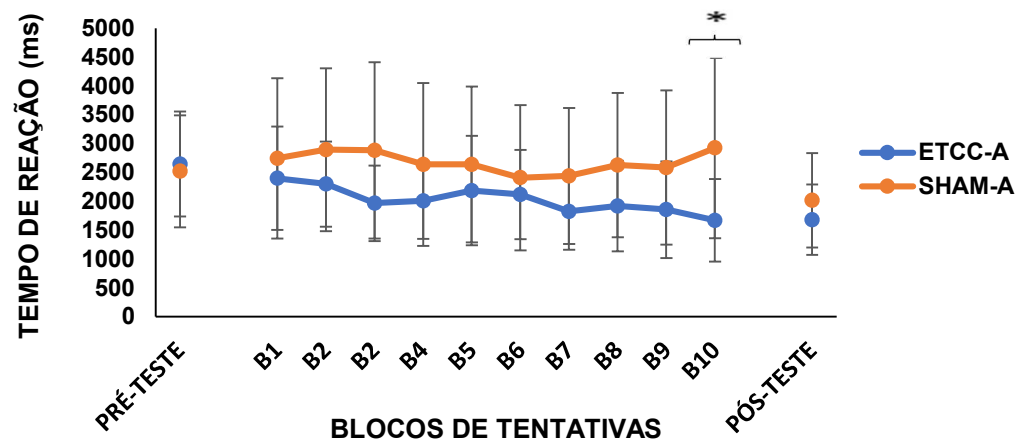


Gráfico 3 - Médias do tempo de reação dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste. O eixo X representa os blocos de tentativas no pré-teste, os blocos da fase de aquisição (B1 a B10) e o pós-teste, enquanto o eixo Y indica o tempo de reação em milissegundos. A análise descritiva é fornecida por meio das médias e do erro padrão do tempo de reação por bloco para ambos os grupos na tarefa de adaptação motora. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas encontrou interação significativa entre Grupos X Blocos ($p = 0,02$). O grupo ETCC-A apresentou menor tempo de reação no B10 bloco da fase de aquisição em relação ao grupo SHAM-A. De forma descritiva, ambos os grupos apresentaram uma redução no tempo de reação no pós-teste quando comparado ao pré-teste.

Legenda: * $p \leq 0,05$.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.2.2.3 Mudança *online*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = -2,06$, $p = 0,05$, $d = 0,036$]. A análise descritiva

indica uma piora do desempenho ao longo da prática para o grupo SHAM-A e uma melhora para o grupo ETCC-A. É importante destacar que o tamanho de efeito foi considerado moderado na análise comparativa entre os testes. O GRÁFICO 4 mostra os dados descritivos.

4.2.2.4 Mudança *offline*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = 2,55$, $p = 0,02$, $d = 0,09$]. É importante destacar que o tamanho de efeito foi considerado moderado na análise comparativa entre os testes. A análise descritiva indica uma melhora do desempenho do fim da fase de aquisição para o pós-teste para o grupo SHAM-A. O GRÁFICO 4 mostra os dados descritivos.

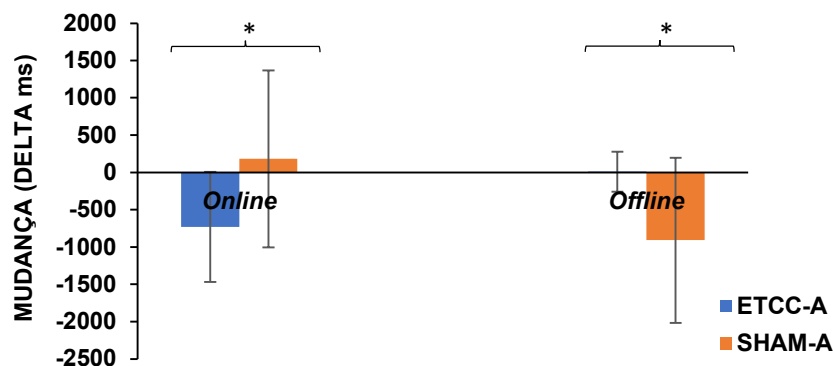


Gráfico 4– Medida de variação das mudanças *online* e *offline* do tempo de reação dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora. O teste t de *Student* independente indicou diferença significativa entre Grupos ($p = 0,05$) para a mudança *online*, com uma redução do tempo de reação do grupo ETCC-A ao longo da prática e para a mudança *offline* ($p = 0,02$), com uma redução no tempo de reação do grupo SHAM-A.

Legenda: * $p \leq 0.05$

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.2.3 Tempo de movimento

4.2.3.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 0,52$, $p = 0,47$, $\eta^2_p = 0,02$]. Foi detectada diferença significativa entre Blocos [$F(1,18) = 9,53$, $p < 0,01$, $\eta^2_p = 0,34$]. A análise descritiva mostra que o pós-teste apresentou menor tempo de movimento do que o pré-teste. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 1,85$, $p = 0,19$, $\eta^2_p = 0,09$]. O GRÁFICO 5 mostra os dados descritivos.

4.2.3.2 Análise dos blocos da aquisição

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 0,00$, $p = 0,97$, $\eta^2_p = 0,00$] e Blocos [$F(1,18) = 1,29$, $p = 0,24$, $\eta^2_p = 0,06$]. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 1,77$, $p = 0,07$, $\eta^2_p = 0,08$]. O GRÁFICO 5 mostra os dados descritivos.

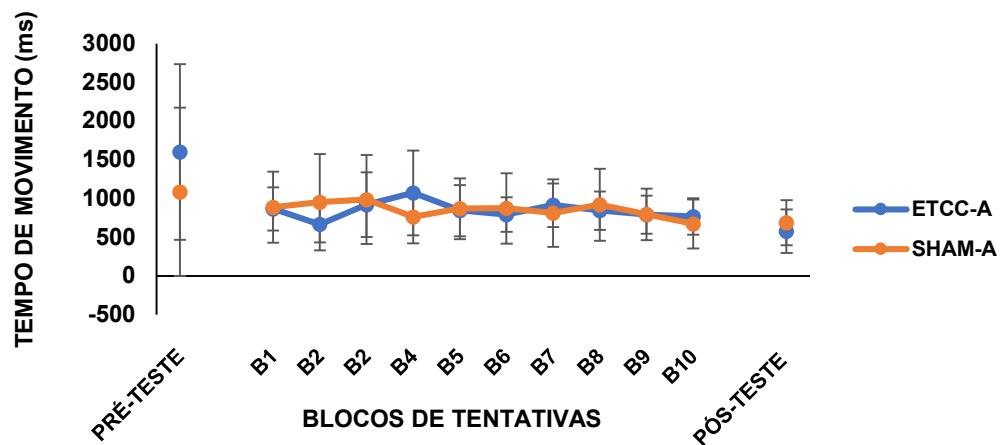


Gráfico 5 - Médias do tempo de movimento dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste. O eixo X representa os blocos de tentativas no pré-teste, os blocos da fase de aquisição (B1 a B10) e o pós-teste, enquanto o eixo Y indica o tempo de movimento. A análise descritiva é fornecida por meio das médias e do erro padrão do tempo de movimento por bloco para ambos os grupos na tarefa de adaptação motora. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas não revelou diferenças significativas entre os grupos, blocos ou interações entre os grupos em qualquer bloco analisado. De forma descritiva, ambos os grupos apresentaram uma redução no tempo de movimento no pós-teste quando comparado ao pré-teste.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.2.3.3 Mudança *online*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = 0,80$, $p = 0,43$, $d = 0,00$]. O GRÁFICO 6 mostra os dados descritivos.

4.2.3.4 Mudança *offline*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = -2,03$, $p = 0,05$, $d = 0,03$]. A análise descritiva indica uma maior mudança no desempenho do final da prática para o pós-teste para o grupo ETCC-A. O GRÁFICO 6 mostra os dados descritivos.

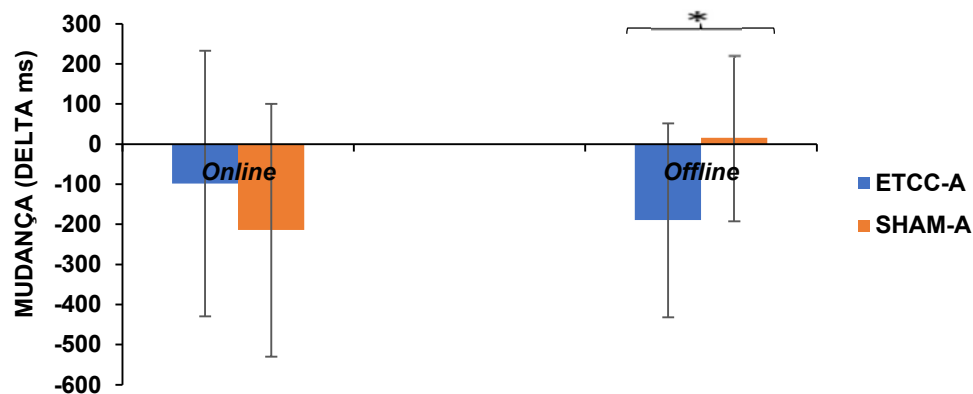


Gráfico 6– Medida de variação das mudanças *online* e *offline* do tempo de movimento dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora. O teste t de *Student* independente indicou diferença significativa entre Grupos ($p = 0,05$) para a mudança *offline* ($p = 0,02$), com uma redução no tempo de reação do grupo ETCC-A.

Legenda: * $p \leq 0,05$

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.2.4 Tempo de resposta

4.2.4.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 0,00$, $p = 0,92$, $\eta^2_p = 0,00$]. Foi detectada diferença significativa entre Blocos [$F(1,18) = 23,25$, $p < 0,01$, $\eta^2_p = 0,56$]. A análise descritiva mostra que o pós-teste apresentou menor tempo de resposta do que o pré-teste. Foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 4,06$, $p = 0,05$, $\eta^2_p = 0,18$]. O grupo ETCC-A diminuiu significativamente o tempo de resposta do bloco do pré-teste para o pós-teste. O grupo ETCC-A apresentou menor tempo de resposta no bloco do pós-teste comparado ao grupo SHAM-A, sendo que o tamanho de efeito foi considerado grande na análise comparativa entre os testes. O GRÁFICO 7 mostra os dados descritivos.

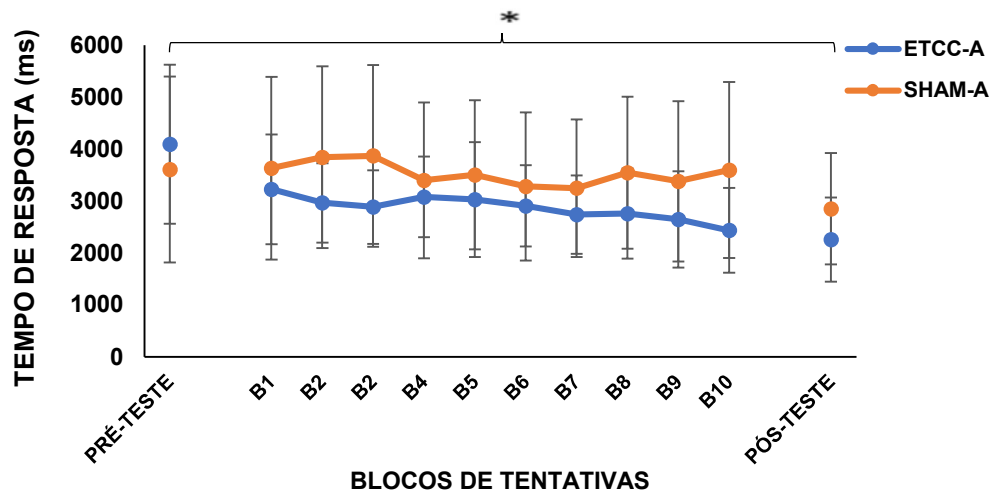


Gráfico 7 - Médias do tempo de resposta dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste. O eixo X representa os blocos de tentativas no pré-teste, os blocos da fase de aquisição (B1 a B10) e o pós-teste, enquanto o eixo Y indica o tempo de resposta. A análise descritiva é fornecida por meio das médias e do erro padrão do tempo de resposta por bloco para ambos os grupos na tarefa de adaptação motora. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas encontrou interação significativa entre Grupos X Blocos ($p = 0,05$). O grupo ETCC-A diminuiu o tempo de resposta do bloco do pré-teste para o pós-teste. De forma descritiva, ambos os grupos apresentaram uma redução no tempo de movimento no pós-teste quando comparado ao pré-teste.

Legenda: * $p \leq 0,05$

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.2.4.2 Análise dos blocos da aquisição

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 1,63$, $p = 0,21$, $\eta^2_p = 0,08$]. Foi encontrada diferença significativa para Blocos [$F(1,18) = 1,92$, $p = 0,05$, $\eta^2_p = 0,09$]. Os principais resultados mostraram que o tempo de resposta do bloco 1 da fase de aquisição foi maior do que nos blocos 7, 9 e 10. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 1,39$, $p = 0,19$, $\eta^2_p = 0,07$]. O GRÁFICO 8 mostra os dados descritivos.

4.2.4.3 Mudança *online*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = -1,45$, $p = 0,16$]. O GRÁFICO 8 mostra os dados descritivos.

4.2.4.4 Mudança *offline*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = 1,52$, $p = 0,14$]. O GRÁFICO 8 mostra os dados descritivos.

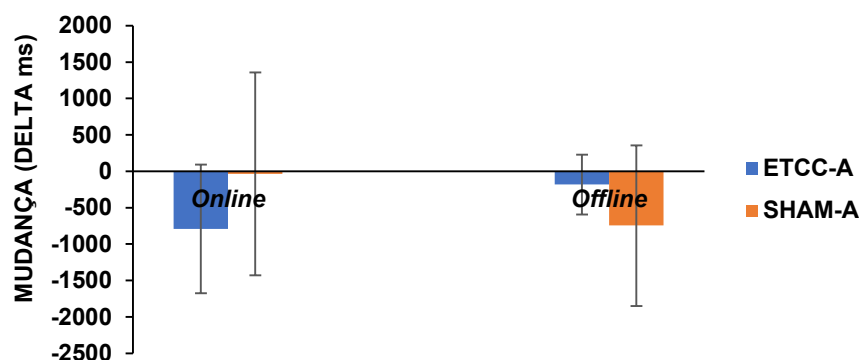


Gráfico 8– Medida de variação das mudanças *online* e *offline* do tempo de resposta dos grupos experimentais ETCC-A e SHAM-A na tarefa de adaptação motora. O teste t de Student independente não indicou diferença significativa entre grupos nas medidas de mudança *online* e *offline*.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.3 Tarefa de sequência motora

4.3.1 Medida de erros

4.3.1.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 0,23$, $p = 0,63$, $\eta^2_p = 0,01$]. Foi encontrada diferença significativa para Blocos [$F(1,18) = 4,24$, $p = 0,05$, $\eta^2_p = 0,20$]. A análise descritiva mostra que o pós-teste apresentou menor erro do que o pré-teste. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 0,57$, $p = 0,45$, $\eta^2_p = 0,03$]. O GRÁFICO 9 mostra os dados descritivos.

4.3.1.2 Análise dos blocos da aquisição

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 3,60$, $p = 0,07$, $\eta^2_p = 0,18$]. Foi encontrada diferença significativa para Blocos [$F(1,18) = 2,48$, $p = 0,01$, $\eta^2_p = 0,13$]. A análise descritiva mostra que o bloco 1 apresentou maior erro do que os blocos de 5 a 10. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 0,33$, $p = 0,96$, $\eta^2_p = 0,02$]. O GRÁFICO 9 mostra os dados descritivos.

4.3.1.3 Mudança *online*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = -0,66$, $p = 0,51$]. O GRÁFICO 10 mostra os dados descritivos.

4.3.1.4 Mudança *offline*

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$Z(36) = -0,39$, $p = 0,69$]. O GRÁFICO 10 mostra os dados descritivos.

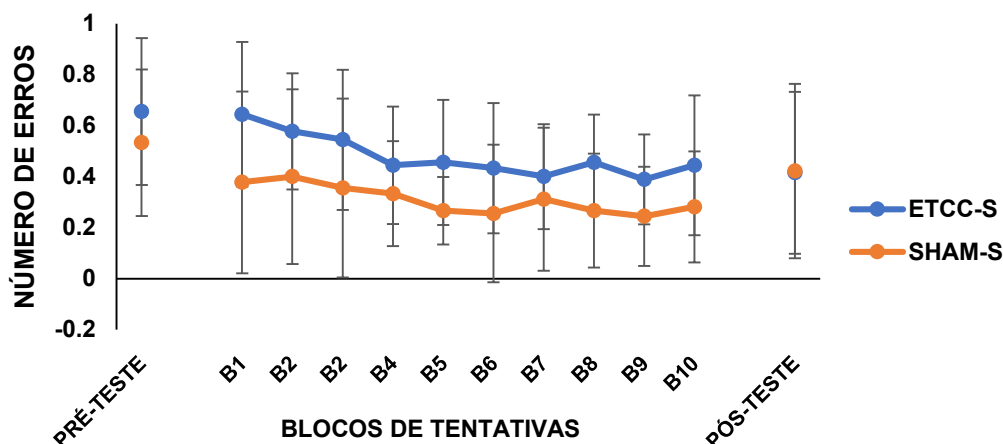


Gráfico 9 - Médias do erro dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste. O eixo X representa os blocos de tentativas no pré-teste, os blocos da fase de aquisição (B1 a B10) e o pós-teste, enquanto o eixo Y indica o número de erros. A análise descritiva é fornecida por meio das médias e do erro padrão do número de erros por bloco para ambos os grupos na tarefa de sequência motora. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas não revelou diferenças significativas entre os grupos, blocos ou interações entre os grupos em qualquer bloco analisado. De forma descritiva, ambos os grupos apresentaram uma redução no número de erros no pós-teste quando comparado ao pré-teste.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

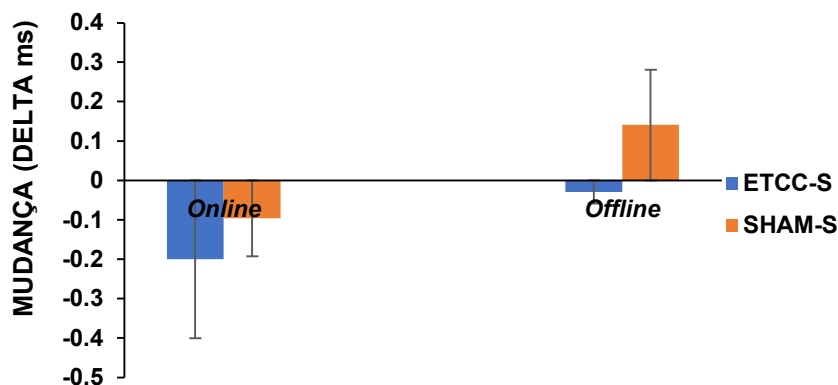


Gráfico 10– Medida de variação das mudanças *online* e *offline* do erro dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-s na tarefa de sequência motora. O teste t de Student independente não indicou diferença significativa entre grupos nas medidas de mudança *online* e *offline*.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.3.2 Tempo de reação

4.3.2.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 1,30$, $p = 0,27$, $\eta^2_p = 0,07$] e para Blocos [$F(1,18) = 1,66$, $p = 0,21$, $\eta^2_p = 0,09$]. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 0,00$, $p = 0,99$, $\eta^2_p = 0,00$]. O GRÁFICO11 mostra os dados descritivos.

4.3.2.2 Análise dos blocos da aquisição

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 6,04$, $p = 0,02$, $\eta^2_p = 0,27$]. O grupo SHAM-S apresentou menor tempo de reação do que o grupo ETCC-S. Vale destacar que o tamanho do efeito foi classificado como grande. Foi encontrada diferença significativa para Blocos [$F(1,18) = 2,94$, $p < 0,01$, $\eta^2_p = 0,15$]. A análise descritiva mostra que o bloco 2 apresentou maior tempo de reação que os blocos de 5 a 10. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 1,36$, $p = 0,20$, $\eta^2_p = 0,07$]. O GRÁFICO11 mostra os dados descritivos.

4.3.2.3 Mudança *online*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = -1,33$, $p = 0,20$]. O GRÁFICO12 mostra os dados descritivos.

4.3.2.4 Mudança *offline*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = 0,89$, $p = 0,38$]. O GRÁFICO12 mostra os dados descritivos.

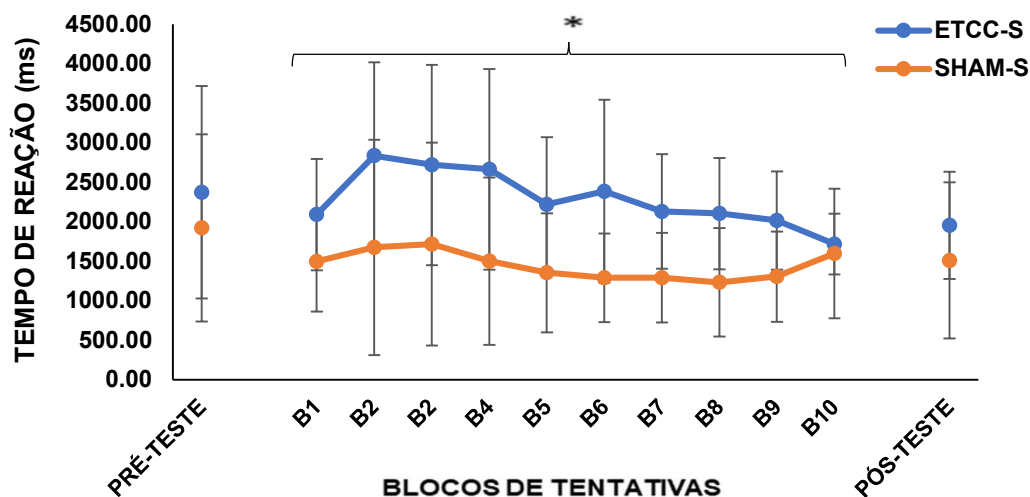


Gráfico 11 - Médias do tempo de reação dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste. O eixo X representa os blocos de tentativas no pré-teste, os blocos da fase de aquisição (B1 a B10) e o pós-teste, enquanto o eixo Y indica o tempo de reação. A análise descritiva é fornecida por meio das médias e do erro padrão do tempo de reação por bloco para ambos os grupos na tarefa de sequência motora. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas indicou diferença significativa entre grupos ($p = 0,02$). O grupo SHAM-S apresentou menor tempo de reação durante a fase de aquisição.

Legenda: * $p \leq 0.05$

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

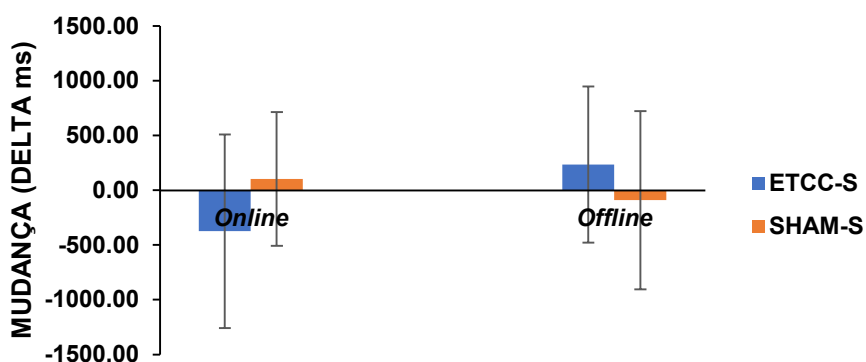


Gráfico 12- Medida de variação das mudanças *online* e *offline* do tempo de reação dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-s na tarefa de sequência motora. O teste t de *Student* independente não indicou diferença significativa entre grupos nas medidas de mudança *online* e *offline*.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.3.3 Tempo de movimento

4.3.3.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 0,94$, $p = 0,34$, $\eta^2_p = 0,05$] e para Blocos [$F(1,18) = 0,00$, $p = 0,97$, $\eta^2_p = 0,00$]. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 2,40$, $p = 0,14$, $\eta^2_p = 0,13$]. O GRÁFICO13 mostra os dados descritivos.

4.3.3.2 Análise dos blocos da aquisição

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 3,48$, $p = 0,08$, $\eta^2_p = 0,17$]. Foi encontrada diferença significativa para Blocos [$F(1,18) = 3,77$, $p < 0,01$, $\eta^2_p = 0,19$]. A análise descritiva mostra que os blocos 1 e 2 apresentaram maior tempo de movimento do que os blocos de 4 a 7. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 0,85$, $p = 0,56$, $\eta^2_p = 0,05$]. O GRÁFICO 13 mostra os dados descritivos.

4.3.3.3 Mudança *online*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = 1,20$, $p = 0,24$]. O GRÁFICO 14 mostra os dados descritivos.

4.3.3.4 Mudança *offline*

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$Z(18) = -0,04$, $p = 0,96$]. O GRÁFICO 14 mostra os dados descritivos.

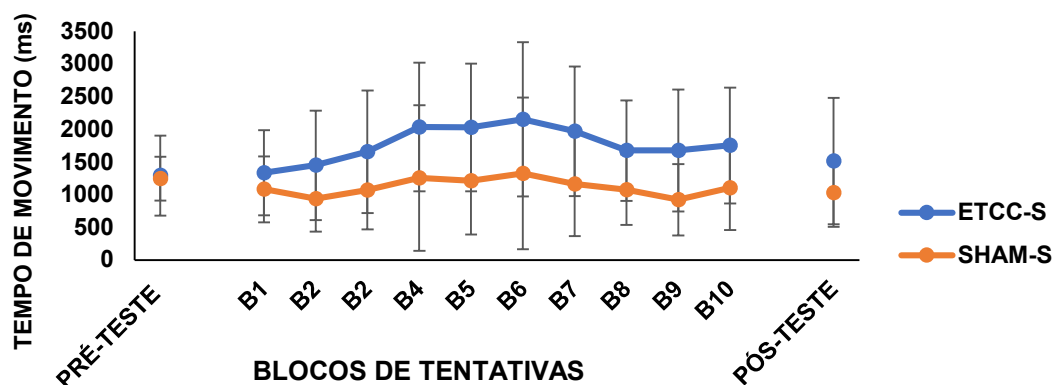


Gráfico 13 - Médias do tempo de movimento dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste. O eixo X representa os blocos de tentativas no pré-teste, os blocos da fase de aquisição (B1 a B10) e o pós-teste, enquanto o eixo Y indica o tempo de movimento. A análise descritiva é fornecida por meio das médias e do erro padrão do tempo de movimento por bloco para ambos os grupos na tarefa de sequência motora. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas não indicou diferença ou interação significativa entre grupos.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

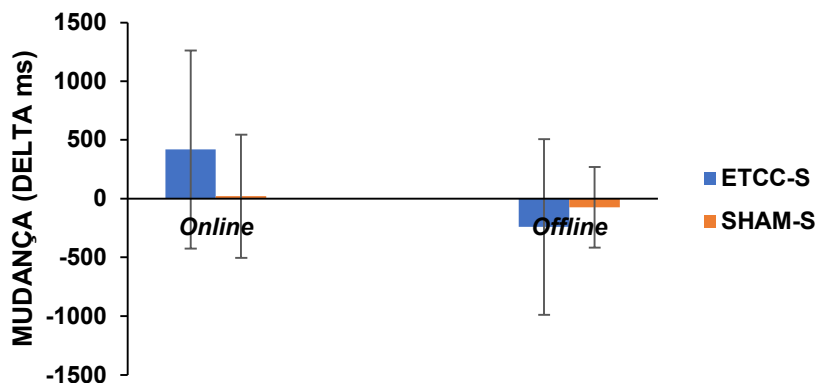


Gráfico 14— Medida de variação das mudanças *online* e *offline* do tempo de movimento dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-s na tarefa de sequência motora. O teste t de *Student* independente não indicou diferença significativa entre grupos nas medidas de mudança *online* e *offline*.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.3.4 Tempo de resposta

4.3.3.1 Análise dos blocos do pré-teste e pós-teste

Os dados não apresentaram normalidade ($p < 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 1,96$, $p = 0,17$, $\eta^2_p = 0,10$] e para Blocos [$F(1,18) = 0,60$, $p = 0,44$, $\eta^2_p = 0,03$]. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 0,46$, $p = 0,50$, $\eta^2_p = 0,02$]. O GRÁFICO15 mostra os dados descritivos.

4.3.3.2 Análise dos blocos da aquisição

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial indicou diferença significativa entre Grupos [$F(1,18) = 5,15$, $p = 0,03$, $\eta^2_p = 0,24$]. O grupo ETCC-S apresentou maior tempo de resposta do que o grupo SHAM-S. Foi encontrada diferença significativa para Blocos [$F(1,18) = 2,63$, $p < 0,01$, $\eta^2_p = 0,14$]. A análise descritiva mostra que o bloco 1 apresentou maior tempo de resposta do que os blocos 3, 4 e 6 e o bloco 4 apresentou menor tempo de resposta do que os blocos de 8, 9 e 10. Não foi encontrada interação significativa entre Grupos X Blocos [$F(1,18) = 1,39$, $p = 0,19$, $\eta^2_p = 0,08$]. O GRÁFICO15 mostra os dados descritivos.

4.3.3.3 Mudança *online*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = -0,13$, $p = 0,89$]. O GRÁFICO16 mostra os dados descritivos.

4.3.3.4 Mudança *offline*

Os dados apresentaram normalidade ($p > 0,05$). A análise inferencial não indicou diferença significativa entre Grupos [$t(18) = 0,61$, $p = 0,54$]. O GRÁFICO16 mostra os dados descritivos.

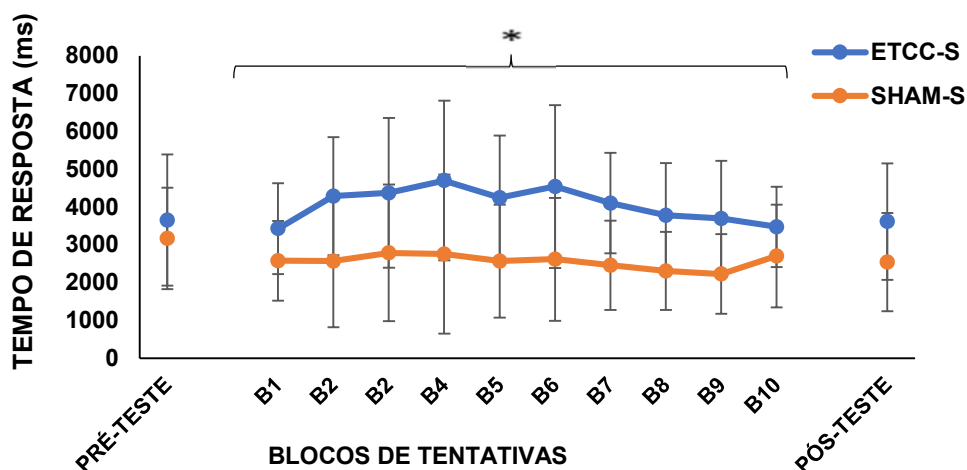


Gráfico 15 - Médias do tempo de resposta dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-S na tarefa de sequência motora no pré-teste, fase de aquisição e pós-teste. O eixo X representa os blocos de tentativas no pré-teste, os blocos da fase de aquisição (B1 a B10) e o pós-teste, enquanto o eixo Y indica o tempo de resposta. A análise descritiva é fornecida por meio das médias e do erro padrão do tempo de resposta por bloco para ambos os grupos na tarefa de sequência motora. A ANOVA *two-way* com medidas repetidas indicou diferença significativa entre grupos ($p = 0,03$). O grupo SHAM-S apresentou menor tempo de resposta durante a fase de aquisição.

Legenda: * $p \leq 0.05$

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

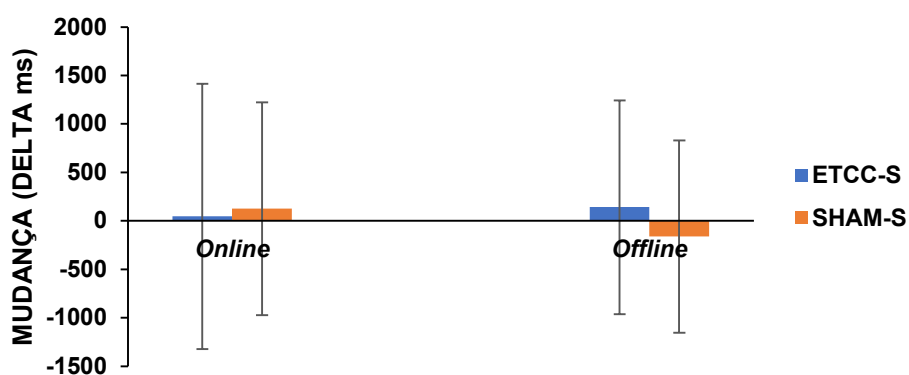


Gráfico 16— Medida de variação das mudanças *online* e *offline* do tempo de resposta dos grupos experimentais ETCC-S e SHAM-s na tarefa de sequência motora. O teste t de *Student* independente não indicou diferença significativa entre grupos nas medidas de mudança *online* e *offline*.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.4 Principais resultados

A Tabela 2 resume os principais resultados das análises realizadas para as variáveis dependentes motoras na tarefa de adaptação motora. Os resultados indicam diferenças significativas entre os grupos experimentais, com destaque para o grupo ETCC-A em comparação ao grupo SHAM-A. No tempo de reação, a análise dos blocos de aquisição revelou que o grupo ETCC-A teve um desempenho superior no Bloco 10 [$F(1,18) = 2,13$, $p = 0,02$, $\eta^2_p = 0,10$]. Em relação à mudança *online*, o grupo ETCC-A apresentou uma melhoria no desempenho, enquanto o grupo SHAM-A apresentou piora ($t(18) = -2,06$, $p = 0,05$, $d = 0,036$). Já na mudança *offline*, o grupo SHAM-A demonstrou uma melhora significativa ($t(18) = 2,55$, $p = 0,02$, $d = 0,09$).

Para o tempo de movimento, o grupo ETCC-A também obteve uma maior mudança no desempenho durante a análise da mudança *offline* ($t(18) = -2,03$, $p = 0,05$, $d = 0,03$). Finalmente, no tempo de resposta, foi observada uma interação significativa entre grupos e blocos, com o grupo ETCC-A apresentando menor tempo de resposta no pós-teste em comparação ao grupo SHAM-A ($F(1,18) = 4,06$, $p = 0,05$, $\eta^2_p = 0,18$).

A TABELA 3 resume os principais resultados das análises realizadas para as variáveis dependentes motoras da tarefa de sequência motora. Os resultados indicam que o grupo ETCC-S apresentou desempenho inferior ao grupo SHAM-S na análise dos blocos de aquisição. No tempo de reação, a análise dos blocos de aquisição revelou uma diferença significativa, com o grupo ETCC-S mostrando pior desempenho em comparação ao grupo SHAM-S ($F(1,18) = 6,04$, $p = 0,02$, $\eta^2_p = 0,27$). De forma semelhante, no tempo de resposta, o grupo ETCC-S apresentou também pior desempenho em comparação ao grupo SHAM-S ($F(1,18) = 5,15$, $p = 0,03$, $\eta^2_p = 0,24$).

Variável	Análise	Resultado
Tempo de Reação	Blocos da aquisição	Grupos X Blocos [F (1,18) = 2,13, p= 0,02, η^2_p = 0,10]. Bloco 10: Melhor desempenho ETCC-A comparado ao grupo SHAM-A.
	Mudança Online	Grupos [t (18) = -2,06, p= 0,05, d=0,03]. Piora do desempenho para grupo SHAM-A e melhora para o grupo ETCC-A.
	Mudança Offline	Grupos [t (18) = 2,55, p=0,02, d=0,09]. Melhora do desempenho para o grupo SHAM-A.
Tempo de Movimento	Mudança Offline	Grupos [t (18) = -2,03, p= 0,05, d=0,03]. Maior mudança no desempenho para o grupo ETCC-A.
Tempo de Resposta	Blocos do pré-teste e pós-teste	Grupos X Blocos [F (1,18) = 4,06, p= 0,05, η^2_p = 0,18]. ETCC-A apresentou menor tempo de resposta comparado ao grupo SHAM-A.

Tabela 2: Principais resultados da Tarefa de Adaptação Motora.
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Variável	Análise	Resultado
Tempo de Reação	Blocos da aquisição	Grupos [F (1,18) = 6,04, p= 0,02, η^2_p = 0,27]. ETCC-S pior desempenho comparado ao SHAM-S.
Tempo de Resposta	Blocos da aquisição	Grupos [F (1,18) = 5,15, p= 0,03, η^2_p = 0,24]. ETCC-S pior desempenho comparado ao SHAM-S.

Tabela 3: Principais resultados da Tarefa de Sequência Motora.
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

5. DISCUSSÃO

O objetivo principal deste estudo foi explorar o impacto da estimulação transcraniana por corrente contínua anódica (ETCCa) sobre o cerebelo na aprendizagem de tarefas de sequência e adaptação motora em indivíduos com paralisia cerebral, sendo que a amostra desse estudo foi composta por indivíduos com PC espástica. As hipóteses propostas sustentavam que a ETCCa aplicada ao cerebelo promoveria melhorias na aprendizagem de uma tarefa de adaptação motora, influenciando tanto o desempenho quanto a aprendizagem, em comparação com o grupo controle. Além disso, esperava-se que não houvesse um efeito significativo no desempenho e na aprendizagem de tarefas de sequência motora.

A hipótese de que a ETCCa cerebelar melhoraria o desempenho na tarefa de adaptação motora foi parcialmente confirmada, demonstrando um efeito positivo em aspectos específicos na fase de aquisição da tarefa de adaptação motora em indivíduos com paralisia cerebral espástica. Isso se manifestou em mudanças significativas no tempo de reação, resultando em uma melhoria de desempenho para o grupo ETCC-A em comparação ao grupo controle.

Masia *et al.* (2011), demonstraram que indivíduos com paralisia cerebral enfrentam desafios significativos ao adaptar seus movimentos em resposta a mudanças no ambiente, resultando em um desempenho inferior em comparação a indivíduos típicos. Essas dificuldades afetam diretamente suas estratégias de controle motor. O cerebelo desempenha um papel crucial nesse contexto, pois está envolvido na predição de eventos sensoriais e no ajuste fino de parâmetros temporais (DOYA, 2000). Uma vez que os ajustes nos movimentos em resposta a entradas sensoriais aumentam a demanda de atividade do cerebelo (DAYAN; COHEN, 2011; DOYON, PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003), uma maior ativação do cerebelo promovida pela ETCCa pode ter facilitado a integração sensório-motora, permitindo que indivíduos com paralisia cerebral espástica ajustem suas respostas de forma mais eficiente e, conseqüentemente, melhorassem seu desempenho em relação ao tempo de reação.

Não foram observadas melhorias nas análises de medidas de correção de erro. Uma possível explicação para esses achados se encontra na complexidade da tarefa em relação à correção de erros. A tarefa utilizada neste estudo pode ter imposto uma

demanda reduzida para a correção de erros, o que resultou em ajustes menos significativos. A ausência de um limite de tempo para a execução da tarefa pode ter influenciado positivamente a precisão dos participantes. Além disso, a ênfase na avaliação do erro em termos absolutos, em vez de relativos, pode ter limitado a sensibilidade da tarefa às mudanças na correção de erros. Enquanto o erro absoluto mede a discrepância total entre o desempenho real e o alvo desejado, ele não considera a progressiva adaptação ou melhoria ao longo do tempo. Em contrapartida, essa mudança poderia ter sido mais claramente capturada pelo erro relativo, que avalia a redução percentual do erro ao longo das tentativas.

A hipótese de que ETCCa aplicada ao cerebelo não beneficiaria o grupo ETCC-S em comparação ao grupo controle não foi confirmada. Não foram observadas diferenças significativas entre os grupos nas medidas de erro. Além disso, a ETCCa prejudicou o desempenho da tarefa de sequência motora nas medidas do tempo de reação e tempo de resposta durante os blocos de aquisição nessa população.

Os resultados demonstram que um aumento da atividade cerebelar durante a aquisição de uma tarefa de sequência motora não trouxe benefícios em indivíduos com PC espástica. De fato, a literatura sugere que, à medida que a prática avança, a ativação do cerebelo tende a diminuir, enquanto a atividade do corpo estriado, mediada pelo córtex motor primário (M1), aumenta, refletindo uma adaptação das redes motoras do cérebro à tarefa (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003). O aumento da atividade cerebelar pode ter interferido na ativação do circuito córtico-subcortical, especificamente na alça córtico-basal gânglio-tálamo-cortical, envolvida na execução da tarefa.

Além disso, Galea *et al.* (2019) demonstraram que a ETCCa aplicada ao cerebelo reduz a atividade no M1, que também está envolvido nesse circuito, por meio da inibição cerebelo-cortical (CBI). A CBI pode ser particularmente relevante em populações com PC, uma vez que essa população apresenta alterações na excitabilidade cortical motora, com uma maior dificuldade para a deflagração do potencial de ação nas áreas motoras e associativas do cérebro (ROSE *et al.*, 2011).

A ETCCa cerebelar parece ter beneficiado a aquisição de tarefas de adaptação motora em indivíduos com PC espástica, mas não teve o mesmo efeito na aquisição de uma tarefa de sequência motora, o que está em linha com nossas hipóteses. Aumentos

na atividade cerebelar promovidos pela ETCCa parecem ter facilitado ajustes nas respostas motoras às mudanças ambientais. Por outro lado, a ETCCa pode ter prejudicado a aquisição de tarefas de sequência motora, possivelmente interferindo na ativação do circuito córtico-basal gânglio-tálamo-cortical envolvido na sua execução.

A terceira hipótese deste estudo, que sugere que a ETCCa aplicada ao cerebelo beneficiaria a aprendizagem da tarefa de adaptação motora no grupo experimental em comparação ao grupo controle de indivíduos com PC, foi confirmada parcialmente. O grupo experimental apresentou um desempenho positivo na mudança *offline* do tempo de movimento e mostrou um tempo de resposta menor no pós-teste em comparação ao grupo SHAM-A. No entanto, na mudança *offline* do tempo de reação, o grupo controle demonstrou uma melhora em relação ao grupo ETCC-A.

No que diz respeito às mudanças *offline* da aprendizagem, nossa hipótese encontrou apoio parcial, evidenciada pela melhoria no tempo de movimento e no tempo de resposta. Esse resultado sugere que, embora o tempo de movimento não tenha apresentado grandes variações durante a prática, a ETCCa facilitou uma retenção superior em comparação ao grupo controle. Esse achado reforça a teoria de que o cerebelo desempenha um papel crucial na consolidação e recuperação de tarefas de adaptação motora (DOYON, PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003). O estudo de Herzfeld *et al.* (2014) sugere que a formação da memória motora depende da integridade tanto do cerebelo quanto do córtex motor primário, destacando o cerebelo como uma estrutura crítica para a aquisição e retenção de memória motora, especialmente em tarefas de adaptação.

Neste estudo, ao contrário da nossa hipótese, observou-se uma melhora no desempenho do grupo controle em comparação ao grupo ETCC-A na mudança *offline* do tempo de reação. Essa variação no desempenho pode ser explicada pelos resultados do último bloco da fase de aquisição. O grupo SHAM-A apresentou uma piora no desempenho no último bloco, com aumento do tempo de reação, mas isso não interferiu na retenção e na consolidação da tarefa. Além disso, considerando que o cerebelo está envolvido na correção de erros e na otimização do movimento (CALIGIORE *et al.*, 2017), o aumento da atividade cerebelar pode ter intensificado esses processos no grupo ETCC-A. Embora esse grupo tenha mostrado um desempenho superior durante a prática e

mantido esse desempenho no pós-teste, não houve mudanças significativas do último bloco da prática para o pós-teste. É possível que a melhoria observada durante a prática tenha limitado as oportunidades de aprimoramento adicional na aprendizagem offline.

A hipótese de que a ETCCa cerebelar não beneficiaria a aprendizagem da tarefa de sequência motora, em comparação ao grupo controle, foi confirmada. As análises realizadas no bloco pós-teste não revelaram diferenças significativas entre os grupos em relação aos resultados do pré-teste, e também não foram observadas mudanças *offline* que indicassem variações na aprendizagem da tarefa nas variáveis avaliadas em indivíduos com paralisia cerebral espástica.

Esses achados estão em consonância com uma revisão realizada por Doyon, Penhune e Ungerleider (2003), que demonstrou uma diminuição na atividade do cerebelo durante a aprendizagem de tarefas de sequência motora. Enquanto isso, o corpo estriado é fundamental na fase automática do desempenho, na recordação tardia e no armazenamento a longo prazo. Quando um comportamento motor bem aprendido é reativado após um período sem prática, os mesmos circuitos córtico-subcorticais são reativados (DAYAN; COHEN, 2011; DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003). Assim, pode-se concluir que a aprendizagem dessa tarefa não é favorecida por um aumento na atividade cerebelar, uma vez que o cerebelo estaria menos envolvido nessa fase.

Esses resultados indicam que a ETCCa aplicada ao cerebelo pode favorecer aspectos específicos da aprendizagem de tarefas de adaptação motora, sem apresentar benefícios para a aprendizagem de tarefas de sequência motora em indivíduos com paralisia cerebral espástica. O grupo experimental demonstrou melhorias significativas na tarefa de adaptação motora. Isso sugere que, enquanto um aumento da atividade cerebelar parece facilitar a aprendizagem de tarefas de adaptação motora, ele não exerce o mesmo efeito na aprendizagem de tarefas de sequência motoras nessa população.

O desempenho da tarefa de sequência motora foi influenciado negativamente durante os blocos de aquisição, mas não houve impacto significativo nos processos de retenção e na evocação da tarefa. Uma explicação plausível para esse fenômeno é que a duração da modulação da excitabilidade cortical gerada pela ETCC foi insuficiente para promover efeitos duradouros, que, por sua vez, não afetou retenção ou a evocação da tarefa. Esses achados ressaltam a necessidade de investigar mais a fundo os

mecanismos que regem a aquisição e a retenção de habilidades motoras, especialmente em populações com déficits de aprendizagem como indivíduos com paralisia cerebral, que apresentam alterações relacionadas à excitabilidade neuronal (ROSE *et al.*, 2011). Além de explorar técnicas de neuromodulação, como a ETCC. A ETCC é considerada uma intervenção eficaz na modulação da excitabilidade e da atividade neuronal (NITSCHKE *et al.*, 2003; WOODS *et al.*, 2016),

A compreensão dos mecanismos envolvidos na aprendizagem motora, incluindo o papel do cerebelo e de outras estruturas neurais na aquisição e retenção de habilidades motoras, é fundamental para um entendimento mais profundo da aprendizagem em indivíduos com paralisia cerebral. Além disso, a influência da estimulação ETCCa aplicada ao cerebelo sobre esses mecanismos pode fornecer informações valiosas para o desenvolvimento de intervenções terapêuticas direcionadas a essa população.

É importante ressaltar que os resultados deste estudo e suas interpretações estão limitados à paralisia cerebral espástica e ao efeito de uma única sessão de estimulação transcraniana por corrente contínua anódica (ETCCa) aplicada ao cerebelo. Uma revisão sistemática sobre a ETCC cerebelar e a aprendizagem motora sugeriu que uma única sessão de ETCCa pode ter um efeito positivo na aprendizagem de habilidades motoras, tanto a curto quanto a longo prazo, além do período de treinamento (KUMARI *et al.*, 2019). Contudo, é possível que a aplicação de múltiplas sessões pudesse produzir resultados distintos.

De fato, um estudo realizado por Cantarero *et al.* (2015) mostrou que sessões repetidas de ETCCa sobre o cerebelo, aplicadas durante três dias consecutivos, melhoraram o desempenho em tempo real de adultos saudáveis. Portanto, a hipótese de que uma única sessão de ETCCa cerebelar possa ter gerado efeitos menos robustos não pode ser descartada. Múltiplas sessões poderiam, potencialmente, levar a efeitos mais significativos e duradouros. No entanto, ainda não há evidências conclusivas que comprovem a superioridade de múltiplas sessões sobre uma única sessão de ETCCa cerebelar.

Além disso, é importante considerar outras variáveis, como o tamanho da amostra e a classificação diagnóstica dos participantes, paralisia cerebral espástica, pode ter influenciado na ativação dos circuitos neurais envolvidos no processo de aprendizagem

das tarefas. Adicionalmente, é possível que indivíduos com diferentes subtipos de paralisia cerebral, como a ataxia e a distonia, apresentem padrões de comportamento distintos, o que poderia afetar os resultados de forma diferenciada.

Outro aspecto importante é a utilização da medida de erro absoluto, que pode não ter capturado de forma ideal as mudanças na aprendizagem e na correção de erros, sendo a medida de erro relativo potencialmente mais eficaz para essa análise. Além disso, uma limitação relevante do estudo foi a ausência de avaliação da transferência das habilidades aprendidas para novas tarefas ou contextos.

Apesar das limitações encontradas neste estudo, as descobertas indicam que o cerebelo desempenha um papel crucial na aprendizagem de tarefas de adaptação motora. No entanto, para uma compreensão mais detalhada do papel do cerebelo e dos efeitos da ETCCa, futuros estudos devem adotar delineamentos experimentais que incluam tarefas mais sensíveis às variações ambientais. Tais abordagens poderão oferecer uma visão mais aprofundada de como o cerebelo contribui para a adaptação motora e de como a ETCCa influencia essas funções. Além disso, medições diretas dos mecanismos neurais podem proporcionar uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos dependentes da tarefa que sustentam as melhorias mediadas pela ETCCa cerebelar.

6. CONCLUSÃO

Este estudo investigou o impacto da estimulação transcraniana por corrente contínua anódica (ETCCa) no cerebelo sobre a aprendizagem de tarefas de sequência e adaptação motora em indivíduos com paralisia cerebral. Os resultados demonstraram que a ETCCa tem efeitos benéficos no desempenho e aprendizagem de uma tarefa de adaptação motora. Embora a ETCCa cerebelar tenha mostrado benefícios para a tarefa de adaptação motora em indivíduos com PC espástica, a ETCCa cerebelar apresentou impacto negativo na aquisição de uma tarefa de sequência motora, sem afetar a retenção e evocação tarefa.

Esses achados indicam que a eficácia da ETCCa cerebelar pode variar conforme a natureza e a complexidade da tarefa. O estudo reforça a importância do cerebelo na aprendizagem de tarefas de adaptação motora, mas também ressalta a necessidade de mais pesquisas para compreender melhor os efeitos da ETCCa cerebelar e otimizar os protocolos de estimulação. Estudos futuros devem explorar as condições que afetam a eficácia da ETCCa cerebelar nos diferentes parâmetros da tarefa motora e seu impacto em tarefas de sequência motora, a fim de aprimorar a aplicação a ETCCa em diferentes contextos de aprendizagem motora.

REFERÊNCIAS

- APOLINÁRIO-SOUZA, T. *et al.* The effect of context variability on motor learning. **Human Movement Science**, v. 77, p. 102794, 1 jun. 2021.
- AZARPAIKAN, A. *et al.* The Effect of Parietal and Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation on Bimanual Coordinated Adaptive Motor Learning. **Journal of Psychophysiology**, v. 35, n. 1, p. 1–14, 1 jan. 2021.
- BIKSON, M. *et al.* Safety of transcranial Direct Current Stimulation: Evidence Based Update 2016. **Brain stimulation**, v. 9, n. 5, p. 641–661, 2016.
- BRANDENBURG, J. E.; FOGARTY, M. J.; SIECK, G. C. A Critical Evaluation of Current Concepts in Cerebral Palsy. **Physiology**, v. 34, n. 3, p. 216–229, 1 maio 2019.
- BURTON, H. *et al.* Functional connectivity for somatosensory and motor cortex in spastic diplegia. **Somatosensory & Motor Research**, v. 26, n. 4, p. 90–104, jan. 2009.
- CALIGIORE, D. *et al.* Consensus Paper: Towards a Systems-Level View of Cerebellar Function: the Interplay Between Cerebellum, Basal Ganglia, and Cortex. **The Cerebellum**, v. 16, n. 1, p. 203–229, 1 fev. 2017.
- CANTARERO, G. *et al.* Cerebellar Direct Current Stimulation Enhances On-Line Motor Skill Acquisition through an Effect on Accuracy. **Journal of Neuroscience**, v. 35, n. 7, p. 3285–3290, 18 fev. 2015.
- CHAGAS, P. *et al.* Classificação da função motora e do desempenho funcional de crianças com paralisia cerebral. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 12, n. 5, p. 409–416, out. 2008.
- COHEN, J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.). **Journal of the American Statistical Association**, v. 84, n. 408, dez. 1988.
- COLE, L. *et al.* Sensorimotor Robotic Measures of tDCS- and HD-tDCS-Enhanced Motor Learning in Children. **Neural Plasticity**, v. 2018, p. 1–13, 18 dez. 2018.
- DAYAN, E.; COHEN, LEONARDO G. Neuroplasticity Subservicing Motor Skill Learning. **Neuron**, v. 72, n. 3, p. 443–454, nov. 2011.

DE ZEEUW, C. I.; TEN BRINKE, M. M. Motor Learning and the Cerebellum. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 7, n. 9, p. a021683, set. 2015.

DEBAS, K. *et al.* Brain plasticity related to the consolidation of motor sequence learning and motor adaptation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 41, p. 17839–17844, 27 set. 2010.

DOYA, K. Complementary roles of basal ganglia and cerebellum in learning and motor control. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 10, n. 6, p. 732–739, 1 dez. 2000.

DOYON, J.; PENHUNE, V.; UNGERLEIDER, L. G. Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. **Neuropsychologia**, v. 41, n. 3, p. 252–262, jan. 2003.

DUARTE, N. DE A. C. *et al.* Effect of Transcranial Direct-Current Stimulation Combined with Treadmill Training on Balance and Functional Performance in Children with Cerebral Palsy: A Double-Blind Randomized Controlled Trial. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, p. e105777, 29 ago. 2014.

DUN, K. VAN *et al.* tDCS of the Cerebellum: Where Do We Stand in 2016? Technical Issues and Critical Review of the Literature. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 10, 11 maio 2016.

ELIASSON, A.-C. *et al.* The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 48, n. 07, p. 549, 19 jun. 2006.

FERRUCCI, R. *et al.* Modulating Human Procedural Learning by Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation. **The Cerebellum**, v. 12, n. 4, p. 485–492, 18 jan. 2013.

FERRUCCI, R.; CORTESE, F.; PRIORI, A. Cerebellar tDCS: How to Do It. **The Cerebellum**, v. 14, n. 1, p. 27–30, 18 set. 2014.

FLEMING, M. K. *et al.* Transcranial direct current stimulation for promoting motor function in cerebral palsy: a review. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 15, n. 1, dez. 2018.

GALEA, J. M. *et al.* Modulation of Cerebellar Excitability by Polarity-Specific Noninvasive Direct Current Stimulation. **Journal of Neuroscience**, v. 29, n. 28, p. 9115–9122, 15 jul. 2009.

GALEA, J. M. *et al.* Dissociating the Roles of the Cerebellum and Motor Cortex during Adaptive Learning: The Motor Cortex Retains What the Cerebellum Learns. **Cerebral Cortex**, v. 21, n. 8, p. 1761–1770, 7 dez. 2010.

GLENCROSS, D. J.; WHITING, H. T. A.; ABERNETHY, B. Motor control, motor learning and the acquisition of skill: historical trends and future directions. **International Journal of Sport Psychology**, v. 25, p. 32–52, 1994.

GRAHAM, D.; PAGET, S. P.; WIMALASUNDERA, N. Current thinking in the health care management of children with cerebral palsy. **Medical Journal of Australia**, v. 210, n. 3, p. 129–135, fev. 2019.

GRAHAM, H. K. *et al.* Cerebral palsy. **Nature Reviews Disease Primers**, v. 2, n. 1, 7 jan. 2016.

GRECCO, C. *et al.* Effect of a single session of transcranial direct-current stimulation on balance and spatiotemporal gait variables in children with cerebral palsy: A randomized sham-controlled study. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 18, n. 5, p. 419–427, 1 out. 2014.

GRECCO, L. A. C. *et al.* Transcranial direct current stimulation during treadmill training in children with cerebral palsy: A randomized controlled double-blind clinical trial. **Research in Developmental Disabilities**, v. 35, n. 11, p. 2840–2848, nov. 2014.

GRECCO, L. A. C. *et al.* Cerebellar transcranial direct current stimulation in children with ataxic cerebral palsy: A sham-controlled, crossover, pilot study. **Developmental Neurorehabilitation**, v. 20, n. 3, p. 142–148, 22 mar. 2016.

GRIMALDI, G. *et al.* Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation (ctDCS). **The Neuroscientist**, v. 22, n. 1, p. 83–97, 18 nov. 2014.

GUEDES-GRANZOTTI, R. B. *et al.* Cross-cultural adaptation of Communication Function Classification System for individuals with cerebral palsy. **Revista CEFAC**, v. 18, p. 1020–1028, 2016.

GUIMARÃES, A. N. *et al.* Motor learning and tDCS: A systematic review on the dependency of the stimulation effect on motor task characteristics or tDCS assembly specifications. **Neuropsychologia**, v. 179, p. 108463, jan. 2023.

HAMILTON, A.; WAKELY, L.; MARQUEZ, J. Transcranial Direct-Current Stimulation on Motor Function in Pediatric Cerebral Palsy. **Pediatric Physical Therapy**, v. 30, n. 4, p. 291–301, out. 2018.

HARDWICK, R. M.; CELNIK, P. A. Cerebellar direct current stimulation enhances motor learning in older adults. **Neurobiology of Aging**, v. 35, n. 10, p. 2217–2221, out. 2014.

HERCULANO-HOUZEL, S. The Human Brain in numbers: a Linearly scaled-up Primate Brain. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 3, n. 31, 9 nov. 2009.

HERZFELD, D. J. *et al.* Contributions of the cerebellum and the motor cortex to acquisition and retention of motor memories. **NeuroImage**, v. 98, p. 147–158, set. 2014.

HIDECKER, M. J. C. *et al.* Developing and validating the Communication Function Classification System for individuals with cerebral palsy. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 53, n. 8, p. 704–710, 27 jun. 2011.

IMAMIZU, H. *et al.* Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. **Nature**, v. 403, n. 6766, p. 192–195, 1 jan. 2000.

JALALI, R.; R. CHRIS MIAL; GALEA, J. M. No consistent effect of cerebellar transcranial direct current stimulation on visuomotor adaptation. **Journal of Neurophysiology**, v. 118, n. 2, p. 655–665, 1 ago. 2017.

JAYARAM, G. *et al.* Modulating locomotor adaptation with cerebellar stimulation. **Journal of Neurophysiology**, v. 107, n. 11, p. 2950–2957, 1 jun. 2012.

KORZENIEWSKI, S. J. *et al.* The complex aetiology of cerebral palsy. **Nature Reviews Neurology**, v. 14, n. 9, p. 528–543, 13 ago. 2018.

KUMARI, N.; TAYLOR, D.; SIGNAL, N. The Effect of Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation on Motor Learning: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 13, 4 out. 2019.

KURZ, M. J.; WILSON, T. W. Neuromagnetic activity in the somatosensory cortices of children with cerebral palsy. **Neuroscience Letters**, v. 490, n. 1, p. 1–5, fev. 2011.

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

LINDBERG, P. G. *et al.* Age- and task-dependent effects of cerebellar tDCS on manual dexterity and motor learning—A preliminary study. **Neurophysiologie Clinique**, v. 52, n. 5, p. 354–365, out. 2022.

MASIA, L. *et al.* Reduced short term adaptation to robot generated dynamic environment in children affected by Cerebral Palsy. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 8, n. 1, p. 28, 2011.

MCINTYRE, S. *et al.* Global prevalence of cerebral palsy: A systematic analysis. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 64, n. 12, 11 ago. 2022.

MORYA, E. *et al.* Beyond the target area: an integrative view of tDCS-induced motor cortex modulation in patients and athletes. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 16, n. 1, 15 nov. 2019.

MOURA, R. C. F. *et al.* Effects of a single session of transcranial direct current stimulation on upper limb movements in children with cerebral palsy: A randomized, sham-controlled study. **Developmental Neurorehabilitation**, v. 20, n. 6, p. 368–375, 25 fev. 2017.

NEVALAINEN, P. *et al.* Bilateral alterations in somatosensory cortical processing in hemiplegic cerebral palsy. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 54, n. 4, p. 361–367, 27 dez. 2011.

NITSCHKE, M. A. *et al.* Pharmacological Modulation of Cortical Excitability Shifts Induced by Transcranial Direct Current Stimulation in Humans. **The Journal of Physiology**, v. 553, n. 1, p. 293–301, nov. 2003.

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

NOVAK, I. *et al.* State of the Evidence Traffic Lights 2019: Systematic Review of Interventions for Preventing and Treating Children with Cerebral Palsy. **Current Neurology and Neuroscience Reports**, v. 20, n. 2, fev. 2020.

O'SHEA, T. M. Diagnosis, Treatment, and Prevention of Cerebral Palsy. **Clinical Obstetrics and Gynecology**, v. 51, n. 4, p. 816–828, dez. 2008.

PALISANO, R. J. *et al.* Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 50, n. 10, p. 744–750, out. 2008.

PARAZZINI, M. *et al.* Modelling the electric field and the current density generated by cerebellar transcranial DC stimulation in humans. **Clinical Neurophysiology**, v. 125, n. 3, p. 577–584, 1 mar. 2014.

PENHUNE, V. B.; DOYON, J. Cerebellum and M1 interaction during early learning of timed motor sequences. **NeuroImage**, v. 26, n. 3, p. 801–812, jul. 2005.

PISCITELLI, D. *et al.* Measurement properties of the Gross Motor Function Classification System, Gross Motor Function Classification System-Expanded & Revised, Manual Ability Classification System, and Communication Function Classification System in cerebral palsy: a systematic review with meta-analysis. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 63, n. 11, 24 maio 2021.

PIXA, N. H.; STEINBERG, F.; DOPPELMAYR, M. High-definition transcranial direct current stimulation to both primary motor cortices improves unimanual and bimanual dexterity. **Neuroscience Letters**, v. 643, p. 84–88, mar. 2017.

PRIORI, A. *et al.* Transcranial cerebellar direct current stimulation and transcutaneous spinal cord direct current stimulation as innovative tools for neuroscientists. **The Journal of Physiology**, v. 592, n. 16, p. 3345–3369, 15 ago. 2014.

RAHMAN, A. *et al.* Cellular effects of acute direct current stimulation: somatic and synaptic terminal effects. **The Journal of Physiology**, v. 591, n. 10, p. 2563–2578, 16 abr. 2013.

RAMNANI, N. The primate cortico-cerebellar system: anatomy and function. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 7, n. 7, p. 511–522, jul. 2006.

REIS, J. *et al.* Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 5, p. 1590–1595, 21 jan. 2009.

ROSE, S. *et al.* MRI Structural Connectivity, Disruption of Primary Sensorimotor Pathways, and Hand Function in Cerebral Palsy. **Brain Connectivity**, v. 1, n. 4, p. 309–316, out. 2011.

ROSENBAUM, P. *et al.* A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. **Developmental Medicine & Child Neurology**, v. 49, p. 8–14, fev. 2007.

RUBIN, D. B. *et al.* Learned Motor Patterns Are Replayed in Human Motor Cortex during Sleep. **Journal of Neuroscience**, v. 42, n. 25, p. 5007–5020, 22 jun. 2022.

SADOWSKA, M.; SARECKA-HUJAR, B.; KOPYTA, I. Cerebral Palsy: Current Opinions on Definition, Epidemiology, Risk Factors, Classification and Treatment Options. **Neuropsychiatric Disease and Treatment**, v. Volume 16, n. 16, p. 1505–1518, jun. 2020.

SAKAI, K. *et al.* Neural Representation of a Rhythm Depends on Its Interval Ratio. **The Journal of Neuroscience**, v. 19, n. 22, p. 10074–10081, 15 nov. 1999.

SAKAI, K. *et al.* What and When: Parallel and Convergent Processing in Motor Control. **The Journal of Neuroscience**, v. 20, n. 7, p. 2691–2700, 1 abr. 2000.

SCHMIDER, E. *et al.* Is It Really Robust? Reinvestigating the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution assumption. **Methodology**, v. 6, n. 4, p. 147–151, jan. 2010.

SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C. A. **Aprendizagem e performance motora: uma abordagem da aprendizagem baseada no problema**. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2001.

SCHOLTES, V. A. *et al.* Lower limb strength training in children with cerebral palsy – a randomized controlled trial protocol for functional strength training based on progressive resistance exercise principles. **BMC Pediatrics**, v. 8, n. 1, 8 out. 2008.

SEIDLER, R. D.; BO, J.; ANGUERA, J. A. Neurocognitive Contributions to Motor Skill Learning: The Role of Working Memory. **Journal of Motor Behavior**, v. 44, n. 6, p. 445–453, nov. 2012.

SHIN, Y. K. *et al.* A novel EEG-based brain mapping to determine cortical activation patterns in normal children and children with cerebral palsy during motor imagery tasks. **NeuroRehabilitation**, v. 31, n. 4, p. 349–355, 12 nov. 2012.

SILVA, D. B. R.; FUNAYAMA, C. A. R.; PFEIFER, L. I. Manual Ability Classification System (MACS): reliability between therapists and parents in Brazil. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 19, n. 1, p. 26–33, 2015.

SILVA, D. B. R.; PFEIFER, L. I.; FUNAYAMA, C. A. R. Gross Motor Function Classification System Expanded & Revised (GMFCS E & R): reliability between therapists and parents in Brazil. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 17, n. 5, p. 458–463, out. 2013.

TAUBERT, M. *et al.* Remote Effects of Non-Invasive Cerebellar Stimulation on Error Processing in Motor Re-Learning. **Brain Stimulation**, v. 9, n. 5, p. 692–699, set. 2016.

WEIGHTMAN, M. *et al.* Targeted tDCS selectively improves motor adaptation with the proximal and distal upper limb. **Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation**, v. 13, n. 3, p. 707–716, 1 maio 2020.

WEIGHTMAN, M. *et al.* Direct and Indirect Effects of Cathodal Cerebellar TDCS on Visuomotor Adaptation of Hand and Arm Movements. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 24 fev. 2021.

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

ZEWDIE, E. *et al.* Safety and tolerability of transcranial magnetic and direct current stimulation in children: Prospective single center evidence from 3.5 million stimulations. **Brain Stimulation**, v. 13, n. 3, p. 565–575, 1 maio 2020.

ZHANG, X.; HANCOCK, R.; SANTANIELLO, S. Transcranial direct current stimulation of cerebellum alters spiking precision in cerebellar cortex: A modeling study of cellular

responses. **PLoS Computational Biology**, v. 17, n. 12, p. e1009609–e1009609, 9 dez. 2021.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Estudo Piloto

Objetivo

O estudo piloto teve como objetivo testar a aprendizagem de duas tarefas motoras desenvolvidas para avaliar a aprendizagem motora de uma tarefa de sequência motora e uma tarefa de adaptação motora, e fornecer informações para o delineamento do presente estudo.

Amostra

Participaram do estudo piloto 5 voluntários com PC e 3 com desenvolvimento típico, com idade entre 8 e 16 anos, de ambos os sexos (4 do sexo feminino), e inexperientes na tarefa.

Delineamento

Os participantes praticaram ambas as tarefas motoras com ordem de início das tarefas de forma contrabalançada

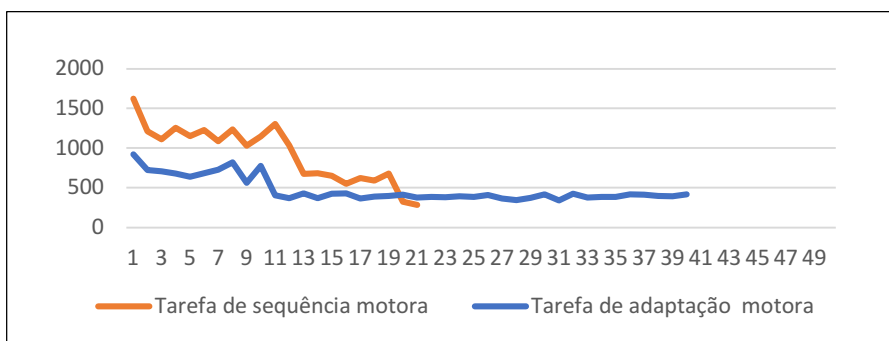
A tarefa de sequência motora consistiu na apresentação inicial de uma sequência de teclas no monitor de um computador e então na digitação da sequência de teclas em um teclado adaptado. O participante foi instruído a começar a digitar essa sequência o mais rapidamente possível.

Na tarefa de adaptação motora, os procedimentos foram semelhantes aos da tarefa de sequência motora, porém, as informações sobre as teclas apareciam uma a uma, não permitindo que o participante tivesse conhecimento prévio da sequência completa. Todos voluntários praticaram 10 minutos de cada tarefa motora. Medidas de tempo de reação, tempo de movimento e tempo de resposta foram analisadas em blocos de 10 tentativas.

Resultados

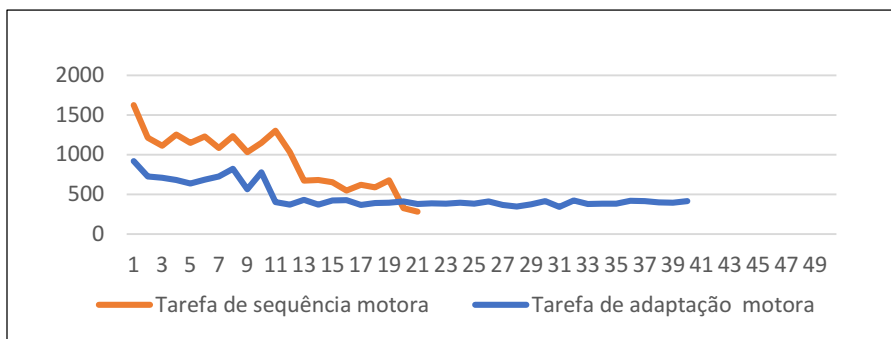
O objetivo do estudo piloto foi verificar se tarefas elaboradas foram adequadas para análise da mudança de desempenho ao longo da prática. A análise descritiva das médias mostra que os sujeitos apresentaram mudanças no desempenho do início para o fim da prática (FIGURA 17). Entretanto, com o tempo fixo de 10 minutos, diferentes quantidades de tentativas foram executadas, com um número maior para a tarefa de adaptação.

Gráfico 17 –Tempo de reação por bloco de 10 tentativas das tarefas de adaptação e sequência motora.



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 18–Tempo de movimento por bloco de 10 tentativas das tarefas de adaptação e sequência motora.



Fonte: Elaborado pela autora.

Testes de Wilcoxon foram utilizados para comparar os 5 primeiros e 5 últimos blocos de cada tarefa na variável principal, o tempo de resposta. Para a tarefa de

sequência motora foi encontrada diferença significativa entre os blocos iniciais e finais ($t=9,03$, $p<0,001$). O mesmo resultado foi encontrado para a tarefa de adaptação motora ($t= 6,04$, $p=0,004$).

As tarefas elaboradas foram adequadas para análise da mudança de desempenho ao longo da prática. Uma mudança foi realizada no delineamento do projeto: a fixação da quantidade de prática ao invés do tempo de prática. Isso possibilitou comparar também os desempenhos entre as tarefas uma vez que todos os participantes realizaram a mesma quantidade de blocos na prática.

APÊNDICE B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) PARA VOLUNTÁRIOS COM IDADE ACIMA DE 18 ANOS

Título da pesquisa: Efeito da estimulação transcraniana cerebelar por corrente contínua na aprendizagem de tarefas de sequência e adaptação motora em pessoas com paralisia cerebral

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Prezado(a) participante,

Este é um convite para você participar *voluntariamente* de um estudo realizado pelo Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM), da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO), na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sob responsabilidade do Professor Dr. Guilherme Lage, cujo objetivo é estudar o efeito da técnica de estimulação transcraniana cerebelar por corrente contínua (ETCC cerebelar) na aprendizagem motora de pessoas com paralisia cerebral.

Essa técnica é segura e indolor, e consiste na aplicação de uma corrente elétrica de baixa intensidade (1,5 miliampere) por meio do posicionamento de dois eletrodos sobre a sua cabeça.

Os participantes serão divididos em grupos por meio de sorteio e você não terá conhecimento prévio de qual grupo participará. Você irá realizar duas intervenções: a primeira delas será realizada logo após a avaliação inicial e a segunda intervenção será realizada após 1 mês.

No primeiro dia, faremos uma avaliação inicial, onde iremos te perguntar informações pessoais e informações relevantes para a pesquisa e faremos a avaliação da tarefa motora. Em seguida você irá começar a intervenção: treino de uma tarefa de digitação em um teclado de computador associada a ETCC, que poderá estar ativa ou não. Você não terá conhecimento se ela está ativa ou não durante o seu treino e, isto dependerá do grupo que você participará. Por ser uma corrente de baixa intensidade, após aproximadamente 30s, você pode deixar de perceber a estimulação.

Você deve retornar no dia seguinte realizar uma reavaliação da tarefa. Essa reavaliação deve durar em média 15 min. Após 1 mês você irá realizar a segunda intervenção, que será semelhante a primeira, mas com uma tarefa de digitação diferente.

O tempo previsto para realização dos procedimentos é de aproximadamente 1h no primeiro dia e de 15 min para reavaliação. Os horários para a sua participação serão estabelecidos de acordo com a sua disponibilidade.

A tarefa não exigirá esforços além das atividades já realizadas no seu dia a dia. A ETCC é indolor, mas existe risco de desconforto durante a sua aplicação. Caso você sinta algo desconforto durante ou após a intervenção, será instruído a comunicar ao pesquisador para que sejam tomadas as devidas providências. Em caso de danos provenientes da pesquisa você poderá buscar indenização.

Você tem o direito de se recusar a participar dessa pesquisa e/ou de interromper o treinamento a qualquer momento.

Os participantes não terão nenhum benefício direto da pesquisa. Porém, os benefícios indiretos serão decorrentes da melhor compreensão de como as pessoas com paralisia cerebral aprendem tarefas motoras. Dessa forma, os resultados desse estudo irão contribuir para o avanço do conhecimento na área. Para garantir a confidencialidade da informação obtida, o seu nome não será divulgado ou utilizado em qualquer publicação/material relacionado ao estudo. Seus dados serão utilizados apenas para fins de pesquisa.

Este projeto de pesquisa foi aprovado por um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) que é responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos. Caso você tenha dúvidas éticas e/ou perguntas sobre seus direitos como participante deste estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG) situado à: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II – 2º andar – sala 2005 – CEP: 31270-901, Belo Horizonte/MG, pelo telefone (031) 3409-4592 ou pelo e-mail: coep@prpq.ufmg.br.

Em caso de dúvidas gerais sobre a pesquisa, o professor Dr. Guilherme Menezes Lage, responsável pela pesquisa, estará disponível para esclarecer as suas dúvidas pelo telefone (031) 988840411 ou pelo e-mail menezeslage@gmail.com.

Para a proteção da confidencialidade das informações obtidas, os indivíduos serão identificados através de números ou letras durante a fase de análise de dados. Dados individuais não serão publicados. Além disso, no caso de algum desconforto decorrente dos procedimentos realizados, os voluntários serão instruídos a avisar ou entrar em contato com o pesquisador para orientações adequadas.

De acordo com a CNS 466/2012 e também de acordo com a CNS 510/2016, cabe ao pesquisador responsável “manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa”.

TERMO DE CONSENTIMENTO

Eu, _____, li e entendi toda a informação acima. Todas as minhas dúvidas foram satisfatoriamente respondidas e eu concordo em ser um voluntário do estudo.

Assinatura do voluntário

Data

Guilherme Menezes Lage

Data

Belo Horizonte, de de 2024.

APÊNDICE C

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) - Pais e responsáveis

Título da pesquisa: Efeito da estimulação transcraniana cerebelar por corrente contínua na aprendizagem de tarefas de sequência e adaptação motora em pessoas com paralisia cerebral

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

O(A) menor _____, sob sua responsabilidade, foi convidado(a) a participar de um estudo realizado pelo Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM), da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO), na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sob responsabilidade do Professor Dr. Guilherme Lage, cujo objetivo é estudar o efeito da técnica de estimulação transcraniana cerebelar por corrente contínua (ETCC cerebelar) na aprendizagem de tarefas motoras em pessoas com paralisia cerebral. Essa técnica é segura e indolor, e consiste na aplicação de uma corrente elétrica de baixa intensidade (1,5 miliampere) por meio do posicionamento de dois eletrodos sobre a cabeça.

Todos os participantes serão divididos em grupos por sorteio e você não terá conhecimento prévio de qual grupo o menor participará. Ele irá realizar duas intervenções: a primeira delas será realizada logo após a avaliação inicial e a segunda intervenção será realizada após 1 mês. No primeiro dia, faremos uma avaliação inicial, onde iremos perguntar informações pessoais e informações relevantes para a pesquisa; faremos a avaliação da tarefa motora e aplicação de um questionário socioeconômico.

Em seguida o menor irá começar a intervenção: treino de uma tarefa de digitação em um teclado de computador associada a ETCC, que poderá estar ativa ou não. Você e/ou o menor não terão conhecimento se ela está ativa ou não durante o treino e, isto dependerá do grupo do qual o menor participará. Por ser uma corrente de baixa intensidade, após aproximadamente 30s, ele pode deixar de perceber a estimulação.

O menor deverá retornar no dia seguinte realizar uma reavaliação da tarefa. Essa reavaliação deve durar em média 15 min. Após 1 mês o menor irá realizar a segunda intervenção, que será semelhante a primeira, mas com uma tarefa de digitação diferente.

O tempo previsto para realização dos procedimentos é de aproximadamente 1h no primeiro dia e de 15 min para a reavaliação. Os horários para a participação serão estabelecidos de acordo com a disponibilidade do menor.

A coleta de dados será realizada em local apropriado e o menor será sempre acompanhada por um dos responsáveis pela pesquisa. Para garantir a confidencialidade da informação obtida, o nome do menor não será utilizado e seus dados pessoais não serão divulgados em qualquer publicação ou material relacionado ao estudo, garantindo-se o anonimato do menor. A tarefa não exigirá esforços além das atividades já realizadas no dia a dia do menor, a ETCC é indolor, mas existe risco de desconforto durante a sua aplicação. Caso haja algum prejuízo o responsável poderá procurar indenização.

Caso o menor sinta algo desconforto durante a aplicação, será instruído a comunicar ao pesquisador para que sejam tomadas as devidas providências. Caso o menor sinta algum desconforto após a aplicação, você poderá entrar em contato com o pesquisador e ele irá te orientar. Não há benefício direto para o menor. Porém, os benefícios indiretos serão decorrentes da melhor compreensão da aprendizagem motora. Dessa forma, os resultados desse estudo irão contribuir para o avanço do conhecimento na área.

Em qualquer momento da pesquisa, você terá total liberdade para esclarecer qualquer dúvida sobre a pesquisa com o professor Dr. Guilherme Menezes Lage, pelo telefone (031) 988840411 ou pelo e-mail menezeslage@gmail.com ou com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG) caso a dúvida seja ética e/ou relacionada aos direitos do participante, situado à: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II – 2º andar – sala 2005 – CEP: 31270-901, Belo Horizonte/MG, pelo telefone (031) 3409-4592 ou pelo e-mail: coep@prpq.ufmg.br.

Eu, _____, portador(a) do documento de
Identidade _____, responsável pelo menor

_____, fui informado(a) dos objetivos do presente estudo de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Para a proteção da confidencialidade das informações obtidas, os indivíduos serão identificados através de números ou letras durante a fase de análise de dados. Dados individuais não serão publicados. Além disso, no caso de algum desconforto decorrente dos procedimentos realizados, os voluntários serão instruídos a avisar ou entrar em contato com o pesquisador para orientações adequadas.

De acordo com a CNS 466/2012 e também de acordo com a CNS 510/2016, cabe ao pesquisador responsável “manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa”.

Belo Horizonte, de _____ de 2024

Assinatura do responsável

Assinatura do pesquisador

APÊNDICE D

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE) 8-12 anos

Título da pesquisa: Efeito da estimulação transcraniana cerebelar por corrente contínua na aprendizagem de tarefas de sequência e adaptação motora em pessoas com paralisia cerebral

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Você gostaria de participar de um estudo da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)? Vamos procurar entender melhor como uma técnica chamada “Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua, pode ajudar pessoas com paralisia cerebral a aprender novas atividades.

Para isso você irá realizar um treinamento para aprender uma tarefa de digitação em um teclado. Você irá realizar essa tarefa sentado/a de maneira confortável. Iremos colocar um aparelho em sua cabeça enquanto você faz esse treinamento. Não há nenhum tipo de dor e esse aparelho é totalmente seguro para você. Tentaremos sempre deixar você confortável e seguro na presença de um adulto e caso se sinta incomodado, poderá nos avisar ou avisar o adulto que o acompanha e nós te ajudaremos! Caso sinta algum desconforto após o treinamento, você deve avisar o seu responsável! Ele poderá te ajudar! O pesquisador também estará à disposição para te ajudar!

Em nenhum momento da pesquisa nós divulgaremos seu nome ou suas informações. E caso aconteça que te prejudique, o seu o responsável poderá procurar uma indenização.

Você pode escolher ou não se quer participar desse treinamento e poderá parar o treinamento a qualquer momento! Se você tiver alguma dúvida, você poderá conversar com o professor Dr. Guilherme Menezes Lage, pelo telefone (031) 988840411 ou pelo e-mail menezeslage@gmail.com ou com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG) caso a dúvida seja ética e/ou relacionada aos seus direitos como participante, situado à: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II – 2º andar – sala 2005 – CEP: 31270-901, Belo Horizonte/MG, pelo telefone (031) 3409-4592 ou pelo e-mail: coep@prpq.ufmg.br.

Eu, _____ voluntário(a) na pesquisa, confirmo que recebi todas as informações necessárias e concordo em participar desta pesquisa. Desta forma, assino este termo, juntamente com o pesquisador e meu responsável, em duas vias iguais, ficando uma via comigo e outra com o pesquisador.

Para a proteção da confidencialidade das informações obtidas, os indivíduos serão identificados através de números ou letras durante a fase de análise de dados. Dados individuais não serão publicados. Além disso, no caso de algum desconforto decorrente dos procedimentos realizados, os voluntários serão instruídos a avisar ou entrar em contato com o pesquisador para orientações adequadas.

De acordo com a CNS 466/2012 e também de acordo com a CNS 510/2016, cabe ao pesquisador responsável “manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa”.

X

Assinatura do responsável

X

Assinatura do menor voluntário

Belo Horizonte, de de 2024

APÊNDICE E

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE) 12-17 anos

Título da pesquisa: Efeito da estimulação transcraniana cerebelar por corrente contínua na aprendizagem de tarefas de sequência e adaptação motora em pessoas com paralisia cerebral

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Você gostaria de participar de um estudo da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)? Vamos procurar entender melhor como uma técnica chamada “Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua pode ajudar pessoas com paralisia cerebral a aprender novas tarefas.

A tarefa que você irá aprender envolve digitação em um teclado. Você irá realizar essa tarefa sentado/a de maneira confortável. Iremos colocar um aparelho em sua cabeça. Não há nenhum tipo de dor e esse aparelho é totalmente seguro para você. Tentaremos sempre deixar você confortável e seguro na presença de um adulto e caso se sinta incomodado, poderá nos avisar ou avisar o adulto que o acompanha e nós te ajudaremos. Caso sinta algum desconforto após o treinamento, você deve avisar o seu responsável! Ele poderá te ajudar! O pesquisador também estará à disposição para te ajudar.

Nós não divulgaremos seu nome ou suas informações pessoais em nenhum momento da pesquisa e caso haja algum prejuízo para você, o seu responsável poderá procurar uma indenização.

Você pode escolher ou não se quer participar e poderá parar o treinamento caso queira. Em qualquer momento da pesquisa, você terá total liberdade para esclarecer qualquer dúvida sobre a pesquisa com o professor Dr. Guilherme Menezes Lage, pelo telefone (031) 988840411 ou pelo e-mail menezeslage@gmail.com ou com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG) caso a dúvida seja ética e/ou relacionada aos seus direitos como participante, situado à: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II – 2º andar – sala 2005 – CEP: 31270-901, Belo Horizonte/MG, pelo telefone (031) 3409-4592 ou pelo e-mail: coep@prpq.ufmg.br.

Eu, _____ voluntário(a) na pesquisa, confirmo que recebi todas as informações necessárias e concordo em participar desta pesquisa. Desta forma, assino este termo, juntamente com o pesquisador e meu responsável, em duas vias iguais, ficando uma via comigo e outra com o pesquisador.

Para a proteção da confidencialidade das informações obtidas, os indivíduos serão identificados através de números ou letras durante a fase de análise de dados. Dados individuais não serão publicados. Além disso, no caso de algum desconforto decorrente dos procedimentos realizados, os voluntários serão instruídos a avisar ou entrar em contato com o pesquisador para orientações adequadas.

De acordo com a CNS 466/2012 e também de acordo com a CNS 510/2016, cabe ao pesquisador responsável “manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa”.

Belo Horizonte, de de 2023

X

Assinatura do responsável

X

Assinatura do menor voluntário

APÊNDICE F
ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Data da entrevista: ____/____/____

Nome da criança/jovem: _____

Data de Nascimento: ____/____/____ Idade: _____ Sexo: _____

Nome do Responsável: _____

Profissão: _

Data de Nascimento: ____/____/____ Idade: _____ Sexo: _____

Relação de parentesco com a criança/jovem: _____

Escolaridade:

Ano Escolar que está frequentando:

Atendimento de Reabilitação e frequência: _____

Atividade Física e frequência: _____

GMFCS: _____ MACS: _____

Tem crises convulsivas não controladas e ou disfunções neurológicas?

Faz uso de algum medicamento de uso contínuo? Se sim, qual?

Possui implante de metálico no crânio ou marca-passo cardíaco?

Sofreu alguma lesão nos membros superiores nos últimos 12 meses?

Realizou algum tipo de intervenção nos membros superiores nos últimos 6 meses? (ex: cirurgia, a aplicação de toxina botulínica).

ANEXOS

Anexo 1

Carta de anuência



CARTA DE ANUÊNCIA

Interessado: Déborah Lima Ferreira

Para: Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Neurociências da UFMG

Data: 15/06/2023

Prezado Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage,

Declaro para devidos fins, que aceitaremos que a discente Déborah Lima Ferreira, número de matrícula UFMG 2022668248, desenvolva sua coleta de dados com a utilização do estimulador de corrente constante acionado por bateria (Soterix LTE) disponível na clínica Proativa Habilitação Integrada e que utilize o espaço físico da clínica para coleta, divulgação da pesquisa e convite de voluntários.


Valéria Cristina R. Cury
Fisioterapeuta
CREFITO 14 - 14102 F
CPF: 158.874.108-83

Valéria Cury
Fisioterapeuta responsável
Proativa Habilitação Integrada