

Juliana Otoni Parma

**A ESTIMULAÇÃO DO CÓRTEX MOTOR PRIMÁRIO NA APRENDIZAGEM DE  
UMA HABILIDADE MOTORA COMPLEXA**

Belo Horizonte  
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG  
2018

Juliana Otoni Parma

**A ESTIMULAÇÃO DO CÓRTEX MOTOR PRIMÁRIO NA APRENDIZAGEM DE  
UMA HABILIDADE MOTORA COMPLEXA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Esporte.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage

Belo Horizonte  
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG  
2018

P253e Parma, Juliana Otoni  
2018 A estimulação do córtex motor primário na aprendizagem de uma habilidade motora complexa. [manuscrito] / Juliana Otoni Parma – 2018.  
94 f., enc.: il.

Orientador: Guilherme Menezes Lage

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.  
Bibliografia: f. 71-80

1. Aprendizagem motora - Teses. 2. Capacidade motora - Teses. I. Lage, Guilherme Menezes. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 159.943

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Danilo Francisco de Souza Lage, CRB 6: n° 3132, da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu orientador, Prof. Dr. Guilherme Lage, que em mim confiou muito mais do que muitas vezes eu mesma achava que devia. Por aceitar prontamente me orientar, por ser quem é, por todas as orientações para muito além dessas páginas, pela amizade, pelo acolhimento e por me ajudar a encontrar a luz entre todas as dúvidas de uma mestranda. Há uma frase engraçadinha que diz “me diga quem é seu orientador, que te direi quem és”. Bom, se isso for verdade, ficarei extremamente feliz e orgulhosa! Que nossa parceria se estenda infinitamente!

Agradeço aos meus pais, por sempre apoiar, incentivar e bancar minhas escolhas, independente de tudo, mesmo quando não entendiam o que tanto eu tinha pra fazer nessa UFMG. É em vocês que me espelho em todos os âmbitos! Obrigada por sempre garantir que tivesse acesso sempre à melhor educação! Agradeço também ao meu irmão Mateus, por sempre estar disponível quando preciso, e por tentar responder minhas dúvidas sobre acelerômetros.

Agradeço ao meu namorado Renato, por me amparar durante esse processo, em todos os momentos! Por me aconselhar, por me relaxar, por mostrar outro olhar e por me incentivar o tempo todo! Estar do seu lado me faz crescer muito!

Agradeço ao Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch e Prof. Dr. Rodolfo Benda pela aprendizagem gigantesca e contribuições que me proporcionaram durante todo meu tempo no Gedam. Vocês são grandes modelos de professores, pesquisadores e pessoas para mim! Agradeço também por me acolherem tão bem nesse grupo desde o início, e por terem feito dele o que ele é!

Agradeço ao Prof. Dr. Franco Noce, por me introduzir nesse mundo mágico da pesquisa, aceitando me orientar sem nem ao menos me conhecer. A raiz disso tudo vem da nossa parceria!

Agradeço ao Prof. Dr. André Gustavo, por responder pacientemente às minhas infinitas dúvidas desde a graduação, pelas diversas ajudas altruístas, pela preocupação, e pelas conversas! Quando dizem que você tem uma fã, é verdade!

Agradeço ao prof. Dr. Bruno Rezende, por aceitar contribuir na minha formação e por ser o professor e o pesquisador que é! Provavelmente você nem imagina a influência que tem!

Agradeço ao Tércio, por estar tão próximo desse projeto e pelas inúmeras ajudas e ensinamentos! Essa dissertação não teria acontecido sem você! Você foi essencial!

Agradeço ao Vitor Profeta, por chegar na etapa final oferecendo sua ajuda e seus conhecimentos, mostrando sempre outras formas de enxergar! Você é inspirador!

Agradeço à minha amiga Giovanna, pela imensa parceria, amizade e por me acompanhar lado a lado nessa jornada! Esse mestrado não teria sido tão bom sem compartilharmos nossas alegrias e desesperos ao longo do processo! Agradeço também às minhas amigas Bárbara, Nathália, Natália e Cíntia, e ao meu amigo Marco, por compartilharem risadas, pensamentos e conversas, tornando o processo mais leve! A amizade de todos vocês foi um grande presente desse mestrado!

Agradeço a todos os demais colegas do Gedam e da Neurofamily, por terem todos deixado grandes marcas no meu aprendizado! Mais que um grupo, uma família! O mestrado se tornou extremamente prazeroso por causa de vocês! Agora entendo completamente o bordão “Uma vez Gedai, sempre Gedai”!!

Agradeço ao Renatinho e à Maiza pela imensa paciência e pela disposição em me ajudar a entender meu equipamento!

Agradeço aos meus amigos de sempre, de outras épocas, e à minha família por serem grande parte da base para eu ter chegado aqui dessa forma!

Agradeço a todos os meus voluntários, que fizeram essa dissertação acontecer! Aos demais professores, funcionários e ao CNPq que contribuíram de diversas formas!

Agradeço à sociedade brasileira, que financiou meus estudos! Espero merecer!

Agradeço ao voleibol, por ser sempre a melhor válvula de escape.

*O ruído faz parte do sistema.  
(Autor desconhecido)*

## RESUMO

A aprendizagem de habilidades motoras ocorre a partir de dois processos distintos, sendo eles a aquisição e aperfeiçoamento de programas motores generalizados, e pela melhoria na seleção de parâmetros. Sabendo-se que o córtex motor primário (M1) tem sido relacionado com elementos específicos como direção e força, é possível supor que o M1 esteja mais associado à aprendizagem dos parâmetros do movimento. Uma das formas de se investigar a relação entre o substrato neural e sua função comportamental é a partir da estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC), uma vez que essa modifica a excitabilidade da área de interesse e potencializa mecanismos de neuroplasticidade. Apesar de um estudo já ter mostrado que a estimulação do M1 leva a uma melhor aprendizagem de parâmetros de um movimento simples, não é possível concluir que a estimulação potencializa esse processo mesmo em habilidades motoras complexas. Portanto, o objetivo do presente estudo é investigar os efeitos da estimulação do M1 na aprendizagem de uma habilidade motora complexa. Participaram do estudo 48 sujeitos destros (24 mulheres) contrabalanceados por sexo em dois grupos. Em um deles foi aplicada ETCC bi-hemisférica no M1, enquanto o outro recebeu estimulação placebo. Ambos os grupos praticaram o mesmo número de tentativas do *putting* do golfe, sendo 10 tentativas no pré-teste, 50 tentativas em cada um dos dois dias da aquisição, sendo essas precedidas por 20 min de ETCC real ou placebo, além de 10 tentativas no pós-teste e 10 tentativas no teste de transferência. Os resultados mostraram que a estimulação potencializou a aprendizagem, uma vez que houve uma maior diminuição do erro global para o grupo estimulado. Esse efeito ficou ainda mais evidente ao se considerar o desempenho inicial dos sujeitos, de forma que a estimulação se mostrou mais benéfica para aqueles que iniciaram com um pior desempenho. Não houve efeito da estimulação para a aprendizagem do programa motor generalizado, mas a ETCC levou a uma melhor aprendizagem dos parâmetros pelos indivíduos com baixo desempenho inicial. Essa melhoria foi específica para aquele parâmetro praticado, e não para a seleção de novos parâmetros. Conclui-se, portanto, que a estimulação do M1 é benéfica para a aprendizagem de habilidades motoras complexas, pois potencializa a aprendizagem da parametrização principalmente se considerados indivíduos com piores desempenhos iniciais.

**Palavras-chave:** Parâmetros. Aprendizagem motora. Habilidades complexas. ETCC.

## ABSTRACT

The learning of new motor skills happens by two distinct processes, these being the acquisition and improvement of generalized motor programs, and the improvement in the selection of movement parameters. As the primary motor cortex (M1) has been related to specific elements, as force and direction, it is possible to assume that the M1 is more associated to the learning of the movement parameters. Transcranial direct current stimulation is a manner to investigate the relation between cerebral areas and its given behavioral function, as it alters the excitability of the area of interest and potentiates mechanisms of neuroplasticity. Although it was already indicated by a former study that the stimulation of the M1 leads to a better learning of the parameters of a simple movement specifically, it is not possible to conclude that the stimulation enhances this process even in complex motor skills. Therefore, the aim of this study is to investigate the effects of M1 stimulation in the learning of a complex motor skill. Forty-eight right-handed subjects (24 women) participated in this study and were counterbalanced by sex in two groups. One of the groups received bihemispheric M1 tDCS, while the other received sham stimulation. Both groups had the same amount of practice of the golf putting, that being 10 trials on the pre-test, 50 trials in both days of the acquisition phase after 20 minutes of real or sham tDCS, aside from 10 trials on the post-test and 10 trials on the transfer test. The results showed that the stimulation enhanced learning, as the stimulated group had a better decrement of global error. This effect was more evident considering the initial performance of the subjects, as the stimulation was better for the ones who began worse. No effect of the stimulation was found for the learning of the generalized motor program, while tDCS lead to a better learning of the parameters by individuals with worse inicial performance. This improvement was specific to the practiced parameter, not when the selection of new parameters was needed. Therefore, the conclusion of the present study is that the stimulation of the M1 potentiates the learning of complex motor skills, as it enhances the learning of the parametrization, especially for individuals with worse initial performances.

**Keywords:** Parameters. Motor learning. Complex skills. tDCS.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMPA.....	Ácido $\alpha$ -amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazol propiônico
AMS.....	Área Motora Suplementar
ANOVA...	Análise de Variância (sigla em inglês para <i>Analysis of Variance</i> )
BDNF.....	Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro
Ca <sup>2+</sup> .....	Íon Cálcio
cm.....	Centímetro
cm <sup>2</sup> .....	Centímetro quadrado
CPM.....	Córtex Pré-Motor
EEG.....	Eletroencefalograma
ETCC.....	Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua
G-ETCC...	Grupo ETCC
G-P.....	Grupo Placebo
Hz.....	Hertz
LTP.....	Potenciação de Longo-Prazo (sigla em inglês para <i>Long-Term Potentiation</i> )
mA.....	Miliampère
Mg <sup>2+</sup> .....	Íon Magnésio
M1.....	Córtex Motor Primário
Na <sup>+</sup> .....	Íon Sódio
NaCl.....	Cloreto de Sódio
NMDA.....	N-metil D-Aspartato
UFMG.....	Universidade Federal de Minas Gerais
$\alpha$ .....	Alfa (nível de significância convencional)
$\eta^2p$ .....	Eta quadrado parcial

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
2.1 APRENDIZAGEM MOTORA .....	12
2.2 SUBSTRATOS NEURAIS E APRENDIZAGEM MOTORA .....	14
2.3 ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA .....	17
2.4 HABILIDADES COMPLEXAS .....	24
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>27</b>
3.1 OBJETIVO GERAL.....	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	27
<b>4 HIPÓTESES DE ESTUDO</b> .....	<b>28</b>
<b>5 MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
5.1 AMOSTRA .....	29
5.2 PROCEDIMENTOS .....	29
5.3 TAREFA.....	32
5.4 VARIÁVEIS DEPENDENTES .....	33
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	35
<b>6 RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
6.1 VARIÁVEIS DE CONTROLE .....	39
6.2 MEDIDA GLOBAL DE APRENDIZAGEM.....	39
6.2.1 PRECISÃO DO ERRO RADIAL: COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS.....	39
6.2.2 PRECISÃO DO ERRO RADIAL: COMPARAÇÃO ENTRE SUBGRUPOS .....	41
6.2.3 VARIABILIDADE DO ERRO RADIAL: COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS .....	43
6.2.4 VARIABILIDADE DO ERRO RADIAL: COMPARAÇÃO ENTRE SUBGRUPOS .....	46
6.3 MEDIDAS DE ACELEROMETRIA .....	48
6.3.1 COMPARAÇÃO ENTRE GRUPOS .....	49
6.3.2 COMPARAÇÃO ENTRE SUBGRUPOS .....	52
6.4 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA .....	59
<b>7 DISCUSSÃO</b> .....	<b>61</b>
<b>8 CONCLUSÃO</b> .....	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>
<b>APÊNDICE I</b> .....	<b>81</b>
<b>APÊNDICE II</b> .....	<b>85</b>
<b>APÊNDICE III</b> .....	<b>88</b>
<b>APÊNDICE IV</b> .....	<b>89</b>
<b>APÊNDICE V</b> .....	<b>92</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>94</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A aprendizagem motora é caracterizada e inferida pelo ganho em precisão, consistência e adaptabilidade, bem como pela sua relativa permanência por extensos períodos de tempo (FITTS, 1964). O aprendiz necessita não apenas adquirir uma estabilidade espaço-temporal, tornando-se consistente, mas também deve ser capaz de modificar a habilidade aprendida de acordo com as exigências do contexto, tornando-se adaptável (GLENCROSS; WHITING; ABERNETHY, 1994; PEW, 1974). Assim, as habilidades motoras são constituídas de duas dimensões, sendo elas o programa motor generalizado, invariante e característico de uma classe de movimentos, e os parâmetros, caracterizados pelos elementos variáveis da habilidade motora (SCHMIDT, 1975).

O processo de aquisição de programas motores generalizados e de parâmetros são distintos e paralelos, podendo ser afetados de formas diferentes por diversas variáveis (WULF; LEE, 1993; WULF; SCHMIDT; DEUBEL, 1993; LAI; SHEA, 1998). Assim, é possível supor que também os substratos neurais possuam diferentes funções ou níveis de participação nesses dois processos.

Dentre os substratos corticais apontados como participantes da aquisição de habilidades motoras, a Área Motora Suplementar (AMS) junto ao Córtex Pré-Motor (CPM), e o Córtex Motor Primário (M1) são diretamente relacionados à programação motora (ROLAND *et al.*, 1980; ROLAND, 1993; KOLB; WHISHAW, 2003). A AMS parece participar da determinação da sequência dos movimentos e do *timing* dos mesmos, tendo maior ativação em movimentos complexos e que permitem preparação prévia (CUNNINGTON *et al.*, 1995; CUNNINGTON; BRADSHAW; IANSEK, 1996; KOTZ; SCHWARTZE, 2011). No entanto, a determinação dos aspectos mais específicos de cada movimento como a força e a direção são associados ao M1, além do envio do comando da ação (KOLB; WHISHAW, 2003).

De forma geral, porém, os estudos que investigam a participação dessas áreas na aprendizagem e no controle motor não se utilizam de medidas que permitam distinguir suas funções em relação a ambas as dimensões da habilidade. No entanto, essa dissociação entre os papéis da AMS e do M1 permite inferências acerca das suas distintas funções na aquisição das duas dimensões da habilidade. A AMS parece ser mais responsável pela aquisição e fortalecimento dos programas

motores generalizados, enquanto possivelmente o M1 leva à melhoria na seleção dos parâmetros da habilidade em cada contexto (APOLINÁRIO-SOUZA, 2014; APOLINÁRIO-SOUZA *et al.*, 2016; MEDEIROS, 2016).

Uma possibilidade de se investigar a associação das áreas corticais com o comportamento é a partir da estimulação da área de interesse (ARUL-ANANDAM; LOO; SACHDEV, 2009). A ETCC é um método não invasivo, reversível e indolor de estimulação cerebral, com efeitos relativamente focais e duradouros (NITSCHKE *et al.*, 2003a). A curto prazo, o efeito dessa estimulação consiste em modificação da excitabilidade cortical na área abaixo do local de posicionamento dos eletrodos (NITSCHKE *et al.*, 2003b; ARUL-ANANDAM; LOO; SACHDEV, 2009). Associadas à prática motora, essas modificações levam a efeitos de longo prazo na aprendizagem motora que são atribuídos a mecanismos de neuroplasticidade, levando a maior fortalecimento das conexões neuronais criadas ou ativadas com a prática (NITSCHKE *et al.*, 2003a; XIVRY; SHADMEHR, 2014). Assim, a utilização da ETCC pode ser uma aliada no estabelecimento do papel das distintas áreas cerebrais para a aprendizagem das dimensões da habilidade motora.

A nosso saber, apenas um estudo preocupou-se em investigar o papel do M1 na aprendizagem do programa motor generalizado e dos parâmetros de forma dissociada. O estudo de Apolinário-Souza *et al.* (2016) mostrou que a excitação do M1 pela ETCC levou à melhor aprendizagem apenas da parametrização da habilidade, sendo que essa melhoria foi percebida a partir da melhor seleção dos parâmetros no momento em que a alteração da tarefa exigia tal adaptação.

Todavia, Apolinário-Souza *et al.* (2016) utilizaram uma tarefa que exigia movimentos simples, de forma que não é possível inferir que a estimulação do M1 levaria a uma melhor aprendizagem dos parâmetros mesmo em uma habilidade motora complexa, como o *putting* do golfe. Isso porque o aumento da complexidade, ou seja, o aumento dos graus de liberdade da habilidade, modifica não apenas a coordenação motora da mesma (BERNSTEIN, 1967), mas também o controle de especificidades do movimento como a força aplicada (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2010), e a participação das áreas cerebrais envolvidas (NACHEV; KENNARD; HUSAIN, 2008; SHIBASAKI *et al.*, 1993; ADKINS *et al.*, 2005). Tem-se a expectativa, por exemplo, que a extensão de áreas do M1 envolvidas aumente de acordo com o aumento do número de membros necessários para se executar dada habilidade (KURIYAMA; STICKGOLD; WALKER, 2004). Portanto, a extrapolação

dos achados de estudos que investigaram a aprendizagem de habilidades motoras simples para habilidades motoras complexas deve ser realizada com cautela (WULF; SHEA, 2002).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo é investigar a estimulação do M1 na aprendizagem de uma habilidade motora complexa. Para tanto, será utilizada como habilidade motora o *putting* do golfe que, além de exigir o controle de diversas articulações e grupos musculares para sua execução (MALHOTRA *et al.*, 2015), tem como demanda principal o controle de força (DELAY *et al.*, 1997), sendo, portanto, propícia para se estudar a parametrização.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aprendizagem motora

A mudança relativamente permanente da capacidade de um indivíduo de desempenhar uma habilidade motora, sendo essa resultado do somatório de suas experiências ou práticas, caracteriza o fenômeno da aprendizagem motora (MAGILL, 2000). A aprendizagem motora pode ser inferida, de modo geral, pela observação ou mensuração do desempenho de ações motoras, de forma que tal desempenho não apenas torna-se mais preciso, consistente e adaptável às características de diferentes contextos, como também mostra-se persistente por longos períodos de tempo (FITTS, 1964).

O aprendiz ao longo desse processo torna-se consistente, pois estrutura um padrão de movimento, ou seja, adquire estabilidade espaço-temporal na execução do movimento (GLENCROSS; WHITING; ABERNETHY, 1994) que é recrutado a cada execução da habilidade aprendida (SCHMIDT, 1975). Todavia, uma vez que os contextos dessas solicitações e as execuções da habilidade sempre são, de alguma maneira, singulares, como observado por Bernstein (1967), é importante que a aprendizagem tenha ocorrido de modo a permitir ao indivíduo realizar adaptações na habilidade sem, porém, descaracterizá-la. A flexibilidade é conferida, portanto, a partir da possibilidade de variação dos parâmetros do movimento, especificados de acordo com as condições iniciais do ambiente e do sujeito (PEW, 1974).

De acordo com Schmidt (1975), a memória motora é constituída, portanto, de programas motores generalizados e especificações da resposta, de modo que uma habilidade é composta por um padrão, relativamente invariante e característico de cada classe de movimento, refletido, por exemplo, pelo tempo relativo, força relativa e sequenciamento. Os parâmetros do movimento são adicionados ao padrão de movimento, sendo esses parâmetros as especificações da resposta, ou aspectos variáveis da habilidade motora, caracterizados, por exemplo, pelo tempo total, força total e amplitude do movimento. Ainda de acordo com Schmidt (1975), a determinação do parâmetro a cada execução da habilidade, e de acordo com as exigências do ambiente, se dá pela recombinação e relação entre fontes de informação abstraídas e armazenadas das experiências de prática anteriores, sendo

essas: 1) condições iniciais do ambiente e do sistema muscular do sujeito; 2) especificações da resposta adicionadas ao programa motor antes do início do movimento; 3) consequências sensoriais resultantes da execução do movimento; 4) resultado da resposta. A cada repetição da habilidade, essas fontes são atualizadas e sujeitas a recombinações, permitindo que o sujeito execute a habilidade de formas nunca antes realizadas.

A aprendizagem motora se dá, portanto, por dois processos independentes, sendo eles a aquisição e o aperfeiçoamento de programas motores generalizados e a melhoria na seleção dos parâmetros da habilidade mais adequados às dinâmicas do contexto (SCHMIDT, 2003). O programa motor relaciona-se à consistência, refletida pela estabilidade espaço-temporal do movimento, enquanto a parametrização confere adaptabilidade contextual à habilidade (GLENCROSS; WHITING; ABERNETHY, 1994).

Tendo em vista a dissociação desses processos, como observado em estudos que indicaram que um mesmo fator (ex., tipo de prática) pode ter efeitos diferenciados em cada um dos processos (WULF; LEE, 1993; WULF; SCHMIDT; DEUBEL, 1993; LAI; SHEA, 1998), a inferência sobre a aprendizagem motora deve considerar, sempre que possível, não apenas uma medida global de aprendizagem, mas medidas separadas que representem a aprendizagem do programa motor e a aprendizagem da parametrização (WULF; LEE, 1993). Caracterizam a aprendizagem do programa motor o ganho na consistência da produção do tempo relativo e da força relativa entre os componentes da habilidade. A aprendizagem da parametrização é caracterizada pelo ganho em precisão e consistência na produção do tempo total, da força total ou da amplitude do movimento (LAI; SHEA, 1998; LAI *et al.*, 2000). A diferença entre os tipos de testes utilizados pode ser também um bom indicativo de cada processo de aprendizagem. O teste de transferência, por exigir a adaptação de uma mesma habilidade a um diferente contexto, é mais exigente quanto à flexibilidade do aprendiz quando comparado ao teste de retenção. O teste de retenção, por sua vez, por exigir as mesmas condições de execução do período de aquisição, evoca uma maior consistência na aprendizagem (KANTAK; WINSTEIN, 2012). Assim, o teste de transferência permite melhor inferir sobre o processo de aprendizagem da parametrização do que o teste de retenção, que não exige uma adequação dos parâmetros da habilidade a um novo contexto.

Grande parte do conhecimento em Aprendizagem Motora baseia-se em análises comportamentais do desempenho de diversas tarefas em diferentes contextos. Apesar do vasto conhecimento que já foi e tem sido produzido na área, algumas lacunas devem ser ainda supridas como, por exemplo, a que diz respeito à conexão desses saberes e proposições com a anatomia e fisiologia humana. A partir dos conhecimentos da Neurociência, é possível propor certas relações e paralelismos para aquilo que se observa externamente, o resultado final de todo o processo descrito, com aquilo que é proposto para o funcionamento cerebral (KANTAK; WINSTEIN, 2012).

## 2.2 Substratos neurais e aprendizagem motora

Diversos são os substratos neurais que têm sido apontados como envolvidos no controle motor e, conseqüentemente, na aprendizagem de novas habilidades. No que diz respeito a movimentos voluntários, parece haver, de forma geral, um certo ordenamento da ativação intercortical, de acordo com as funções desempenhadas em cada área.

O córtex parietal posterior, que tem função associada à percepção espacial e à identificação e reconhecimento de objetos (COLBY; DUHAMEL, 1996), processa os estímulos captados pelos sistemas sensoriais e pré-processados no tálamo (SCHMAHMA; PANDYA, 1990). Tendo como base essas informações, o córtex pré-frontal dorsolateral, tipicamente relacionado com funções de planejamento e solução de problemas (KRAWCZYK, 2002), teria como papel planejar quais soluções motoras devem ser implementadas para atingir a meta, ações que essas seriam, posteriormente, organizadas e sequenciadas pelo CPM e pela AMS (ROLAND *et al.*, 1980). A participação dessas duas últimas estruturas diferencia-se de acordo com o tipo de movimento requerido, sendo que aqueles guiados por estímulos externos levam a uma maior participação do CPM, enquanto movimentos determinados internamente, executados essencialmente pela própria intenção e vontade do indivíduo, requerem uma maior participação da AMS (LU *et al.*, 2012). O M1 teria como função, por fim, acrescentar à programação do movimento as especificidades da ação, bem como enviar o comando para que essa seja executada (ROLAND, 1993; KOLB; WHISHAW, 2003).



A AMS, mais especificamente, tem sido identificada como possuidora de um importante papel na programação motora por estar envolvida principalmente em movimentos bem aprendidos e passíveis de preparação prévia, em movimentos complexos e sequenciais mais do que em movimentos simples e repetitivos, assim como no controle de movimentos bimanuais integrados (CUNNINGTON; BRADSHAW; IANSEK, 1996). É possível identificar a ativação dessa área segundos antes do início do movimento e da ativação do M1 (CUNNINGTON; WINDISCHBERGER; MOSER, 2005). A AMS parece, ainda, estar mais relacionada à codificação da estrutura temporal do movimento (KOTZ; SCHWARTZE, 2011) ou determinação do *timing* dos submovimentos de uma sequência do que na programação de parâmetros específicos dos movimentos, como a direção (CUNNINGTON *et al.*, 1995). É possível propor, portanto, que tais especificidades do movimento, que não se mostraram associadas à AMS, sejam mais relacionadas ao papel do M1 na programação do movimento, o que explicaria a não associação da AMS com tais aspectos específicos do movimento.

O estudo de Roland *et al.* (1980) permite inferências acerca da dissociação das funções da AMS e do M1 na programação do movimento, uma vez que durante a realização de uma tarefa motora de sequenciamento de dedos foi percebida uma ativação bilateral da AMS e contralateral do M1, contrastando com a ativação apenas da AMS nas tentativas de imaginação da tarefa, sem a efetiva contração muscular. Ao mesmo tempo, numa tarefa de preensão dos dedos indicador e polegar em uma mola, com exigência primordial de controle de força tanto em movimentos balísticos de flexão de dedos quanto em contração isométrica sustentada, apenas o M1 mostrou-se ativado. Na preensão balística, que exigiu não apenas o controle da força, mas também a adequação do movimento a um tempo pré-determinado, houve maior ativação do M1 se comparado à preensão completa sustentada. Dessa maneira, o resultado do estudo indica que em habilidades motoras com maior necessidade de planejamento de uma sequência ou com maior grau de relação entre os submovimentos há ativação significativa da AMS, enquanto aquelas habilidades cuja exigência primordial é de ajuste dos aspectos específicos do movimento levam à maior participação do M1.

Observando a associação desses substratos neurais na execução de movimentos, é possível estabelecer relações e hipóteses no que diz respeito às suas diferentes funções e formas de participação na manifestação e consolidação

dos distintos componentes da habilidade. Supõe-se que os programas motores generalizados, que caracterizam as diversas classes de movimento, sejam elaborados e organizados no CPM e AMS, enquanto os parâmetros da resposta, modificáveis de acordo com a especificidade de cada contexto, sejam acrescentadas ao planejamento de ações motoras pelo M1 (APOLINÁRIO-SOUZA, 2014; APOLINÁRIO-SOUZA *et al.*, 2016; MEDEIROS, 2016).

No que se refere ao M1, alguns estudos corroboram a ideia geral de sua participação na aprendizagem e controle dos elementos variantes do movimento. Ashe e Georgopoulos (1994) mostram a atividade das células do M1 de macacos ao longo do tempo da atividade se relacionando com todas as variações dos parâmetros do movimento que foram investigados, sendo eles a direção do alvo, posição, velocidade e aceleração do braço, sob condições dinâmicas de apontamento. Classen *et al.* (1998), por sua vez, mostraram que a prática de movimento do polegar leva a uma reorganização da rede neural do M1, que codifica e armazena aspectos cinemáticos do movimento em curto prazo, levando a uma plasticidade importante para a consolidação e repetição a longo prazo da habilidade. Graziano *et al.* (2002) sugerem que, mais do que responsável pelo controle da dinâmica e cinemática do movimento, o M1 contém representações de movimentos complexos, com diferentes graus de liberdade e grupos musculares. Muellbacher *et al.* (2001) mostraram uma mudança na excitabilidade do M1 mais relacionada à aprendizagem da cinética de movimentos que podiam ser totalmente pré-programados em relação àqueles que não podiam. Mais recentemente, estudos visando o desenvolvimento de interfaces cérebro-máquina também encontraram fortes relações entre a codificação de variáveis cinemáticas do movimento e neurônios do M1 (CARMENA *et al.*, 2003, SHOHAM *et al.*, 2005, CHURCHLAND; SANTHANAM; SHENOY, 2006).

No tocante à aquisição de novas habilidades, sugere-se, nessa lógica, que para que esse processo se efetive, a cada tentativa haja a criação e/ou fortalecimento do padrão pelo CPM e AMS, que é armazenado na memória de longo prazo, de modo que esse padrão possa ser cada vez mais facilmente retomado à memória de trabalho nos diferentes momentos em que a habilidade é solicitada. O M1, por sua vez, estaria associado à aprendizagem da determinação dos parâmetros mais apropriados a cada situação a partir da recombinação das fontes

de informação que foram aprendidas e consolidadas durante e após a prática (APOLINÁRIO-SOUZA *et al.*, 2016).

Uma crítica cabível a uma grande parte dos estudos de Neurociências que investigam a aprendizagem é a não utilização de testes de aprendizagem, realizando a análise da diferença entre as intervenções experimentais apenas através das curvas de desempenho da fase de aquisição, o que não leva em consideração a distinção entre desempenho e aprendizagem (KANTAK; WINSTEIN, 2012). Os resultados encontrados podem não ser os mais adequados para inferir, portanto, a aprendizagem, uma vez que não refletem os efeitos relativamente permanentes da aprendizagem, considerando que diversos são os fatores que podem influenciar de forma transitória a fase de aquisição (SALMONI; SCHMIDT; WALTER, 1984).

Um dos modos de se investigar as funções das áreas cerebrais relacionadas ao comportamento cada vez mais utilizado pelos estudos na área de Neurociências é através da estimulação externa do substrato neural de interesse (ARUL-ANANDAM; LOO; SACHDEV, 2009). A ETCC, nesse contexto, parece ser um método adequado para investigar a associação entre M1 e parametrização do movimento em humanos, já que tem-se demonstrado que sua aplicação sobre essa área resulta em efeitos benéficos para aprendizagem de habilidades motoras (HADIPOUR-NIKTARASH *et al.*, 2007; GALEA *et al.*, 2010; KOYAMA *et al.*, 2015; APOLINÁRIO-SOUZA *et al.*, 2016).

### 2.3 Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua

A ETCC é um método não-invasivo, reversível e indolor de modulação da excitabilidade cortical em humanos de forma relativamente focal e prolongada (NITSCHE *et al.*, 2003a). Essa modulação ocorre a partir da passagem de uma fraca corrente elétrica formada pelo posicionamento de dois eletrodos no couro cabeludo do indivíduo, de forma que tal corrente penetra o cérebro a partir do eletrodo positivamente carregado, o anodo, e flui até atingir o eletrodo catodo, negativo (REIS; FRITSCH, 2011). O resultado parece ser uma diminuição do potencial de repouso da membrana na região do córtex abaixo do anodo, levando a um aumento de excitabilidade dessa área (não sendo suficiente, porém, para atingir o potencial de ação necessário ao disparo neuronal). Ao mesmo tempo que se espera uma

hiperpolarização da área subjacente ao catodo, diminuindo, por conseguinte, a excitabilidade daquela região (NITSCHKE *et al.*, 2003b; ARUL-ANANDAM; LOO; SACHDEV, 2009). Dessa maneira, neurônios que não disparavam em resposta a um estímulo antes da estimulação anódica são sensibilizados, passando a disparar em resposta ao mesmo estímulo após a aplicação da ETCC (XIVRY; SHADMEHR, 2014). Quando aplicada sobre o M1, as células mais prováveis de serem atingidas pela estimulação são os neurônios piramidais, de forma que a ETCC anódica leva a uma hiperpolarização do dendrito apical e a uma despolarização do soma e do axônio, diminuindo o limiar do potencial de ação (FUNKE, 2013).

Além de um possível aumento da excitabilidade córticoespinal, indicado por aumentos no potencial motor evocado durante ou após a estimulação, os mecanismos de atuação da ETCC parecem perpassar mudanças de plasticidade semelhantes à Potenciação de Longo-Prazo (LTP, sigla em inglês para *Long-Term Potentiation*), no caso da estimulação anódica, principalmente em relação aos efeitos de longa duração induzidos posteriormente à sua aplicação (NITSCHKE *et al.*, 2003a).

Os mecanismos de LTP são apontados como um dos principais responsáveis pela plasticidade sináptica de longa duração que ocorre no M1 pela prática motora (RIOULT-PEDOTTI; FRIEDMAN; DONOGHUE, 2000). Esses mecanismos resultam do aumento da frequência de estímulos em um determinado grupo de neurônios (RAYMOND, 2007), levando à liberação do neurotransmissor excitatório glutamato e à diminuição do tônus gabaérgico (CASTRO-ALAMANCOS; DONOGHUE; CONNORS, 1995). Ao ser liberado na fenda sináptica, o glutamato se liga a dois dos seus receptores ionotrópicos, NMDA (*N-metil D-Aspartato*) e AMPA (*ácido  $\alpha$ -amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazol propiônico*), na membrana pós-sináptica, levando à abertura de canais de íons pelo receptor AMPA, resultando em aumento do fluxo principalmente de íons  $\text{Na}^+$  (CITRI; MALENKA, 2008). A consequente despolarização da membrana pós-sináptica causada pelo influxo de íons permite que o íon  $\text{Mg}^{2+}$  que bloqueia o canal iônico do receptor NMDA quando a célula encontra-se em potencial de repouso se dissocie do sítio de ligação (NOWAK *et al.*, 1984). Sendo esse receptor mais permeável à passagem de íons  $\text{Ca}^{2+}$  (JAHR & STEVENS, 1987), aumenta-se o fluxo desses íons a favor do seu gradiente de concentração, aumentando sua concentração na placa pós-sináptica (NICOLL, 2017). Por ser o  $\text{Ca}^{2+}$  um importante segundo mensageiro, o aumento da

concentração desse íon no citosol acima de um determinado limiar provoca cascatas de sinalização molecular dependentes de cálcio responsáveis pela indução da LTP (LYNCH *et al.*, 1983). A partir do aumento de síntese proteica, expressão gênica e liberação de Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro (BDNF) (DRAGUNOW *et al.*, 1993), ocorre o aumento da concentração de receptores AMPA na membrana pós-sináptica (NICOLL, 2003), bem como o remodelamento das sinapses, causado pelo crescimento da ramificação e formação de novos espinhos dendríticos, levando ao fortalecimento de antigas e criação de novas sinapses (FRITSCH *et al.*, 2010; STAGG; NITSCHKE, 2011; ZIEMANN; SIEBNER, 2008). Posteriormente, com o mesmo estímulo proveniente da membrana pré-sináptica, a sinapse passa a ocorrer de forma mais eficiente (LAMPRECHT; LEDOUX, 2004), ou seja, levando ao fortalecimento do engrama e, conseqüentemente, à aprendizagem motora (MONFILS; PLAUTZ; KLEIM, 2005). A LTP pode ser gerada rapidamente e é fortalecida e prolongada a partir da repetição do estímulo (CITRI; MALENKA, 2008).

Sabendo-se que a aprendizagem motora depende da reorganização, aumento e fortalecimento das memórias motoras, sendo essas entendidas como engramas, e que quaisquer mudanças dessas memórias devem envolver mudança no padrão de conectividade intracortical (MONFILS; PLAUTZ; KLEIM, 2005; XIVRY; SHADMEHR, 2014) levando essa aprendizagem motora no M1 a ser presumivelmente dependente de LTP (STAGG; NITSCHKE, 2011), é possível compreender, por conseguinte, os efeitos comumente facilitadores da ETCC anódica na aprendizagem motora.

Sugere-se que a modulação da taxa de disparo neuronal causada pela ETCC anódica (XIVRY; SHADMEHR, 2014) leve a um aumento dos mecanismos similares ao da LTP quando a estimulação é associada à prática motora. Estudos em seres-humanos e animais que investigam os mecanismos subjacentes a essa técnica dão suporte a essa hipótese. O estudo de Fritsch *et al.* (2010), por exemplo, indicou que a ETCC no M1 associada à ativação sináptica ou à prática leva a um aumento prolongado da potenciação neuronal. Os efeitos são dependentes da ativação dos receptores NMDA, da liberação de BDNF e da ativação de seu receptor, e a prática associada à ETCC leva a um maior aumento da liberação de BDNF comparada à prática apenas. Já Liebetanz *et al.* (2002) e Nitsche *et al.* (2003a) mostraram que os efeitos de ETCC são dependentes da despolarização do potencial de membrana pela abertura de canais de sódio (na estimulação anódica),

e que o bloqueio de canais de cálcio e dos receptores NMDA impediu a expressão dos efeitos de curto e longo-prazo da ETCC. Nitsche *et al.* (2004) mostrou que a estimulação causa diminuição na concentração gabaérgica dependente da polaridade, diminuição essa que Kim *et al.* (2014) mostraram predizer a eficácia na aprendizagem e memória motoras. Em conjunto, os resultados desses estudos permitem concluir que os efeitos facilitadores da ETCC na aprendizagem motora se dão a partir da potencialização ou da indução de mecanismos similares ao da LTP, que causam o fortalecimento sináptico do engrama motor aprendido.

A relação entre os mecanismos da ETCC e da aprendizagem pode ser exemplificada, inclusive, a partir de estudos que investigaram a utilização desse método em tarefas motoras com e sem a exigência de aprendizagem, indicando que a ETCC mostrou-se benéfica apenas quando era associada a um processo de aprendizagem, não alterando o comportamento motor por si só, sem associação com a prática motora (FRITSCH *et al.*, 2010; GALEA; CELNIK, 2009). Alternativamente, outros estudos mostram que a utilização da ETCC em áreas corticais que não estão comumente relacionadas à formação de memórias motoras tem nenhum ou menor efeito para a consolidação da aprendizagem motora comparada à utilização sobre o M1 (GALEA *et al.*, 2010; KANTAK; MUMMIDISSETTY; STINEAR, 2012; HADIPOUR-NIKTARASH *et al.*, 2007). Esses achados ressaltam a importância da ETCC na formação ou fortalecimento de engramas para o processo de aprendizagem. Além disso, os efeitos facilitadores da ETCC para a aprendizagem motora parecem ser mediados pelo nível inicial de desempenho do indivíduo ou por experiências prévias similares à habilidade praticada (MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2017; SUZUKI; SUZUKI; ONO, 2017). Esse fator pode se relacionar com o papel potencializador da ETCC na formação ou fortalecimento de engramas durante a fase inicial de consolidação da aprendizagem, de forma que diferenças interindividuais nos engramas ou circuitos corticais atuantes no controle da habilidade podem modificar os efeitos da estimulação entre os aprendizes que se encontram em diferentes estágios do processo de aprendizagem.

Apesar de a maioria dos estudos que utilizam a ETCC serem realizados com foco nas funções do M1, assim como os estudos que investigam o papel dos substratos neurais relacionados à aprendizagem motora, apenas um, a nosso saber, se preocupou em analisar separadamente a aprendizagem dos dois componentes

da habilidade motora, o programa motor generalizado e os parâmetros. Apolinário-Souza *et al.* (2016) utilizaram uma tarefa de pressionamento sequencial de teclas com duas metas distintas. Uma meta exigia que o movimento fosse realizado em um tempo total preestabelecido, essa meta está relacionada à capacidade de parametrizar o movimento. A segunda meta consistia em realizar cada componente do sequenciamento em certo percentual do tempo total do movimento. Essa meta relaciona-se à capacidade de gerar um padrão temporal que pode ser definido como um programa motor generalizado. Foi observado que a estimulação anódica do M1 contralateral à mão dominante dos indivíduos destros leva a uma melhoria da aprendizagem apenas da parametrização da habilidade. Esse achado foi observado por meio de um melhor desempenho no teste de transferência, teste esse que exige da adaptabilidade do aprendiz, se comparado com o grupo que contou apenas com a prática sem estimulação.

Outros estudos que utilizaram a ETCC sobre o M1, apesar de contarem com medidas de desempenho que não contemplam a análise isolada da dimensão absoluta e relativa da habilidade também apontam, indiretamente, um papel do M1 no controle e aprendizagem dos aspectos mais variáveis do movimento. O estudo de Kaminski *et al.* (2016) não só concluiu que o efeito facilitador da ETCC sobre o M1 impulsiona os parâmetros primários do movimento em uma tarefa complexa de equilíbrio, mas também é capaz de melhorar o controle motor do parâmetro cinemático velocidade, modulando a estratégia utilizada em relação a esse parâmetro para se obter sucesso na tarefa. O estudo de Galea e Celnik (2009), por sua vez, mostrou um efeito positivo da ETCC sobre o M1 na codificação e retenção das memórias motoras, sendo que esses efeitos benéficos foram identificados em todas as medidas cinéticas e cinemáticas analisadas, sendo elas direção, ângulo e aceleração em relação à zona alvo da tarefa, sendo essas especificidades do movimento que se assemelham ou se relacionam com variáveis que podem ser consideradas parâmetros da habilidade, como ângulo, força total e velocidade total (SCHMIDT, 1975; SCHMIDT, 1980).

O estudo de Apolinário-Souza *et al.* (2016), assim como a maior parte dos estudos da Neurociência, utilizou-se de movimentos simples de mão ou dedos, de modo que não se pode inferir que mesmo em movimentos mais complexos os efeitos da ETCC sobre o M1 na aprendizagem de parâmetros do movimento são mantidos. Ressalta-se que a contextualização e aprofundamento sobre o conceito

de habilidades complexas será apresentada a seguir na próxima seção desse capítulo.

A ETCC possui efeitos relativamente focais no substrato neural onde é aplicada, de forma que os parâmetros de configuração da estimulação, como local de posicionamento dos eletrodos anodo e catodo, tempo de estimulação, intensidade da corrente e tamanho dos eletrodos podem afetar a efetividade da técnica (BRUNONI *et al.*, 2012), principalmente se consideradas as particularidades de complexidade da habilidade a ser aprendida (KAMINSKI *et al.*, 2013). A intensidade da corrente, tempo de estimulação e tamanho dos eletrodos interferem na quantidade de corrente que penetra no cérebro e, conseqüentemente, na força da estimulação, bem como na duração dos efeitos da ETCC após o fim de sua aplicação (NITSCHKE *et al.*, 2003a). Mostrou-se, por exemplo, que treze minutos de estimulação levam a excitabilidade cortical a permanecer elevada por mais de noventa minutos após o fim da estimulação (NITSCHKE; PAULUS, 2001). Vinte minutos de estimulação com intensidade de corrente de 1,5 mA leva a maiores efeitos para a aprendizagem motora do que uma corrente de 1 mA (CUYPERS *et al.*, 2013), e que diminuir o tamanho do eletrodo ativo leva a uma maior focalidade e efetividade da estimulação (NITSCHKE *et al.*, 2007). Grande parte dos estudos que utilizam a ETCC em habilidades complexas utilizam correntes de 1,5 ou 2 mA, 15 ou 20 minutos de aplicação e eletrodos com área de 25 ou 35 cm<sup>2</sup> (p. ex.: ZHU *et al.*, 2015; SUZUKI; SUZUKI; ONO, 2017; MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2017; HUPFELD; KETCHAM; SCHNEIDER, 2016; KAMINSKI *et al.*, 2013).

O local e a forma de posicionamento, bem como a polaridade, devem ser escolhidos de acordo com as partes do corpo e as funções dos substratos neurais essenciais para a execução da habilidade a ser aprendida que se pretende atingir. Em habilidades complexas que necessitam de controle de mais partes do corpo e são mais facilmente afetadas pelas diversas funções corticais, a escolha desses parâmetros se torna essencial para tentar da melhor forma potencializar a aprendizagem. O estudo de Kaminski *et al.* (2013) mostrou, por exemplo, que a posição do eletrodo referência em habilidades complexas pode influenciar negativamente os resultados da estimulação. Nesse estudo, a área de interesse a ser estimulada era o M1 esquerdo, sobre o qual foi posicionado o eletrodo anodo, e o eletrodo referência, catodo, foi posicionado sobre a área supraorbital contralateral, sendo essa configuração, uni-hemisférica, a mais comumente utilizada em estudos



com ETCC associada à aprendizagem de habilidades simples. Mostrou-se que essa configuração levou a um prejuízo da aprendizagem da habilidade motora complexa estudada, o que os autores atribuíram ao efeito inibidor do córtex pré-frontal causado pelo eletrodo catodo, já que a função de planejamento dessa área torna-se mais importante em habilidades complexas do que em habilidades simples. Esse prejuízo foi revertido no mesmo estudo pelo aumento da área do eletrodo catodo, o que parece ter dissipado a corrente naquela área, diminuindo a força de inibição da mesma.

A estimulação bi-hemisférica, sendo essa aquela em que um mesmo substrato neural recebe a estimulação anódica em um hemisfério cerebral e a estimulação catódica no hemisfério contralateral, tem se mostrado uma configuração interessante para ser utilizada em habilidades motoras complexas, principalmente aquelas que envolvem ambos os lados do corpo. Essa configuração parece levar a uma desinibição bilateral do córtex motor primário causada pela modulação das fibras do trato motor transcaloso (LINDENBERG *et al.*, 2016), o que acarreta em efeitos mais fortes no membro alvo (contralateral ao eletrodo anodo) do que a estimulação uni-hemisférica e induz efeitos comportamentais também no membro contralateral ao M1 com estimulação catódica, o que difere da estimulação uni-hemisférica, em que os efeitos são restritos ao lado contralateral ao M1 anodicamente estimulado (LINDENBERG *et al.*, 2013; ASSELDONK; BOONSTRA, 2015). Dessa forma, Lindenber *et al.* (2016) consideram que essa forma de estimulação é mais que um mero somatório das estimulações anódica e catódica, sendo sim mediada por modulações sinérgicas complexas entre os dois hemisférios.

Apesar dos benefícios dessa forma de estimulação, mesmo utilizando as configurações mais adequadas de ETCC e considerando que essa estimulação sobre o M1 mostra-se em habilidades complexas, de forma geral, mesmo que ainda pouco utilizada junto às mesmas, uma técnica de estimulação eficiente (KAMINSKI *et al.*, 2016; PIXA; STEINBERG; DOPPELMAYR, 2017, CRAIG; DOUMAS, 2017, KASKI *et al.*, 2012; ASSELDONK; BOONSTRA, 2015, FURUYA *et al.*, 2013, VANCLEEF *et al.*, 2016), deve-se considerar que, a nosso conhecimento, nenhum desses estudos utilizou medidas que permitissem inferir sobre os efeitos dessa técnica na aprendizagem separadamente em relação ao programa motor generalizado e à parametrização.

Assim, é possível que os efeitos da ETCC aplicada no M1 para a aprendizagem de habilidades motoras complexas não sejam suficientes para levar à potencialização da aprendizagem dos parâmetros do movimento, devido aos diversos fatores neurofisiológicos que se alteram no controle e na aprendizagem motora com o aumento de complexidade da habilidade.

## 2.4 Habilidades complexas

A maior parte dos estudos que investigam aprendizagem motora tanto no âmbito do Comportamento Motor quanto da Neurociência utilizam-se, basicamente, de habilidades consideradas simples, que requerem pouco tempo de prática para atingir uma assíntota do desempenho, que demandam relativamente pouco de processos cognitivos subjacente e permitem grande objetividade científica (WULF; SHEA, 2002).

Uma das formas de se entender complexidade é a partir da quantidade de graus de liberdade requeridos para se executar uma habilidade motora (SCHLERF *et al.*, 2010). De acordo com Bernstein (1967), graus de liberdade se referem ao número de variáveis que precisam ser controladas durante a execução de um movimento. Essas variáveis se relacionam, por exemplo, ao controle da amplitude e coordenação dos ângulos articulares intervenientes à execução da habilidade (VERREL *et al.*, 2013), bem como ao número de músculos envolvidos no movimento (JENKINS, 2005). Bernstein (1967) considera a coordenação motora como o controle dos graus de liberdade do sistema e que mudanças ocorridas em uma articulação durante o movimento refletem e desencadeiam mudanças na ação das demais.

No presente estudo, portanto, uma habilidade motora complexa será considerada aquela habilidade que envolve necessariamente o controle de diversas articulações e grupos musculares para sua execução. É importante ressaltar que esse conceito é relativo, sendo necessário analisar a complexidade da habilidade em um *continuum* entre habilidades mais simples e habilidades mais complexas.

Mesmo o controle dos aspectos variantes do movimento são afetados pelo aumento de complexidade do movimento. Um exemplo é que, de acordo com McArdle, Katch e Katch (2010), a aplicação efetiva de força durante movimentos complexos dependem de uma série de padrões neuromusculares coordenados, não

apenas da força muscular. A coordenação inter e intra musculares e o controle de um grande número de motoneurônios são cada vez mais exigidos e necessários com o aumento do número e tamanho de grupos musculares utilizados.

Mesmo a participação dos substratos neurais parece se modificar de acordo com a complexidade do movimento. A AMS parece ser ainda mais responsiva a partir do aumento da complexidade do movimento, enquanto que mudanças na ativação do M1 relacionadas à complexidade da habilidade não são encontradas tão claramente (NACHEV; KENNARD; HUSAIN, 2008; SHIBASAKI *et al.*, 1993). No entanto, além da maior participação de outras áreas corticais em habilidades complexas, o estudo de Cunningham *et al.* (2013) mostrou que o M1 é dividido a partir de um mapa somatotópico funcional, em que diferentes membros e partes dos membros ocupam áreas relativamente distintas (articulações próximas ocupam áreas que se sobrepõe em grande parte, porém mantém certa distinção entre seus centros), o que permite uma maior coordenação entre as articulações de um mesmo membro ao mesmo tempo que permite o controle em separado de cada uma dessas articulações, enquanto áreas de membros distintos pouco se sobrepõem. Ademais, parece haver uma maior ativação do M1 bilateralmente com o aumento da complexidade do movimento (LOTZE *et al.*, 2000). Dessa maneira, é possível propor que movimentos mais complexos, que exigem o controle de articulações em um mesmo membro, mas também entre diferentes membros, exijam uma maior ativação e/ou ativação de mais áreas do M1 se comparado a habilidades mais simples.

Tendo em vista todas as possíveis particularidades promovidas na aprendizagem e no controle motor pelo aumento da complexidade da habilidade que é praticada, a generalização dos achados dos estudos que utilizaram habilidades simples deve ser realizada com cautela. Assim, não é possível dizer, apesar do estudo de Apolinário-Souza *et al.* (2016), que a estimulação do M1 é capaz de potencializar a aprendizagem da parametrização do movimento também em habilidades dessa natureza.

Uma das formas de se investigar se o papel da estimulação do M1 na aprendizagem motora se mantém mesmo em uma habilidade motora complexa pode ser através da utilização de habilidades como o *Putting* do Golfe, uma vez que, apesar de exigir o controle de diversos graus de liberdade (MALHOTRA *et al.*, 2015), controlando diversas articulações e fibras musculares em sua execução, resguarda

um certo controle científico por minimizar as variáveis confundidoras, mantendo-se afastada dos extremos do *continuum* entre habilidades mais simples e mais complexas. Além disso, essa habilidade é passível de realização em ambiente controlado e apresenta alta exigência de controle ótimo de força (DELAY *et al.*, 1997), tornando-se interessante para a investigação sobre a aprendizagem da parametrização, além de permitir a análise separada do desempenho em relação aos distintos componentes da habilidade.

Tendo em vista as particularidades na aprendizagem e controle motor promovidas pelo aumento de complexidade da habilidade motora, torna-se importante entender os efeitos da estimulação do M1 na aprendizagem de uma habilidade motora complexa.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo geral

Investigar os efeitos da estimulação do M1 na aprendizagem de uma habilidade motora complexa.

#### 3.2 Objetivos específicos

**1-** Comparar o desempenho global do *putting* no teste de transferência entre a prática associada à estimulação do M1 e a prática sem estimulação do M1.

**2-** Comparar a mudança do desempenho global do *putting* do pré-teste para o pós-teste entre a prática associada à estimulação do M1 e a prática sem estimulação do M1.

**3-** Comparar a variabilidade do programa motor generalizado do *putting* entre a prática associada à estimulação do M1 e a prática sem estimulação do M1 no teste de transferência.

**4-** Comparar a mudança da variabilidade do programa motor generalizado do pré-teste para o pós-teste entre a prática associada à estimulação do M1 e a prática sem estimulação do M1.

**5-** Comparar a variabilidade na produção dos parâmetros do *putting* entre a prática associada à estimulação do M1 e a prática sem estimulação do M1 no teste de transferência.

**6-** Comparar a mudança da variabilidade na produção dos parâmetros do pré-teste para o pós-teste entre a prática associada à estimulação do M1 e a prática sem estimulação do M1.

#### 4 HIPÓTESES DE ESTUDO

H1: A prática do *putting* associada à estimulação do M1 levará a um melhor desempenho global no teste de transferência comparada à prática sem estimulação.

H2: A prática do *putting* associada à estimulação do M1 levará a um mesmo nível de mudança do desempenho global do pré-teste para o pós-teste comparada à prática sem estimulação.

H3: A prática do *putting* associada à estimulação do M1 levará a uma mesma consistência na produção do programa motor generalizado que a prática sem estimulação no teste de transferência.

H4: A prática do *putting* associada à estimulação do M1 levará a um mesmo nível de mudança do pré-teste para o pós-teste na consistência da produção do programa motor generalizado que a prática sem estimulação.

H5: A prática do *putting* associada à estimulação do M1 levará a uma maior consistência na produção dos parâmetros do que a prática sem estimulação no teste de transferência.

H6: A prática do *putting* associada à estimulação do M1 levará a um mesmo nível de mudança do pré-teste para o pós-teste na consistência da produção dos parâmetros.

## 5 MÉTODO

### 5.1 Amostra

Participaram do estudo 48 voluntários, sendo esses destros, de ambos os sexos (24 mulheres), com idades entre 18 e 40 anos (média de  $26,15 \pm 5,85$  anos), sem nenhuma experiência prática em tarefas de Golfe, Minigolfe, ou *Putting*. Foram incluídos na amostra aqueles voluntários que declararam não apresentar lesões que os impedissem de realizar de forma íntegra os movimentos de *putting*, que não apresentavam nenhum comprometimento neurológico e não utilizavam implantes de metal no crânio ou marca-passo cardíaco. Também foi observado se relatavam cefaleia recorrente, gestação, histórico recente de epilepsia, ou se faziam uso de medicamentos que fossem susceptíveis a alterar a excitabilidade cerebral (NITSCHE *et al.*, 2008). Como critério de exclusão, enquadraram-se aqueles que não comparecerem, abandonaram, ou não completaram a uma das fases do experimento, por quaisquer motivos. Os participantes foram recrutados por meio de convite pessoal e anúncio na Escola de Educação Física e Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais.

### 5.2 Procedimentos

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais sob o protocolo 66027917.3.0000.5149 (ANEXO) e respeitou a todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde para pesquisas com seres humanos (Resolução CNS nº 466/12).

O método de modulação cortical utilizado para testar a hipótese do presente estudo foi a ETCC, sendo utilizado para tanto o equipamento HDCKit (Magstim Co., Whitland, UK). Os eletrodos utilizados possuíam área de superfície de  $25 \text{ cm}^2$ , sendo a intensidade da corrente aplicada  $1,5 \text{ mA}$  (densidade de corrente de  $0,06 \text{ mA/cm}^2$ ), sendo essa uma intensidade segura (NITSCHE *et al.*, 2003b; UTZ *et al.*, 2010) e que mostrou-se efetiva em habilidades complexas (ZHU *et al.*, 2015; WRIGHTSON *et al.*, 2015; ZHOU *et al.*, 2014).

A coleta de dados foi realizada pela própria pesquisadora. Logo após assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE V), os

participantes responderam ao Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971) para a determinação do índice de lateralidade do voluntário. Todos os participantes que realizaram a tarefa motora autodeclararam-se destros e apresentaram índice de preferência acima de 80 pontos para a mão direita (média de  $94,17 \pm 6,63$  pontos).

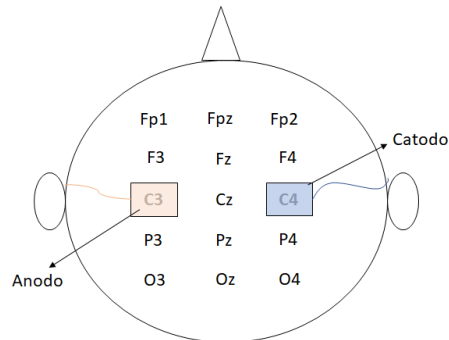
Os voluntários foram aleatoriamente alocados e contrabalanceados por sexo em dois grupos experimentais, sendo esses o grupo com aplicação de ETCC (G-ETCC) e o grupo placebo (G-P), sem estimulação.

Com os participantes sentados confortavelmente em uma cadeira, foi aplicada a ETCC. A estimulação foi aplicada por meio de dois eletrodos cobertos por esponjas embebidas em uma solução salina (0,9% NaCl) com o objetivo de evitar a transmissão de calor para o couro cabeludo (NITSCHKE *et al.*, 2008).

Foi escolhida como configuração a estimulação bi-hemisférica, visto que em habilidades complexas essa se mostrou mais eficaz que a estimulação unihemisférica (LINDENBERG *et al.*, 2013; ASSELDONK; BOONSTRA, 2015). Visto que a habilidade motora do estudo é bimanual, a determinação do hemisfério em que seria posicionado o anodo foi realizada por meio de estudo piloto (APÊNDICE II). Isto posto, o eletrodo anodo (positivo) foi afixado sobre o M1 esquerdo (C3 do sistema internacional 10-20 de EEG), sendo essa a região alvo a ser excitada, e o eletrodo catodo (negativo) foi alocado sobre o M1 direito (região C4 do sistema internacional 10-20 de EEG), seguindo o sistema internacional 10-20 para uso com eletroencefalograma (EEG) (FIGURA 1) para a demarcação das áreas de interesse em cada sujeito.



**Figura 1** - Desenho esquemático das posições adequadas dos eletrodos para ETCC bi-hemisférica do M1. A área C3 mostra o anodo (eletrodo de carga positiva, cor rosa) posicionado sobre o M1 esquerdo de acordo com o sistema 10-20. O catodo (eletrodo de carga negativa, cor azul) posicionado sobre o M1 direito (no C4 de acordo com o sistema 10-20).



Fonte: NITSCHKE *et al.*, 2008 (figura adaptada).

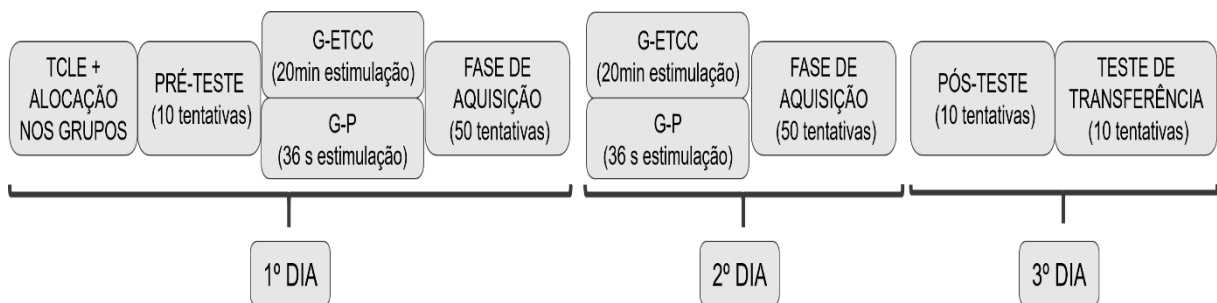
O experimento foi dividido em pré-teste, fase de aquisição, pós-teste e teste de transferência. Os dois grupos realizaram o mesmo número de tentativas em todas as fases. No primeiro dia de experimento, os voluntários realizaram um pré-teste com 10 tentativas na tarefa motora, após as quais foi realizado o posicionamento do equipamento da ETCC.

Os participantes do G-ETCC receberam estimulação sobre o M1 durante 20 minutos antes da prática nos dois dias da fase de aquisição. Para garantir um delineamento simples-cego, os participantes do grupo que receberam a estimulação placebo passaram pelos mesmos procedimentos que os voluntários do grupo com ETCC. Dessa forma, foram utilizados mesmo equipamento, mesmo local de aplicação e mesma intensidade, porém a estimulação permaneceu ativa por apenas 36 segundos nesses participantes, sendo retirada gradativamente sem o conhecimento do voluntário. Tal procedimento tem se mostrado suficiente para garantir a blindagem do estudo, devido à maioria dos indivíduos que recebem estimulação real relatarem a sensação de prurido apenas na fase inicial de aplicação desse técnica (NITSCHKE *et al.*, 2008). Após os 36 segundos, todo o aparato foi automaticamente desligado pelo próprio aparelho sem o conhecimento do voluntário, sendo o equipamento mantido posicionado até que se completassem os 20 minutos. Imediatamente após os 20 minutos de estimulação ou placebo, os sujeitos do G-

ETCC e G-P deram início à tarefa na fase de aquisição. Após o fim do experimento, no último dia, os voluntários foram questionados sobre sua percepção a respeito do grupo ao qual imaginavam terem integrado, a fim de garantir a eficácia do placebo.

A fase de aquisição contou com 100 tentativas e ocorreu em 2 dias, e em cada sessão 50 tentativas foram realizadas. O pós-teste e o teste de transferência dispuseram de 10 tentativas cada. A quantidade de tentativas em cada dia e em cada uma das fases do experimento foi determinada após a realização de estudos piloto (APÊNDICE I). O pós-teste se deu aproximadamente 24h após o fim da última sessão de prática, e antes do seu início os voluntários realizaram 3 tacadas sem bola para aquecimento. O teste de transferência realizou-se logo após o pós-teste. O delineamento experimental do estudo é ilustrado pela figura 2.

**Figura 2** - Imagem ilustrativa do delineamento experimental do estudo.



Fonte: Elaboração própria.

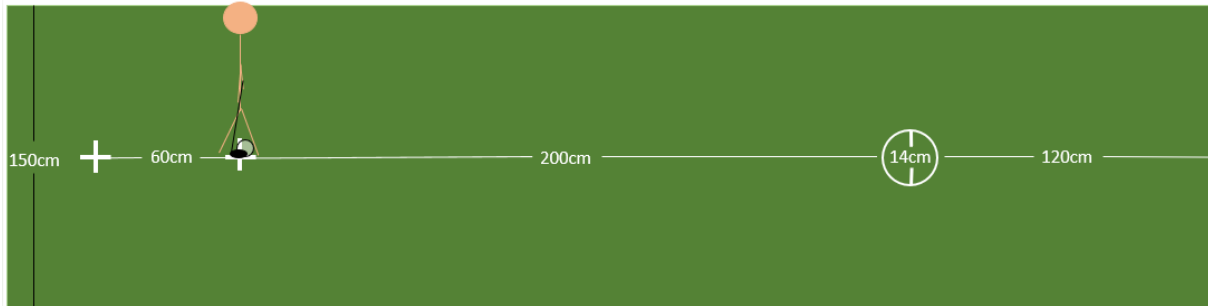
### 5.3 Tarefa

Os participantes realizaram como tarefa motora complexa o *putting* do Golfe em uma pista de feltro verde de 400 cm de comprimento e 150 cm de largura, sendo o centro do alvo, esse com diâmetro de 14 cm, localizado a 120 cm do fim da pista. O *putting* foi realizado com um *putter* padrão com um acelerômetro (Accelerometer MMA7361) acoplado na parte posterior da cabeça do mesmo, e bola de golfe.

No pré-teste, em ambas as sessões da fase de aquisição, e no pós-teste os *puttings* foram realizados sempre a 200 cm do alvo, enquanto no teste de transferência foram realizados a 260 cm. Essas medidas foram definidas de acordo com os resultados do estudo piloto (APÊNDICE I), que indicou que essas condições do ambiente associadas à quantidade de tentativas e dias seriam suficientes para

que os voluntários mudassem seu comportamento, aprendendo a tarefa. As dimensões da tarefa são ilustradas pela figura 3.

**Figura 3** - Imagem ilustrativa das dimensões para a tarefa do *putting*.



Fonte: Elaboração própria.

Anteriormente à realização das tentativas no pré-teste, foi dada a instrução a todos os participantes de que seu objetivo era acertar a bola em qualquer ponto dentro do círculo do alvo, mantendo sempre, para tanto, o corpo lateralmente ao taco (perpendicular ao alvo), com a mão direita posicionada mais abaixo no taco em relação à mão esquerda, e realizando um movimento fluido com dois submovimentos de braço, sendo esses o movimento preparatório para trás (*backswing*) e o movimento de ataque para frente (*forward swing*). O movimento da forma como foi executado levava à exigência de controle primordialmente das articulações de ombro, punho e movimento de quadril, tendo o membro superior direito, dominante, a maior participação no controle do torque aplicado comparado ao membro esquerdo, que não apenas auxilia na aplicação do torque e no direcionamento da trajetória do movimento, mas tem como função básica prover estabilidade ao taco.

#### 5.4 Variáveis dependentes

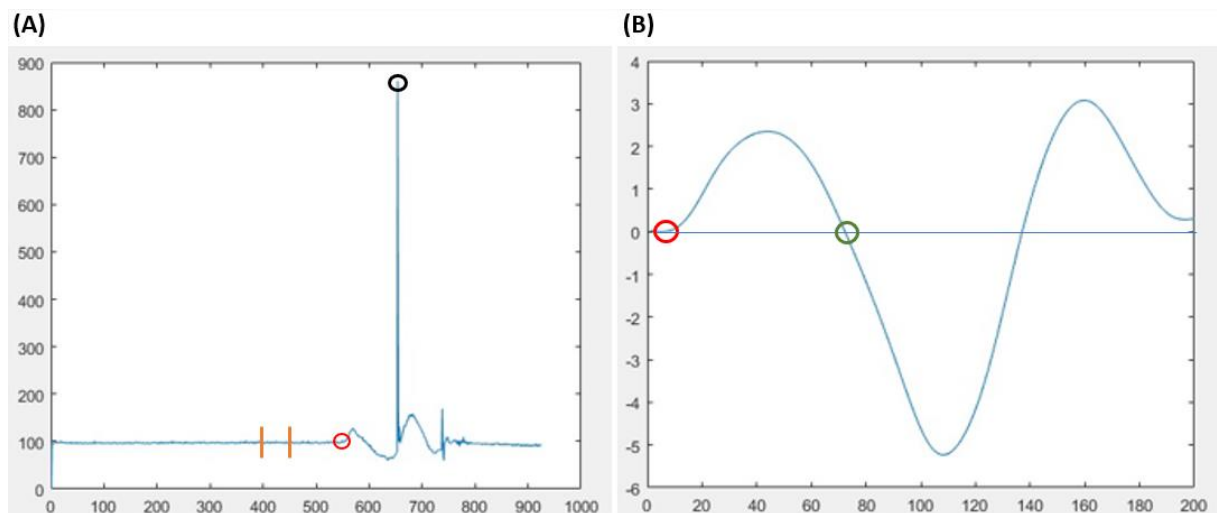
Para inferirmos sobre o desempenho global foi considerado o erro radial, dado pela distância do centro da bola ao centro do alvo ao final de cada tentativa, sendo esse valor subtraído de 7 cm (raio do alvo), o que indica que o acerto (erro de 0 cm) era considerado sempre que ao menos metade da bola estivesse dentro dos limites do alvo. Os valores de erro radial dos participantes foram determinados por meio de uma câmera filmadora (marca JVC modelo GZ-HM30BUB) com frequência

de captura de 60 hz instalada paralelamente ao chão, acima da pista, sendo a análise da distância da bola ao alvo em cada tentativa realizada a partir do *software* de análise de vídeo *Kinovea*.

Como medidas que indicassem a formação de um programa motor generalizado para cada voluntário foram consideradas a variabilidade do tempo relativo (tempo gasto no 1º submovimento x 100 / tempo total) e a variabilidade da aceleração relativa (integral da aceleração no 1º submovimento x 100 / aceleração total) em cada bloco de tentativas, enquanto a variabilidade do tempo total da tacada, a variabilidade da aceleração total (somatório da aceleração do 1º e do 2º submovimento) e a variabilidade da velocidade de batida na bola foram utilizadas para informar sobre a parametrização, sendo essas acessadas no pré-teste, no pós-teste e no teste de transferência a partir das informações provenientes do acelerômetro triaxial com frequência de captura de 120 hz afixado ao *putter*. A variabilidade em todas essas medidas de parametrização e programa motor generalizado foram acessadas a partir do desvio padrão de cada sujeito em cada teste. Foi escolhido utilizar medidas de variabilidade para essas variáveis a fim de permitir a comparação dos valores entre os diferentes sujeitos já que, diferentemente do desempenho global, não existiam metas claras para a parametrização e para o programa motor generalizado. Os dados obtidos pelo acelerômetro foram tratados com o filtro Butterworth 4ª ordem, do tipo passa-baixa, com valor de atenuação de 10 Hz. O ponto de batida na bola foi determinado pela curva de aceleração, no ponto de maior mudança de aceleração na curva, causado pelo ruído do impacto (círculo preto na figura 4A). O início do movimento (círculo em vermelho na figura 4A) na curva de aceleração foi determinado a partir do primeiro ponto maior que a média + 3 desvios padrão do intervalo (representado pelas barras alaranjadas na figura 4A) compreendido pelos pontos “ponto de batida na bola – 250” e “ponto de batida na bola – 200”, sendo que os 19 próximos pontos deveriam atender ao mesmo critério. O primeiro submovimento foi considerado a partir da análise da curva de velocidade x tempo, obtida a partir da integração da curva de aceleração cortada no ponto de início do movimento, considerando para tanto o intervalo compreendido entre o início do movimento (quando a curva deixa o ponto zero a primeira vez, representado pelo círculo vermelho na figura 4B) e o próximo momento em que a curva volta a cortar o zero (círculo verde na figura 4B).

Considerou-se o segundo submovimento o intervalo entre o ponto final do primeiro submovimento e o ponto de batida na bola.

**Figura 4** – (A) Exemplo da curva de aceleração em uma tentativa de um sujeito. (B) Exemplo da curva de velocidade em uma tentativa de um sujeito. Os círculos vermelhos representam o ponto do início do movimento, o círculo verde representa o ponto do fim do primeiro submovimento, o círculo preto representa o ponto de batida na bola, e as barras laranjas representam o intervalo a partir do qual foram calculados a média e o desvio padrão para encontrar o ponto de início do movimento.



Fonte: Elaboração própria.

## 5.5 Análise estatística

Foram conduzidas análises descritivas em relação à média intrasujeito e posteriormente à média e desvio padrão intersujeito para a precisão do erro radial. Para a variabilidade do erro radial os dados foram organizados em desvio padrão intrasujeito e posteriormente em média e desvio padrão intersujeitos. Para as medidas de acelerometria os dados foram organizados em desvio padrão intrasujeito e posteriormente em média e desvio padrão intersujeitos. Os dados foram organizados em blocos de 10 tentativas. Os pressupostos de normalidade dos dados a partir do teste Shapiro-Wilk e dos pressupostos de esfericidade e homocedasticidade, pelos testes de Mauchly e Levene respectivamente, foram

verificados quando necessário. Nos casos em que houve violação do pressuposto de esfericidade, foi utilizada a correção de Greenhouse-Geisser.

A fim de verificar a semelhança entre as idades dos sujeitos dos dois grupos foi realizado um teste *t* independente. Para verificar a semelhança entre as percepções de estimulação reportadas pelos indivíduos de ambos os grupos foi utilizado o teste Qui-quadrado.

Para as análises da precisão e da variabilidade da medida global de desempenho (erro radial) conduziu-se ANOVAs Two-Way mistas (2 grupos x 2 testes) para comparação entre pré-teste e pós-teste entre os grupos. Realizou-se ANOVAs Two-Way mistas para análise da fase de aquisição (2 grupos x 10 blocos). Para as análises das diferenças entre os valores delta (diferença entre pós-teste e pré-teste) dos grupos foram conduzidos testes *t* independentes. Durante todo o estudo os valores de delta foram utilizados a fim de acessar as diferenças nos graus de mudança entre os grupos, uma vez que tal informação não é provida pelas análises de variância. Testes *t* independentes também foram utilizados para comparar a aprendizagem *online* 1 (dada pela diferença entre o bloco 5 e o bloco 1), aprendizagem *online* 2 (diferença entre o bloco 10 e o bloco 6), aprendizagem *offline* 1 (diferença entre o bloco 6 e o bloco 5), aprendizagem *offline* 2 (diferença entre o pós-teste e o bloco 10), teste de transferência, e delta testes (diferença entre teste de transferência e pós-teste).

Para a análise das medidas de acelerometria foram utilizadas ANOVAs Two-Way mistas (2 grupos x 2 testes) para a comparação da variabilidade de velocidade da batida na bola, variabilidade da aceleração total, variabilidade do tempo total, variabilidade do tempo relativo e variabilidade da aceleração relativa entre o pré-teste e o pós-teste nos dois grupos. Foram utilizados testes *t* independentes para comparação da transferência e dos valores de delta e delta testes da variabilidade de velocidade da batida na bola, variabilidade do tempo total, variabilidade da aceleração total, variabilidade do tempo relativo e variabilidade da aceleração relativa entre os dois grupos.

Para análise dos efeitos da estimulação relativamente ao nível inicial de desempenho do indivíduo dentro de cada grupo foi realizado o cálculo da mediana dos valores de pré-teste em cada grupo para cada variável, separando-os, portanto, em melhores e piores desempenhos iniciais (SUZUKI; SUZUKI; ONO, 2017), de forma que quatro subgrupos foram criados para cada variável analisada (Subgrupo

ETCC-Melhores; Subgrupo ETCC-Piores; Subgrupo Placebo-Melhores; Subgrupo Placebo-Piores).

Para as análises de precisão e variabilidade do erro radial utilizou-se ANOVAs Two-Way mistas (4 subgrupos x 2 testes) para a comparação do pré-teste e do pós-teste entre esses subgrupos, e ANOVAs Two-Way mista (4 subgrupos x 10 blocos) para a comparações da fase de aquisição entre os subgrupos. Utilizou-se ANOVAs One-Way para a comparação entre os 4 subgrupos do delta, do teste de transferência, da aprendizagem *online* 1, aprendizagem *online* 2, aprendizagem *offline* 1, aprendizagem *offline* 2, e delta testes.

Para a análise das variáveis de acelerometria foram utilizadas ANOVAs Two-Way mistas (4 subgrupos x 2 testes) para a comparação da variabilidade de velocidade da batida na bola, variabilidade do tempo total, variabilidade da aceleração total, variabilidade do tempo relativo e variabilidade da aceleração relativa entre o pré-teste e o pós-teste nos 4 subgrupos. Foram utilizadas ANOVAs One-Way para comparação da transferência e dos valores de delta e delta testes da variabilidade de velocidade da batida na bola, variabilidade do tempo total, variabilidade da aceleração total, variabilidade do tempo relativo e variabilidade da aceleração relativa entre os 4 subgrupos. Quando necessário, testes *post-hoc* de Scott-Knott foram utilizados para encontrar as diferenças indicadas pelas ANOVAs.

Foram conduzidas regressões lineares para analisar a influência das medidas de acelerometria na precisão e variabilidade do erro radial. Para avaliar quais medidas entrariam nos modelos de regressão, inicialmente foram conduzidas correlações de Spearman entre (a) delta da variabilidade da aceleração relativa, delta da variabilidade da aceleração total, delta da variabilidade do tempo relativo, delta da variabilidade do tempo total, delta da variabilidade da velocidade de batida na bola e delta do erro radial; (b) variabilidade da aceleração relativa no pré-teste, variabilidade da aceleração total no pré-teste, variabilidade do tempo relativo no pré-teste, variabilidade do tempo total no pré-teste, variabilidade da velocidade de batida na bola no pré-teste e do erro radial no pré-teste; (c) variabilidade da aceleração relativa no pós-teste, variabilidade da aceleração total no pós-teste, variabilidade do tempo relativo no pós-teste, variabilidade do tempo total no pós-teste, variabilidade da velocidade de batida na bola no pós-teste e erro radial no pós-teste; (d) variabilidade da aceleração relativa no teste de transferência, variabilidade da aceleração total no teste de transferência, variabilidade do tempo relativo no teste de

transferência, variabilidade do tempo total no teste de transferência, variabilidade da velocidade de batida na bola no teste de transferência e erro radial no teste de transferência.

No presente estudo, o poder estatístico foi determinado *a priori* em 80% a partir da realização do cálculo amostral (APÊNDICE III), tendo como referência os erros radiais no teste de transferência dos 2 grupos (G-ETCC e G-P) acessados a partir de estudo piloto, no qual participaram 8 sujeitos no total, sendo o cálculo feito a partir do software estatístico *GPower* (versão 3.1.9.2). O valor de significância considerado em todo o estudo foi de  $\alpha = 5\%$ . O tamanho do efeito foi calculado utilizando  $\eta^2_p$  para as ANOVAs e  $d$  de Cohen ( $d$ ) para testes  $t$ .



## 6 RESULTADOS

### 6.1 Variáveis de controle

Não foi encontrada diferença significativa ( $p = 0,19$ ;  $d = 0,38$ ) entre as idades dos participantes dos grupos G-ETCC ( $25,04 \pm 5,69$  anos) e G-P ( $27,25 \pm 5,91$  anos).

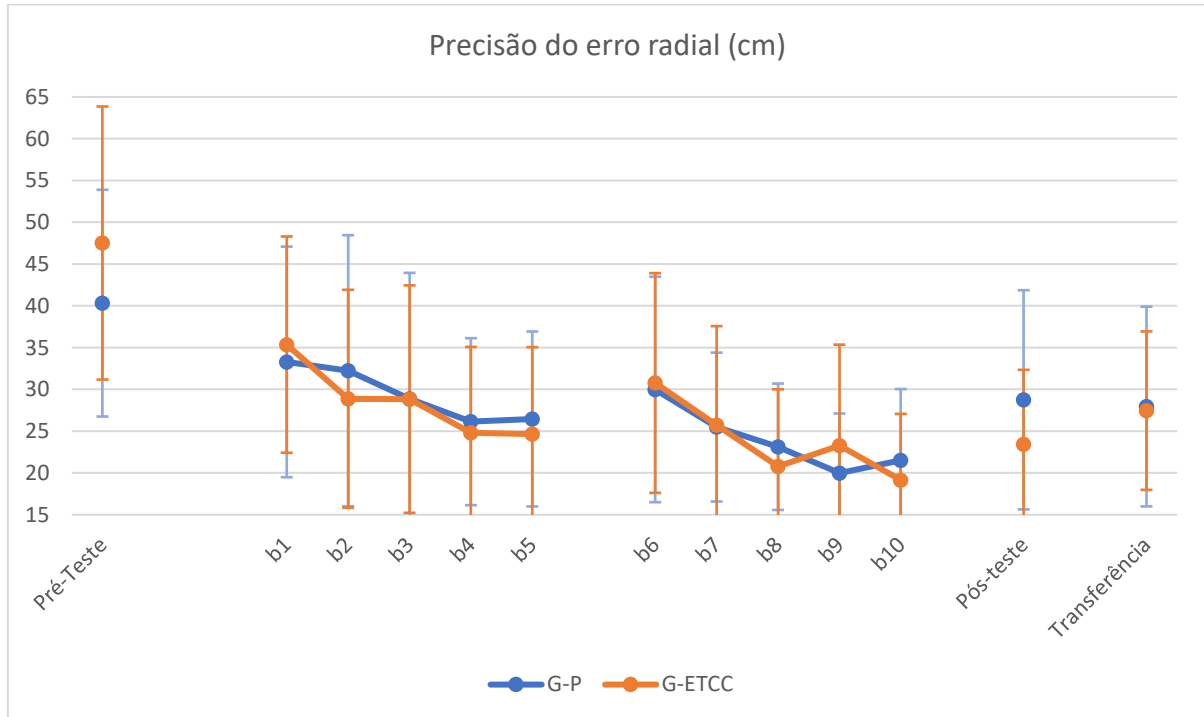
Em relação à percepção de estimulação reportada pelos indivíduos dos dois grupos, não foi encontrada diferença significativa entre eles ( $p = 0,755$ ), uma vez que no G-ETCC 17 dos 24 sujeitos (70,83%) relataram que acreditavam terem sido estimulados, enquanto no G-P 16 dos 24 sujeitos (66,67%) também acreditaram terem feito parte do grupo estimulado. Dessa forma, é possível concluir que a estimulação placebo foi suficiente para blindar os sujeitos de perceberem a qual grupo realmente pertenciam, possibilitando o sucesso do design único-cego.

### 6.2 Medida global de aprendizagem

#### 6.2.1 Precisão do erro radial: comparação entre grupos

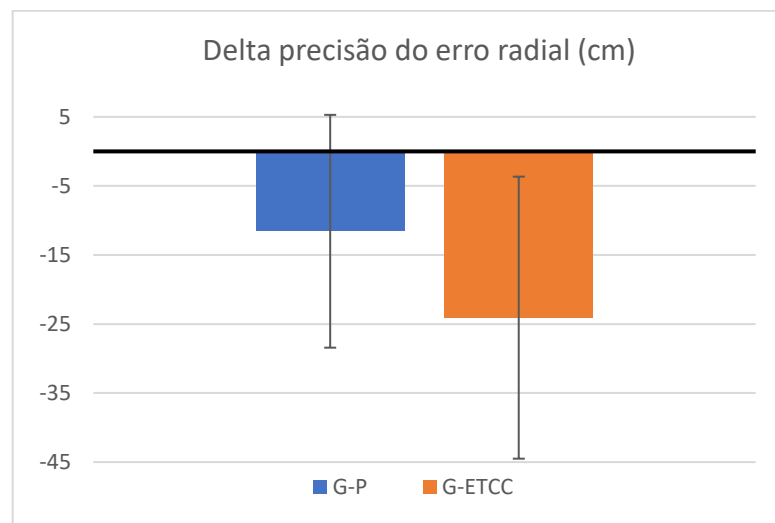
A ANOVA mista (2 testes x 2 grupos) indicou não haver efeito principal de grupo [ $F(1, 46) = 0,12$ ;  $p = 0,73$ ;  $\eta^2p < 0,01$ ], indicou a presença de efeito principal de teste [ $F(1,46) = 43,47$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,49$ ], tendo o pré-teste maiores erros em comparação ao pós-teste, e de interação teste x grupo [ $F(1, 46) = 5,36$ ;  $p = 0,03$ ;  $\eta^2p = 0,11$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott indicou não haver diferenças entre os grupos no pré-teste ou no pós-teste, e que para ambos os grupos houve diminuição do erro do pré-teste para o pós-teste (GRÁFICO 1).

**Gráfico 1** – Média e desvio padrão da precisão do erro radial dos grupos G-P e G-ETCC nos três testes e na fase de aquisição



O teste  $t$  indicou diferença significativa entre os deltas dos grupos G-ETCC e G-P ( $p = 0,03$ ;  $d = 0,67$ ), tendo o G-ETCC a maior mudança do pré-teste para o pós-teste (GRÁFICO 2).

**Gráfico 2** – Média e desvio padrão do delta da precisão do erro radial dos grupos G-P e G-ETCC



Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos em relação ao teste de transferência ( $p = 0,88$ ;  $d = 0,05$ ), aprendizagem *online* 1 ( $p = 0,10$ ;  $d = 0,49$ ), aprendizagem *online* 2 ( $p = 0,51$ ;  $d = 0,20$ ), aprendizagem *offline* 1 ( $p = 0,58$ ;  $d = 0,16$ ), aprendizagem *offline* 2 ( $p = 0,32$ ;  $d = 0,30$ ), ou delta testes ( $p = 0,12$ ;  $d = 0,46$ ).

A ANOVA *Two-Way* Mista da fase de aquisição (10 blocos x 2 grupos) indicou não haver efeito principal de grupo [ $F(1, 46) = 0,36$ ;  $p = 0,55$ ;  $\eta^2p = 0,10$ ], haver efeito principal de blocos [ $F(6,826, 414) = 9,65$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,17$ ], e não haver interação blocos x grupos [ $F(6,826, 414) = 0,54$ ;  $p = 0,80$ ;  $\eta^2p = 0,01$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott indicou que o bloco 1 apresentou maior erro radial que os blocos 2, 3, e 6 ( $p < 0,05$ ), enquanto esses apresentaram maiores erros que os blocos 4, 5 e 7 ( $p < 0,05$ ) que, por sua vez, apresentaram maiores erros que os blocos 8, 9, e 10 ( $p < 0,05$ ) (GRÁFICO 1).

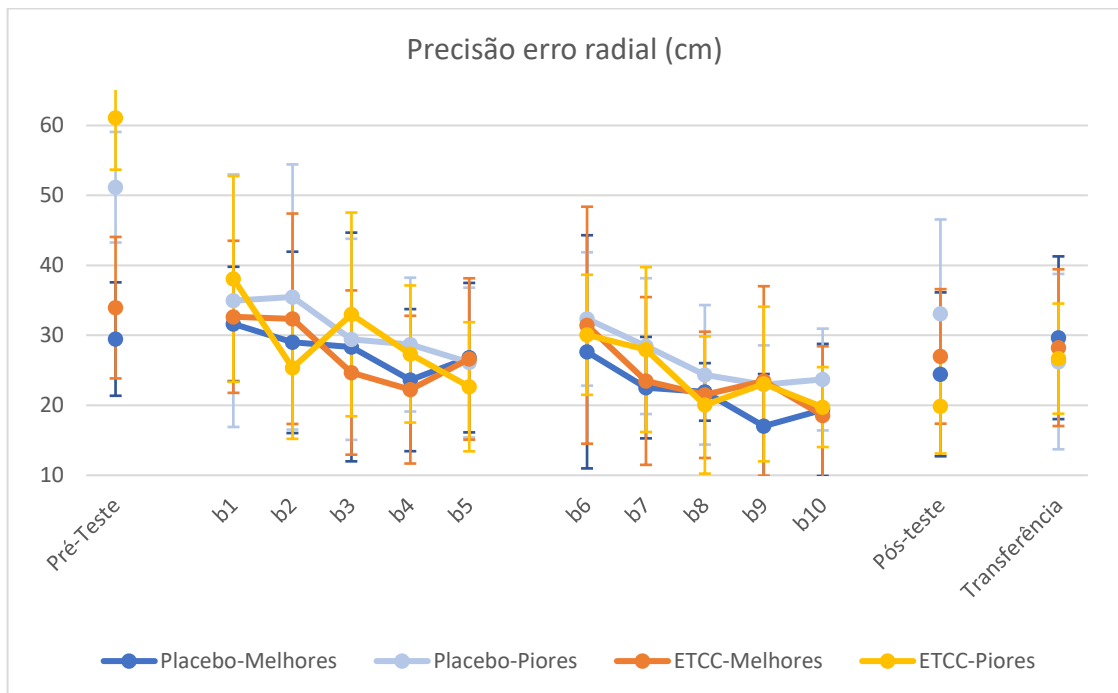
#### 6.2.2 Precisão do erro radial: comparação entre subgrupos

A ANOVA *Two-Way* Mista (4 subgrupos x 2 testes) indicou a presença de efeito principal de teste [ $F(1,44) = 83,01$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,65$ ], efeito principal de subgrupos [ $F(3,44) = 14,20$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,49$ ] e interação teste x subgrupo [ $F(3,44) = 18,02$ ;  $p < 0,01$ ,  $\eta^2p = 0,55$ ]. O *post-hoc* Scott-Knot indicou que no pré-teste o erro dos subgrupos Placebo-Melhores e ETCC-Melhores não diferiam entre si, enquanto o erro do subgrupo Placebo-Piores era maior que o de ambos, porém menor que o do subgrupo ETCC-Piores, que possuía os maiores erros. No pós-teste, o subgrupo Placebo-Piores possuía erros maiores que os três demais subgrupos, que não diferiam entre eles. Além disso, indicou-se que para os subgrupos Placebo-Melhores e ETCC-Melhores não houve alteração dos erros do pré-teste para o pós-teste, enquanto ambos os subgrupos Placebo-Piores e ETCC-Piores diminuiram seus erros. (GRÁFICO 3)

A ANOVA *Two-Way* Mista da fase de aquisição (10 blocos x 4 subgrupos) indicou não haver efeito principal de subgrupo [ $F(3, 44) = 0,78$ ;  $p = 0,51$ ;  $\eta^2p = 0,05$ ], haver efeito principal de blocos [ $F(6,775, 298,11) = 9,58$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,18$ ] e não haver interação blocos x grupos [ $F(20,326, 298,111) = 0,73$ ;  $p = 0,80$ ;  $\eta^2p = 0,05$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott indicou que o bloco 1 apresentou maior erro radial que os blocos 2, 3, e 6 ( $p < 0,05$ ), enquanto esses apresentaram maiores erros que os

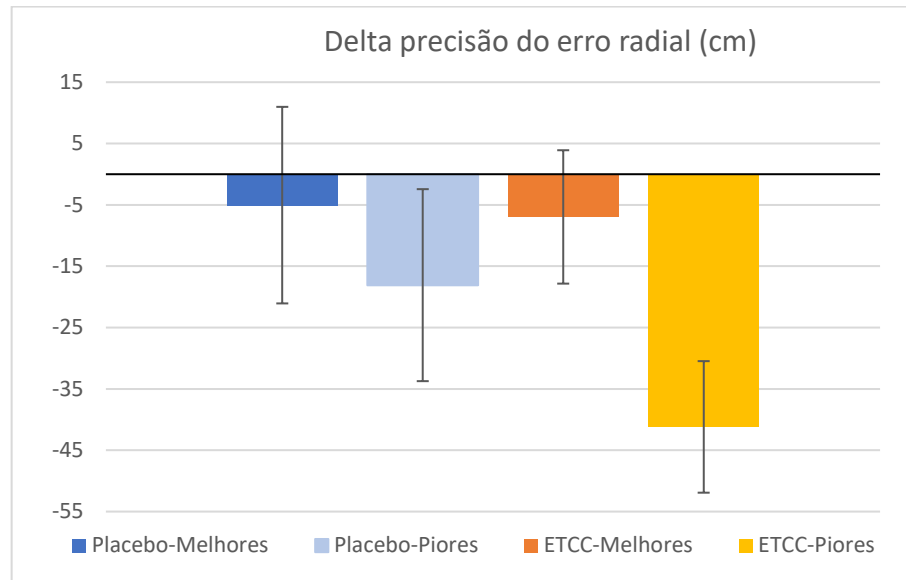
blocos 4, 5 e 7 ( $p < 0,05$ ) que, por sua vez, apresentaram maiores erros que os blocos 8, 9, e 10 ( $p < 0,05$ ) (GRÁFICO 3).

**Gráfico 3** – Média e desvio padrão da precisão do erro radial dos subgrupos Placebo-Melhores, Placebo-Piores, ETCC-Melhores e ETCC-Piores nos três testes e na fase de aquisição



A ANOVA *One-Way* indicou diferença significativa entre os deltas [ $F(3, 44) = 18,02$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2 p = 0,55$ ], tendo o subgrupo ETCC-Piores maior delta que os 3 demais subgrupos ( $p < 0,01$ ), enquanto esses não apresentaram diferenças entre eles. A ANOVA *One-Way* indicou também diferença significativa entre a aprendizagem *online* 1 [ $F(3, 44) = 8,61$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 p = 0,37$ ], sendo que o subgrupo Placebo-Melhores apresentou menor aprendizagem *online* 1 que os subgrupos Placebo-Piores ( $p = 0,04$ ) e ETCC-Piores ( $p < 0,01$ ), enquanto que o subgrupo ETCC-Melhores apresentou menor aprendizagem *online* que o subgrupo ETCC-Piores ( $p < 0,01$ ). O subgrupo Placebo-Piores não diferiu do subgrupo ETCC-Melhores ( $p = 0,28$ ), e o subgrupo ETCC-Piores apenas não diferiu do subgrupo Placebo-Piores ( $p = 0,24$ ) (GRÁFICO 4).

**Gráfico 4** – Média e desvio padrão dos deltas da precisão do erro radial dos subgrupos Placebo-Melhores, Placebo-Piores, ETCC-Melhores e ETCC-Piores

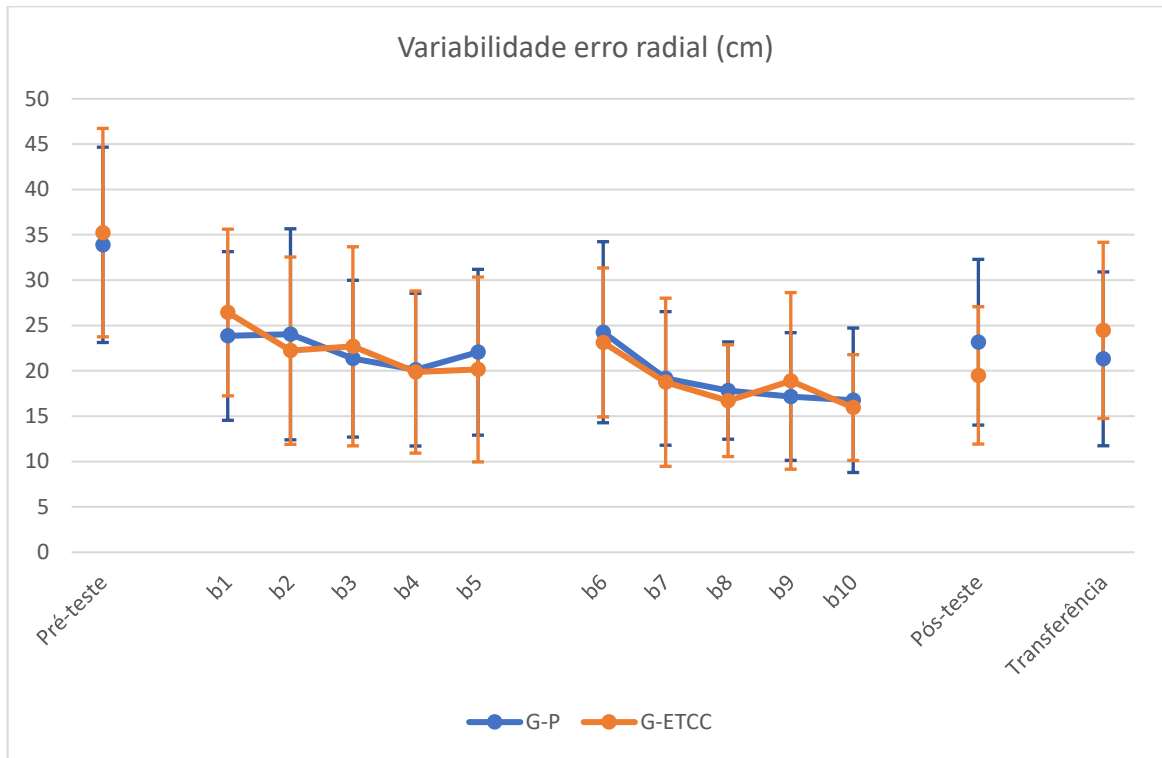


Não foram encontradas diferenças significativas pela ANOVA *One-Way* entre os subgrupos em relação ao teste de transferência [ $F(3, 42) = 0,24$ ;  $p = 0,87$ ;  $\eta^2p = 0,02$ ], aprendizagem *online 2* [ $F(3, 42) = 0,16$ ;  $p = 0,92$ ;  $\eta^2p = 0,01$ ], aprendizagem *offline 1* [ $F(3, 44) = 0,38$ ;  $p = 0,77$ ;  $\eta^2p = 0,02$ ], aprendizagem *offline 2* [ $F(3, 44) = 2,21$ ;  $p = 0,10$ ;  $\eta^2p = 0,13$ ], ou delta testes [ $F(3, 44) = 2,53$ ;  $p = 0,07$ ;  $\eta^2p = 0,15$ ].

### 6.2.3 Variabilidade do erro radial: comparação entre grupos

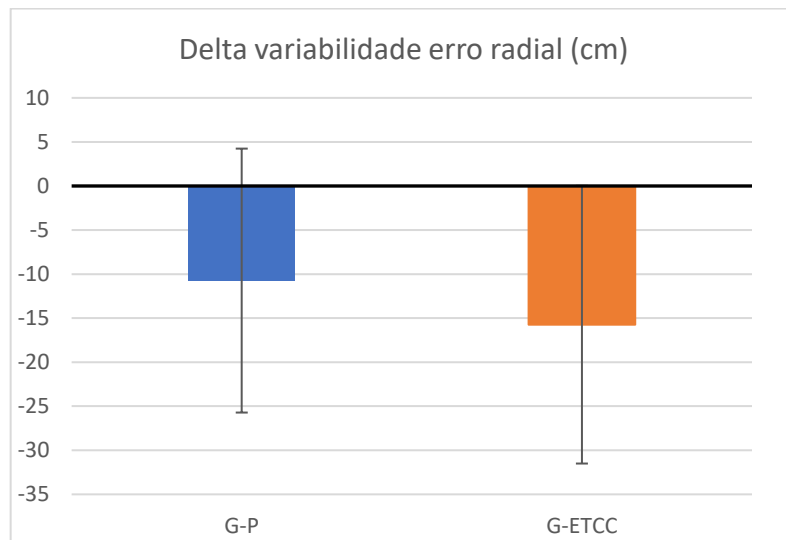
A ANOVA mista (2 testes x 2 grupos) indicou não haver efeito principal de grupo [ $F(1, 46) = 0,14$ ;  $p = 0,71$ ;  $\eta^2p < 0,01$ ], indicou a presença de efeito principal de teste [ $F(1,46) = 35,57$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,44$ ], tendo o pré-teste maiores variabilidades em comparação ao pós-teste, e de interação teste x grupo [ $F(1, 46) = 3,90$ ;  $p = 0,05$ ;  $\eta^2p = 0,08$ ]. O *post-hoc* Scott-Knott indicou não haver diferenças entre os grupos no pré-teste ou no pós-teste, e que para ambos os grupos houve diminuição da variabilidade do pré-teste para o pós-teste (GRÁFICO 5).

**Gráfico 5** - Média e desvio padrão da variabilidade do erro radial dos grupos G-P e G-ETCC nos três testes e na fase de aquisição



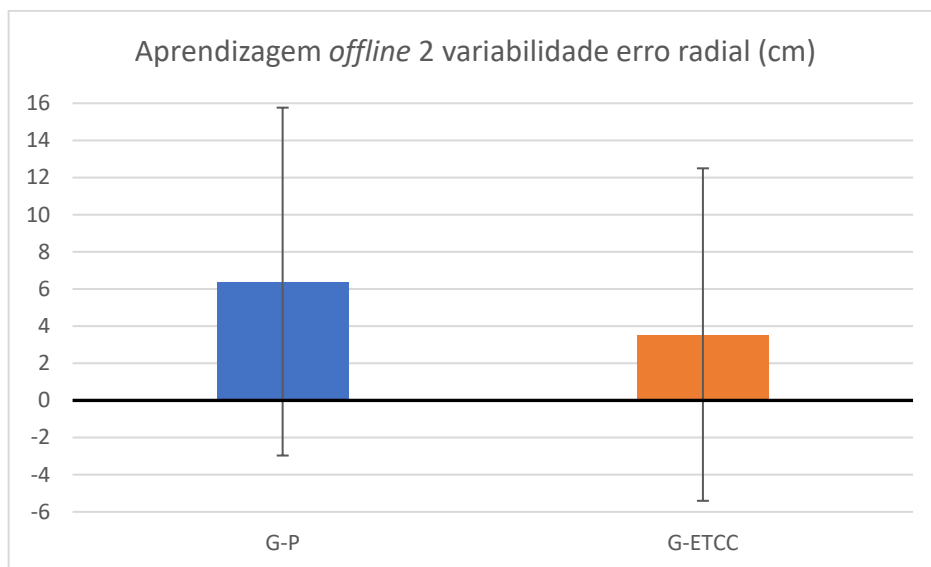
O teste *t* indicou diferença significativa entre os deltas dos grupos G-ETCC e G-P ( $p = 0,05$ ;  $d = 0,57$ ), tendo o G-ETCC a maior mudança na variabilidade do erro radial do pré-teste para o pós-teste (GRÁFICO 6).

**Gráfico 6** – Delta da variabilidade do erro radial dos grupos G-P e G-ETCC nos três testes e na fase de aquisição

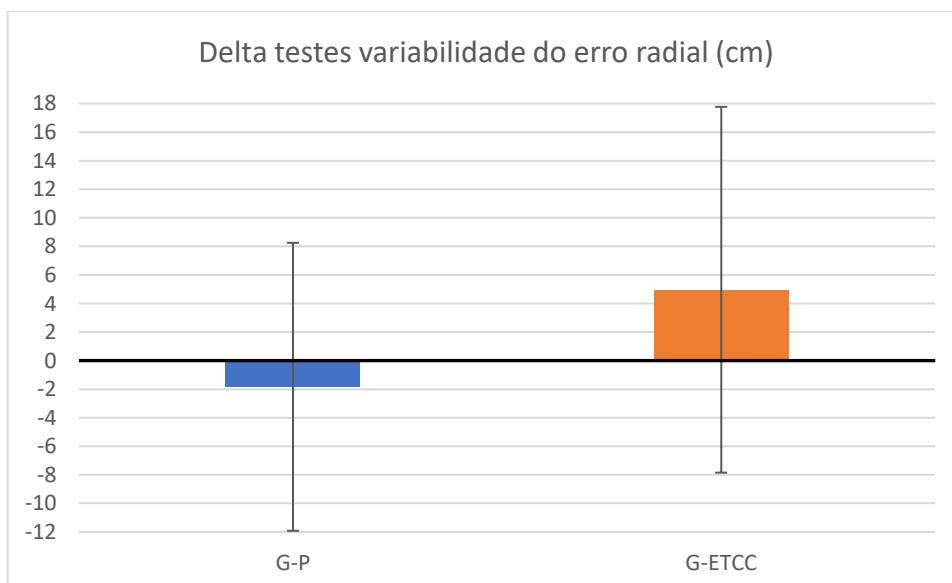


Além disso, testes t indicaram diferenças significativas na variabilidade do erro radial para as variáveis aprendizagem *offline* 2 ( $p = 0,04$ ;  $d = 0,62$ ), tendo o G-ETCC melhor aprendizagem (GRÁFICO 7), e delta testes ( $p = 0,03$ ;  $d = 0,67$ ), tendo o G-ETCC mantido menos sua variabilidade do pós-teste para o teste de transferência (GRÁFICO 8).

**Gráfico 7** – Aprendizagem *offline* 2 na variabilidade do erro radial para os grupos G-P e G-ETCC



**Gráfico 8** – Delta testes da variabilidade do erro radial para os grupos G-P e G-ETCC



Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos em relação ao teste de transferência ( $p = 0,35$ ;  $d = 0,27$ ), aprendizagem *online* 1 ( $p = 0,43$ ;  $d = 0,22$ ), aprendizagem *online* 2 ( $p = 0,96$ ;  $d = 0,01$ ), ou aprendizagem *offline* 1 ( $p = 0,71$ ;  $d = 0,11$ ).

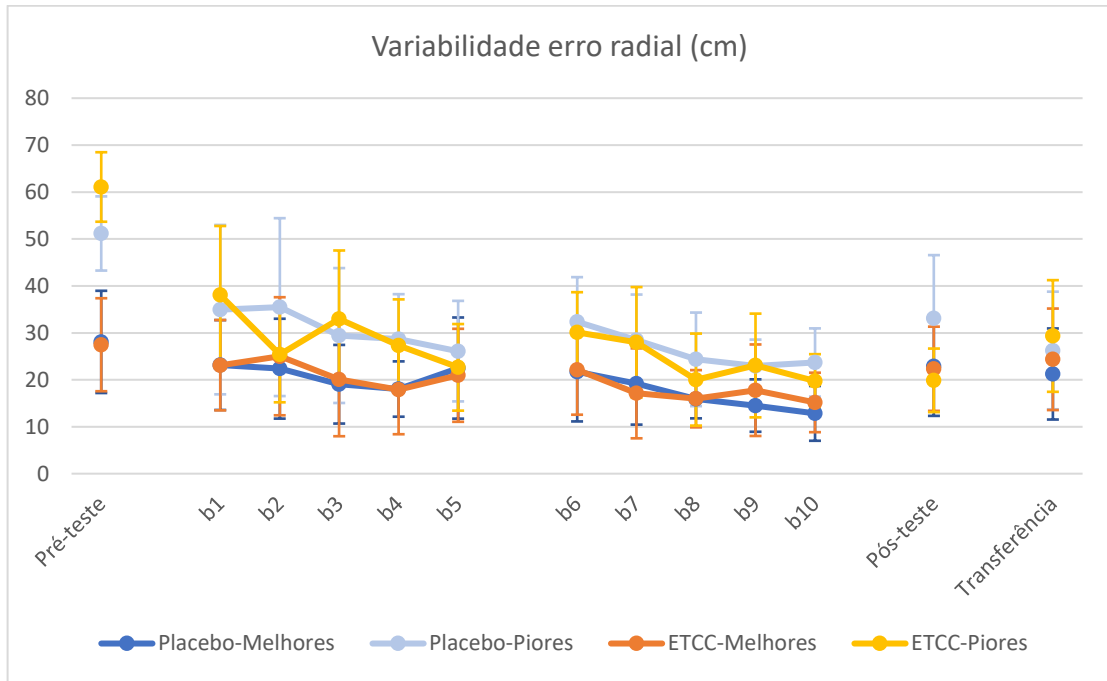
A ANOVA *Two-Way* Mista da fase de aquisição (10 blocos x 2 grupos) indicou não haver efeito principal de grupo [ $F(1, 46) = 0,11$ ;  $p = 0,75$ ;  $\eta^2p < 0,01$ ], haver efeito principal de blocos [ $F(9, 414) = 8,41$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,15$ ], e não haver interação blocos x grupos [ $F(9, 414) = 0,55$ ;  $p = 0,78$ ;  $\eta^2p = 0,01$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott indicou que os blocos 1, 2, 3, e 6, iguais entre si, apresentaram maiores variabilidades que os blocos 4, 5 e 7 ( $p < 0,05$ ) que, por sua vez, apresentaram maiores variabilidades que os blocos 8, 9, e 10 ( $p < 0,05$ ) (GRÁFICO 6).

#### 6.2.4 Variabilidade do erro radial: comparação entre subgrupos

A ANOVA *Two-Way* Mista (4 subgrupos x 2 testes) indicou a presença de efeito principal de teste [ $F(1,44) = 64,06$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,59$ ], efeito principal de subgrupos [ $F(3,44) = 27,80$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,66$ ] e interação teste x subgrupo [ $F(3,44) = 15,29$ ;  $p = 0,01$ ,  $\eta^2p = 0,51$ ]. O *post-hoc* Scott-Knot indicou que no pré-teste as variabilidades do erro radial dos subgrupos Placebo-Melhores e ETCC-Melhores não diferiam entre si, enquanto a variabilidade do subgrupo Placebo-Piores era maior que o de ambos, porém menor que o do subgrupo ETCC-Piores. No pós-teste, o subgrupo Placebo-Piores possuía variabilidade maior que a dos três demais subgrupos, que não diferiam entre eles. Além disso, indicou-se que para os subgrupos Placebo-Melhores e ETCC-Melhores não houve alteração da variabilidade do pré-teste para o pós-teste, enquanto ambos os subgrupos Placebo-Piores e ETCC-Piores diminuíram suas variabilidades (GRÁFICO 9).



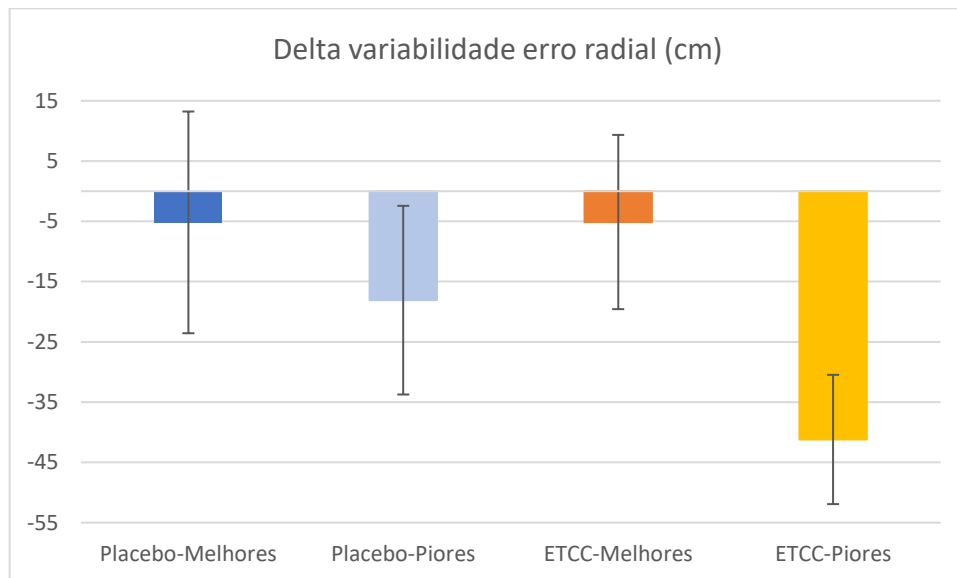
**Gráfico 9** – Variabilidade do erro radial dos subgrupos Placebo-Piores, Placebo-Melhores, ETCC-Piores e ETCC-Melhores nos três testes e na fase de aquisição



A ANOVA *Two-Way* Mista da fase de aquisição (10 blocos x 4 subgrupos) indicou haver efeito principal de subgrupo [ $F(3, 44) = 9,40$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,39$ ], haver efeito principal de blocos [ $F(9, 396) = 8,43$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,16$ ] e não haver interação blocos x grupos [ $F(27, 396) = 0,89$ ;  $p = 0,62$ ;  $\eta^2p = 0,06$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott indicou que os blocos 1, 2, 3, e 6, iguais entre si, apresentaram maiores variabilidades no erro radial que os blocos 4, 5 e 7 ( $p < 0,05$ ) que, por sua vez, apresentaram maiores variabilidades que os blocos 8, 9, e 10 ( $p < 0,05$ ) (GRÁFICO 9).

A ANOVA *One-Way* indicou diferença significativa entre os deltas [ $F(3, 44) = 15,29$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,51$ ], tendo o subgrupo ETCC-Piores maior delta que o subgrupo Placebo-Piores ( $p < 0,01$ ), e esse tendo maior delta que os demais subgrupos ( $p < 0,05$ ), enquanto esses não apresentaram diferenças entre eles (GRÁFICO 10).

**Gráfico 10** – Delta da variabilidade do erro radial dos subgrupos Placebo-Piores, Placebo-Melhores, ETCC-Piores e ETCC-Melhores



As ANOVAs *One-Way* não indicaram diferenças significativas para a variabilidade do erro radial entre os subgrupos na aprendizagem *online* 1 [ $F(3, 44) = 1,894$ ;  $p = 0,144$ ;  $\eta^2p = 0,11$ ], no teste de transferência [ $F(3, 44) = 1,09$ ;  $p = 0,37$ ;  $\eta^2p = 0,07$ ], aprendizagem *online* 2 [ $F(3, 42) = 0,20$ ;  $p = 0,89$ ;  $\eta^2p = 0,01$ ], aprendizagem *offline* 1 [ $F(3, 44) = 0,95$ ;  $p = 0,43$ ;  $\eta^2p = 0,06$ ]. Para a aprendizagem *offline* 2 foi encontrada uma tendência [ $F(3, 44) = 2,69$ ;  $p = 0,06$ ;  $\eta^2p = 0,15$ ], de que o subgrupo ETCC-Piores tivesse uma melhor aprendizagem que os demais subgrupos, iguais entre eles. Também para o delta testes houve uma tendência [ $F(3, 44) = 2,53$ ;  $p = 0,07$ ;  $\eta^2p = 0,15$ ]. Descritivamente, o subgrupo ETCC-Piores foi aquele que menos conseguiu manter sua variabilidade do pós-teste para o teste de transferência.

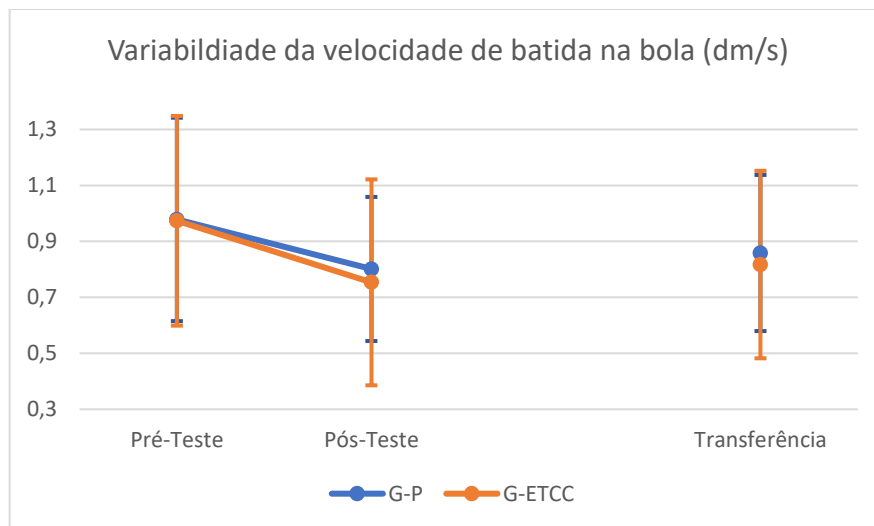
### 6.3 Medidas de acelerometria

Devido a falhas técnicas no acelerômetro, 5 sujeitos (2 do G-ETCC) foram excluídos das análises das variáveis de acelerometria, de forma que ao subdividir os grupos em todas as variáveis o subgrupo Placebo-Melhores contou com 10 sujeitos, enquanto os demais subgrupos contaram com 11 sujeitos cada.

### 6.3.1 Comparação entre grupos

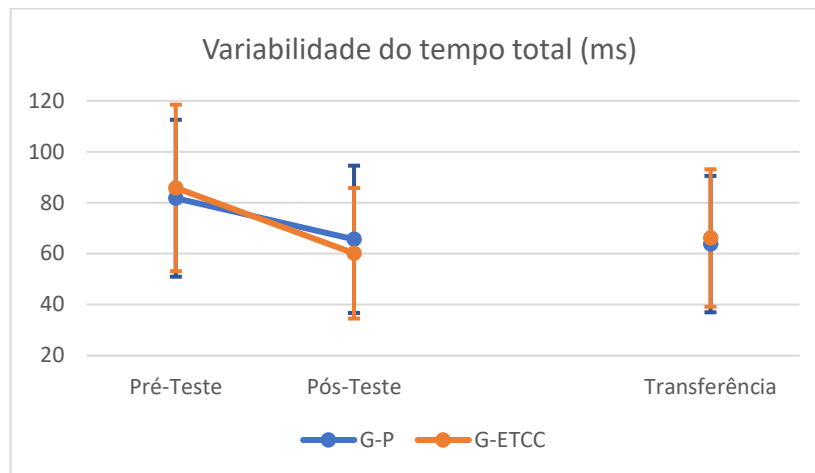
Para a velocidade de batida na bola, a ANOVA *Two-Way* mista (2 grupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [ $F(1, 41) = 7,65$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,16$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, mas não haver efeito principal de grupo [ $F(1, 41) = 0,12$ ;  $p = 0,73$ ;  $\eta^2p < 0,01$ ] ou interação teste x grupo [ $F(1, 41) = 0,08$ ;  $p = 0,78$ ;  $\eta^2p = 0,01$ ] (GRÁFICO 11).

**Gráfico 11** – Média e desvio padrão da variabilidade da velocidade de batida na bola dos grupos G-P e G-ETCC nos três testes



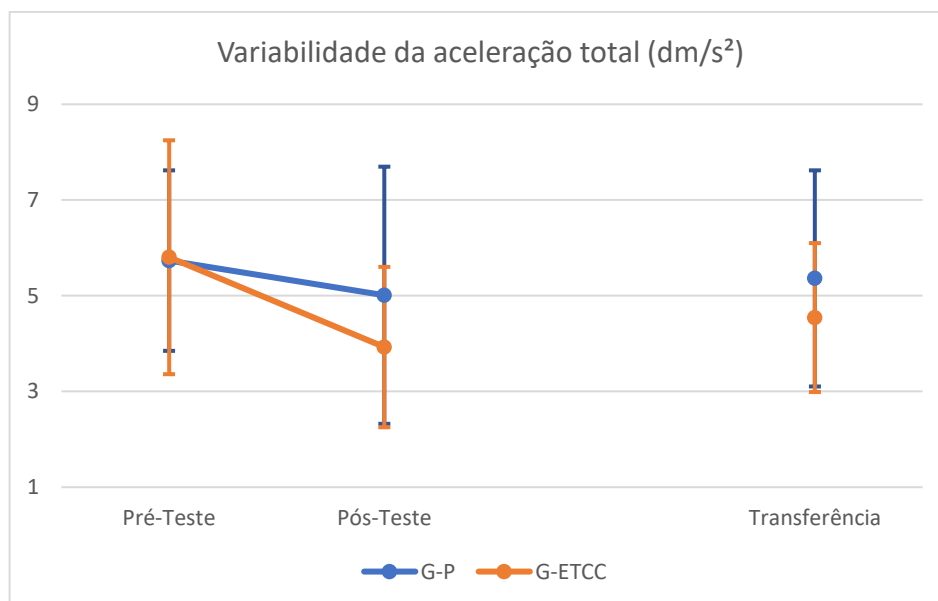
Para o tempo total a ANOVA mista (2 grupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [ $F(1, 41) = 12,41$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,23$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, mas não haver efeito principal de grupo [ $F(1, 41) = 0,01$ ;  $p = 0,92$ ;  $\eta^2p = 0,01$ ] ou interação teste x grupo [ $F(1, 41) = 0,64$ ;  $p = 0,43$ ;  $\eta^2p = 0,02$ ] (GRÁFICO 12).

**Gráfico 12** – Média e desvio padrão da variabilidade do tempo total dos grupos G-P e G-ETCC nos três testes



Para a aceleração total a ANOVA mista (2 grupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [ $F(1, 41) = 9,47$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,19$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, mas não haver efeito principal de grupo [ $F(1, 41) = 0,93$ ;  $p = 0,34$ ;  $\eta^2p = 0,02$ ] ou interação teste x grupo [ $F(1, 41) = 1,86$ ;  $p = 0,18$ ;  $\eta^2p = 0,04$ ] (GRÁFICO 13).

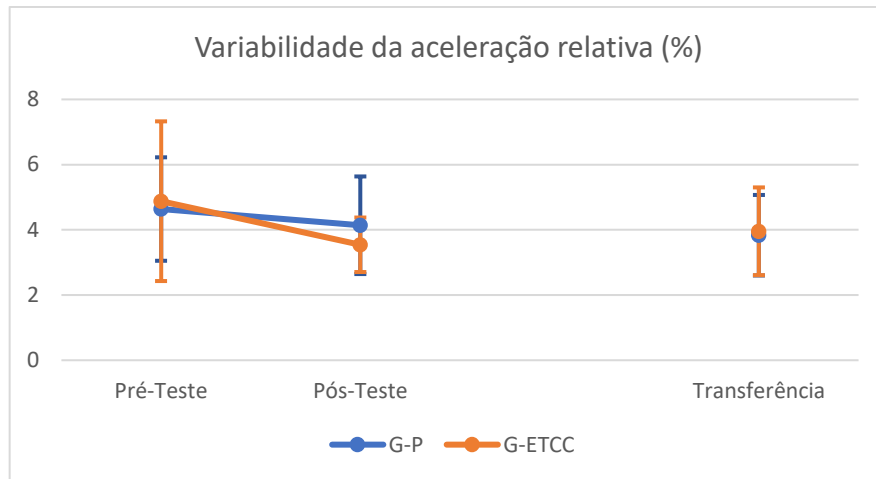
**Gráfico 13** – Média e desvio padrão da variabilidade da aceleração total dos grupos G-P e G-ETCC nos três testes



Para a aceleração relativa, a ANOVA mista (2 grupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [ $F(1, 41) = 7,19$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,15$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, mas não haver efeito principal de grupo

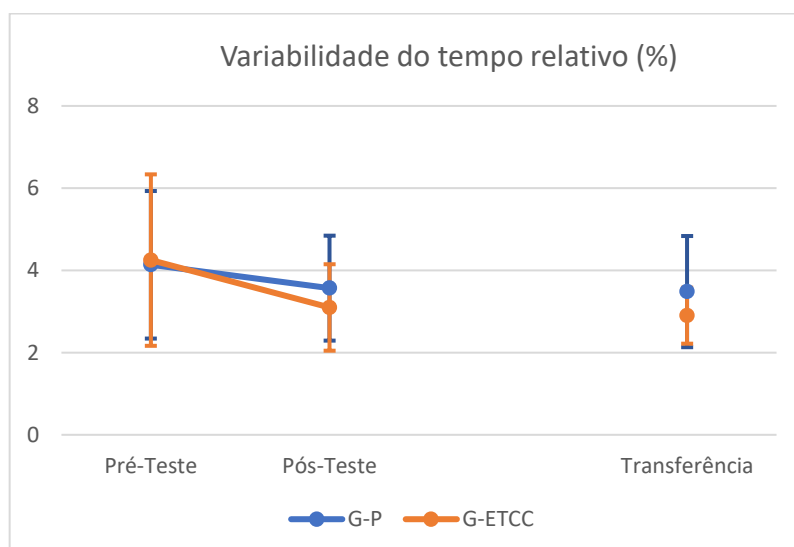
[ $F(1, 41) = 0,21$ ;  $p = 0,65$ ;  $\eta^2p < 0,01$ ] ou interação teste x grupo [ $F(1, 41) = 1,51$ ;  $p = 0,23$ ;  $\eta^2p = 0,04$ ] (GRÁFICO 14).

**Gráfico 14** – Média e desvio padrão da variabilidade da aceleração relativa dos grupos G-P e G-ETCC nos três testes



Para o tempo relativo, a ANOVA mista (2 grupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [ $F(1, 41) = 8,29$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,17$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, mas não haver efeito principal de grupo [ $F(1, 41) = 0,21$ ;  $p = 0,65$ ;  $\eta^2p = 0,01$ ] ou interação teste x grupo [ $F(1, 41) = 0,96$ ;  $p = 0,33$ ;  $\eta^2p = 0,02$ ] (GRÁFICO 15).

**Gráfico 15** – Média e desvio padrão da variabilidade do tempo relativo dos grupos G-P e G-ETCC nos três testes



Os testes *t* não indicaram diferença significativa entre os grupos para o delta da variabilidade do tempo total ( $p = 0,48$ ;  $d = 0,28$ ), delta da variabilidade da velocidade de batida na bola ( $p = 0,36$ ;  $d = 1,17$ ), delta da variabilidade da aceleração total ( $p = 0,18$ ;  $d = 0,42$ ), delta da variabilidade do tempo relativo ( $p = 0,57$ ;  $d = 0,74$ ) ou no delta da variabilidade da aceleração relativa ( $p = 0,64$ ;  $d = 0,15$ ).

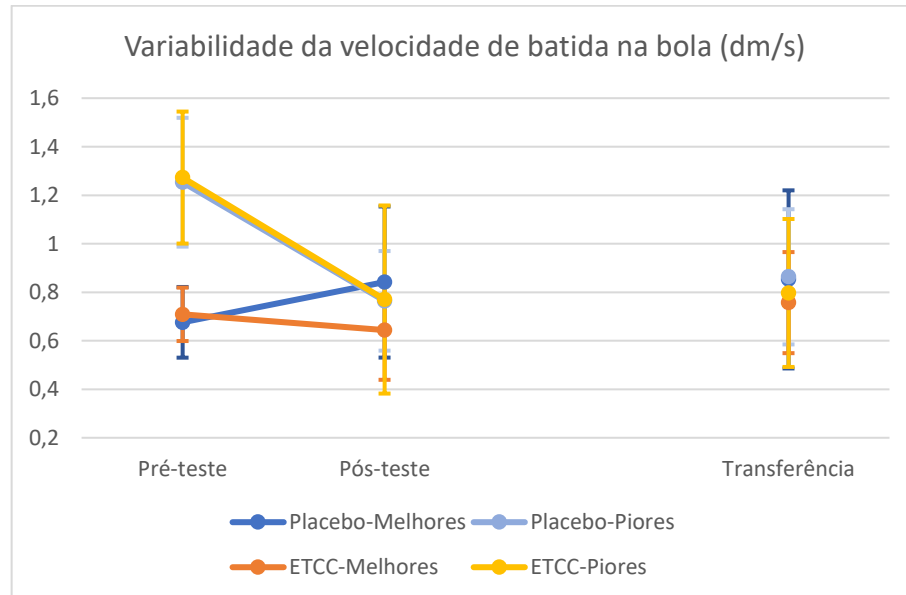
Testes *t* não indicaram diferença significativa no teste de transferência entre os grupos para a variabilidade do tempo total ( $p = 0,78$ ;  $d = 0,09$ ), variabilidade da velocidade de batida na bola ( $p = 0,67$ ;  $d = 0,13$ ), variabilidade da aceleração total ( $p = 0,18$ ;  $d = 0,42$ ), variabilidade do tempo relativo ( $p = 0,09$ ;  $d = 0,55$ ), ou para a variabilidade da aceleração relativa ( $p = 0,77$ ;  $d = 0,09$ ).

Testes *t* não indicaram diferença significativa no delta teste entre os grupos para a variabilidade do tempo total ( $p = 0,47$ ;  $d = 0,22$ ), variabilidade da velocidade de batida na bola ( $p = 0,95$ ;  $d = 0,03$ ), variabilidade da aceleração total ( $p = 0,77$ ;  $d = 0,09$ ), variabilidade do tempo relativo ( $p = 0,90$ ;  $d = 0,04$ ), ou para a variabilidade da aceleração relativa ( $p = 0,26$ ;  $d = 0,35$ ).

### 6.3.2 Comparação entre subgrupos

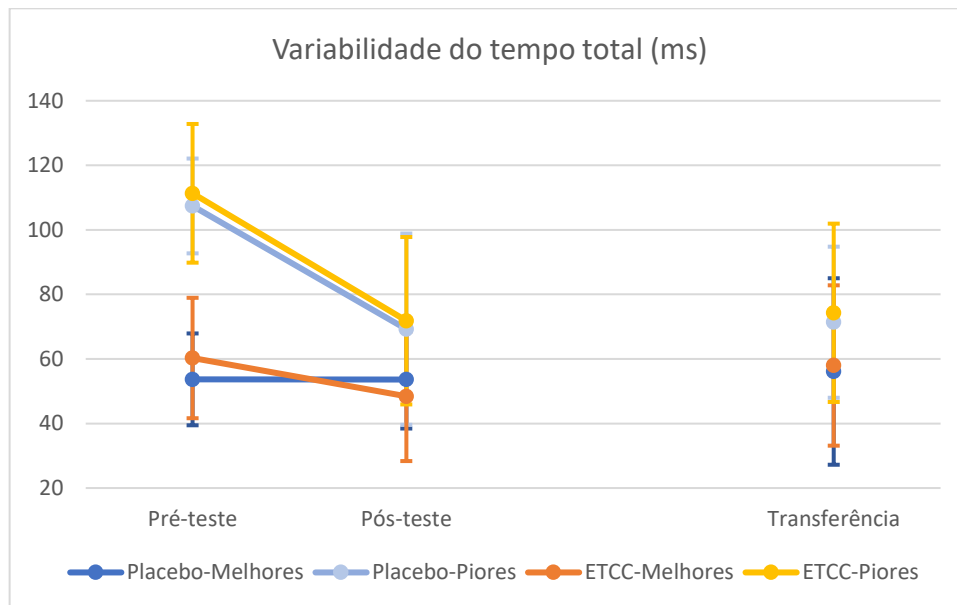
Para a velocidade de batida na bola a ANOVA *Two-Way* mista (4 subgrupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [Efeito teste:  $F(1, 39) = 13,02$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,39$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, efeito principal de subgrupo [ $F(3, 39) = 6,64$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,37$ ], e interação teste x subgrupo [ $F(3, 39) = 10,25$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,51$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott mostrou que no pré-teste o subgrupo ETCC-Piores possuía variabilidade similar ao subgrupo Placebo piores, sendo que ambos possuíam maior variabilidade que os subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores, iguais entre eles. No pós-teste os quatro subgrupos apresentaram variabilidade similar entre eles. Para os grupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores não houve mudança de variabilidade da velocidade de batida na bola do pré-teste para o pós-teste, enquanto os subgrupos Placebo-piores e ETCC-piores diminuíram suas variabilidades do pré-teste para o pós-teste (GRÁFICO 16).

**Gráfico 16** – Média e desvio padrão da variabilidade da velocidade de batida na bola dos subgrupos Placebo-Melhores, Placebo-Piores, ETCC-Piores e ETCC-Melhores nos três testes



Para o tempo total, a ANOVA mista (4 subgrupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [ $F(1, 37) = 26,78$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,41$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, efeito principal de subgrupo  $F(3, 37) = 26,06$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,68$ ], e interação teste x subgrupo [ $F(3, 37) = 4,92$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,29$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott mostrou que no pré-teste o subgrupo ETCC-Piores possuía variabilidade similar ao subgrupo Placebo-Piores, sendo que ambos possuíam maior variabilidade que os subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores, iguais entre eles. No pós-teste os subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores possuíam variabilidades similares, sendo ambas maiores que as variabilidades dos subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores, iguais entre eles. Os subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores mantiveram suas variabilidades do pré-teste para o pós-teste, enquanto os subgrupos ETCC-Piores e Placebo-Piores diminuíram suas variabilidades (GRÁFICO 17).

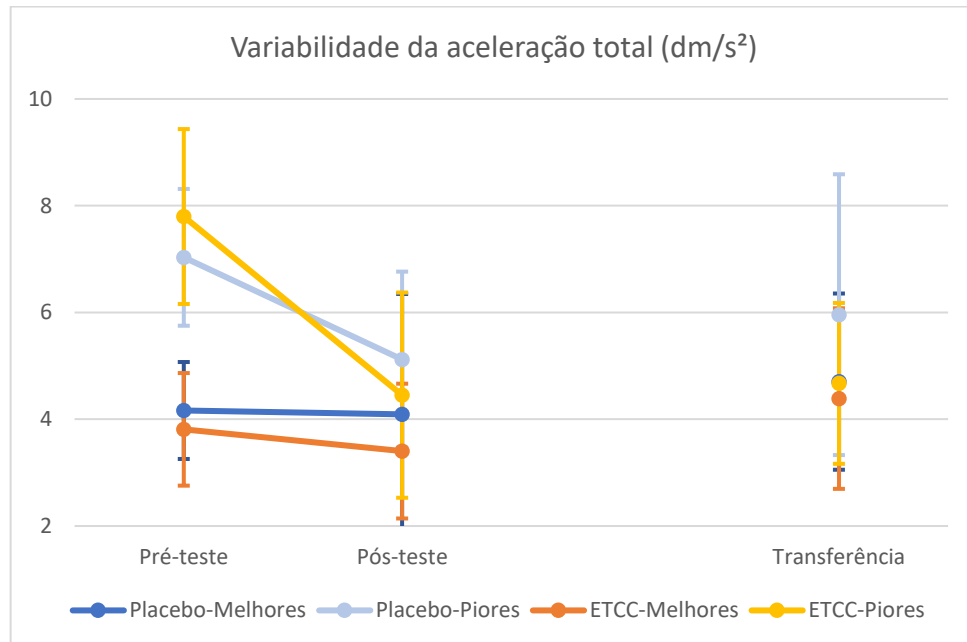
**Gráfico 17** – Média e desvio padrão da variabilidade do tempo total dos subgrupos Placebo-Melhores, Placebo-Piores, ETCC-Piores e ETCC-Melhores nos três testes



Para a aceleração total a ANOVA mista (4 subgrupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [ $F(1, 39) = 11,16$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,22$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, efeito principal de subgrupo [ $F(3, 39) = 15,39$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,54$ ] e interação teste x subgrupo [ $F(3, 39) = 3,50$ ;  $p = 0,02$ ;  $\eta^2p = 0,21$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott mostrou que no pré-teste o subgrupo ETCC-Piores possuía variabilidade similar ao subgrupo Placebo-Piores, sendo que ambos possuíam maior variabilidade que os subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores, iguais entre eles. No pós-teste, os subgrupos ETCC-Melhores, Placebo-Melhores e ETCC-Piores possuíam variabilidades similares entre eles, sendo todas menores que a variabilidade do subgrupo Placebo-Piores. Os subgrupos ETCC-Melhores, Placebo-Melhores e Placebo-Piores mantiveram suas variabilidades do pré-teste para o pós-teste, enquanto o subgrupo ETCC-Piores diminuiu sua variabilidade (GRÁFICO 18).

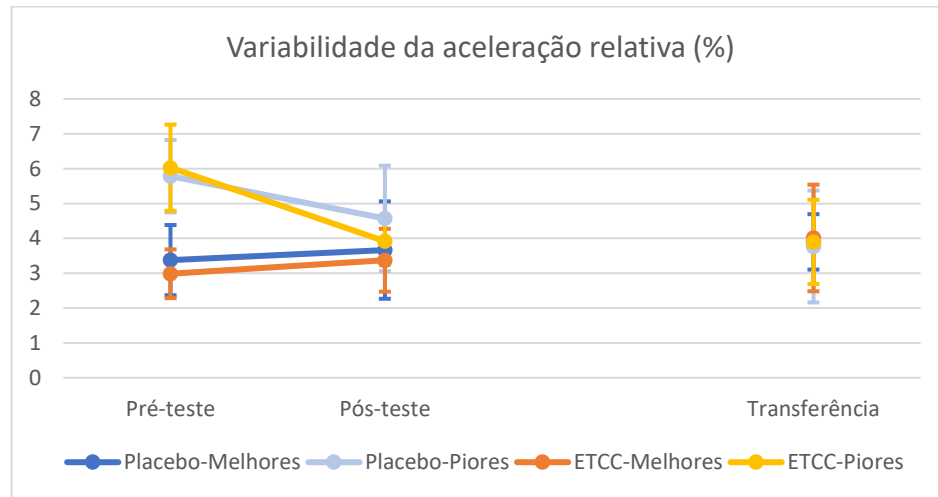


**Gráfico 18** – Média e desvio padrão da variabilidade da aceleração total dos subgrupos Placebo-Melhores, Placebo-Piores, ETCC-Piores e ETCC-Melhores nos três testes



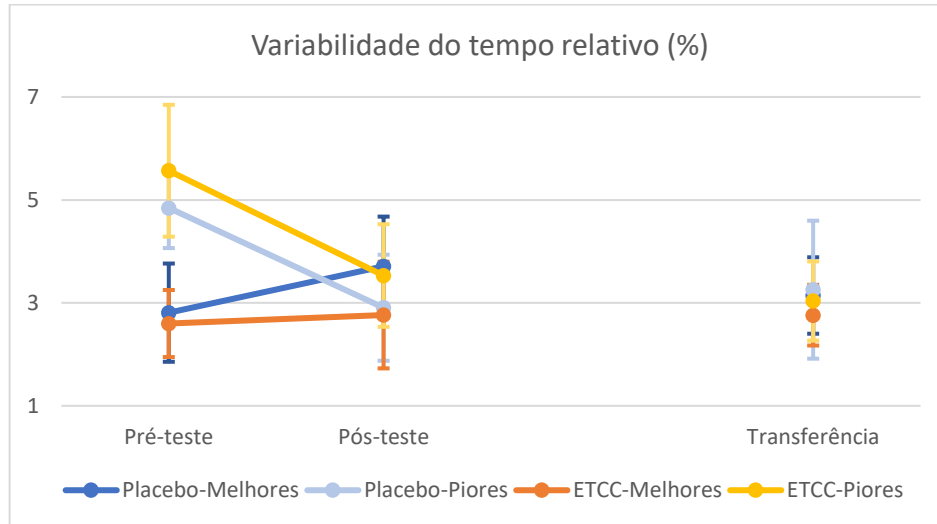
Para a aceleração relativa, a ANOVA mista (4 subgrupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [ $F(1, 37) = 7,10$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,18$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, efeito principal de subgrupo [ $F(3, 37) = 16,03$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,57$ ] e interação teste x subgrupo [ $F(3, 37) = 6,63$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,35$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott mostrou que no pré-teste o subgrupo ETCC-Piores possuía variabilidade similar ao subgrupo Placebo-Piores, sendo que ambos possuíam maior variabilidade que os subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores, iguais entre eles. No pós-teste os 4 subgrupos possuíam variabilidades similares entre eles. Os subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores mantiveram suas variabilidades do pré-teste para o pós-teste, enquanto os subgrupos ETCC-Piores e Placebo-Piores diminuíram suas variabilidades (GRÁFICO 19).

**Gráfico 19** – Média e desvio padrão da variabilidade da aceleração relativa dos subgrupos Placebo-Melhores, Placebo-Piores, ETCC-Piores e ETCC-Melhores nos três testes



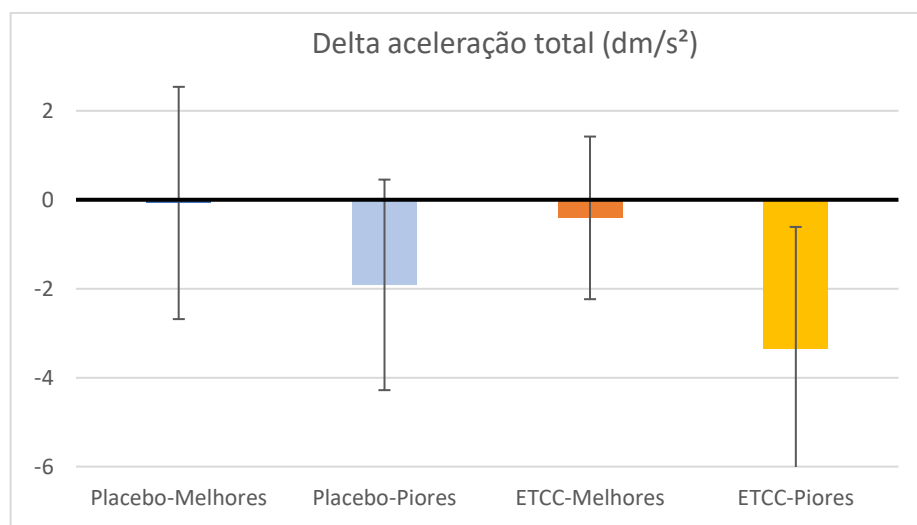
Para o tempo relativo a ANOVA mista (4 subgrupos x 2 testes) indicou haver efeito principal de teste [ $F(1, 39) = 16,09$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,32$ ], tendo o pré-teste maior variabilidade que o pós teste, efeito principal de subgrupo [ $F(3, 39) = 9,83$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,47$ ] ou interação teste x subgrupo [ $F(3, 39) = 13,76$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,59$ ]. O *post-hoc* de Scott-Knott mostrou que no pré-teste o subgrupo ETCC-Piores possuía variabilidade similar ao subgrupo Placebo-Piores, sendo que ambos possuíam maior variabilidade que os subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores, iguais entre eles. No pós-teste quatro subgrupos possuíam variabilidades similares entre eles. Os subgrupos ETCC-Melhores e Placebo-Melhores mantiveram suas variabilidades do pré-teste para o pós-teste, enquanto os subgrupos ETCC-Piores e Placebo-Piores diminuíram suas variabilidades (GRÁFICO 20).

**Gráfico 20** – Média e desvio padrão da variabilidade do tempo relativo dos subgrupos Placebo-Melhores, Placebo-Piores, ETCC-Piores e ETCC-Melhores nos três testes



A ANOVA *One-Way* indicou diferença significativa entre os subgrupos para o delta da variabilidade da aceleração total [ $F(3, 39) = 3,50$ ;  $p = 0,024$ ;  $\eta^2_p = 0,21$ ], e o *post-hoc* de Scott-Knott indicou que o subgrupo ETCC-Piores possuiu maior delta que os demais grupos, similares entre eles (GRÁFICO 21).

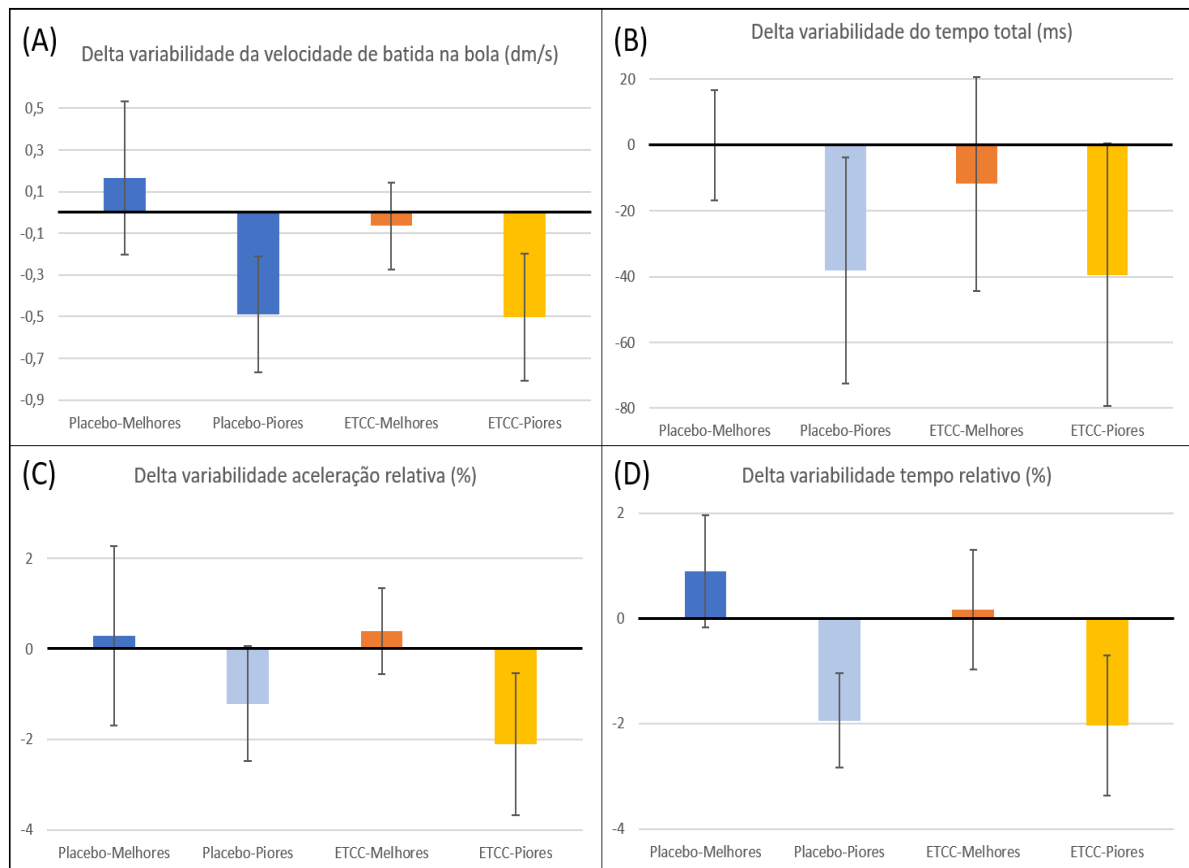
**Gráfico 21** – Média e desvio padrão do delta da variabilidade da aceleração total dos subgrupos Placebo-Melhores, Placebo-Piores, ETCC-Piores e ETCC-Melhores



As ANOVAs *One-Way* indicaram diferenças significativas entre os subgrupos também para o delta da variabilidade da velocidade de batida na bola [ $F(3, 39) = 13,52$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2_p = 0,51$ ], variabilidade do tempo total [ $F(3, 39) = 4,68$ ;

$p = 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,36$ ], variabilidade do tempo relativo [ $F(3, 39) = 13,76$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,51$ ] e na variabilidade da aceleração relativa [ $F(3, 39) = 5,44$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta^2p = 0,29$ ], tendo, em todas essas variáveis, os subgrupos ETCC-Piores e Placebo-Piores deltas iguais entre eles, porém maiores que os dos dois demais subgrupos, similares entre eles (GRÁFICO 22).

**Gráfico 22** – Média e desvio padrão do delta da (A) variabilidade da velocidade de batida na bola; (B) variabilidade do tempo total; (C) variabilidade da aceleração relativa; (D) variabilidade do tempo relativo dos subgrupos Placebo-Melhores, Placebo-Piores, ETCC-Piores e ETCC-Melhores



No teste de transferência, ANOVAs *One-Way* não indicaram diferenças significativas entre os subgrupos para a variabilidade da velocidade de batida na bola [ $F(3, 38) = 0,33$ ;  $p = 0,81$ ;  $\eta^2p = 0,02$ ], para a variabilidade da aceleração total [ $F(3, 37) = 1,37$ ,  $p = 0,27$ ,  $\eta^2p = 0,10$ ], para a variabilidade do tempo total [ $F(3, 38) = 1,30$ ,  $p = 0,29$ ,  $\eta^2p = 0,09$ ], para a variabilidade do tempo relativo [ $F(3, 35) = 0,54$ ,  $p = 0,66$ ,  $\eta^2p = 0,04$ ], ou para a variabilidade da aceleração relativa [ $F(3, 38) = 0,06$ ,  $p = 0,98$ ,  $\eta^2p < 0,01$ ].

No delta teste, ANOVAs *One-Way* não indicaram diferenças significativas entre os subgrupos para a variabilidade da velocidade de batida na bola [ $F(3, 37) = 0,30$ ;  $p = 0,82$ ;  $\eta^2p = 0,03$ ], para a variabilidade da aceleração total [ $F(3, 36) = 0,212$ ,  $p = 0,89$ ,  $\eta^2p = 0,02$ ], para a variabilidade do tempo total [ $F(3, 37) = 0,22$ ,  $p = 0,88$ ,  $\eta^2p = 0,02$ ], para a variabilidade do tempo relativo [ $F(3, 32) = 0,62$ ,  $p = 0,61$ ,  $\eta^2p = 0,05$ ], ou para a variabilidade da aceleração relativa [ $F(3, 36) = 0,95$ ,  $p = 0,43$ ,  $\eta^2p = 0,07$ ].

#### 6.4 Regressão linear múltipla

Após a correlação de Spearman indicar que apenas as variáveis delta da variabilidade da aceleração relativa ( $R\hat{o} = 0,40$ ;  $p = 0,01$ ) e o delta da variabilidade da velocidade de batida na bola ( $R\hat{o} = 0,49$ ;  $p < 0,01$ ) se correlacionavam com o delta do erro radial, foi utilizada regressão linear múltipla para verificar se as mesmas são capazes de prever o delta do erro radial. A análise resultou em um modelo estatisticamente significativo [ $F(2, 37) = 5,23$ ;  $p = 0,01$ ;  $R^2 = 0,22$ ]. O delta da variabilidade da aceleração relativa ( $\beta = 0,31$ ;  $t = 2,15$ ;  $p = 0,04$ ) e o delta da variabilidade da velocidade de batida ( $\beta = 0,32$ ;  $t = 2,20$ ;  $p = 0,03$ ) são previsores do delta do erro radial.

Após a correlação de Spearman indicar que apenas as variáveis variabilidade da aceleração total no teste de transferência ( $R\hat{o} = 0,34$ ;  $p = 0,04$ ) e a variabilidade do tempo total no teste de transferência ( $R\hat{o} = 0,39$ ;  $p = 0,01$ ) se correlacionavam com o erro radial no teste de transferência, foi utilizada regressão linear múltipla para verificar se as mesmas são capazes de prever o erro radial no teste de transferência. A variável variabilidade da aceleração total no teste de transferência foi excluída do modelo pelo método retroceder. A análise resultou em um modelo estatisticamente significativo [ $F(1, 36) = 6,20$ ;  $p = 0,02$ ;  $R^2 = 0,15$ ]. Apenas a variabilidade do tempo total no teste de transferência ( $\beta = 0,31$ ;  $t = 2,15$ ;  $p = 0,04$ ) foi previsora do erro radial no teste de transferência.

Após a correlação de Spearman indicar que apenas a variável variabilidade da velocidade de batida na bola no pré-teste ( $R\hat{o} = 0,48$ ;  $p < 0,01$ ) se correlacionava com o erro radial no pré-teste, foi utilizada regressão linear simples para verificar se a mesma é capaz de prever o erro radial do pré-teste. A análise resultou em um modelo estatisticamente significativo [ $F(1, 41) = 8,58$ ;  $p = 0,01$ ;  $R^2 =$

0,17]. A variabilidade da velocidade de batida na bola ( $\beta = 0,42$ ;  $t = 2,93$ ;  $p = 0,01$ ) foi previsora do erro radial no pré-teste.

Nenhuma correlação significativa foi encontrada entre as variáveis de acelerometria no pós-teste e o erro radial no pós-teste

Após a correlação de Spearman indicar que apenas os deltas das variáveis variabilidade da aceleração relativa ( $R\hat{o} = 0,39$ ;  $p = 0,01$ ) e variabilidade da velocidade de batida na bola ( $R\hat{o} = 0,43$ ;  $p < 0,01$ ) se correlacionavam com o delta da variabilidade do erro radial, foi utilizada regressão linear múltipla para verificar se as mesmas são capazes de prever o erro radial no teste de transferência. A análise resultou em um modelo estatisticamente significativo [ $F(2, 37) = 4,55$ ;  $p = 0,02$ ;  $R^2 = 0,20$ ]. O delta da variabilidade da aceleração relativa ( $\beta = 0,32$ ;  $t = 2,15$ ;  $p = 0,04$ ) e o delta da variabilidade da velocidade de batida ( $\beta = 0,28$ ;  $t = 1,89$ ;  $p = 0,07$ ) são previsores do delta da variabilidade do erro radial.

Após a correlação de Spearman indicar que apenas a variável variabilidade do tempo total no pré-teste ( $R\hat{o} = -0,33$ ;  $p = 0,03$ ) se correlacionava com a variabilidade do erro radial no pré-teste, foi utilizada regressão linear simples para verificar se a mesma é capaz de prever a variabilidade do erro radial do pré-teste. A análise resultou em um modelo estatisticamente significativo [ $F(1, 41) = 4,89$ ;  $p = 0,03$ ;  $R^2 = 0,11$ ]. A variabilidade do tempo total ( $\beta = -0,33$ ;  $t = -2,21$ ;  $p = 0,03$ ) foi previsora da variabilidade do erro radial no pré-teste.

Nenhuma correlação significativa foi encontrada entre as variáveis de acelerometria no pós-teste e a variabilidade do erro radial no pós-teste, ou entre as variáveis de acelerometria no teste de transferência e a variabilidade do erro radial no teste de transferência.

## 7 DISCUSSÃO

O objetivo do estudo foi investigar os efeitos da estimulação do M1 na aprendizagem de uma habilidade motora complexa. Os resultados indicaram que, em relação à medida global de aprendizagem, a estimulação associada à prática motora gerou efeitos aditivos para a aprendizagem se comparada à prática sem estimulação, levando a um maior aumento da precisão e da consistência da habilidade. Esses resultados se somam a outros estudos que, utilizando-se de medidas globais de desempenho, também demonstraram algum benefício da estimulação do M1 na aprendizagem (KAMINSKI *et al.*, 2016; KASKI *et al.*, 2012) ou no controle (ASSELDONK; BOONSTRA, 2015) de habilidades motoras complexas.

Os efeitos benéficos na precisão e na consistência foram também evidenciados ao se considerar a proeficiência inicial na tarefa. Em outras palavras, o efeito aditivo da ETCC parece ser dependente do nível de dificuldade da tarefa para o aprendiz (SUZUKI; SUZUKI; ONO, 2017), de forma que aqueles sujeitos com baixo desempenho inicial parecem se beneficiar melhor da estimulação associada à prática.

As diferenças dos efeitos da ETCC em relação ao nível inicial de desempenho foram ainda mais proeminentes ao se considerar a diminuição da variabilidade da capacidade de parametrização. Diferentemente da diminuição do erro radial e da variabilidade do mesmo, para a variável aceleração total os efeitos da estimulação apenas puderam ser identificados ao se considerar os diferentes níveis iniciais de desempenho. Dessa forma, o desempenho inicial dos sujeitos se mostra uma variável importante a ser considerada quando se associa a prática motora à ETCC. Estudos recentes anteriores com habilidades motoras complexas, apesar de utilizarem outras configurações de estimulação e estimularem áreas diferentes daquelas estimuladas pelo presente estudo, já indicavam que o nível inicial de desempenho do sujeito na tarefa ou experiências prévias similares àquela exigida pela habilidade praticada podem ser determinantes para se detectar os benefícios da ETCC na aprendizagem (MIZUGUCHI; KATAYAMA; KANOSUE, 2017; SUZUKI; SUZUKI; ONO, 2017).

Suzuki, Suzuki e Ono (2017) sugerem que os efeitos diferenciados da ETCC para sujeitos com diferentes níveis de experiências anteriores similares podem ser devidos às diferenças no fortalecimento prévio de circuitos corticais para

aquela dada habilidade. Assim, considerando que a memória envolve a interação entre a formação de novas representações e o desenvolvimento de generalizações de experiências anteriores similares (POO *et al.*, 2016), é possível que aqueles sujeitos com melhores desempenhos iniciais, apesar de novatos nessa tarefa específica, tenham tido experiências anteriores que, de alguma forma, possuíam demandas similares às aquelas exigidas no *putting*. Essas demandas possivelmente levaram a uma melhor consolidação prévia de parte dos circuitos corticais importantes a essa habilidade. Algum grau de transferência de aprendizagem ocorre sempre que habilidades anteriormente adquiridas afetam o modo como a nova habilidade é aprendida, podendo essa aprendizagem ser facilitada se a nova habilidade puder utilizar-se de elementos similares aos das habilidades anteriores (OBAYASHI, 2004; MARTIN; MORRIS, 2001). Dessa forma, apesar de os mecanismos a partir dos quais essa transferência não-específica ocorre não serem ainda bem elucidados a nível neuronal ou de circuitos, é possível supor que os efeitos da estimulação do M1 para a aprendizagem de habilidades complexas sejam mais proeminentes ou mais importantes para as fases iniciais de formação e consolidação de engramas ainda pouco fortalecidos. O papel do M1 na aprendizagem motora tem sido largamente relacionado à fase inicial de consolidação, enquanto que ainda não é claro seu papel na fase final da mesma (PAZ; VAADIA, 2009). A consolidação de memória é o processo de fortalecimento e estabilização da memória recém formada durante a fase de aquisição ou codificação, culminando em armazenamento da mesma (HAUBRICH; NADER, 2016). Dessa forma, a estimulação do M1 deve favorecer o processo de consolidação inicial e, portanto, afetar mais aqueles sujeitos que se encontram nessa etapa da aprendizagem do que sujeitos em etapas mais avançadas, como aqueles que já possuíam experiências prévias similares. Essa potencialização das funções do M1 pode justificar os diferentes efeitos da consolidação de acordo com as diferenças no nível de dificuldade da tarefa para cada sujeito. Nesse sentido, os resultados do presente estudo podem sugerir que a estimulação bi-hemisférica no M1 parece levar a maiores benefícios, portanto, na fase inicial de consolidação da aprendizagem.

Uma hipótese complementar para explicar o benefício da ETCC apenas para sujeitos com pior desempenho inicial também pode ser levantada, e se refere à extensão de melhoria possível para cada subgrupo. Os indivíduos com pior



desempenho inicial possuíam uma grande margem de melhoria, enquanto aqueles que iniciaram a prática com um bom desempenho já se encontravam mais próximos de uma assíntota do desempenho, diferença que torna mais difícil observar os possíveis efeitos aditivos da ETCC (TSENG *et al.*, 2012). A premissa de que em estágios mais avançados de aprendizagem e, portanto, quanto mais próximo da assíntota na curva de desempenho, menor tornam-se as mudanças observadas entre ou dentro das sessões de prática, é bem aceita nos estudos de Aprendizagem Motora (SNODDY, 1926; STRATTON *et al.*, 2013). O fato de os resultados do presente estudo para todas as variáveis indicarem que, em ambos os subgrupos de melhor desempenho inicial, diferentemente dos demais, não foram encontradas diferenças significativas entre pré-teste e pós-teste suportam essa premissa. Dessa maneira, é possível que para esses sujeitos, em habilidades complexas, os parâmetros de estimulação utilizados ou a quantidade de prática não tenham sido o suficiente para se induzir ou para se observar efeitos aditivos na aprendizagem pela estimulação.

A facilitação da aprendizagem promovida pela estimulação no presente estudo, no entanto, foi percebida a partir da diminuição da magnitude e da variabilidade do erro da medida global de desempenho do pré-teste para o pós-teste, e não a partir de um melhor desempenho no teste de transferência. Por conseguinte, as hipóteses de estudo H1 e H2, que sugeriam que para a medida global de desempenho os efeitos da ETCC no M1 seriam detectados no teste de transferência, mas não na mudança entre pré-teste e pós-testes, não foram confirmadas. Ao contrário do previsto, a estimulação do M1 na aprendizagem de uma habilidade complexa levou a uma melhoria da precisão e da variabilidade apenas quando a habilidade era realizada de forma a exigir a mesma forma de parametrização do período de prática, mas não quando a mudança na tarefa exigiu a seleção de novos parâmetros. Outro resultado que suporta essa conclusão é o da diferença entre os delta testes para a variabilidade do erro radial, que indica que a estimulação levou a uma menor manutenção do desempenho no pós-teste para o teste de transferência. Duas são as maneiras de se entender esses achados: 1) a estimulação levou a uma melhoria do programa motor generalizado, já que esse está mais associado à consistência da habilidade (KANTAK; WINSTEIN, 2012), não tendo efeitos na aprendizagem da parametrização; ou 2) a parametrização foi

melhor aprendida com a estimulação do M1, no entanto de forma específica ao parâmetro praticado.

Considerando que mesmo em habilidades motoras com maior predominância de parametrização, como no caso do *putting* que possui alta exigência de controle de força, medidas globais de desempenho sofrem influências de mudanças tanto no programa motor generalizado quanto nos parâmetros (WULF; LEE, 1993). Assim, a análise somente dessa medida não é suficiente para se distinguir as duas possibilidades de entendimento dos resultados anteriores. Para tanto, é necessário dissociar as medidas que representam os distintos componentes da habilidade.

A fim de identificar possíveis melhorias causadas pela estimulação do M1 no programa motor generalizado do *putting* duas variáveis foram utilizadas, sendo elas a variabilidade do tempo relativo e a variabilidade da aceleração relativa. Para nenhuma dessas variáveis foi encontrado algum efeito da ETCC associada à prática. Dessa forma, o efeito da estimulação do M1 parece não ter levado a uma melhor aprendizagem do programa motor generalizado. Também no teste de transferência, nenhum efeito significativo da ETCC no desempenho dessas variáveis foi encontrado. Por conseguinte, foram confirmadas as hipóteses H3 e H4, que prediziam que a prática do *putting* associada à estimulação do M1 levaria tanto a uma consistência similar do programa motor generalizado no teste de transferência quanto a um mesmo nível de mudança da consistência do mesmo do pré-teste para o pós-teste em comparação à prática sem estimulação.

Por outro lado, com intuito de identificar possíveis melhorias causadas pela estimulação do M1 na parametrização do *putting*, foram selecionadas e analisadas as variáveis variabilidade do tempo total, variabilidade da aceleração total e variabilidade da velocidade de batida na bola. Efeitos da ETCC foram encontrados para a variabilidade da aceleração total, sendo que a estimulação do M1 afetou a aprendizagem da aceleração total de forma distinta à prática sem estimulação especificamente se considerados os níveis de proeficiência iniciais. Ao contrário dos demais aprendizes, os indivíduos que iniciaram com baixo desempenho e sofreram estimulação do M1 foram os únicos a demonstrarem uma diminuição significativa do pré-teste para o pós-teste da variabilidade da aceleração total, sendo eles aqueles com maior magnitude de mudança. Assim, a estimulação levou a efeitos aditivos para a aprendizagem dessa variável, permitindo que esses aprendizes atingissem

níveis similares ao dos indivíduos que iniciaram com um bom desempenho na variabilidade da aceleração total. Em relação ao teste de transferência, nenhum efeito da ETCC no desempenho das três variáveis representativas da parametrização foi encontrado. Dessa maneira, foram rejeitadas as hipóteses H5 e H6, que previam que a estimulação do M1 associada à prática do *putting* não levaria a um melhor nível de mudança do pré-teste para o pré-teste na consistência da parametrização, mas levaria a uma melhor consistência da parametrização no teste de transferência.

Portanto, em conjunto, os resultados sugerem que a estimulação do M1 associada à prática em uma habilidade complexa parece afetar a parametrização do movimento mas não o programa motor generalizado. No entanto, a melhor aprendizagem se dá especificamente para aquele parâmetro que foi praticado durante a fase de aquisição, e não quando a mudança na tarefa, como o aumento da distância da tacada, exige readequação dos parâmetros (GOODWIN; MEEUWSEN, 1996).

Em certa extensão, os resultados de alguma forma vão ao encontro dos resultados dos estudos em Neurociências. Apesar de não analisarem separadamente o papel do M1 na aprendizagem e no controle das distintas dimensões da habilidade os estudos parecem mostrar, a partir das variáveis utilizadas, sua importância na parametrização do movimento. Roland *et al.* (1980) mostram uma maior ativação do M1 quando a tarefa exige o controle de força e de tempo total. O estudo de Ashe e Georgopoulos (1994) relaciona a atividade nessa área com a aceleração, a velocidade e a direção do braço. Classen *et al.* (1998), por sua vez, mostraram que durante a aprendizagem o M1 codifica e armazena aspectos cinemáticos do movimento como pico de aceleração, direção e tempo total. Muellbacher *et al.* (2001) mostraram que o M1 leva a uma otimização do pico de força e pico de aceleração ao longo da prática motora. Carmena *et al.* (2003), a partir de uma interface cérebro-máquina, demonstram que o M1 codifica e controla parâmetros do movimento como velocidade, força e membro efetor, enquanto Shoham *et al.* (2005) sugerem que a taxa de disparo de grande parte dos neurônios do M1 se relacionam a aspectos variáveis do movimento como direção, velocidade e aceleração. Churchland, Santhanam e Shenoy (2006) mostram que não só grande parte dos neurônios nessa área se relacionam à distância, direção e velocidade do movimento, mas esses possuem taxas de disparo diferenciados de acordo com a

modulação desses parâmetros. Além disso, a relação encontrada entre a estimulação e a aprendizagem de parâmetros concorda com os resultados de outros estudos que, apesar de utilizarem-se de medidas globais de desempenho, analisam os efeitos da ETCC no M1 em variáveis que podem ser consideradas como parâmetros. Galea e Celnik (2009) mostram uma maior codificação e retenção da aceleração e ângulo do movimento promovida pela ETCC associada à prática, enquanto Kaminski *et al.* (2016) indentificam que a estimulação nessa área modula o controle da velocidade durante a aprendizagem da habilidade.

Surpreendentemente porém, os resultados do presente estudo corroboram parcialmente o estudo Apolinário-Souza *et al.* (2016), que utilizou a ETCC no M1 para investigar o papel dessa área na aprendizagem das distintas dimensões da habilidade. Em acordo ao presente estudo, porém utilizando-se de uma habilidade motora simples, indicou que a estimulação do M1 na aprendizagem leva a efeitos benéficos para a aprendizagem da parametrização mas não para a aprendizagem do programa motor generalizado. Dessa forma, é possível dizer que, independentemente da complexidade da habilidade, a estimulação do M1 leva a uma facilitação da aprendizagem da parametrização do movimento.

Contudo, ao contrário dos nossos achados, essa melhoria da aprendizagem promovida pela estimulação no estudo de Apolinário-Souza *et al.* (2016) foi observada não a partir da melhor retenção do parâmetro praticado, mas pela melhor seleção de um novo parâmetro quando exigida pela mudança na tarefa. As diferenças entre os dois estudos podem ter se dado pelas diferenças promovidas pela diferença nas complexidades das tarefas. A complexidade da tarefa pode influenciar a forma como a habilidade motora é consolidada e a quais e quantos substratos neurais participam de sua aprendizagem e controle. Para Adkins *et al.* (2005), por exemplo, o cortex motor primário é organizado por grupos de células neurais interconectadas que controlam movimentos simples e a ativação coordenada de alguns desses grupos de neurônios codifica os movimentos complexos. Kuriyama, Stickgold e Walker (2004) sugerem que para tarefas bimanuais, e quanto maior o número de membros utilizados, a extensão da rede cerebral que representa a memória dessa habilidade é maior, levando a maiores graus de plasticidade neural e a maior envolvimento das áreas participantes dessa rede para a codificação da representação da memória. Além disso, pode-se considerar que habilidades complexas possuem exigências mais altas para o

sistema, já que exigem não apenas a adequação dos parâmetros às necessidades da tarefa, mas também levam à necessidade de dominar a coordenação de múltiplos graus de liberdade. Assim, uma possibilidade para as diferenças nos resultados que deve ser investigada é que a prática da habilidade complexa leva inicialmente a uma forte consolidação daquele parâmetro específico que é repetido ao longo da prática devido à necessidade de criar e garantir o fortalecimento de um circuito com muitos elementos. Apenas posteriormente, com maior quantidade de prática, deve ser possível modular esses circuitos ou engramas de forma a permitir a flexibilidade de selecionar novos parâmetros. Moshá e Robertson (2016) mostram que memórias mais estáveis são menos suscetíveis a interferências, levando a uma maior dificuldade de transferência da aprendizagem. Essa proposição parece concordar, por exemplo, com o fato de que, diferentemente do grupo que contou apenas com a prática, os indivíduos estimulados não conseguem manter seu desempenho para a variabilidade do erro radial, piorando do pós-teste para o teste de transferência.

Em relação aos períodos do experimento em que foram encontrados efeitos benéficos da estimulação do M1, não foi surpreendente que esses sejam mais relacionadas a fases mais posteriores da aprendizagem. Não foram encontradas, por exemplo, diferenças significativas durante a fase de aquisição ou na aprendizagem *offline* 1 mas, ao contrário, diferenças relacionadas à estimulação foram encontradas tanto no pós-teste (para a precisão e variabilidade do erro radial e para a variabilidade da aceleração total) quanto na aprendizagem *offline* 2 (para a variabilidade do erro radial).

A participação do M1 na aprendizagem de habilidades motoras parece estar mais relacionada à fase inicial de consolidação da habilidade do que à melhoria do desempenho na fase de prática do novo movimento. Esse papel foi confirmado em diversos estudos que utilizaram estimulação ou inibição cortical dessa área (MUELLBACHER *et al.*, 2002; KOYAMA *et al.*, 2015; RICHARDSON *et al.*, 2006; HADIPOUR-NIKTARASH *et al.*, 2007), demonstrando que a fase de aquisição e a melhoria do desempenho relacionada ao erro da tentativa anterior não são comumente afetadas por essas intervenções, enquanto a retenção acessada após alguns minutos ou dias sem prática, ou mesmo durante um processo de desadaptação, sofre normalmente com a interferência desses métodos.

Assim, o M1 parece ter um papel importante na aprendizagem *offline* (ROBERTSON; PRESS; PASCUAL-LEONE; 2005), sendo essa a melhoria ou

estabilização da habilidade que ocorre após o fim da prática e reflete a consolidação da memória motora (DAYAN; COHEN, 2011), não possuindo um papel tão fundamental na aprendizagem *online* (REIS *et al.*, 2009), caracterizada, de acordo com Dayan e Cohen (2011), por mudanças na habilidade que ocorrem durante o período de prática. A estimulação parece, então, exacerbar tal papel do M1. A respeito de não se ter encontrado efeito da estimulação na aprendizagem *offline* 1, é possível que, devido à complexidade da habilidade, a quantidade de prática anterior ao período *offline* 1 ainda não havia sido suficiente para se codificar a habilidade e, portanto, não permitiu uma expressiva diferença na consolidação da habilidade no período sem prática. Habilidades motoras complexas, de acordo com Wulf e Shea (2002) exigem maiores quantidades de prática para se atingir uma assíntota do desempenho, e a consolidação da nova memória ocorre após sua codificação (ROBERTSON, 2009).

A partir desses resultados, duas são as considerações que devem ser feitas sobre as medidas utilizadas no presente estudo. O tempo relativo, bem como a força relativa, têm sido indicados e utilizados em estudos como elementos invariantes das habilidades que caracterizam o programa motor generalizado da habilidade (SCHMIDT, 1980; SEKIA; MAGILL; ANDERSON, 1996; MATOS *et al.*, 2017), enquanto que a aceleração relativa, por sua vez, não é claramente citada dessa maneira pelos demais estudos. Da mesma forma, tempo total, velocidade e força total (SCHMIDT, 1980; SEKIA; MAGILL; ANDERSON, 1996; MATOS *et al.*, 2017) são comumente utilizadas como medidas representativas dos parâmetros da habilidade. No entanto, no presente estudo, as medidas de aceleração relativa e aceleração total foram utilizadas de forma a tentar, por meio de extrapolação de conceitos, atingir a ideia de força relativa e força total, respectivamente, ou, no caso da habilidade aqui tratada, torque. Dado que a aceleração angular, uma vez mantida a massa do objeto, é diretamente proporcional ao torque externo resultante (MCGINNIS, 2015), entendemos nesse estudo a aceleração angular como uma medida capaz de representar as devidas alterações do torque.

Nesse estudo, para as medidas provenientes de acelerometria foram utilizados apenas os desvio-padrão das mesmas em cada bloco, representando as variabilidades da aceleração total, da aceleração relativa, do tempo total, do tempo relativo e da velocidade de batida na bola. Foram utilizadas, portanto, medidas de consistência da habilidade e não de precisão. O *putting*, bem como grande parte das

habilidades complexas, sejam elas esportivas ou de atividades diárias, não possui uma meta clara e comum a todos os indivíduos para as medidas de parâmetro e de programa motor generalizado, apenas para a medida de erro global. Dessa forma, diferentemente do erro radial, que permitiu que não apenas sua variabilidade, mas sua precisão fossem acessadas e comparadas entre indivíduos, a aprendizagem das demais medidas apenas pôde ser inferida pela variabilidade das mesmas. O estudo de Apolinário-Souza *et al.* (2016), obteve suas conclusões sobre os efeitos da ETCC na aprendizagem de uma habilidade simples a partir de inferências sobre a precisão do tempo relativo e do tempo total, pois a tarefa utilizada contava com metas claras para ambas as variáveis.

Ao longo do processo de aprendizagem motora a melhoria no desempenho do aprendiz pode ser observada pelo aumento da precisão e aumento da consistência (FITTS, 1964). Assim, a observação ou análise da diminuição da magnitude do erro e da diminuição da variabilidade são duas formas distintas, porém complementares, de se inferir a aprendizagem motora (MAGILL, 2000). Não é possível saber, portanto, se diferentes efeitos da estimulação se dariam dependendo de qual dessas formas é utilizada. No entanto, o fato de que para todas as variáveis foram encontrados efeitos principal de testes, havendo diminuição significativa da variabilidade do pré-teste para o pós-teste, é um bom indicativo de que o aumento da consistência é capaz de inferir aprendizagem nessa habilidade. Além disso, as medidas de correlação mostraram que, em algum grau, a variabilidade das medidas de acelerometria se associam ou mesmo influenciam o desempenho do erro radial. Ademais, a comparação dos efeitos da estimulação sobre a precisão e a variabilidade do erro radial mostram que ambas se comportam no geral de forma muito similar, de forma que podemos supor que as conclusões do estudo possivelmente seriam similares mesmo se realizada a análise da precisão das medidas de acelerometria.

## 8 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo permitem concluir que, em uma habilidade motora complexa com predominância de parametrização, mais especificamente controle de força, a estimulação do M1 possui efeitos aditivos para a precisão e para a consistência da aprendizagem. Esses efeitos são ainda mais evidenciados ao se considerar o nível de desempenho inicial do sujeito, na medida em que a estimulação mostra-se mais benéfica para sujeitos com pior desempenho inicial. A hipótese de que essa diferenciação se dê por diferenças entre o fortalecimento prévio dos circuitos similares àqueles necessários para a aprendizagem da tarefa pode ser testada por estudos posteriores. Alternativamente, pode-se investigar se diferentes configurações da ETCC, que levem a uma estimulação mais intensa, poderiam levar a efeitos benéficos para a aprendizagem mesmo em aprendizes com um bom desempenho inicial.

Ademais, ao se considerar as distintas dimensões da habilidade, programa motor generalizado e parâmetros, a estimulação do M1 parece ser benéfica especificamente para a aprendizagem da parametrização. No entanto, para habilidades motoras complexas esse benefício é direcionado à aprendizagem do parâmetro que foi solicitado durante o período de prática e não à seleção e adequação a novos parâmetros. Outros estudos podem elucidar a proposição de que, para habilidades motoras complexas sejam necessários maiores períodos de prática, ou uma maior consolidação da habilidade, para que a estimulação mostre-se benéfica mesmo quando são realizadas mudanças nas exigências paramétricas da tarefa.

Por fim, os benefícios da estimulação não são evidenciados nas fases mais iniciais da aprendizagem, mas sim durante períodos que refletem a consolidação inicial da habilidade como, por exemplo, após suficiente prática e em período de aprendizagem *offline*. A estimulação, portanto, parece exacerbar o papel do M1 na consolidação inicial da aprendizagem.



## REFERÊNCIAS

- ADKINS, D. L.; BOYCHUK, J.; REMPLÉ, M. S.; KLEIM, J. A. Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord. **Journal of applied physiology**, v. 101, n. 6, p. 1776-1782, 2006.
- APOLINÁRIO-SOUZA, T. **Aprendizagem motora: o papel do córtex motor primário**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- APOLINÁRIO-SOUZA, T.; ROMANO-SILVA, M. A.; DE MIRANDA, D. M.; MALLOY-DINIZ, L. F.; BENDA, R. N.; UGRINOWITSCH, H.; & LAGE, G. M. The primary motor cortex is associated with learning the absolute, but not relative, timing dimension of a task: a tDCS study. **Physiology & Behavior**, v. 160, p. 18-25, 2016.
- ARUL-ANANDAM, A. P.; LOO, C.; SACHDEV, P. Transcranial direct current stimulation - what is the evidence for its efficacy and safety?. **F1000 medicine reports**, v. 1, n. 58, p. 1-4, 2009.
- ASHE, J.; GEORGOPOULOS, A. P. Movement parameters and neural activity in motor cortex and area 5. **Cerebral Cortex**, v. 4, n. 6, p. 590-600, 1994.
- ASSELDONK, E. H. F.; BOONSTRA, T. A. Transcranial direct current stimulation of the leg motor cortex enhances coordinated motor output during walking with a large inter-individual variability. **Brain stimulation**, v. 9, n. 2, p. 182-190, 2016.
- BRUNONI, A. R.; NITSCHKE, M. A.; BOLOGNINI, N.; BIKSON, M.; WAGNER, T.; MERABET, L.; EDWARDS, D. J.; VALERO-CABRE, A.; ROTENBERG, A.; PASCUAL-LEONE, A.; FERRUCCI, R.; PRIORI, A.; BOGGIO, P. S.; FREGNI, F. Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): challenges and future directions. **Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation**, v. 5, n. 3, p. 175-195, 2012.
- BERNSTEIN, N. **The co-ordination and regulation of movements**. 1 ed. New York: Pergamon, 1967.
- CARMENA, J. M.; LEBEDEV, M. A.; CRIST, R. E.; O'DOHERTY, J. E.; SANTUCCI, D. M.; DIMITROV, D. F.; PATIL, P. G.; HENRIQUEZ, C. S.; NICOLELIS, M. A. Learning to control a brain-machine interface for reaching and grasping by primates. **PLoS biology**, v. 1, n. 2, p. 193-208, 2003.
- CASTRO-ALAMANCOS, M. A.; DONOGHUE, J. P.; CONNORS, B. W. Different forms of synaptic plasticity in somatosensory and motor areas of the neocortex. **Journal of Neuroscience**, v. 15, n. 7, p. 5324-5333, 1995.
- CITRI, A.; MALENKA, R. C. Synaptic plasticity: multiple forms, functions, and mechanisms. **Neuropsychopharmacology**, v. 33, n. 1, p. 18, 2008.

CHURCHLAND, M. M.; SANTHANAM, G.; SHENOY, K. V. Preparatory activity in premotor and motor cortex reflects the speed of the upcoming reach. **Journal of neurophysiology**, v. 96, n. 6, p. 3130-3146, 2006.

CLASSEN, J.; LIEPERT, J.; WISE, S. P.; HALLETT, M.; COHEN, L. G. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. **Journal of neurophysiology**, v. 79, n. 2, p. 1117-1123, 1998.

COLBY, C. L.; DUHAMEL, J. R. Spatial representations for action in parietal cortex. **Cognitive Brain Research**, v. 5, n. 1, p. 105-115, 1996.

CRAIG, C. E.; DOUMAS, M. Anodal transcranial direct current stimulation shows minimal, measure-specific effects on dynamic postural control in young and older adults: a double blind, sham-controlled study. **PloS one**, v. 12, n. 1, p. 2-21, 2017.

CUNNINGHAM, D. A.; MACHADO, A.; YUE, G. H.; CAREY, J. R.; PLOW, E. B. Functional somatotopy revealed across multiple cortical regions using a model of complex motor task. **Brain research**, v. 1531, p. 25-36, 2013.

CUNNINGTON, R.; IANSEK, R.; BRADSHAW, J. L.; PHILLIPS, J. G. Movement-related potentials in Parkinson's disease: presence and predictability of temporal and spatial cues. **Brain**, v. 118, n. 4, p. 935-950, 1995.

CUNNINGTON, R.; BRADSHAW, J. L.; IANSEK, R. The role of the supplementary motor area in the control of voluntary movement. **Human Movement Science**, v. 15, n. 5, p. 627-647, 1996.

CUNNINGTON, R.; WINDISCHBERGER, C.; MOSER, E. Premovement activity of the pre-supplementary motor area and the readiness for action: studies of time-resolved event-related functional MRI. **Human movement science**, v. 24, n. 5, p. 644-656, 2005.

CUYPERS, K.; LEENUS, D. J.; VAN DEN BERG, F. E.; NITSCHKE, M. A.; THIJS, H. Is motor learning mediated by tDCS intensity?. **PLoS One**, v. 8, n. 6, p. e67344, 2013.

DAYAN, E.; COHEN, L. G. Neuroplasticity subserving motor skill learning. **Neuron**, v. 72, n. 3, p. 443-454, 2011.

DELAY, D.; NOUGIER, V.; ORLIAGUET, J. P.; COELLO, Y. Movement control in golf putting. **Human Movement Science**, v. 16, n. 5, p. 597-619, 1997.

DRAGUNOW, M.; BEILHARZ, E.; MASON, B.; LAWLOR, P.; ABRAHAM, W.; GLUCKMAN, P. Brain-derived neurotrophic factor expression after long-term potentiation. **Neuroscience letters**, v. 160, n. 2, p. 232-236, 1993.

FITTS, P. M. Perceptual-Motor Skills Learning. In MELTON, A. W. (Ed.). **Categories of Human Learning**, New York: Academic Press, 1964.

FRITSCH, B.; REIS, J.; MARTINOWICH, K.; SCHAMBRA, H. M.; JI, Y.; COHEN, L. G.; LU, B. Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. **Neuron**, v. 66, n.2, p. 198-204, 2010.

FUNKE, K. Quite simple at first glance—complex at a second: modulating neuronal activity by tDCS. **The Journal of physiology**, v. 591, n. 16, p. 3809-3809, 2013.

FURUYA, S.; NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W.; ALTENMÜLLER, E. Early optimization in finger dexterity of skilled pianists: implication of transcranial stimulation. **BMC neuroscience**, v. 14, n. 1, v. 35, 2013.

GALEA, J. M.; CELNIK, P. Brain polarization enhances the formation and retention of motor memories. **Journal of neurophysiology**, v. 102, n. 1, p. 294-301, 2009.

GALEA, J. M.; VAZQUEZ, A.; PASRICHA, N.; ORBAN DE XIVRY, J. J.; CELNIK, P. 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, 2010.

GLENCROSS, D. J.; WHITING, H. T. A. J.; ABERNETHY, B. Motor control, motor learning and the acquisition of skill: historical trends and future directions. **International Journal of Sport Psychology**, v. 25, n. 1, p. 32-52, 1994.

GOODWIN, J. E.; MEEUWSEN, H. J. Investigation of the contextual interference effect in the manipulation of the motor parameter of over-all force. **Perceptual and Motor Skills**, v. 83, n. 3, p. 735-743, 1996

GRAZIANO, M. S.; TAYLOR, C. S.; MOORE, T.; COOKE, D. F. The cortical control of movement revisited. **Neuron**, v. 36, n. 3, p. 349-362, 2002.

HADIPOUR-NIKTARASH, A., LEE, C. K., DESMOND, J. E., & SHADMEHR, R. Impairment of retention but not acquisition of a visuomotor skill through time-dependent disruption of primary motor cortex. **The Journal of Neuroscience**, v. 27, n. 49, p. 13413-13419, 2007.

HAUBRICH, J.; NADER, K. Memory reconsolidation. In: CLARK, R. E.; MARTIN, S. J. (Eds.). **Behavioral Neuroscience of Learning and Memory**, p. 151-176, 2016.

HUPFELD, K. E.; KETCHAM, C. J.; SCHNEIDER, H. D. Transcranial direct current stimulation (tDCS) to the supplementary motor area (SMA) influences performance on motor tasks. **Experimental brain research**, v. 235, n. 3, p. 851-859, 2017.

JAHN, C. E.; STEVENS, C. F. Glutamate activates multiple single channel conductances in hippocampal neurons. **Nature**, v. 325, n. 6104, p. 522, 1987.

JENKINS, S. **Sports science handbook: the essential guide to kinesiology, sport and exercise science**. Brentwood: Multi-Science, 2005.

KAMINSKI, E.; HOFF, M.; SEHM, B.; TAIBERT, M.; CONDE, V.; STEELE, C. J.; VILLRINGER, A.; RAGERT, P. Effect of transcranial direct current stimulation (tDCS)

during complex whole body motor skill learning. **Neuroscience letters**, v. 552, p. 76-80, 2013.

KAMINSKI, E.; STEELE, C. J.; HOFF, M.; GUNDLACH, C.; RJOSK, V.; SEHM, B.; RAGERT, P. Transcranial direct current stimulation (tDCS) over primary motor cortex leg area promotes dynamic balance task performance. **Clinical Neurophysiology**, v. 127, n. 6, p. 2455-2462, 2016.

KANTAK, S. S.; MUMMIDISETTY, C. K.; STINEAR, J. W. Primary motor and premotor cortex in implicit sequence learning—evidence for competition between implicit and explicit human motor memory systems. **European Journal of Neuroscience**, v. 36, n. 5, p. 2710-2715, 2012.

KANTAK, S. S.; WINSTEIN, C. J. Learning-performance distinction and memory processes for motor skills: a focused review and perspective. **Behavioural Brain Research**, v. 228, n. 1, p. 219–231, 2012.

KASKI, D.; QUADIR, S.; PATEL, M.; YOUSIF, N.; BRONSTEIN, A. M. Enhanced locomotor adaptation aftereffect in the “broken escalator” phenomenon using anodal tDCS. **Journal of neurophysiology**, v. 107, n. 9, p. 2493-2505, 2012.

KIM, S.; STEPHENSON, M. C.; MORRIS, P. G.; JACKSON, S. R. tDCS-induced alterations in GABA concentration within primary motor cortex predict motor learning and motor memory: a 7T magnetic resonance spectroscopy study. **Neuroimage**, v. 99, p. 237-243, 2014.

KOLB, B.; WHISHAW, I. Q. **Fundamentals Of Human Neuropsychology**. 6. ed. New York: Worth Publishers, 2003.

KOTZ, S. A. E.; SCHWARTZE, M. Differential input of the supplementary motor area to a dedicated temporal processing network: functional and clinical implications. **Frontiers in Integrative Neuroscience**, v. 5, p. 1-4, 2011.

KOYAMA, S.; TANAKA, S.; TANABE, S.; SADATO, N. Dual-hemisphere transcranial direct current stimulation over primary motor cortex enhances consolidation of a ballistic thumb movement. **Neuroscience letters**, v. 588, p. 49-53, 2015.

KRAWCZYK, D.C. Contributions of the prefrontal cortex to the neural basis of human decision-making. **Neuroscience and Behavioral Review**, v. 26, p. 631-664, 2002.

KURIYAMA, Kenichi; STICKGOLD, Robert; WALKER, Matthew P. Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. **Learning & memory**, v. 11, n. 6, p. 705-713, 2004.

LAI, Q.; SHEA, C. H. Generalized motor program (GMP) learning: effects of reduced frequency of knowledge of results and practice variability. **Journal of motor behavior**, v. 30, n. 1, p. 51-59, 1998.

LAI, Q.; SHEA, C. H.; WULF, G.; WRIGHT, D. L. Optimizing generalized motor program and parameter learning. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 71, n. 1, p. 10-24, 2000.

LAMPRECHT, R.; LEDOUX, J. Structural plasticity and memory. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 5, n. 1, p. 45, 2004.

LIEBETANZ, D.; NITSCHKE, M. A.; TERGAU, F.; PAULUS, W. Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. **Brain**, v. 125, n. 10, p. 2238-2247, 2002.

LINDENBERG, R.; NACHTIGALL, L.; MEINZER, M.; SIEG, M. M.; FLÖEL, A. Differential effects of dual and unihemispheric motor cortex stimulation in older adults. **Journal of Neuroscience**, v. 33, n. 21, p. 9176-9183, 2013.

LINDENBERG, R.; SIEG, M. M.; MEINZER, M.; NACHTIGALL, L.; FLÖEL, A. Neural correlates of unihemispheric and bihemispheric motor cortex stimulation in healthy young adults. **Neuroimage**, v. 140, p. 141-149, 2016.

LOTZE, M.; ERB, M.; FLOR, H.; HUELSMANN, E.; GODDE, B.; GRODD, W. fMRI evaluation of somatotopic representation in human primary motor cortex. **Neuroimage**, v. 11, n. 5, p. 473-481, 2000.

LU, M-K.; ARAI, N.; TSAI, C-H.; ZIEMANN, U. Movement related cortical potentials of cued versus self-initiated movements: double dissociated modulation by dorsal premotor cortex versus supplementary motor area rTMS. **Human brain mapping**, v. 33, n. 4, p. 824-839, 2012.

LYNCH, G.; LARSON, J.; KELSO, S.; BARRIONUEVO, G.; SCHOTTLER, F. Intracellular injections of EGTA block induction of hippocampal long-term potentiation. **Nature**, v. 305, n. 5936, p. 719, 1983.

MALHOTRA, N.; POOLTON, J. M.; WILSON, M. R.; OMURO, S.; MASTERS, R. S. Dimensions of movement specific reinvestment in practice of a golf putting task. **Psychology of Sport and Exercise**, v. 18, p. 1-8, 2015.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance**. 7. ed. Philadelphia: Williams & Wilkins, 2010.

MAGILL, R. A. **Aprendizagem Motora - Conceitos e Aplicações**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

MARTIN, S. J.; MORRIS, R. G. M. Cortical plasticity: It's all the range!. **Current Biology**, v. 11, n. 2, p. 57-59, 2001.

MATOS, C. O.; VIEIRA, M. M.; SANTOS, B. R.; LAGE, G. M.; UGRINOWITSCH, H. Constant-blocked practice: variation of parameters improves motor skill acquisition. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 23, n. 3, 2017.

MCGINNIS, P. M. **Biomecânica do esporte e do exercício**. 3. ed. Artmed Editora, 2015.

MEDEIROS, P. E. S. **O papel da área motora suplementar na aprendizagem das dimensões relativa e absoluta de uma habilidade motora**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

MONFILS, M-H.; PLAUTZ, E. J.; KLEIM, J. A. In search of the motor engram: motor map plasticity as a mechanism for encoding motor experience. **The Neuroscientist**, v. 11, n. 5, p. 471-483, 2005.

MOSHA, N.; ROBERTSON, E. M. Unstable memories create a high-level representation that enables learning transfer. **Current Biology**, v. 26, n. 1, p. 100-105, 2016.

MUELLBACHER, W.; ZIEMANN, U.; BOROOJERDI, B.; COHEN, L.; HALLETT, M. Role of the human motor cortex in rapid motor learning. **Experimental Brain Research**, v. 136, n. 4, p. 431-438, 2001.

MUELLBACHER, W.; ZIEMANN, U.; WISSEL, J.; DANG, N.; KOFLER, M.; FACCHINI, S.; HALLETT, M. Early consolidation in human primary motor cortex. **Nature**, v. 415, n. 6872, p. 640-644, 2002.

NACHEV, P.; KENNARD, C.; HUSAIN, M. Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. **Nature reviews Neuroscience**, v. 9, n. 11, p. 856-869, 2008.

NICOLL, R. A. Expression mechanisms underlying long-term potentiation: a postsynaptic view. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 358, n. 1432, p. 721-726, 2003.

NICOLL, R. A. A brief history of long-term potentiation. **Neuron**, v. 93, n. 2, p. 281-290, 2017.

NITSCHKE, M. A.; DOEMKES, S.; KARAKOSE, T.; ANTAL, A.; LIEBETANZ, D.; LANG, N.; PAULUS, W. Shaping the effects of transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. **Journal of neurophysiology**, v. 97, n. 4, p. 3109-3117, 2007.

NITSCHKE, M. A.; LIEBETANZ, D.; ANTAL, A.; LANG, N.; TERGAU, F.; PAULUS, W. Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation—technical, safety and functional aspects. **Supplements to Clinical neurophysiology**, v. 56, p. 255-276, 2003a.

NITSCHKE, M. A.; LIEBETANZ, D.; SCHLITTLERLAU, A.; HENSCHKE, U.; FRICKE, K.; FROMMANN, K.; LANG, N.; HENNING, S.; PAULUS, W.; TERGAU, F.L. GABAergic modulation of DC stimulation-induced motor cortex excitability shifts in humans. **European Journal of Neuroscience**, v. 19, n. 10, p. 2720-2726, 2004.

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

NITSCHKE, M. A.; SCHAUBENBURG, A.; LANG, N.; LIEBETANZ, D.; EXNER, C.; PAULUS, W.; TERGAU, F. Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. **Journal of cognitive neuroscience**, v. 15, p. 4, p. 619-626, 2003b.

NITSCHKE, M.; COHEN, L.G.; WASSERMANN, E.M.; PRIORI, A.; LANG, N.; ANTAL, A.; PAULUS, W.; HUMMEL, F.; BOGGIO, P.S.; FREGNI, F.; PASCUAL-LEONE, A. Transcranial direct current stimulation: state of the art. **Brain stimulation**, v. 1, n. 3, p. 206–23, 2008.

NOWAK, L.; BREGESTOVSKI, P.; ASCHER, P.; HERBET, A.; PROCHIANTZ, A. Magnesium gates glutamate-activated channels in mouse central neurones. **Nature**, v. 307, n. 5950, p. 462, 1984.

OBAYASHI, S. Possible mechanism for transfer of motor skill learning: implication of the cerebellum. **The cerebellum**, v. 3, n. 4, p. 204-211, 2004.

OLDFIELD, R. C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, v. 9, p. 97-113, 1971.

PAZ, R.; VAADIA, E. Learning from learning: what can visuomotor adaptations tell us about the neuronal representation of movement?. In: STERNAD, D. (Ed.). **Progress in Motor Control**. Springer: Boston, 2009. p. 221-242.

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, 2017.

PEW, R. W. Human perceptual-motor performance. In: KANTOWITZ, B. H. (Ed.). **Human information processing: tutorials in performance and cognition**. New York: Erlbaum, 1974.

POO, M.; PIGNATELLI, M.; RYAN, T. J.; TONEGAWA, S.; BONHOEFFER, T.; MARTIN, K. C.; RUDENKO, A.; TSAI, L. H.; TSIEN, R. W.; FISHELL, G.; MULLINS, C.; GONÇALVES, J. T.; SHTRAHMAN, M.; JOHNSTON, S. T.; GAGE, F. H.; DAN, Y.; LONG, J.; BUSZAKI, G. What is memory? The present state of the engram. **BMC biology**, v. 14, n. 1, p. 40, 2016.

RAYMOND, C. R. LTP forms 1, 2 and 3: different mechanisms for the 'long' in long-term potentiation. **Trends in neurosciences**, v. 30, n. 4, p. 167-175, 2007.

RIOULT-PEDOTTI, M.; FRIEDMAN, D.; DONOGHUE, J. P. Learning-induced LTP in neocortex. **Science**, v. 290, n. 5491, p. 533-536, 2000.

REIS, J.; FRITSCH, B. Modulation of motor performance and motor learning by transcranial direct current stimulation. **Current opinion in neurology**, v. 24, n. 6, p. 590-596, 2011.

REIS, J.; SCHAMBRA, H. M.; COHEN, L. G.; BUCH, E. R.; FRITSCH, B.; ZARAHN, E.; CELNIK, P. A.; KRAKAUER, J. W. 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, 2009.

RICHARDSON, A. G.; OVERDUIN, S. A.; VALERO-CABRÉ, A.; PADOA-SCHIOPPA, C.; PASCUAL-LEONE, A.; BIZZI, E.; PRESS, D. Z. Disruption of primary motor cortex before learning impairs memory of movement dynamics. **The Journal of neuroscience**, v. 26, n. 48, p. 12466-12470, 2006.

ROBERTSON, E. M.; PRESS, D. Z.; PASCUAL-LEONE, A. Off-line learning and the primary motor cortex. **The Journal of Neuroscience**, v. 25, n. 27, p. 6372–6378, 2005.

ROBERTSON, Edwin M. From creation to consolidation: a novel framework for memory processing. **PLoS biology**, v. 7, n. 1, p. 11-19, 2009.

ROLAND, P. E. **Brain Activation**. 1 ed. New York: Wiley-Liss, 1993.

ROLAND, P. E.; LARSEN, B.; LARSEN, N. A.; SKINHOJ, E. Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. **Journal of neurophysiology**, v. 43, n. 1, p. 118-136, 1980.

SALMONI, A. W.; SCHMIDT, R. A.; WALTER, C. B. Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. **Psychological Bulletin**, v. 95, n. 3; p. 355-386, 1984.

SCHLERF, J. E.; VERSTYNNEN, T. D.; IVRY, R. B.; SPENCER, R. M. Evidence of a novel somatotopic map in the human neocerebellum during complex actions. **Journal of neurophysiology**, v. 103, n. 6, p. 3330-3336, 2010.

SCHMAHMANN, J. D.; PANDYA, D. N. Anatomical investigation of projections from thalamus to posterior parietal cortex in the rhesus monkey: A WGA-HRP and fluorescent tracer study. **Journal of Comparative Neurology**, v. 295, n. 2, p. 299-326, 1990.

SCHMIDT, R. A. A schema theory of discrete motor skill learning. **Psychological Review**, v. 82, n. 4, p. 225-260, 1975.

SCHMIDT, R. A. On the Theoretical Status of Time in Motor Program Representations. In: STELMACH, G. E.; REQUIN, J. (Eds.). **Advances in Psychology**. 1. ed. North-Holland: Amsterdam, 1980. p. 145-166.



SCHMIDT, R. A. Motor schema theory after 27 years: reflections and implications for a new theory. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 74, n. 4, p. 366-375, 2003.

SEKIYA, H.; MAGILL, R. A.; ANDERSON, D. I. The contextual interference effect in parameter modifications of the same generalized motor program. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 67, n. 1, p. 59-68, 1996.

SHIBASAKI, H.; SADATO, N.; LYSHKOW, H.; YONEKURA, Y.; HONDA, M.; NAGAMINE, T.; SUWAZONO, S.; MAGATA, Y.; IKEDA, A.; MIYAZAKI, M.; FUKUYAMA, H.; ASTO, R.; KONISHI, J. Both primary motor cortex and supplementary motor area play an important role in complex finger movement. **Brain**, v. 116, n. 6, p. 1387-1398, 1993.

SHOHAM, S.; PANINSKI, L. M.; FELLOWS, M. R.; HATSOPOULOS, N. G.; DONOGHUE, J. P.; NORMANN, R. A. Statistical encoding model for a primary motor cortical brain-machine interface. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 52, n. 7, p. 1312-1322, 2005.

SNODDY, G. S. Learning and stability: a psychophysiological analysis of a case of motor learning with clinical applications. **Journal of Applied Psychology**, v. 10, n. 1, p. 1, 1926.

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

STRATTON, S. M.; LIU, Y. T.; HONG, S. L.; MAYER-KRESS, G.; NEWELL, K. M. Snoddy (1926) revisited: time scales of motor learning. **Journal of motor behavior**, v. 39, n. 6, p. 503-515, 2007.

SUZUKI, K.; SUZUKI, T.; ONO, Y. Effect of middle-temporal tDCS stimulation on dance-game exercise performance. **Transactions of Japanese Society for Medical and Biological Engineering**, v. 55, p. 503-505, 2017.

TSENG, P.; HSU, T. Y.; CHANG, C. F.; TZENG, O. J.; HUNG, D. L.; MUGGLETON, N. G.; WALSH, V.; LIANG, W. K.; CHENG, S.; JUAN, C. H. Unleashing potential: transcranial direct current stimulation over the right posterior parietal cortex improves change detection in low-performing individuals. **Journal of Neuroscience**, v. 32, n. 31, p. 10554-10561, 2012.

UTZ, K. S.; DIMOVA, V.; OPPENLÄNDER, K.; KERKHOFF, G. Electrified minds: transcranial direct current stimulation (tDCS) and galvanic vestibular stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology—a review of current data and future implications. **Neuropsychologia**, v. 48, n. 10, p. 2789-2810, 2010.

VANCLEEF, K.; MEESEN, R.; SWINNEN, S. P.; FUJIYAMA, H. tDCS over left M1 or DLPFC does not improve learning of a bimanual coordination task. **Scientific reports**, v.6, p. 1-11, 2016.

VERREL, J.; POLOGE, S.; MANSELLE, W.; LINDENBERGER, U.; WOOLLACOTT, M. Coordination of degrees of freedom and stabilization of task variables in a complex motor skill: expertise-related differences in cello bowing. **Experimental brain research**, v. 224, n. 3, p. 323-334, 2013.

WRIGHTSON, J. G.; TWOMEY, R.; ROSS, E. Z.; SMEETON, N. J. The effect of transcranial direct current stimulation on task processing and prioritisation during dual-task gait. **Experimental brain research**, v. 233, n. 5, p. 1575-1583, 2015.

XIVRY, J. O.; SHADMEHR, R. Electrifying the motor engram: effects of tDCS on motor learning and control. **Experimental brain research**, v. 232, n. 11, p. 3379-3395, 2014.

WULF, G.; LEE, T. D. Contextual interference in movements of the same class: Differential effects on program and parameter learning. **Journal of motor behavior**, v. 25, n. 4, p. 254-263, 1993.

WULF, G.; SCHMIDT, R. A.; DEUBEL, H. Reduced feedback frequency enhances generalized motor program learning but not parameterization learning. **Journal of Experimental Psychology Learning Memory and Cognition**, v. 19, p. 1134-1134, 1993.

WULF, G.; SHEA, C. H. Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. **Psychonomic bulletin & review**, v. 9, n. 2, p. 185-211, 2002.

ZHOU, J.; HAO, Y.; WANG, Y.; JOR'DAN, A.; PASCUAL-LEONE, A.; ZHANG, J.; FANG, J.; MANOR, B. Transcranial direct current stimulation reduces the cost of performing a cognitive task on gait and postural control. **European Journal of Neuroscience**, v. 39, n. 8, p. 1343-1348, 2014.

ZHU, F. F.; YEUNG, A. Y.; POOLTON, J. M.; LEE, T. M. C.; LEUNG, G. K. K.; MASTERS, R. S. W. Cathodal transcranial direct current stimulation over left dorsolateral prefrontal cortex area promotes implicit motor learning in a golf putting task. **Brain stimulation**, v. 8, n. 4, p. 784-786, 2015.

ZIEMANN, U.; SIEBNER, H. R. Modifying motor learning through gating and homeostatic metaplasticity. **Brain stimulation**, v. 1, n. 1, p. 60-66, 2008.

## APÊNDICE I

### ESTUDO PILOTO I

#### Objetivo

Determinar as configurações da tarefa de putting a ser utilizada, como número de tentativas necessárias para aprendizagem, número de dias da fase de aquisição, distância do ponto inicial da bola ao alvo e tamanho do alvo.

#### Método

##### Amostra:

Dez voluntários destros, de ambos os sexos, com idades entre 20 e 35 anos, sem experiência prévia em golfe, minigolfe ou putting, e que não possuíam lesões que pudesse limitar a realização do movimento de putting.

##### Tarefa:

Foi pedido aos voluntários que realizassem o movimento de putting, com o objetivo de acertar a bola em qualquer ponto dentro da área do alvo. Foi exigido que o movimento fosse realizado sempre com dois submovimentos, o *backswing* e o *forward swing*, a mão direita deveria ficar abaixo da mão esquerda, e o corpo ficasse perpendicular ao alvo.

##### Instrumentos:

Foram utilizados taco de golfe (putter) e bola de golfe comuns, bem como um tapete de feltro com 150 cm de largura e 400 cm de comprimento, com alvo circular pintado, cujo limite superior se encontrava a 120 cm do fim da pista. O tamanho do alvo e a distância do mesmo ao ponto de realização da tacada variaram entre os grupos.

##### Delineamento:

O estudo piloto contou com 4 grupos que foram criados de forma sequencial, de forma a tentar melhorar a tarefa, consertando os problemas detectados durante a coleta realizada com o grupo anterior e em relação aos resultados encontrados para o mesmo.

O Grupo 1 (n = 3) realizou apenas a fase de aquisição, sendo realizadas nessa 90 tentativas em 1 único dia. O objetivo desse grupo era observar se haveria diminuição relevante dos erros ao longo da prática, o que indicaria se a quantidade de tentativas estabelecida era suficiente para essa tarefa. Para esse grupo a tacada foi realizada a 2,5 m do alvo e o alvo possuía 10 cm de diâmetro (tamanho oficial dos buracos do golfe).

O Grupo 2 (n = 2) realizou também 1 dia de fase de aquisição, na qual foram realizadas 100 tentativas com intervalo de 5 minutos entre a 50ª e a 51ª tentativa. Além disso, esse grupo contou com testes de retenção e transferência no segundo dia (10 tentativas cada). As tacadas na fase de aquisição e no teste de retenção foram realizadas a 2,3 m do alvo, enquanto que no teste de transferência foram realizadas a 2,5 m do alvo. Em todas as tentativas o alvo possuía 10 cm de diâmetro. O objetivo desse grupo era observar se o aumento do número de tentativas associado ao repouso na metade da fase de aquisição e diminuição da distância da tacada levariam a uma curva de desempenho que demonstrasse mais claramente a ocorrência de aprendizagem.

O grupo 3 (n = 3) realizou a fase de aquisição em 2 dias consecutivos, sendo que cada dia contou com 50 tentativas. Os testes de retenção e transferência foram realizados no terceiro dia (10 tentativas cada). Durante toda a fase de aquisição e teste de retenção as tacadas eram realizadas a 2 m do alvo, enquanto que no teste de transferência as tacadas foram feitas a 2,3 m do alvo. Em todas as tentativas o alvo possuía 14 cm de diâmetro. O objetivo desse grupo era observar se a divisão da fase de aquisição em 2 dias, a diminuição da distância da tacada e o aumento do diâmetro do alvo levariam a uma facilitação da tarefa, resultando em uma mais clara diminuição dos erros e da variabilidade ao longo da prática e durante os testes.

O grupo 4 (n = 2) realizou a fase de aquisição em 2 dias consecutivos, sendo que cada dia contou com 50 tentativas. Os testes de retenção e transferência foram realizados no terceiro dia (10 tentativas cada). Durante toda a fase de aquisição e teste de retenção as tacadas eram realizadas a 2 m do alvo, enquanto

que no teste de transferência as tacadas foram feitas a 2,6 m do alvo. Em todas as tentativas o alvo possuía 14 cm de diâmetro. Nesse grupo, anteriormente à realização do teste de retenção foi pedido aos voluntários que realizassem 3 tacadas de aquecimento, porém sem a presença da bola. O objetivo desse grupo era observar se as tentativas de aquecimento levariam a um melhor desempenho no teste de retenção, e se o aumento da distância da tacada ao alvo no teste de transferência faria com que esse teste se tornasse mais exigente que o teste de retenção (maior magnitude do erro).

Medidas:

Erro radial (distância do centro da bola ao centro do alvo, subtraído de 7 cm).

Análise dos dados:

Os dados foram analisados de forma descritiva, não só pela média mas também pelo desempenho em separado de cada sujeito do grupo. Os dados foram organizados a partir da média em blocos de 10 tentativas.

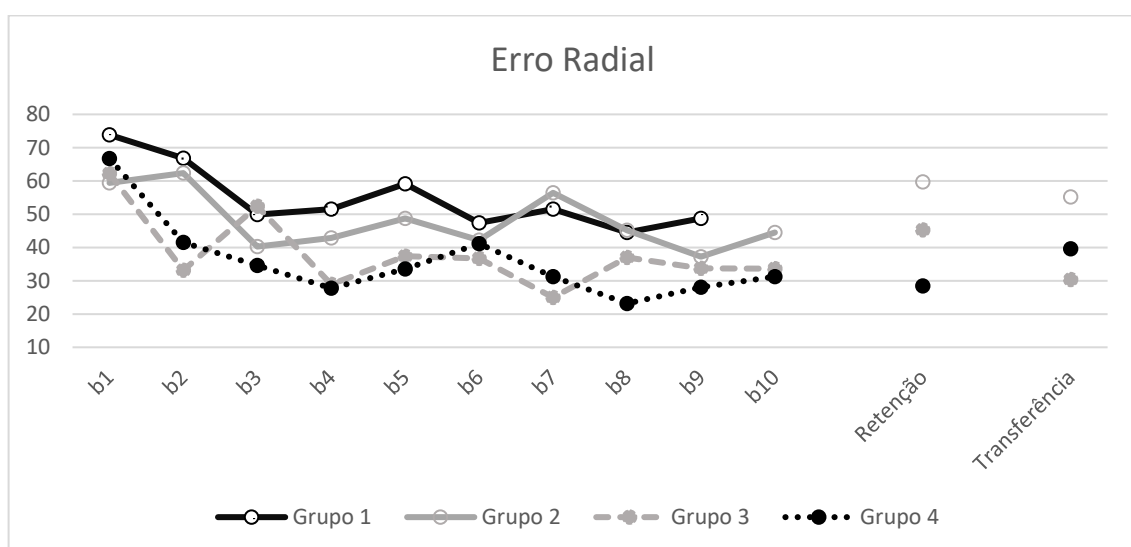
## **Resultados e conclusão**

Para o Grupo 1 foi mostrado que os sujeitos não tiveram uma clara diminuição dos erros ao longo da fase de aquisição, de forma que tiveram um grande pico de aumento dos erros por volta da 5<sup>o</sup> bloco de tentativas, e se mantiveram com uma variabilidade alta entre tentativas em grande parte dos blocos, o que foi atribuído a efeitos de fadiga no desempenho, devido ao grande número de tentativas.

Para o Grupo 2 foi mostrado que os sujeitos ainda não apresentavam uma clara diminuição dos erros e da variabilidade ao longo da fase de aquisição mesmo após o aumento do número de tentativas e diminuição da distância da tacada, indicando que a tarefa permanecia com um alto grau de dificuldade. Além disso, mesmo contando com o período de repouso na metade da fase de aquisição mostraram aumentar seus erros por volta do 5<sup>o</sup> bloco de tentativas, o que indicou que o efeito do grande número de tentativas em um único dia não havia sido solucionado pelo repouso.

Os resultados do Grupo 3 mostraram mais claramente a diminuição dos erros e da variabilidade dos voluntários ao longo da fase de aquisição, indicando que a configuração da tarefa era capaz de levar à aprendizagem. Concluiu-se que a divisão da fase de aquisição em dois dias extinguiu o efeito da fadiga (não houve pico de diminuição do desempenho na metade ou ao fim da fase de aquisição). Além disso, a diminuição da distância, possivelmente por exigir menor força da tacada, levou a uma menor variabilidade entre tentativas nos blocos (Schmidt *et al.*, 1979) e o aumento do diâmetro do putting levou a uma maior precisão ao longo da prática, como indicado por Bansal *et al.* (2008) e Palmer *et al.* (2016), mudanças que se refletiram também nos resultados dos testes.

Os resultados do Grupo 4 mostraram que o aumento da distância entre as tacadas realizadas no teste de transferência e as tacadas realizadas no teste de retenção (de 30 cm para 60 cm de diferença entre elas) fez com que o teste de transferência se tornasse mais exigente do que o teste de retenção, levando a maior erro, o que não era observado nos demais grupos, sendo essa uma característica desejável a um teste de transferência. Ainda, permitir aos sujeitos 3 tacadas de aquecimento, mesmo que sem a bola, permitia que os sujeitos apresentassem melhores desempenhos no teste de retenção, mais condizentes com o desempenho apresentado ao fim da aquisição. Isso porque nos demais grupos a média era desviada pelos erros discrepantes das primeiras tentativas.



Concluiu-se ao fim do estudo piloto, portanto, que a tarefa exigida, com as configurações apresentadas no Grupo 4, era passível de ser aprendida, podendo ser utilizada para responder às hipóteses do estudo.

## APÊNDICE II

### ESTUDO PILOTO II

#### Objetivo

Determinar a forma de configuração bi-hemisférica da ETCC que será adotado no estudo.

#### Método

##### Amostra:

Dez voluntários destros, de ambosos sexos, com idades entre 20 e 35 anos, sem experiência prévia em golfe, minigolfe ou *putting*, e que não possuíam lesões que pudesse limitar a realização do movimento de *putting*.

##### Tarefa:

Foi pedido aos voluntários que realizassem o movimento de *putting*, com o objetivo de acertar a bola em qualquer ponto dentro da área do alvo. Foi exigido que o movimento fosse realizado sempre com dois submovimentos, o *backswing* e o *forward swing*, a mão direita deveria ficar abaixo da mão esquerda, e o corpo ficasse perpendicular ao alvo.

##### Instrumentos:

Foram utilizados taco de golfe (*putter*) e bola de golfe comuns, bem como um tapete de feltro com 150 cm de largura e 400 cm de comprimento, com alvo circular pintado, cujo limite superior se encontrava a 120 cm do fim da pista. O tamanho do alvo utilizado foi de 14 cm e a distância do mesmo ao ponto de realização da tacada foi de 200 cm no pré-teste e no pós-teste, e de 260cm no teste de transferência.

##### Delineamento:

O estudo piloto contou com 2 grupos (5 indivíduos em cada), de forma que um grupo (Grupo Bi-Catódica) recebeu ETCC bi-hemisférica catódica, que consistiu no posicionamento do eletrodo catodo sobre a região C3 (M1 esquerdo) e

do eletrodo anodo sobre C4 (M1 direito). O outro grupo (Grupo Bi-Anódica) recebeu ETCC bi-hemisférica anódica, que consistiu no posicionamento do eletrodo anodo sobre a região C3 e do eletrodo catodo sobre C4.

O experimento ocorreu em 3 dias consecutivos. No primeiro dia, ambos os grupos receberam 20 minutos de estimulação logo após a realização do pré-teste, que contou com 10 tentativas. Após a estimulação realizaram 50 tentativas na fase de aquisição. No segundo dia, os grupos receberam mais 20 minutos de estimulação, após a qual foram realizadas mais 50 tentativas da fase de aquisição. O terceiro dia contou com a realização do pós-teste e do teste de transferência (10 tentativas em cada).

Medidas:

Erro radial (distância do centro da bola ao centro do alvo subtraído de 7 cm).

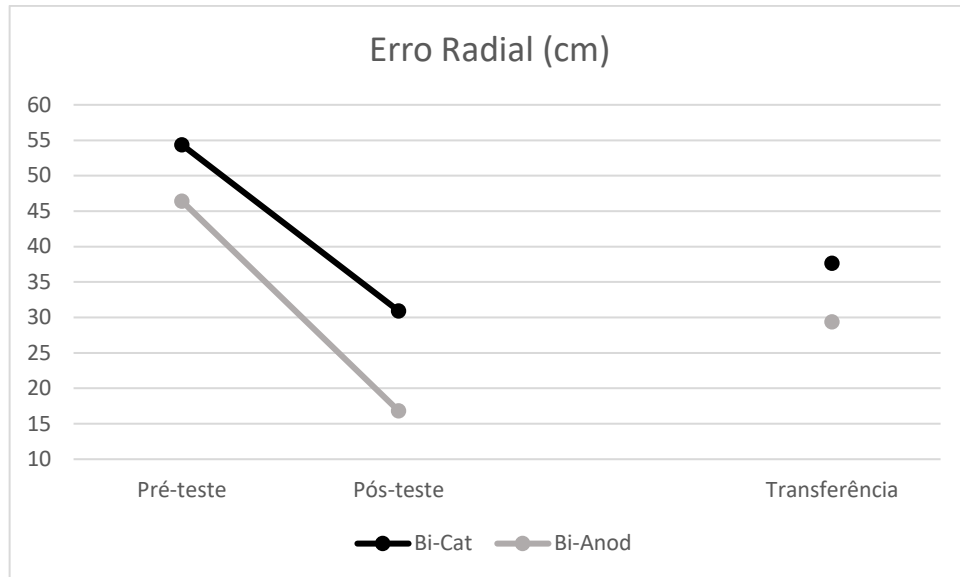
Análise dos dados:

Foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para os erros de pré-teste, pós-teste e teste de transferência em cada grupo. Os dados foram, então, analisados a partir de testes t independentes para conferir se os grupos começaram iguais no pré-teste, e para definir qual grupo possuía menores erros no pós-teste e no teste de transferência.

## **Resultados e conclusão**

Os dados foram considerados normais. O teste t indicou que os grupos iniciaram iguais no pré-teste ( $t = 0,61$ ;  $p = 0,56$ ;  $d = 0,38$ ). No entanto, no pós-teste o grupo Bi-Anódica apresentou menores erros que o grupo Bi-Catódica ( $t = 4,05$ ;  $p < 0,01$ ;  $d = 2,57$ ). Não houve diferença entre os grupos no teste de transferência ( $t = 1,66$ ;  $p = 0,14$ ;  $d = 1,05$ ), sendo que descritivamente o grupo Bi-Anódica apresentou menor média.





Dado que no pós-teste o grupo Bi-Anódica obteve significativamente um melhor desempenho, com um tamanho de efeito grande, e no teste de transferência a diferença entre os grupos não foi significativa mas o tamanho de efeito também pode ser considerado grande, foi escolhida para responder a pergunta do estudo a estimulação bi-hemisférica com o eletrodo anodo posicionado sobre o M1 esquerdo e o eletrodo catodo sobre o M1 direito, já que a mesma parece potencializar mais a aprendizagem do *putting* do golfe.

## APÊNDICE III

### CÁLCULO AMOSTRAL

O cálculo amostral foi realizado por meio do software *GPower* (versão 3.1.9.2), a partir dos dados do erro radial no teste de transferência de 8 sujeitos, alocados aleatoriamente nos grupos G-ETCC e G-P.

Dados resultantes do estudo piloto

<b>Grupo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Sujeitos</b>
<b>G-ETCC</b>	23,15	9,52	4
<b>G-P</b>	33,71	15,24	4

Parâmetros acrescentados ao software *GPower* para o cálculo amostral

<b>Parâmetro de entrada</b>	<b>Valor</b>
<b>Tipo de teste</b>	Teste t independente
<b>Tipo de análise</b>	A priori
<b>Caudas</b>	2
<b>Tamanho do efeito</b>	0,831
<b>Probabilidade <math>\alpha</math></b>	0,05
<b>Poder estatístico</b>	0,80
<b>Taxa de alocação</b>	1

Parâmetros retornados pelo software *GPower*, indicando a necessidade de um total de 48 voluntários (24 para o G-ETCC) para o estudo

<b>Parâmetro de saída</b>	<b>Valor</b>
<b>Parâmetro de não-centralidade</b>	2,879
<b>t Crítico</b>	2,013
<b>Graus de liberdade</b>	46
<b>Tamanho total da amostra</b>	48
<b>Poder real</b>	0,805

## APÊNDICE IV

### Rotina para extração dos dados de acelerometria

```

ref_x = 250; %MUDAR
ref_intervalo = 50; %MUDAR
fator_multiplicador = 3; %MUDAR
ref_mov = 19;%MUDAR
parametro_final = 200; %MUDAR
iniciar_no = ; %MUDAR
ir_ate = ; %MUDAR
su_j = 'sujeito'; %MUDAR

for j=iniciar_no:ir_ate

arquivo = strcat ('_tentativa_', num2str(j), '.xlsx');
file = arquivo;

dados = xlsread (file);

%_____NÃO MEXER DAQUI PARA BAIXO
dados_z = dados(:,13);
dados_velho_resultante = dados(:,10);
dados_maximos = [];
for i=50:length(dados_velho_resultante)-1
    dados_maximos (i) = abs (dados_velho_resultante(i) -
    dados_velho_resultante(i+1));
end

ref_maximo = max (dados_maximos);
for i=50:length(dados_maximos)-1
    if (dados_maximos (i) == ref_maximo)
        ind_pico_max = i;
        break;
    end
end

% filtro dos dados após remoção do pico para ficar mais smooth

dados_velho_filtrado = medfilt1(dados_velho_resultante, 10);

[b, a] = butter(4, .1, 'low');

dados_velho_filtrado = filtfilt(b, a, dados_velho_filtrado);

ref_INICIO = ind_pico_max - ref_x;
ref_FINAL = ref_INICIO + ref_intervalo;

desvio = std (dados_velho_filtrado (ref_INICIO:ref_FINAL));
media = mean (dados_velho_filtrado (ref_INICIO:ref_FINAL));

if (desvio > 0.05)
    inicio_mov_positivo = media + (fator_multiplicador*desvio);
    inicio_mov_negativo = media - (fator_multiplicador*desvio);
end

```

```

if (desvio <= 0.05)
    inicio_mov_positivo = media + 1;
    inicio_mov_negativo = media - 1;
end

v = 0;
f = [];
for i=ref_INICIO:length(dados_velho_filtrado)-1
    if (dados_velho_filtrado(i)>inicio_mov_positivo)
        v = (i-ref_INICIO)+1;
        f (v) = i;
    end
end

v = 0;
h = [];
for ii=1:length(f)-1
    if (abs(f(ii)-f(ii+1))==1)
        v = v+1;
        if (v)==ref_mov
            inds_inicio = f(ii)-ref_mov;
            break;
        end
    else
        v = 0;
    end
end

dados_FINAL(j).tt= dados_VER(1:250);

ind_acerto_bola = ind_pico_max - inds_inicio;

%Velocidade
t = (0:length(dados_FINAL(j).tt)-1)./200;
velocidade(j).tt = cumtrapz(t, (dados_FINAL(j).tt-(dados_FINAL(j).tt(1))));
velocidade(j).tt = detrend(velocidade(j).tt)
vel_batida(j).tt = velocidade(j).tt (ind_acerto_bola);
posicao(j).tt = cumtrapz(velocidade(j).tt)

for i=1:length(velocidade(j).tt)
    if (velocidade(j).tt(i) > 0.00001)
        break;
    end
end

for kk=i:length(velocidade(j).tt)
    if (velocidade(j).tt(kk) < -0.00001)
        break;
    end
end

for mm=kk:length(velocidade(j).tt)
    if (velocidade(j).tt(mm) > 0.00001)
        break;
    end
end
end
%Definindo os Submovimentos

```

```

Primeiro_submov = dados_FINAL(j).tt (i:kk);

Segundo_submov = dados_FINAL(j).tt (kk:ind_acerto_bola);

%Tempos Absolutos

Tempo_1_sub(j).tempos = length(Primeiro_submov) * 8.33;
Tempo_2_sub(j).tempos = length(Segundo_submov) * 8.33;

Tempo_total(j).tempos = Tempo_1_sub(j).tempos + Tempo_2_sub(j).tempos;

%Tempos relativos
Tempo_relativo_1_sub(j).relativos = Tempo_1_sub(j).tempos *
100/Tempo_total(j).tempos;
Tempo_relativo_2_sub(j).relativos = Tempo_2_sub(j).tempos *
100/Tempo_total(j).tempos;

%Aceleração
aceleracao_batida(j).batida = dados_FINAL(j).tt (ind_acerto_bola);

acel_1_sub(j).acel = trapz (Primeiro_submov)/200;
acel_2_sub(j).acel = trapz (Segundo_submov)/200;
acel_total(j).acel = acel_1_sub(j).acel + acel_2_sub(j).acel;

acel_relativa_1_sub(j).relativa = acel_1_sub(j).acel *
100/acel_total(j).acel;
acel_relativa_2_sub(j).relativa = acel_2_sub(j).acel *
100/acel_total(j).acel;

t = (0:length(velocidade(j).tt)-1)./120;
Posicao(j).tt = cumtrapz(t, (velocidade(j).tt-(velocidade(j).tt(1))));
end

```

## APÊNDICE V

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

**Título do Estudo:** APRENDIZAGEM DE UMA TAREFA MOTORA COMPLEXA: FATORES QUE INFLUENCIAM O NÍVEL DE APRENDIZAGEM

**Coordenador:** Prof. Guilherme Menezes Lage\_ Departamento de Educação Física da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

Gostaríamos de convidá-lo a participar de nosso estudo. O nosso objetivo é identificar fatores que influenciam a aprendizagem de habilidades motoras complexas. A tarefa utilizada será a realização de tacadas curtas de golfe chamadas *putting*.

Será utilizada uma técnica de estimulação cerebral denominada de estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC). Essa técnica é indolor, segura, reversível e de fácil administração, tendo como princípio básico a aplicação de fraca corrente elétrica (1,5 milliampère) por meio do posicionamento de dois eletrodos sobre a cabeça (no couro cabeludo). Assim, este estudo pretende relacionar as regiões corticais e os fatores que influenciam a aprendizagem motora.

**Procedimentos:** Os testes serão realizados em três dias no Grupo de Estudo de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da UFMG. Nos dois primeiros dias, você poderá ou não receber a estimulação transcraniana por corrente contínua (isto dependerá de qual grupo de sujeitos você participará) por meio de dois eletrodos que serão posicionados em pontos específicos de sua cabeça. Por ser uma corrente muito baixa, depois de 30 segundos aproximadamente você não percebe mais a estimulação. No terceiro dia, você será testado novamente na mesma tarefa. Os horários para a sua participação serão estabelecidos de acordo com sua disponibilidade, sendo que as segunda e terceira sessões deverão ocorrer aproximadamente 24h após a sessão anterior. O tempo previsto para realização dos procedimentos é de aproximadamente 50 minutos nos primeiro e segundo dias e 20 minutos no terceiro.

**Riscos e desconfortos:** A sua participação no estudo oferece riscos mínimos à sua saúde. Pode ocorrer um pequeno formigamento nos 30 segundos iniciais quando a estimulação transcraniana for iniciada. Após esse período essa sensação desaparece. Há pequeno risco de algum desconforto muscular devido à execução da tarefa motora, e qualquer desconforto deve ser relatado ao experimentador que irá parar a coleta de dados imediatamente. Em caso de algum desconforto em relação aos procedimentos, você será encaminhado ao serviço de enfermagem da EEFFTO e ao atendimento fisioterápico da EEFFTO.

**Confidencialidade:** Para garantir a confidencialidade da informação obtida, seu nome não será utilizado em qualquer publicação ou material relacionado ao estudo.

**Benefícios esperados:** Não há benefício direto para você. 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 de Educação Física, Fisioterapia, terapia Ocupacional e Comportamento Motor, assim como para a prática do profissional que atua com o treinamento e a reabilitação de habilidades motoras.

**Recusa ou desistência da participação:** Sua participação é inteiramente voluntária e você está livre para recusar participar ou desistir do estudo em qualquer momento, sem que isso possa lhe acarretar qualquer prejuízo ou constrangimento.

**Gastos:** Não haverá ressarcimento de nenhum tipo de gasto.

Você pode solicitar mais informações ao longo do estudo, tirar dúvidas e maiores esclarecimentos da pesquisa com o pesquisador responsável pelo projeto (Guilherme Menezes Lage), por meio do telefone (31) 98884-0411 ou endereço eletrônico [menezeslage@gmail.com](mailto:menezeslage@gmail.com). Após a leitura completa deste documento, caso concorde em participar do estudo, você deverá assinar em duas vias o termo de consentimento e rubricar todas as folhas. Uma das vias ficará com você e a outra com o pesquisador. Você poderá obter qualquer informação deste estudo com o pesquisador ou se tiver dúvidas sobre questões éticas, pode consultar o Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Informações para contato com o COEP/UFMG abaixo.

## 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

## COEP – Comitê de Ética em Pesquisa/UFMG

Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II – 2º. Andar – Sala 2005 – Cep 31270-901- Belo Horizonte – MG / Telefax: (31) 3409-4592

Email: [coep@prpq.ufmg.br](mailto:coep@prpq.ufmg.br).

# ANEXO

## Aprovação do projeto no COEP

**Saúde**  
Ministério da Saúde

**Platoforma**  
Brasil

Cadastros

Público Pesquisador Alterar Meus Dados


JULIANA OTONI PARMA - Pesquisador | V3.2  
Sua sessão expira em: 35min 31


principal sair

DETALHAR PROJETO DE PESQUISA

**DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Aprendizagem de uma tarefa motora complexa: fatores que influenciam o nível de aprendizagem  
**Área Temática:** Matemática  
**Pesquisador Responsável:** Guilherme Menezes Lage  
**Version:** 2027917.3.0000.5149  
**Código de Projeto:** 2027917  
**Submetido em:** 10/04/2017  
**Instituição Proponente:** Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais  
**Situação da Versão do Projeto:** Aprovado  
**Localização atual da Versão do Projeto:** Pesquisador Responsável  
**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio



 Comprovante de Recepção PB\_COMPROVANTE\_RECEPCAO\_862288