

TÉRCIO APOLINÁRIO DE SOUZA

APRENDIZAGEM MOTORA: o papel do córtex motor primário

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2014

TÉRCIO APOLINÁRIO DE SOUZA

APRENDIZAGEM MOTORA: o papel do córtex motor primário

Dissertação apresentada ao Programa 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.

Área de concentração: Treinamento Esportivo
Linha de pesquisa: Aquisição de habilidade motoras
Orientador: Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – EEFFTO
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Belo Horizonte – 2014



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte



Dissertação intitulada “Aprendizagem motora: o papel do córtex motor primário”, de autoria do mestrando Tércio Apolinário de Souza, defendida em 24 de Outubro de 2014, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais e submetida à banca examinadora composta pelos professores:

Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Maicon Rodrigues Albuquerque
Departamento de Educação Física
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Rodolfo Novellino Benda
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 24 de Outubro de 2014.

DEDICATÓRIA

Dedico a realização deste trabalho a Deus e a Nossa Senhora esposa do Espírito Santo.
Dedico aos meus pais, ao meu irmão e ao meu orientador. Muito obrigado! Sem vocês
não faço nada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus**, se não fosse por e com Ele nada disso faria sentido. Nas horas de desespero e angústia, **Deus** me segurou pela mão e me amou como um filho.

Agradeço ao meu pai, **Antônio Perpetuo de Souza** pelo exemplo de homem, por ter me passado toda segurança para continuar a prosseguir meus sonhos. A minha mãe **Sônia Maria de Souza** por não ter desistido de mim, por ter lutado inúmeras vezes para que eu continuasse os estudos, para que eu me tornasse um homem de verdade (ainda chego lá!). Ao meu irmão **Amom Felipe de Souza**, pelo apoio em vários campos da vida (pagou meu *notebook* que usei no mestrado, risos), desde criança você é um dos meus exemplos. Enfim, tudo o que tenho, ou melhor, ainda, tudo que eu sou e o que me tornarei devo a vocês! Muito obrigado, amo muito vocês.

A todos meus familiares, mas em especial a minha **Tia Lucia**, aos meus primos **Thiago, Mércia e Leandro**, pela acolhida em sua casa em Belo Horizonte. A galera da **republica “À vista”** (Renan, Igor e André), dividimos não apenas o apartamento, mas um pouco de nossas vidas.

Aos meus amigos do **Ministério Jovem da Renovação Carismática Católica** de Minas e em especial da diocese de Itabira/Cel. Fabriciano. Aos meus amigos do **Grupo de Oração Jovens Sentinelas e Grupo de Oração Filhos do Céu**, vocês sabem que a amizade de vocês reflete Deus em minha vida! Sou grato a todos meus **amigos**, mas em especial ao Erson, Mia, William, Priscila, Rômulo, Thayrone, Fabiano, Adrielle, Gregory, Ana Paula e Natalia.

Também agradeço a galera da **Vip Trainer**, Fabiano, Tiago, Leandro e Val, o apoio de vocês nas minhas tentativas de passar no mestrado foi fundamental. Aos **alunos** da VipTrainer, Betinho ouviu várias vezes minhas angústias, a Carlinha por ter me apresentado o caminho da pós-graduação. Ao **peçoal de Viçosa** (Professor Israel Teoldo, Professora Claudia e Likinha), foi lá que tudo começou! **Jamir, Aureana e Sirlei**, obrigado por ter me acolhida dentro da sua casa em Viçosa, obrigado pela força, pelas risadas, e principalmente pelos almoços que só vocês sabem fazer!

Aos **Gedais**, que se tornaram minha segunda família (sei que foi difícil me aguentar nesse tempo! risos). Aos alunos, Luciano Alves, João Roberto, Lidiane

Fernandes, Lucas Savassi, Madson Cruz, Márcia Salomão, Patrick Ribeiro, Paulo Eduardo, Auro Barreiros, Carlos Eduardo, Cláudio Leite (Ciência e Religião podem andar juntas!), Crislaine Rangel, Daniel Pires (pela doação generosa dos móveis, risos), Fabiano de Fonseca, Guilherme van Keulen, Leonardo Portes, Lívia Gallo, Marcelo Januário, Maria Flávia, Silvana Nogueira, Suziane Peixoto, Thábata Viviane, Mayndra Salvador, Cintia Matos, Matheus, Natália Lelis.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage**, Obrigado por ter depositado sua confiança em mim, mesmo sem se sequer me conhecer. O panfleto que indicava o vestibular em Educação Física, não mudou apenas o curso da sua vida, mas a minha também e de outros que virão! Obrigado pela preocupação não apenas em questões relacionadas à pós-graduação, mas a preocupação relacionada à minha vida em todos os aspectos. Obrigado por ser um exemplo de pesquisador íntegro, humilde, honesto, responsável e disponível (e reacionário, brincadeira!). A sua frase: “O importante não é o produto, mas o processo!” em uns dos seus primeiros e-mails, me fez ter confiança para deixar minhas coisas para trás. Essa frase ressoa em meus ouvidos toda vez que quero voltar atrás. Ouvir, “Tá, barra!” em nossas reuniões ficará marcado. Por mais que eu tente Guilherme, não conseguirei expressar toda a minha gratidão, admiração e respeito que tenho para você. Obrigado!

Aos Professores Dr. Herbert Ugrinowitsch, Dr. Márcio Vieira e Dr. Rodolfo Benda por terem me recebido no Gedam com tanto carinho. Obrigado pelas contribuições na dissertação e na formação pessoal. Valeu! A professora Dra. **Grace Schenatto Pereira Moraes**, muito obrigado pela gentileza nas colocações referentes a Neurociências.

A todos os **voluntários**, que contribuíram de forma direta na conclusão desse trabalho, e aos funcionários do **Colegiado de Pós-Graduação** e da **Biblioteca** da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**CAPES**). Muito obrigado!

“Não, não tendais medo! Antes, procurai abrir, melhor, escancarar as portas a Cristo! Ao Seu poder salvador abri os confins dos Estados, os sistemas econômicos assim como os políticos, os vastos campos de cultura, de civilização e de progresso! Não tendais medo! Cristo sabe bem "o que é que está dentro do homem". Somente Ele o sabe!” (Homilia do Papa João Paulo II no início do seu Pontificado em 1978)

RESUMO

Os estudos comportamentais apontam para um papel mais efetivo da prática menos repetitiva na aprendizagem da dimensão absoluta da habilidade do que na aprendizagem da dimensão relativa. Estudos neurobiológicos mostram que o córtex motor primário (M1) está mais associado à organização dos elementos específicos do movimento. Apesar de não utilizarem tarefas específicas para avaliar a aprendizagem da dimensão absoluta da habilidade, esses estudos têm observado que força, direção e amplitude são elementos organizados pelo M1. Assim, o objetivo do estudo é avaliar o papel do M1 na aprendizagem das dimensões da habilidade motora, partindo da hipótese que o M1 está mais associado à aprendizagem da dimensão absoluta da habilidade. Quarenta e oito participantes foram distribuídos em 3 grupos de prática (n=16): grupo de prática constante com estimulação transcraniana por corrente contínua – ETCC (GPC-ETCC), grupo de prática constante placebo (GPC-P) e grupo de prática aleatória (GPA). Foi aplicado uma estimulação elétrica (1mA) sobre o M1 no GPC-ETCC por 20 minutos antes da prática. O grupo GPC-P recebeu somente 36 segundos de estimulação e o GPA não recebeu estimulação. Na fase de aquisição a tarefa consistiu em realizar uma seqüência de toques em um teclado numérico em 120 tentativas nos tempos alvo absoluto de 700, 900 e 1.100 ms., e, em um tempo relativo entre as teclas (22.2% de 2 para 8, 44.4% de 8 para 6 e 33.3% de 6 para 4). Os testes de retenção e transferência foram realizados 24 horas ao fim da aquisição, constituído por 12 tentativas cada. O teste de transferência foi realizado com um novo tempo absoluto de 1.300 ms. Os resultados mostraram que não houve diferença entre grupos nas medidas de erro relativo (ER) e erro absoluto (EA) na retenção e para o ER na transferência. Entretanto, no teste de transferência no EA o grupo GPC-ETCC apresentou melhor desempenho que o GPA. Portanto, a hipótese levantada que o M1 estaria mais envolvido na dimensão absoluta que na dimensão relativa, foi confirmada no presente estudo. As alterações promovidas pela ETCC nos mecanismos de aprendizagem motora parecem ser mais efetivas do que as alterações geradas pela prática aleatória na parametrização do movimento.

Palavras-chave: Aprendizagem motora. Córtex Motor Primário. Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua.

ABSTRACT

Behavioral studies have shown a more effective role of the less repetitive practice in the learning of the absolute dimension of the skill compared to the relative dimension. Neurobiological studies have pointed out to an association of the primary motor cortex (M1) with the organization of the specific movement elements. Although these studies did not use specific tasks to measure the learning of the absolute dimension of the skill, these studies have observed that force, direction and amplitude are elements organized by M1. Therefore, the aim of the study is to evaluate the role of M1 in the motor learning, and the hypothesis is that M1 is more associated with the learning of the absolute dimension of the skill. Forty-eight participants were divided into 3 groups of practice (n = 16): constant practice group with transcranial direct current stimulation – TDCs (CPG-TDCs), constant practice group sham (CPG-S) and random practice group (RPG). The CPG-TDCs received electrical stimulation (1mA) over M1 for 20 minutes before practice. The group CPG-S received only 36 seconds of stimulation and RPG did not receive stimulation. In the acquisition phase, participants performed 120 trials of a sequence typing on the numeric keyboard with absolute criterion time of 700, 900 and 1,100 ms and relative criterion time among keys (22.2% from 2 to 8, 44% from 8 to 6 and 33.3% from 6 to 4). The retention and transfer tests were performed 24 hours after acquisition phase, each test consisting of 12 trials. The transfer test was performed with an absolute criterion time of 1,300ms. In the retention test, the results did not show significant difference among groups in both the relative error measure (ER) and the absolute error (EA). In transfer test, significant difference was not found in ER. However, the CPG-TDCs presented lower level of error compared to the RPG in the EA measure. Therefore, the hypothesis that the M1 would be more associated with the absolute dimension than the relative dimension was confirmed in the present study. The modifications promoted by TDCs in the motor learning mechanisms seem to be more effective than changes generated by random practice in the parameterization of movement.

Keywords: Motor Learning. Primary Motor Cortex. Transcranial Direct Current Stimulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Localização do Lobo Frontal (córtex pré-motor e área motora suplementar córtex pré-frontal dorsolateral córtex motor primário).....	18
Figura 2 –	Sequência de toques repetidos entre as falanges do dedo indicador com as falanges dos demais dedos.....	20
Figura 3 –	Ativação do lobo frontal sob a condição de prática aleatória e em Blocos.....	21
Figura 4 –	Associações entre áreas e funções neurobiológicas com construtos comportamentais.....	22
Figura 5 –	Desenho esquemático do efeito da estimulação no córtex humano.....	25
Figura 6 –	Desenho esquemático das teclas digitadas no experimento e os tempos alvo em termos absoluto e relativo.....	30
Figura 7 –	Desenho esquemático das posições do eletrodo seguindo o sistema internacional 10-20 de EEG.....	31
Figura 8 –	Desenho esquemático da formação de memória motora.....	
Gráfico 1 –	Médias do erro relativo de todos os grupos experimentais na fase de aquisição e testes de retenção e transferência.....	37
Gráfico 2 –	Médias do erro absoluto de todos os grupos experimentais na fase de aquisição e testes de retenção e transferência.....	39
Gráfico 3 –	Desvio padrão do erro relativo de todos os grupos experimentais na fase de aquisição e testes de retenção e transferência.....	40
Gráfico 4 –	Desvio padrão do erro absoluto de todos os grupos experimentais na fase de aquisição e testes de retenção e transferência.....	42

LISTA DE ABREVIACES

AQ	Fase de aquisição
C/cm ²	Coulomb por centímetro quadrado
cm ²	Centímetros quadrados
DP	Desvio padrão
EA	Erro relativo
EEFFTO	Escola de Educação Física e Fisioterapia e Terapia Ocupacional
EEG.....	Eletroencefalograma
ER	Erro absoluto
ETCC	Estimulação transcraniana por corrente continua
GPA.....	Grupo de prática aleatória
GPC-ETCC.....	Grupo de prática constante ETCC
GPC-P.....	Grupo de prática constante placebo
LTP.....	Potencialização a longo prazo (em inglês <i>long-term potentiation</i>)
M1	Córtex motor primário
mA.....	Mileampere
ms	Milissegundos
S1	Segimento1: refere-se ao tempo entre os toques nas teclas 2 e 8
S2	Segimento 2: refere-se ao tempo entre os toques das teclas 8 e 6
S3.....	Segimento 3: refere-se ao tempo entre os toques das teclas 6 e 4
TR	Teste de retenção
TT.....	Teste de transferência
UFMG.....	Universidade Federal de Minas Gerais
\bar{x}	Média

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Aprendizagem motora.....	16
2.2 Aprendizagem Motora e o Córtex Motor Primário.....	17
2.3 Prática não repetitiva e ativação do M1.....	20
2.4 Estimulando o M1 para favorecer a aprendizagem da dimensão absoluta da habilidade.....	23
3 OBJETIVO GERAL	27
4 HIPÓTESE	28
5 MÉTODO	29
5.1 Amostra.....	29
5.2 Instrumentos e tarefa motora.....	30
5.3 Estimulação transcraniana por corrente contínua.....	31
5.4 Delineamento e procedimentos.....	32
5.5 Análise dos dados.....	34
6 RESULTADOS	36
6.1 Erro relativo.....	36
6.1.1 Fase de aquisição.....	36
6.1.2 Testes de aprendizagem.....	38
6.1.3 Desvio padrão do erro relativo.....	38
6.2 Erro Absoluto.....	39
6.2.1 Fase de aquisição.....	39
6.2.2 Testes de aprendizagem.....	41
6.2.3 Desvio padrão do erro absoluto.....	41
6.4 Comparação entre primeiro bloco de aquisição e os testes de aprendizagem ...	42
7 DISCUSSÃO	44

8 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICES	57

1 INTRODUÇÃO

A consistência do desempenho e a adaptabilidade às variações do contexto são características marcantes do comportamento habilidoso (GLENCROSS; WHITING; ABERNETHY, 1994). A consistência relaciona-se à capacidade de produzir um padrão espaço-temporal adequado que se repete no tempo. Por sua vez, a adaptabilidade diz respeito à capacidade de realizar mudanças no padrão espaço-temporal sem descaracterizá-lo (WULF; LEE, 1993). A dimensão relativa da habilidade diz respeito à consistência e a dimensão absoluta a adaptabilidade (LAI; SHEA, 1998).

Na literatura existem evidências que aspectos específicos como consistência e adaptabilidade, são aprendidos pelas diferentes formas de praticar uma habilidade (LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998). A consistência promovida pelas estruturas de práticas de natureza mais repetitiva, tal como a prática constante, beneficia a aprendizagem da dimensão relativa da habilidade, a qual se atribuiu conceitos como Programa Motor Generalizado. Por outro lado, a flexibilidade ocasionada pela estrutura prática de natureza menos repetitiva, como exemplo a prática aleatória, potencializa a aprendizagem da dimensão absoluta da habilidade, que se atribui conceitos como parâmetros do movimento (LAI *et al.*, 2000).

Sob a condição de prática menos repetitiva, por exemplo, a prática aleatória, há uma maior ativação e excitabilidade de áreas do lobo frontal quando comparado à condição de prática mais repetitiva (CROSS; SCHMITT; GRAFTON, 2007; KANTAK *et al.*, 2011; LIN *et al.*, 2009). O córtex pré-motor, área motora suplementar, córtex pré-frontal dorsolateral e córtex motor primário (M1) são as áreas do lobo frontal que estão mais associadas à aprendizagem motora (DAYAN; COHEN, 2012; LANG *et al.*, 2013). O planejamento do movimento acontece em regiões frontais do córtex, como o córtex pré-frontal dorsolateral (KOLB; WHISHAW, 2009; ROLAND, 1993), o sequenciamento do movimento ocorre no córtex pré-motor e na área motora suplementar (RUSHWORTH *et al.*, 2001; VOLLMANN *et al.*, 2013). Já o M1 é responsável pelos elementos específicos do movimento como direção, velocidade, aceleração e força (ROLAND *et al.*, 1980).

Se os estudos comportamentais apontam para o papel da prática menos repetitiva na melhoria da capacidade de parametrização do movimento (SEKYIA *et al.*, 1994) e se os estudos neurobiológicos mostram que o M1 está mais associado à organização dos elementos específicos do movimento (ROLAND, 1993), é possível levantar a hipótese que o M1 tenha um papel importante na aprendizagem da dimensão absoluta.

Os conceitos de elementos específicos dos estudos neurobiológicos podem ser associados ao conceito de parâmetros do movimento dos estudos comportamentais. Porém, a maior dificuldade na acomodação integral desses conceitos está na não separação das dimensões absoluta e relativa da habilidade nos estudos neurobiológicos.

Uma das formas de testar essa hipótese supracitada é comparar a estrutura de prática mais repetitiva (constante) com estimulação no M1 e a prática de natureza menos repetitiva (aleatória). É possível que sob a condição de prática constante, a aprendizagem da dimensão absoluta seja otimizada a partir da estimulação externa do M1. Uma forma de estimulação externa é através da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). A ETCC consiste em uma aplicação de baixa corrente elétrica contínua sobre o couro cabeludo através de dois eletrodos (BATSIKADZE *et al.*, 2013; NITSCHKE *et al.*, 2008). A ETCC aumenta a excitabilidade cortical, através da estimulação de áreas sensório-motoras, criando uma modificação no ambiente neural favorecendo a aprendizagem (NITSCHKE *et al.*, 2003).

A integração dos conhecimentos produzidos em diferentes níveis de análise como comportamental, neurofisiológico e neuromolecular apresenta um potencial para o avanço do conhecimento sobre o fenômeno da Aprendizagem Motora. As Neurociências podem ampliar o conhecimento sobre os processos envolvidos na aquisição de habilidades motoras (KANTAK; WINSTEIN, 2012) e revelar as relações existentes entre os processos cognitivos envolvidos no controle motor e os substratos neurais que subsidiam esses processos (SEIDLER; NOLL, 2008). Da mesma forma, os estudos em Comportamento Motor podem ampliar o conhecimento sobre os processos neurais envolvidos na aprendizagem motora.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aprendizagem motora

Com o passar dos anos, o ser humano passa por modificações em diversos domínios, tais como o afetivo, o cognitivo e o motor. No domínio motor as mudanças comportamentais passam de um estado menos organizado, inconsistente e rígido, para um estado mais organizado, consistente e flexível (MANOEL, 1995). Essas modificações estão associadas à aprendizagem motora, caracterizada por mudanças relativamente permanentes na capacidade de executar uma tarefa motora. Essas alterações no comportamento geralmente são inferidas pelo desempenho do sujeito e se relacionam à prática ou à experiência (MAGILL, 2000). Modificações em mecanismos internos, tais como, a atenção, a percepção e a programação motora sustentam as mudanças observadas no comportamento (CHIVIAKOWSKY; TANI, 1993).

A partir da transposição de estados desorganizados para estados organizados, emergem comportamentos caracterizados por estruturas espaço-temporais bem definidas (LAGE, 2005). Essas estruturas apresentam duas características marcantes do comportamento habilidoso: 1) consistência e estabilidade do desempenho e 2) a adaptabilidade ou flexibilidade às variações do contexto (GLENCROSS; WHITING; ABERNETHY, 1994). A consistência está relacionada à capacidade do sujeito produzir um padrão espaço-temporal adequado. Já a flexibilidade relaciona-se à capacidade de promover mudanças no padrão espaço-temporal sem descaracterizá-lo, de forma a atender as demandas do meio ambiente. Essas mudanças levam uma mesma estrutura a apresentar características distintas a cada nova tentativa de prática (LAGE, 2005).

A análise conjunta das dimensões relativa e absoluta da habilidade permite inferências sobre o controle e a aprendizagem motora (WULF; LEE, 1993). A dimensão relativa diz respeito à estrutura espaço-temporal (LAI; SHEA, 1998), associada a diferentes conceitos, tais como o Programa Motor Generalizado (SCHMIDT, 1975). Por outro lado, a dimensão absoluta caracteriza a capacidade de promover mudanças na estrutura do movimento,

podendo ser conceituada como a capacidade de parametrização (WULF; LEE, 1993), por exemplo.

Fatores relacionados à organização da prática têm potencial para favorecer de forma específica a aquisição da dimensão relativa ou da absoluta da habilidade. A prática de natureza mais repetitiva como a prática constante, promove consistência suficiente entre as tentativas de forma a beneficiar a aprendizagem da dimensão relativa da habilidade. Por outro lado, a prática de natureza menos repetitiva como a prática aleatória, promove ganhos na capacidade de parametrização devido aos constantes ajustes requeridos ao longo das tentativas (LAI; SHEA, 1998).

Evidências científicas suportam a proposição de que há especificidade entre a natureza da prática e aquisição das dimensões relativa e absoluta. Por exemplo, nos estudos de Sekyia *et al.* (1994; 1996; 2000) foi observado que a prática seriada (prática com natureza menos repetitiva) nestes estudos propiciou melhor aprendizagem da parametrização do que a prática em blocos (prática com natureza mais repetitiva). Nestes estudos quando comparadas as estruturas de prática aleatória e constante, resultados similares foram encontrados. Lai *et al.* (2000), por exemplo, observaram que a prática aleatória proporcionou melhor aprendizagem da dimensão absoluta. Por outro lado, a prática constante favoreceu a aprendizagem da dimensão relativa da habilidade. Outros trabalhos corroboram esses achados (GIUFFRIDA; SHEA; FAIRBROTHER, 2002; SHEA *et al.*, 2001; WULF; LEE; SCHMIDT, 1994)

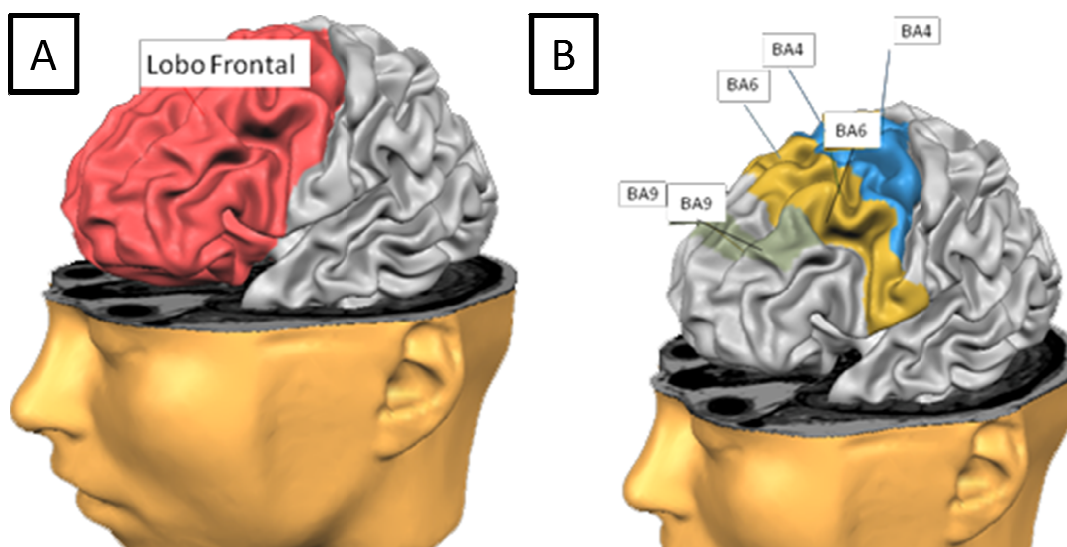
Embora sejam comumente inferidas pelo desempenho, as modificações que decorrem da aprendizagem envolvem alterações em mecanismos cognitivos e neurais (KANTAK; WINSTEIN, 2012). O entendimento sobre as modificações que ocorrem em outros níveis de análise contribuem para um conhecimento mais amplo sobre a aprendizagem das dimensões relativas e absolutas que compõem as habilidades motoras.

2.2 Aprendizagem Motora e o Córtex Motor Primário

O lobo frontal é constituído basicamente por duas grandes áreas corticais: o córtex motor e o córtex pré-frontal. O córtex motor se localiza na região do giro pré-central, entre o sulco central e o sulco pré-central. Já o

córtex pré-frontal se localiza na região anterior do lobo frontal, posterior ao sulco pré-central. O córtex motor é subdividido em córtex motor primário (M1 ou área 4 de Brodmann) e áreas pré-motoras. O M1 se localiza na primeira convolução do lobo frontal, anterior ao sulco central. Sendo o M1, a principal fonte de projeções dos neurônios motores na medula espinhal e nervo cranial (LENT, 2010). O M1 envia axônios à medula espinhal para fazer sinapses com interneurônios ou diretamente com os neurônios motores, que se conectam com os músculos. Uma única célula do M1 pode ser responsável por engajar vários neurônios motores (BUYS *et al.*, 1986; MCKIERNAN *et al.*, 1998). As áreas pré-motoras são subdivididas em córtex pré-motor e área motora suplementar. O córtex pré-motor situa-se anterior ao córtex motor primário, projetando-se 2 cm em direção anterior ao M1. A área motora suplementar encontra-se superior e anterior à área pré-motora, localizando-se na fissura longitudinal. O córtex pré-frontal é subdividido em córtex pré-frontal dorsolateral, ventro-medial e orbital. Sendo o córtex pré-frontal dorsolateral, ventro-medial e orbital localizados no giro frontal superior, giro frontal médio e giro orbital, respectivamente (FIGURA 1) (PURVES *et al.*, 2012).

Figura 1 – A) Localização do Lobo Frontal. B) Localização do córtex pré-motor e área motora suplementar (BA6 ou área 6 de Brodmann), córtex pré-frontal dorsolateral (BA9 ou área 9 de Brodmann) e córtex motor primário (BA4 ou área 4 de Brodmann)



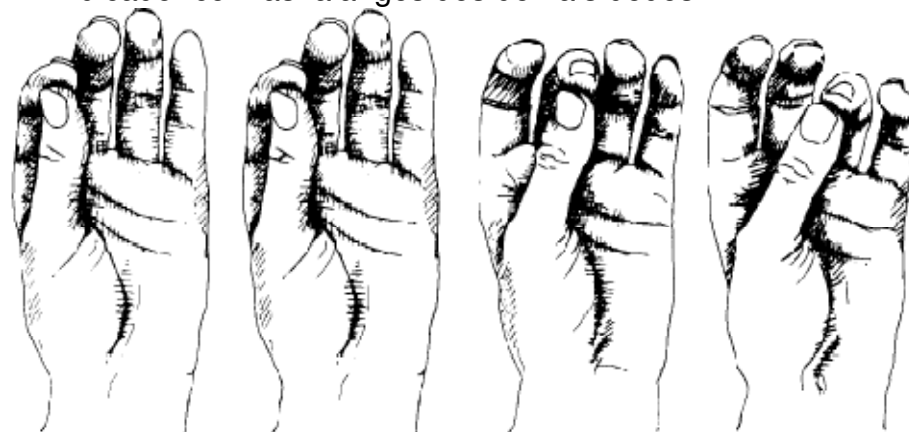
Fonte: Imagem adaptada do software BrainVoyagerBrain Tutor.

O córtex pré-motor, área motora suplementar, córtex pré-frontal dorsolateral e o M1 geralmente são as áreas no lobo frontal que estão mais associadas à aprendizagem motora (DAYAN; COHEN, 2012; LANG *et al.*, 2013). A formação de representações motoras requer uma reorganização funcional dessas áreas e de áreas subcorticais ao longo do processo de prática, levando a uma maior participação dos sistemas córtico-estriatais do que os córtico-cerebelares ao fim da prática (DOYON; PENHUNE; UNGERLEIDER, 2003).

O M1 atua em associação com as áreas motoras secundárias, o córtex parietal posterior e regiões subcorticais para planejar e executar habilidades motoras. O planejamento do movimento ocorre nas regiões frontais do córtex (ex., córtex pré-frontal dorsolateral) (ROLAND, 1993), o sequenciamento do movimento e o planejamento de alta ordem são organizados pelo córtex pré-motor e área motora suplementar (RUSHWORTH *et al.*, 2001; VOLLMANN *et al.*, 2013). O M1 parece não participar diretamente do planejamento da sequência do movimento (ROLAND, 1993), mas sim da definição de elementos específicos do movimento como a direção, velocidade, aceleração e força (KOLB; WHISHAW, 2009; ROLAND, 1993).

Para a avaliação da função dessas áreas pré-frontais, os estudos têm como característica a análise do controle motor e não da aprendizagem motora. Outro aspecto a ser destacado é a utilização inicial de modelos animais (BUYS *et al.*, 1986; EVARTS, 1968; LEYTON; SHERRINGTON, 1917) e mais recentemente com avanço das técnicas de neuroimagem, foi possível observar de forma funcional os locais envolvidos na produção do movimento em humanos. Por exemplo, quando um sujeito é submetido a uma sequência de toques repetidos entre as falanges do dedo indicador com as falanges dos demais dedos observa-se por meio de ressonância magnética funcional uma menor ativação no M1 comparado às demais áreas motoras (FIGURA 2) (ROLAND, 1993; ROLAND *et al.*, 1980; SADATO *et al.*, 1996).

Figura 2 – Sequência de toques repetidos entre as falanges do dedo indicador com as falanges dos demais dedos



Fonte: Adaptado de Roland *et al.* 1980.

Nessa mesma linha de achados, mas em modelo animal, Nakamura *et al.* (1998) observaram que a estimulação do córtex pré-motor e área motora suplementar leva a uma melhora na aprendizagem de diferentes operações sequenciais do movimento. Em estudos que utilizaram gravação de um único neurônio ou de um grupo de neurônios em modelo animal, foi encontrado que os neurônios do M1 são responsáveis por codificar características detalhadas da contração muscular bem como a sequência temporal de contração (CHENEY, 1985). As características da contração que são codificadas no M1 são: direção, força, velocidade, ângulos entre outros (GEORGOPOULOS *et al.*, 1982; HUMPHREY; SCHMIDT; THOMPSON, 1970).

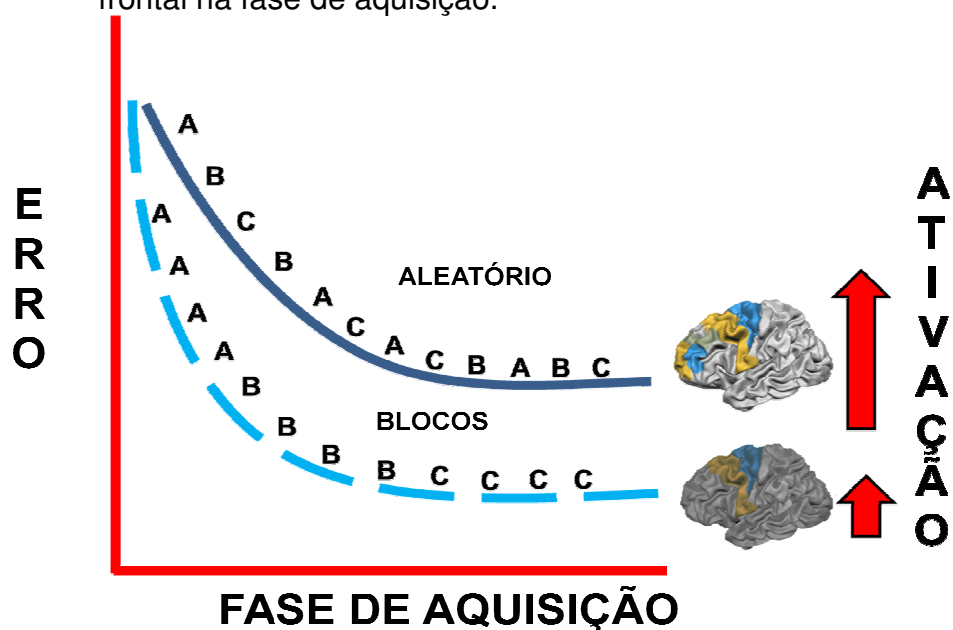
Se os estudos comportamentais apontam para o papel da prática menos repetitiva na melhoria da capacidade de parametrização do movimento (SEKYIA *et al.*, 1994) e se os estudos neurobiológicos mostram que o M1 está mais associado à organização dos elementos específicos do movimento (KOLB; WHISHAW, 2009), é possível que deva existir uma associação entre o tipo de prática e a ativação do M1.

2.3 Prática não repetitiva e ativação do M1

A partir da segunda metade da década de 2.000 tem-se o início dos estudos que investigaram as associações entre a organização da prática e a ativação de áreas do lobo frontal. Sob a condição de prática menos repetitiva (ex., a prática aleatória) há uma maior ativação de áreas do lobo frontal. Ao contrário, sobre a condição de prática mais repetitiva (ex., a prática constante)

encontra-se uma menor ativação de áreas do lobo frontal (CROSS; SCHMITT; GRAFTON, 2007; KANTAK *et al.*, 2011; LIN *et al.*, 2009). Uma possível explicação para os níveis de ativação seria as exigências cognitivas distintas impostas pelas estruturas de prática. O aumento da demanda cognitiva está associado ao custo do processamento, devido aos ajustes na parametrização do movimento (ex. força total, amplitude, tempo total) ou a necessidade de um novo plano de ação (ex., programa motor), demanda essa requerida principalmente na preparação do movimento (LAM; MASTERS; MAXWELL, 2010). Um padrão inverso ocorre com a prática mais repetitiva. Devido à repetição da tarefa a cada tentativa, há uma menor exigência cognitiva (LIN *et al.*, 2009). Assim sendo, maior exigência cognitiva na fase de aquisição está associado à maior ativação e pior desempenho. Entretanto, nos testes há um padrão inverso. Ou seja, há uma diminuição da ativação em regiões do lobo frontal e um melhor desempenho por parte da prática menos repetitiva (FIGURA 3) (LIN *et al.*, 2011).

Figura 3 – Ativação do lobo frontal sob a condição de prática aleatória e em blocos. Maior exigência cognitiva na fase de aquisição está associada a um maior erro e pior desempenho e maior ativação no lobo frontal. Menor dificuldade na fase de aquisição está associado a um menor erro e melhor desempenho e menor ativação no lobo frontal na fase de aquisição.



Fonte: Imagem de autoria do próprio autor.

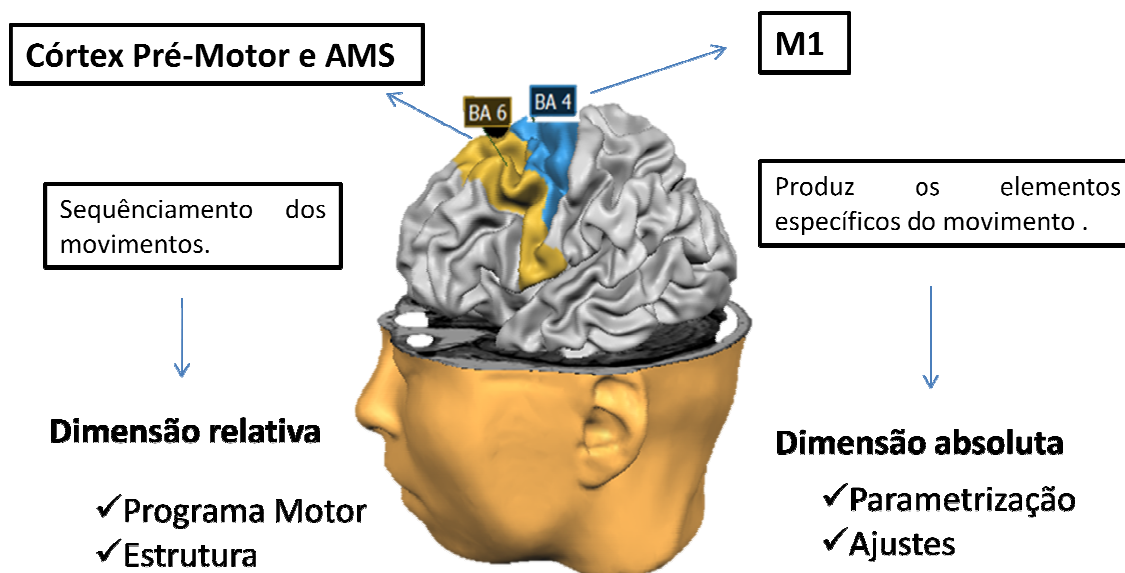
Em relação ao M1, tem sido observado que a prática aleatória promove aumento da atividade dessa área ao longo da prática quando comparado às práticas com natureza menos repetitiva, como a prática em blocos (CROSS *et al.*, 2007; WYMBS; GRAFTON, 2009). Esses resultados mostram que o M1 tende a aumentar mais o nível de atividade durante a prática de natureza menos repetitiva do que na prática de natureza mais repetitiva. A melhor consolidação das habilidades observada na prática aleatória parece ser fruto dessa maior atividade observada em áreas motoras

Análises do nível de excitabilidade cortical por meio da aplicação da estimulação transcraniana magnética mostram maior excitabilidade do M1 durante a aquisição na prática aleatória do que na prática em blocos. Excitabilidade refere-se à capacidade de gerar e propagar potenciais de ação (PURVES *et al.*, 2012). Essa maior excitabilidade na fase de aquisição associa-se à qualidade do desempenho nos testes de aprendizagem. Quando comparado o nível de excitabilidade do M1 no início da fase de aquisição para o teste de retenção, um aumento é observado somente na prática aleatória (LIN *et al.*, 2011).

A aplicação da estimulação transcraniana magnética no M1 durante os intervalos inter-tentativas perturba o processamento na prática aleatória, levando à menor nível de aprendizagem. O mesmo não ocorre com a prática em blocos (LIN; FISHER; WINSTEIN, 2008; LIN *et al.*, 2009). Mais especificamente, essa perturbação afeta mais a aprendizagem dos parâmetros temporais da habilidade do que os parâmetros espaciais (LIN *et al.*, 2009).

Esses achados apontam para uma estreita associação entre prática aleatória e a atividade motora cortical no M1. Se a prática de natureza menos repetitiva favorece mais a aprendizagem da dimensão absoluta do que a dimensão relativa (LAI; SHEA, 1998), é possível levantar a hipótese de que o M1 tem um papel importante na parametrização do movimento (FIGURA 4).

Figura 4 – Associações entre áreas e funções neurobiológicas com construtos comportamentais. O córtex pré-motor e área motora suplementar (AMS) estariam nessa proposta associados à organização da sequência do movimento denominada comportamentalmente de dimensão relativa. O M1 estaria associado à produção de elementos específicos do movimento denominada de dimensão absoluta



Fonte: Imagem adaptada do software BrainVoyagerBrain Tutor e de autoria do próprio autor.

2.4 Estimulando o M1 para favorecer a aprendizagem da dimensão absoluta da habilidade

O papel do M1 na produção de elementos específicos do movimento, que no presente trabalho, assumisse que seja a parametrização do movimento, ainda necessita de ser investigado. Isso decorre das diferenças entre objetivos, conceitos, tarefas e medidas observadas nos diferentes níveis de análise. Por exemplo, o papel da medida dependente nos estudos neurobiológicos não distingue o que é produção e aprendizagem de aspectos relacionados à dimensão relativa e absoluta da habilidade.

Uma possível abordagem metodológica seria a comparação entre a prática de natureza menos repetitiva e a prática de natureza mais repetitiva com estimulação no M1. Mais especificamente, é possível que mesmo sob a condição de prática constante, a aprendizagem da parametrização seja otimizada a partir da estimulação do M1.

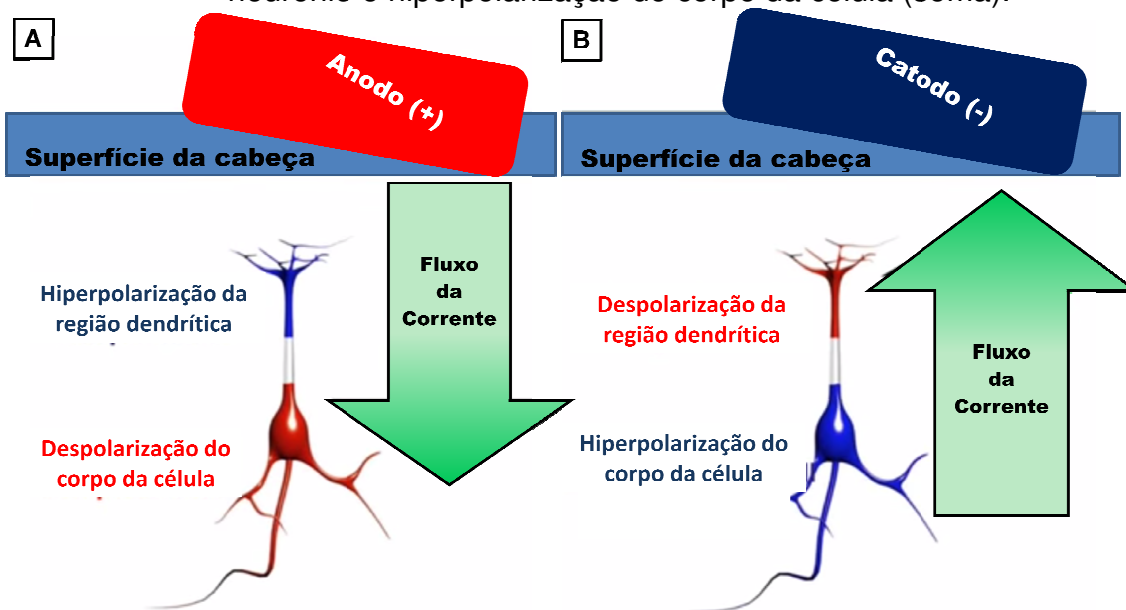
A utilização de fármacos e técnicas de estimulação não invasivas são alguns exemplos de manipulação externa da excitabilidade neural (STAGG; NITSCHKE, 2011). As técnicas não invasivas de estimulação têm a capacidade de modificar funções cerebrais influenciando, por exemplo, a aprendizagem. Esses benefícios podem ser observados tanto em indivíduos saudáveis, quanto em indivíduos com comprometimento neurológico (REIS *et al.*, 2008; UKUEBERUWA; WASSERMANN, 2010).

A Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) é uma dessas técnicas de estimulação não invasiva, que consiste em uma aplicação de baixa corrente elétrica contínua sobre o couro cabelo com intuito de aumentar ou diminuir a excitabilidade cortical (BATSIKADZE *et al.*, 2013; NITSCHKE *et al.*, 2008). Essa técnica gera corrente elétrica de baixa intensidade no cérebro conduzindo a pequenas mudanças no potencial de membrana (NITSCHKE; PAULUS, 2000).

A atividade neural é codificada pela frequência dos picos de disparo, que por sua vez é controlada pelo potencial de membrana. Potenciais mais positivos levam ao aumento da taxa de disparo e potenciais mais negativos reduzem a taxa de disparo (PURVES *et al.*, 2012). A ETCC muda a excitabilidade da rede neural, sem disparar potenciais de ação (STAGG; NITSCHKE, 2011). A alteração no potencial de membrana que não é suficiente para alcançar o limiar de ação é conhecida com resposta sublimiar. A resposta sublimiar é caracterizada por propagar-se decrescentemente por um pequeno fragmento de axônio (mais ou menos 3 mm) até extinguir-se (LENT, 2010).

Embora os mecanismos de plasticidade neural relacionados à ETCC ainda não estejam totalmente esclarecidos, destaca-se como principal mecanismo a mudança da excitabilidade ao qual a estimulação via anodo (eletrodo positivo) leva a uma hiperpolarização dos dendritos e uma despolarização do corpo da célula (soma) (FIGURA 5A) e a via catodo (eletrodo negativo) a uma despolarização dos dendritos e uma hiperpolarização do corpo celular (soma) (FIGURA 5B) (LIEBETANZ *et al.*, 2002; NITSCHKE *et al.*, 2003; ROSENKRANZ *et al.*, 2000).

Figura 5 – A) O anodo, colocado sobre a superfície da cabeça, leva a uma hiperpolarização da região dendrítica do neurônio e despolariza o corpo da célula. B) O catodo, colocado sobre a superfície da cabeça, leva a uma despolarização da região dendrítica do neurônio e hiperpolarização do corpo da célula (soma).



Fonte: Imagem adaptado de Ukueberuwa e Wassermann, 2010.

A partir da proposta da lei Hebbiana (HEBB, 1949), que propõe que os neurônios que disparam juntos permanecem juntos, vários outros mecanismos relacionados à plasticidade neural têm sido descobertos. Um desses mecanismos é a potencialização a longo prazo (em inglês *long-term potentiation* - LTP) (COOKE; BLISS, 2006). Segundo Hebb (1949), a sincronização da atividade elétrica entre os neurônios pré-sináptico e pós-sináptico fortalece a conexão entre os neurônios. A LTP é um dos principais mecanismos envolvidos na formação de memória, e possivelmente age através da sincronização de dois neurônios fortalecendo a conexão entre eles (RIOULT-PEDOTTI, 2000). Esse mecanismo permite a modulação da sinapse pelo fortalecimento que se estabiliza por dias, semanas, meses ou anos (COOKE; BLISS, 2006), sendo provavelmente o principal mecanismo relacionado à ETCC (FRITSCH *et al.*, 2010).

A aplicação da ETCC favorece a aprendizagem motora em variadas tarefas tais como digitação (CUYPERS *et al.*, 2013), adaptação visual (ANTAL *et al.*, 2004), controle de força (WILLIAMS; HOFFMAN; CLARK, 2013), *timing* coincidente (VICARIO; MARTINO; KOCH, 2013), tarefa serial de tempo de reação (KANG; PAIK, 2011), apontamento (GALEA; CELNIK, 2009) entre

outras. A ETCC aplicada por 10 minutos, não apenas influencia excitabilidade cerebral durante a sua aplicação, mas pode induzir alterações persistentes na excitabilidade que podem durar cerca de 1 hora no M1 (PRIORI, 2003). Essas modificações na excitabilidade associadas à prática motora podem favorecer a aquisição de uma habilidade sobre múltiplos dias tornando-a mais resistente a interferências (REIS *et al.*, 2009).

Assim, a aplicação da ETCC seria uma técnica de estimulação externa que pode favorecer a aprendizagem das dimensões relativa e absoluta da habilidade. Mais especificamente, é possível que a estimulação do M1, mesmo sob a condição de prática constante, poderia favorecer a aprendizagem da dimensão absoluta da habilidade.

3 OBJETIVO GERAL

O objetivo do estudo é verificar o papel do M1 na aprendizagem motora.

4 HIPÓTESE

O M1 está mais associado à aprendizagem da dimensão absoluta do que a dimensão relativa da habilidade.

5 MÉTODO

5.1 Amostra

A amostra do estudo foi composta por 48 indivíduos de ambos os gêneros (24 homens e 24 mulheres), estudantes universitários destes com idade entre 18 a 35 anos (idade média = $25,81 \pm 3,91$ anos). Foram incluídos na amostra participantes que declararam não apresentar nenhum comprometimento neurológico e não estar utilizando implantes de metal no crânio ou marca-passos cardíacos. Também foi observado se queixavam de dores de cabeça recorrentes, apresentavam gravidez, histórico recente de epilepsia e estavam ingerindo medicamentos que fosse susceptível a alterar a excitabilidade do cérebro (NITSCHKE *et al.*, 2008). Os participantes foram recrutados por meio de convite pessoal e anúncio na Escola de Educação Física e Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da UFMG.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, respeitando todas as normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Saúde para pesquisas com seres humanos, com o CAAE 24116513.2.0000.5149.

Foi realizado inicialmente um piloto com 10 voluntários para determinar o tamanho da amostra. O cálculo amostral foi realizado a partir da variável dependente com o coeficiente de variação mais elevado do estudo piloto. A variável que apresentou o coeficiente de variação mais elevado foi o erro absoluto. O cálculo amostral foi realizado seguindo o modelo proposto por Rosner (2011):

$$n = \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \left(z_{1-\frac{\alpha}{2}} + z_{1-\beta} \right)^2}{\Delta^2} = \text{Tamanho da amostra para cada grupo}$$

Sendo que:

- σ_1^2 = variância da media do primeiro grupo;
- σ_2^2 = variância da media do segundo grupo;
- $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ = valor de alfa na tabela z dividido por dois subtraído por 1;
- $z_{1-\beta}$ = valor de beta na tabela z por 1;

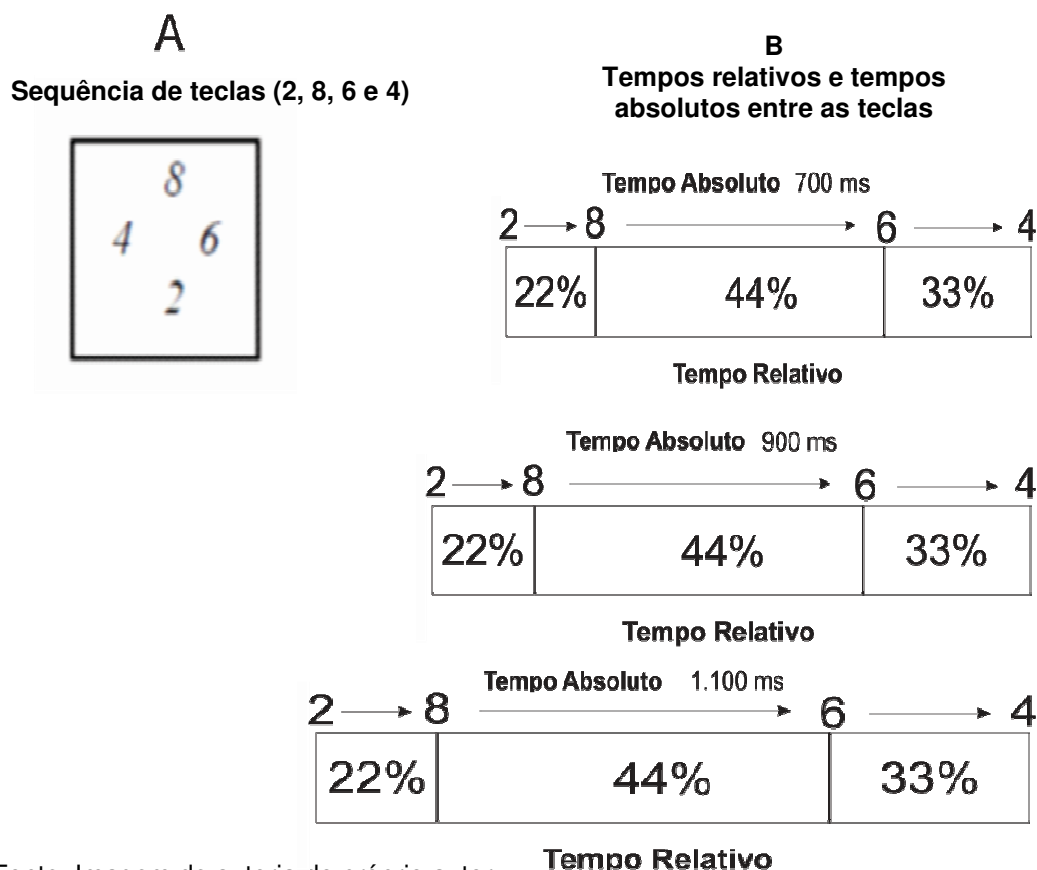
- Δ^2 = diferença entre as médias dos grupos.

5.2 Instrumentos e tarefa motora

Foi utilizado um microcomputador, no qual os participantes utilizavam um teclado numérico para digitar uma sequência pré-determinada de teclas com o dedo indicador (2, 8, 6 e 4) e um software específico para controle das tarefas e armazenamento dos dados.

A tarefa foi similar à tarefa utilizada por Lage (2005), contendo o mesmo número de tentativas na fase de aquisição e testes de aprendizagem. A tarefa consistiu em realizar uma sequência de movimentos, teclando os números 2, 8, 6 e 4 em um teclado numérico em tempos alvos absoluto de 700, 900 e 1.100 ms., e em um tempo relativo entre as teclas (22.2% de 2 para 8, 44.4% de 8 para 6 e 33.3% de 6 para 4) (FIGURA 6).

Figura 6 – Desenho esquemático das teclas digitadas no experimento e os tempos alvo absoluto e relativo. (A) teclado numérico e a sequência definida. (B) Tempos alvos absolutos e tempos alvos relativos.



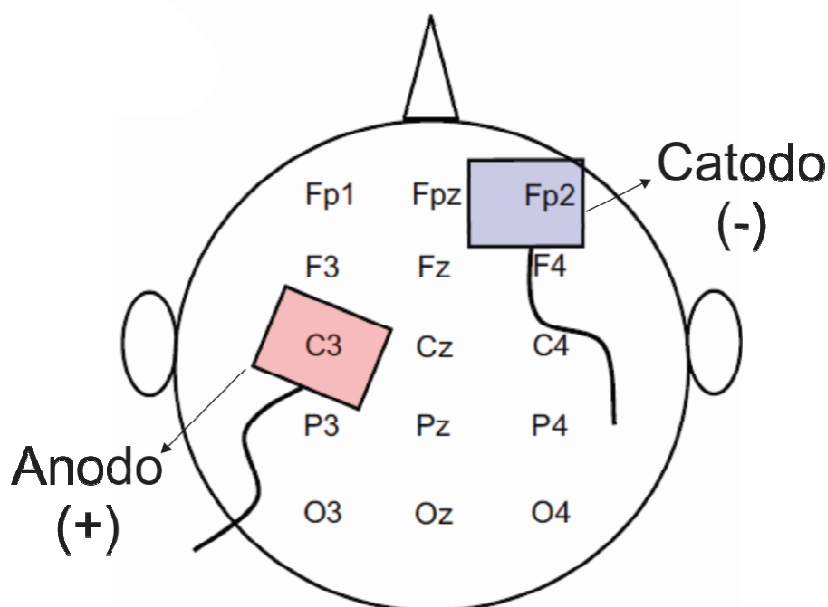
Fonte: Imagem de autoria do próprio autor.

5.3 Estimulação transcraniana por corrente contínua

Com os participantes sentados confortavelmente em uma cadeira, foi aplicada a ETCC. O equipamento utilizado foi da marca HDC kit_MarcaMagstim. A estimulação foi aplicada por meio de dois elétrodos cobertos por uma esponja (área de superfície de 25 cm² para cada um dos elétrodos). As esponjas foram embebidas em uma solução salina. A utilização da solução salina e esponjas sevem para evitar a transmissão de calor para o couro cabeludo (NITSCHKE *et al.*, 2008).

Um elétrodo anodo (positivo) foi colocado sobre o M1 (C3 do sistema internacional 10-20 de EEG) esquerdo e o eletrodo catodo (negativo) foi colocado sobre a área supraorbital contralateral (no Fp2 do sistema internacional 10-20 de EEG), seguindo o sistema internacional 10-20 para uso com eletroencefalograma (EEG) (FIGURA 7).

Figura 7 – Desenho esquemático das posições do eletrodo seguindo o sistema internacional 10-20 de EEG. A posição C3 equivale ao M1 e a posição Fp2 área supraorbital



Fonte: Imagem adaptada de Nitsche *et al.* 2008.

Foi utilizado uma intensidade de 1 mA (densidade de corrente de 0,04 mA/cm²; carga total de 0,048 C/cm²). Os participantes do grupo que receberam a estimulação placebo passaram pelos mesmos procedimentos que os

voluntários do grupo com ETCC, ou seja, mesmo equipamento, mesmo local de aplicação e mesma intensidade, porém a estimulação permaneceu por apenas 36 segundos nesses participantes. Para a estimulação placebo, a ETCC pode ser aplicada por alguns segundos e, em seguida, retirada gradativamente, pois a maioria dos participantes relatam sentir a sensação de coceira só inicialmente durante a aplicação (NITSCHKE *et al.*, 2008).

5.4 Delineamentos e procedimentos

A coleta de dados foi realizada pelo próprio discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com a colaboração de um discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte (UFMG). As coletas de dados foram realizadas individualmente. Logo após assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido, os participantes responderam o Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971) para a determinação do índice de lateralidade do participante. Todos os participantes que realizaram a tarefa motora se auto-declararam destros e apresentaram índice de preferência acima de 80 pontos para a mão direita. Em seguida os participantes receberam instruções verbais e demonstração sobre a tarefa e as formas de *feedback* disponibilizadas pelo *software*. Assentados em frente ao microcomputador, os participantes ajustaram o monitor de vídeo e o teclado aos seus critérios. A coleta foi realizada em uma sala específica para essa finalidade. A informação sobre os tempos relativos foi disposta durante toda a fase de aquisição na tela do microcomputador e ao início de cada tentativa a informação sobre o tempo alvo total foi disponibilizada para os participantes.

Os participantes foram aleatoriamente alocados e contrabalanceados em sexo, em três grupos experimentais: grupo de prática constante com ETCC (GPC-ETCC), grupo de prática constante com ETCC placebo (GPC-P) e grupo de prática aleatória sem ETCC (GPA). O experimento foi dividido em fase de aquisição e testes de retenção e transferência.

Na fase de aquisição todos os grupos de prática constante (GPC-ETCC e GPC-P) executaram 120 tentativas no tempo total de 900 ms. A quantidade total de tentativas adotada foi de acordo com estudo de Lage (2005) e através

do estudo piloto realizado. Os participantes do GPC-ETCC e GPC-P receberam estimulação sobre o M1 durante 20 minutos antes da prática. Porém, os participantes do grupo GPC-P receberam estimulação por um breve período de tempo, constituindo, assim, um grupo placebo. Para os participantes desse grupo, todo o aparato foi posicionado, e os mesmos receberam ETCC por apenas 36 segundos, após esse período de tempo o aparelho foi desligado seguindo a própria configuração do equipamento, sem que os participantes percebessem. Assim os participantes do GPC-P permaneceram com todo aparato até o fim dos 20 minutos. Imediatamente após os 20 minutos de estimulação ou placebo os participantes do GPC-ETCC e GPC-P deram início à tarefa.

Os participantes do grupo de prática aleatória (GPA) não receberam ETCC durante a fase de aquisição. Eles praticaram as mesmas 120 tentativas da habilidade, porém em três diferentes tempos totais: 700, 1.100 e 900 ms, mantendo as mesmas proporções do tempo relativo dos GPC-ETCC e GPC-P. Cada sujeito praticou 40 tentativas em cada um dos três tempos totais de forma pseudoaleatória, evitando apenas a repetição consecutiva dos tempos totais. Durante a fase de aquisição os participantes de todos os grupos receberam o conhecimento de resultados após cada tentativa. O conhecimento de resultados incluiu as seguintes informações: erro percentual dos 3 tempos relativos, tempo total absoluto em milissegundos e o percentual do erro total relativo que se refere a soma dos 3 valores de erro relativo apresentados na tela do monitor.

O teste de retenção foi realizado 24 horas após o fim da fase de aquisição. O teste consistiu em 12 tentativas da tarefa com tempo absoluto de 900 ms, sem o fornecimento de feedback e o uso de ETCC. O teste de transferência foi realizado imediatamente após o teste de retenção. Nesse teste os indivíduos executaram 12 tentativas da tarefa no tempo absoluto de 1.300 ms.

5.5 Análise dos dados

Foi realizada uma análise estatística descritiva caracterizada pela média e desvio padrão das variáveis dependentes: erro absoluto e erro relativo. O erro relativo se refere à soma das diferenças entre a proporção alvo e a proporção atingida para cada segmento.

$$ER = (|S1 - 22,2| + |S2 - 44,4| + |S3 - 33,3|) \times 100$$

Sendo que:

- segmento 1 (S1): refere-se ao tempo entre os toques nas teclas 2 e 8;
- segmento 2 (S2): refere-se ao tempo entre os toques nas teclas 8 e 6;
- segmento 3 (S3): refere-se ao tempo entre os toques nas teclas 6 e 4.

As proporções dos segmentos foram calculadas pela equação: $S_n = (\text{tempo realizado no segmento} / \text{tempo total do movimento}) \times 100$.

A medida de erro relativo se relaciona ao ganho de consistência, ou seja, a formação da estrutura do movimento. O erro absoluto corresponde à diferença entre o tempo realizado em valor absoluto e o tempo total desejado, possibilitando inferências sobre a capacidade de parametrização dos participantes, ou seja, sobre a adaptabilidade adquirida na aprendizagem.

Análise de normalidade dos dados foi realizada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. Para análise inferencial foram utilizadas duas Anova *one-way* para os testes (retenção e transferência) e uma Anova *Two-way* com medidas repetidas no segundo fator (3 grupos x 10 blocos) para a fase de aquisição. Para as análises *post-hoc* foi utilizado o teste de Tukey. O valor de significância adotado foi de $p < 0,05$.

Foi realizada uma redução dos dados por meio de duas formas, intra-participantes e entre os participantes. A redução intra-participantes foi realizada através da média e desvio padrão das tentativas do sujeito. A redução entre os participantes foi realizada através da média e desvio padrão do grupo no qual o sujeito estava inserido. Para as duas formas de redução de dados foi adotada a fórmula proposta por Howell (1992):

$$Outlier = (DP * 2) \pm \bar{x}$$

Sendo que:

- DP=Desvio padrão
- \bar{x} = Média

A frequência média dos participantes que foram *outlier* entre os grupos estão apresentado no apêndice 2, 3, 4 e 5. A frequência média nas tentativas *outlier* estão apresentadas no apêndice 6.

6 RESULTADOS

Os dados foram organizados em blocos de 12 tentativas na fase de aquisição e testes de aprendizagem. Para análise descritiva e inferencial, todos os três grupos foram analisados em conjunto. Os resultados foram analisados em termos de média do erro relativo (ER) e erro absoluto (EA) na fase de aquisição e nos testes de retenção e transferência. Para a análise da variabilidade foi utilizado o cálculo do desvio padrão das médias das medidas de erro relativo e erro absoluto.

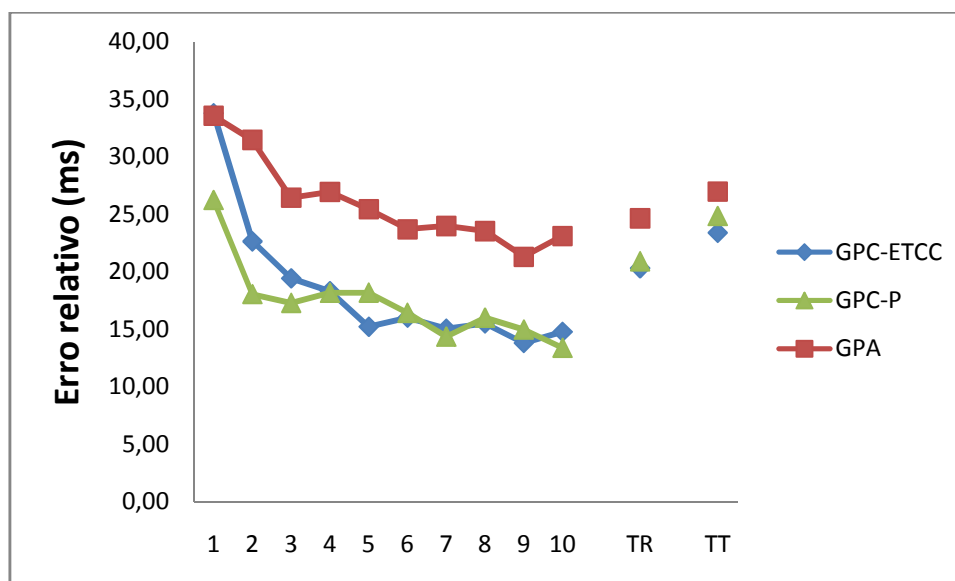
O intervalo de confiança e o coeficiente de variação das médias dos testes estão apresentados no apêndice 1. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi conduzido para avaliação da normalidade dos dados. O valor adotado de alfa foi de $p < 0,05$. Todos dados apresentaram normalidade.

6.1 Erro relativo

6.1.1 Fase de aquisição

Na fase de aquisição, a análise descritiva dos três grupos indicou uma maior estabilização e um melhor desempenho dos grupos que praticaram de forma constante (GPC-ETCC e GPC-P), principalmente a partir do 5º bloco. De forma geral, todos os grupos apresentaram uma melhora no desempenho, caracterizado pela diminuição do ER (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 – Médias do erro relativo de todos os grupos experimentais na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



Os dados da aquisição foram analisados através de uma Anova *two-way* (3 grupos X 10 blocos) com medidas repetidas no segundo fator. A Anova *two-way* detectou diferença significativa entre os grupos [$F(2,35)=18,29$, $p<0,001$, $\omega = 0,99$]. O teste *post-hoc* de Tukey indicou que os grupos GPC-ETCC e GPC-P ($p>0,05$) não se diferenciaram, porém, ambos os grupos foram superiores quando comparados ao GPA ($p<0,001$). Também foi verificada uma diferença significativa no fator blocos na fase de aquisição [$F(9, 35)=35,10$, $p<0,001$, $\omega=1,0$]. O teste *post-hoc* de Tukey apontou diferença entre os seguintes blocos:

- o 1º bloco com maior número de erro comparado aos demais ($p<0,001$);
- o 2º bloco com maior número de erros que o 4º, 5º, 6º, 7º, 8º, 9º e 10º bloco ($p<0,001$);
- o 3º e 4º bloco com maior número de erros que o 9º bloco ($p<0,001$);
- o 5º, 6º, 7º, 8º bloco com maior número de erros que o 10º bloco ($p<0,001$);
- o 10º bloco não se diferenciou do 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º e 9º bloco ($p<0,001$).

Foi ainda encontrada uma interação significativa entre grupos e blocos [$F(18, 35)=1,98$, $p<0,01$, $\omega=0,97$]. O teste *post-hoc* de Tukey apontou que o 1º

bloco dos grupos GPC-ETCC e GPA ($p>0,05$) foram iguais, porém tiveram um erro maior quando comparados ao e GPC-P ($p<0,001$). No 10º bloco os grupos GPC-ETCC e GPC-P foram iguais ($p>0,05$), porém tiveram o erro menor quando comparados ao GPA ($p<0,001$).

6.1.2 Testes de aprendizagem

Para análise inferencial foi utilizado uma Anova *one-way* (3 grupos x 1 bloco) para o teste de retenção e transferência. No teste de retenção não foi encontrando diferença significativa entre os grupos [$F(2, 44)=1,68, p>0,05, \omega=0,33$]. No teste de transferência também não foi encontrando diferença significativa entre os grupos [$F(2, 44)=1,54, p>0,05, \omega=0,31$].

6.1.3 Desvio padrão do erro relativo

Na fase de aquisição não houve diferença significativa nos desvio padrão entre os grupos no ER [$F(2, 44)=162,41, p>0,05, \omega=0,41$]. Porém houve interação significativa entre grupos e blocos no ER [$F(2, 18)=2,55, p<0,001, \omega=0,99$]. O teste *post-hoc* de Tukey apontou como principais diferenças na interação entre grupos e blocos para o desvio padrão do ER:

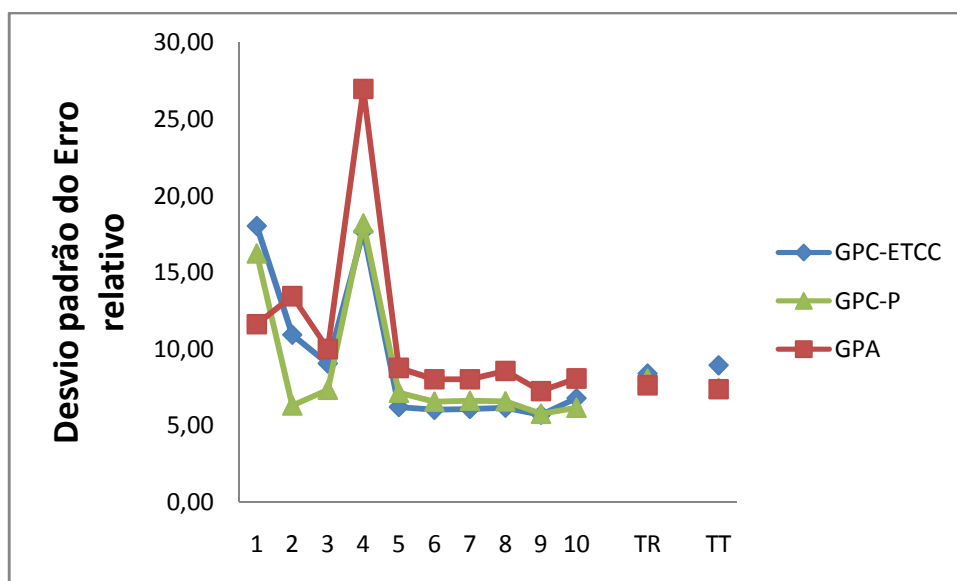
- o 1º bloco igual para todos os grupos ($p>0,05$);
- do 1º ao 10º bloco todos os grupos diminuíram o desvio padrão ($p<0,005$);
- no 10º bloco não houve diferença entre os grupos ($p>0,05$);
- no 4º bloco não houve diferença entre o grupo GPC-P e GPC-ETCC ($p>0,05$), porém o GPA foi pior quando comparado aos demais ($p<0,005$);
- a partir do 5º blocos não houve diferença significativa na interação entre grupos e blocos para no ER ($p>0,05$).

Na fase de aquisição também houve diferença significativa entre os blocos no desvio padrão do ER [$F(9, 44)=40,22, p<0,001, \omega=1,0$]. O teste *post-hoc* de Tukey apontou as seguintes principais diferenças nos blocos para o ER (Gráfico 2):

- o 1º bloco apresentou o desvio padrão maior quando comparado ao 10º bloco ($p<0,001$);

- o 4º bloco apresentou o desvio padrão maior quando comparado aos demais blocos ($p < 0,001$);
- o 10º bloco apresentou um desvio padrão menor quando comparado aos outros blocos ($p < 0,001$).

Gráfico 2 – Desvio padrão do erro relativo de todos os grupos experimentais na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



No teste de retenção não houve diferença significativa entre os grupos no desvio padrão do ER [$F(2, 44) = 0,22, p > 0,05, \omega = 0,08$]. Também no teste de transferência não houve diferença significativa entre os grupos no desvio padrão do ER [$F(2, 44) = 1,62, p = 0,07, \omega = 0,33$].

6.2 Erro Absoluto

6.2.1 Fase de aquisição

Quando se leva em consideração a medida de EA na fase de aquisição, todos os grupos mostraram melhor desempenho do início até o fim da fase de aquisição. Os grupos GPC-ETCC e GPC-P apresentaram melhor desempenho quando comparado ao grupo GPA.

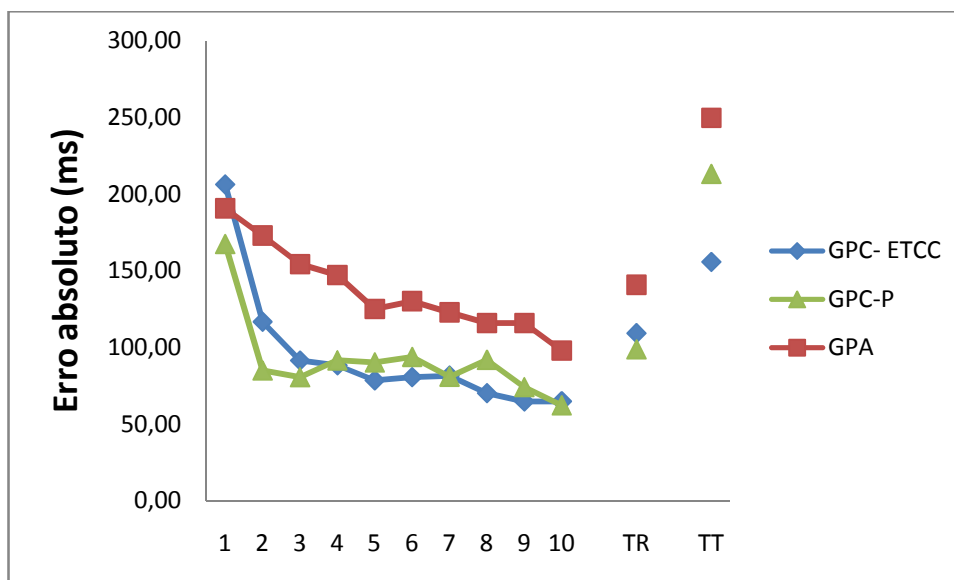
Os dados da aquisição foram analisados através de uma Anova *two-way* (3 grupos X 10 blocos) com medidas repetidas no segundo fator. A Anova *two-way* detectou diferença significativa entre grupos [$F(2, 35) = 12,56, p < 0,001$,

$\omega=0,99$]. O teste *post-hoc* de Tukey indicou que o GPC-ETCC e GPC-P não se diferenciaram ($p>0,05$), porém foram superiores quando comparados ao GPA (GRÁFICO 3). Foi também verificada uma diferença significativa no fator blocos na fase de aquisição [$F(9, 35)=24,16, p<0,001, \omega=1,0$]. O teste *post-hoc* de Tukey apontou diferença entre os seguintes blocos:

- o 1º bloco com maior número de erro comparado aos demais ($p<0,001$);
- o 2º bloco com maior número de erros que o 5º, 6º, 7º, 8º, 9º e 10º bloco ($p<0,01$);
- o 3º bloco não se diferenciou dos blocos 2º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º, 9º e 10º ($p>0,05$);
- o 4º bloco com maior número de erros que o 10º bloco ($p<0,05$);
- o 5º, 6º, 7º, 8º e 9º bloco não se diferenciaram até o 10º bloco ($p>0,05$).

Não foi encontrada interação significativa entre grupos e blocos [$F(18, 35)=0,87, p>0,05, \omega=0,63$].

Gráfico 3 – Médias do erro absoluto de todos os grupos experimentais na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



6.2.2 Testes de aprendizagem

Para análise inferencial foi utilizado uma Anova *one-way* para o teste de retenção e transferência. No teste de retenção não foi encontrando diferença

significante entre os grupos [$F(2, 44)=2,74$, $p>0,05$, $\omega=0,51$]. Já no teste de transferência foi encontrada diferença significativa entre os grupos [$F(2, 44)=3,62$, $p<0,05$, $\omega=0,63$]. O teste *post-hoc* de Tukey indicou que o GPC-ETCC foi superior quando comparado ao GPA ($p<0,05$). Já o GPC-P não se diferenciou ao GPA e do GPC-ETCC ($p>0,05$).

6.2.3 Desvio padrão do erro absoluto

Na fase de aquisição não houve diferença significativa nos desvio padrão do EA [$F(2, 44)=3,04$, $p>0,05$, $\omega=0,54$]. Porém houve interação significativa entre grupos e blocos no desvio padrão do EA [$F(2,44)=2,35$, $p<0,001$, $\omega=0,99$]. Para o desvio padrão do EA o teste *post-hoc* de Tukey apontou como principais diferenças na interação entre grupos e blocos:

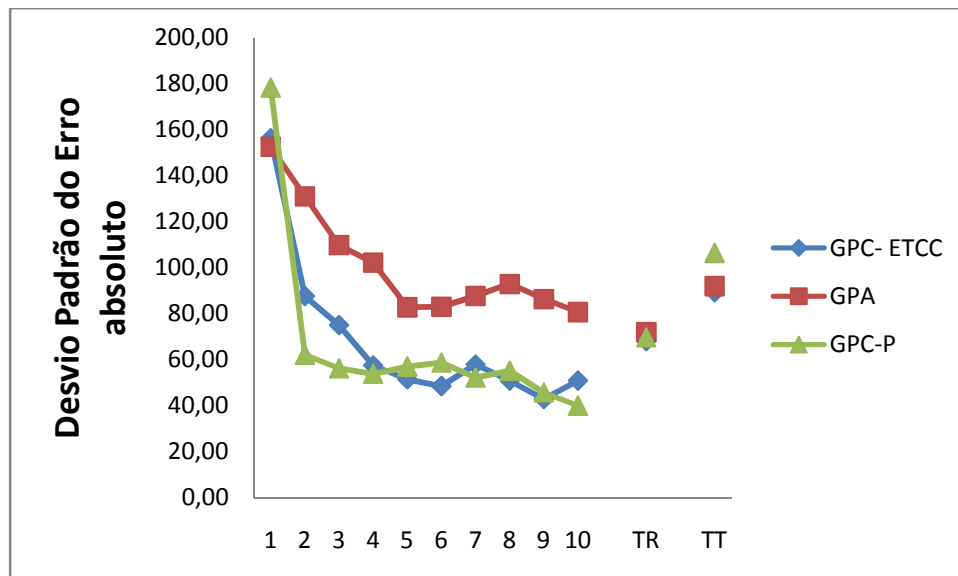
- o 1º bloco não houve diferença entre o GPA e GPC-ETCC ($p>0,05$), porém ambos tiveram um desvio padrão menor quando comparados ao GPC-P ($p<0,01$);
- do 1º ao 10º bloco todos os grupos diminuíram o desvio padrão ($p<0,01$);
- no 10º bloco não houve diferença entre os grupos ($p>0,05$);
- a partir do 2º bloco não houve diferença significativa na interação entre grupos e blocos ($p>0,05$).

Na fase de aquisição também houve diferença significativa entre os blocos no desvio padrão do EA [$F(9, 44)=2,35$, $p<0,001$, $\omega=1,0$]. O *post-hoc* de Tukey apontou como principais resultados:

- diminuição do desvio padrão do 1º para 10º bloco ($p<0,001$);
- estabilidade do desvio padrão a partir do 2º bloco ($p>0,05$).

No teste de retenção não houve diferença significativa entre os grupos no desvio padrão do EA [$F(2, 44)= 0,06$, $p>0,05$, $\omega=0,05$]. Também no teste de transferência não houve diferença significativa entre os grupos no desvio padrão do EA [$F(2, 44)= 0,76$, $p>0,05$, $\omega=0,05$] (GRÁFICO 4).

GRÁFICO 4 – Desvio padrão do erro absoluto de todos os grupos experimentais na fase de aquisição e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



6.4 Comparação entre primeiro bloco de aquisição e os testes de aprendizagem

A análise da curva de desempenho mostrou que o ER e o EA foram elevados no teste de transferência, o que poderia não caracterizar aprendizagem. Para avaliar essa questão, foi feita uma comparação entre o primeiro bloco da fase de aquisição com os testes de aprendizagem. No teste de retenção foi observado que os grupos apresentaram menor ER [$F(2, 40)=47,40$, $p<0,00$, $\omega=0,99$] e EA [$F(2, 40)=18,64$, $p<0,001$, $\omega=0,98$] quando comparado ao 1º bloco da aquisição. Esse resultado comprova que houve um efeito de aprendizagem para os grupos de prática. Já a análise do teste de transferência mostrou que o nível de erro foi menor para o ER [$F(2, 40)=13,25$, $p<0,01$, $\omega=0,94$] quando comparado ao nível de erro no 1º bloco da aquisição. Esse resultado indica que a estrutura do movimento foi aprendida. Somente na medida de EA foi observado que os grupos mantiveram os níveis de erro similares ao do 1º bloco da aquisição [$F(2, 40)=0,73$, $p>0,05$, $\omega=0,13$]. Uma análise conjunta desses resultados mostra que houve aprendizagem da tarefa, apenas a exigência de parametrização no teste de transferência parece ser exigente o bastante a ponto dos grupos elevarem o nível de erro.

Em estudos anteriores que utilizaram tarefas similares à utilizada no presente estudo (LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998), o erro no teste transferência foi também elevado para os grupos de prática. O mais importante é que a média do grupo prática constante com ETCC para o EA foi inferior quando se compara às médias dos grupos constantes de estudos anteriores (LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998). Esses estudos apresentaram aproximadamente 350 ms de EA para os grupos de prática constante, enquanto no presente estudo, a média ficou em 155,73 ms. Ou seja, o grupo constante que recebeu ETCC apresentou um nível de erro duas vezes menor do que o erro observado em estudos anteriores.

7 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi verificar o papel do M1 na aprendizagem motora. Foi levantada a hipótese que o M1 estaria mais associado à aprendizagem da dimensão absoluta do que a dimensão relativa da habilidade. Os resultados do presente estudo confirmam a hipótese levantada, pois a estimulação no M1 favoreceu a aprendizagem na dimensão absoluta da habilidade, mesmo sob a condição de prática constante.

Estudos comportamentais mostram que a prática aleatória tem sido considerada a estrutura de prática mais efetiva para a aquisição dimensão absoluta da habilidade (LAI *et al.*, 2000; LAI; SHEA, 1998). Porém, no presente estudo a prática constante com estimulação no M1 promoveu melhor aprendizagem da dimensão absoluta quando comparado ao grupo de praticou sob a condição aleatória. Provavelmente as alterações neurais promovidas pela ETCC, somadas às alterações promovidas pela prática constante, no M1 são mais efetivas do que as alterações neurais geradas pela prática aleatória na aprendizagem da dimensão absoluta.

Estudos neurobiológicos que investigaram o papel do M1 não têm utilizado tarefas que diferenciam a aprendizagem da dimensão absoluta e da dimensão relativa. Entretanto, é possível inferir através de uma análise conjunta dos estudos neurobiológicos e dos estudos comportamentais que o M1 está mais associado à aprendizagem da dimensão absoluta do que a dimensão relativa. Estudos neurobiológicos que investigaram o papel do M1 na aprendizagem de habilidades mostram melhoria no desempenho de medidas como força total (MARQUEZ *et al.*, 2013), tempo total (LIN; FISHER; WINSTEIN, 2008) e amplitude (KANTAK *et al.*, 2011). Apesar desses estudos não avaliarem separadamente as dimensões absoluta e relativa, por muitas vezes essas variáveis são entendidas como variáveis relacionadas à capacidade de parametrização.

No presente estudo não foram encontradas diferenças entre os grupos na dimensão relativa. É possível que o M1 não tenha participação relevante na aprendizagem da dimensão relativa. Possivelmente a área motora suplementar e o córtex pré-motor estejam mais envolvidos na formação da estrutura espaço-temporal (KORNYSHEVA; DIEDRICHSEN, 2014; ROLAND, 1993;

VOLLMANN *et al.*, 2013), que no presente estudo assume-se que seja a dimensão relativa da habilidade. Propõe-se que estudos futuros investiguem tal proposição, utilizando tarefas que diferenciem a aprendizagem da dimensão relativa e absoluta da aprendizagem como utilizada no presente estudo.

O grupo placebo no presente estudo praticou de forma constante a tarefa, seguindo as mesmas configurações dos eletrodos no escalpo do grupo que recebeu o tratamento com ETCC. Havia uma expectativa em decorrência de estudos anteriores que o placebo fosse inferior na transferência da dimensão absoluta e superior na dimensão relativa quando comparado ao grupo de prática aleatória (LAI *al.*, 2000; LAI, QIN; SHEA, 1998). Entretanto, no presente estudo o placebo não se diferenciou dos demais grupos nos testes de aprendizagem. O efeito placebo é conhecido há décadas, sendo encontrado o seu efeito em vários estudos (GRELOTTI; KAPTCHUK, 2011; HULL *et al.*, 2013; RAICEK; STONE; KAPTCHUK, 2012). O efeito placebo é caracterizado por uma resposta emocional devido ao tratamento mesmo quando há ausência de qualquer benefício fisiológico direto. Sentimentos e percepções podem surgir quando placebos como, drogas, procedimentos médicos e ou operações que não têm nenhum efeito sobre o processo da doença, são usados na prática clínica ou em ambientes de pesquisa (GRELOTTI; KAPTCHUK, 2011; KAPTCHUK *et al.*, 2008). Portanto, no presente o efeito placebo foi possível de ser encontrado tanto para beneficiar a aprendizagem na dimensão absoluta e para prejudicar a na dimensão relativa.

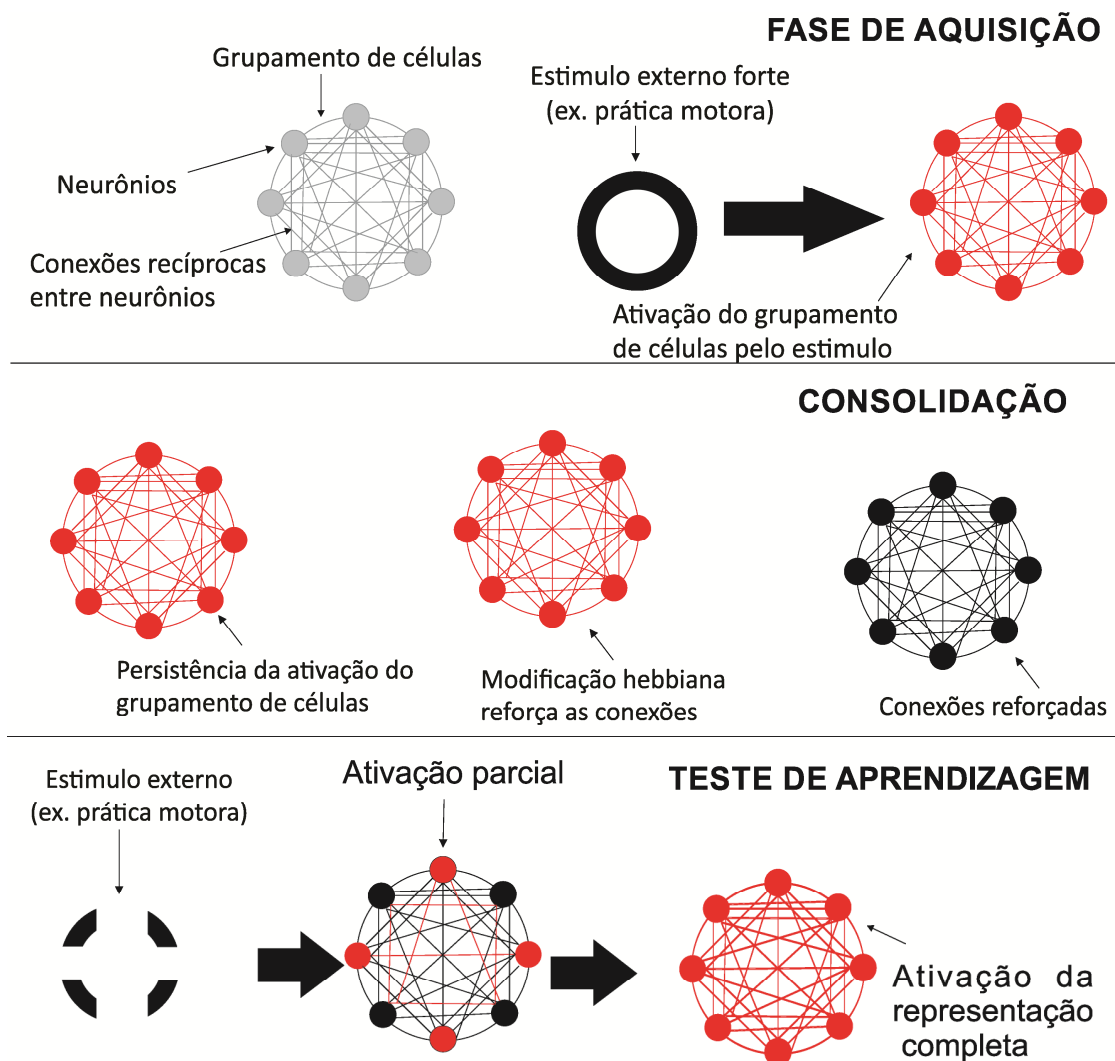
É possível propor pontos de acomodação entre os achados neurobiológicos relacionados ao M1 e os achados comportamentais que permitem inferências sobre a aprendizagem motora. Um desses pontos seriam a maior ativação e excitabilidade no M1 refletindo em melhor aprendizagem. A maior ativação e excitabilidade no M1 na fase de aquisição parecem ser impostas pela maior demanda cognitiva requerida pela forma que se pratica a habilidade (LIN *et al.*, 2011; SONG *et al.*, 2012). O esforço cognitivo requerido, por exemplo, pela interpolação de habilidades na fase de aquisição, reflete em uma persistência da ativação e excitabilidade ao fim da prática. Entretanto, nos testes de aprendizagem o nível de excitabilidade permanece mais alto, mas há uma diminuição da ativação no M1. Essa persistência da excitabilidade e diminuição da ativação no M1 relaciona ao melhor aprendizagem (LIN *et al.*,

2011; WYMBS; GRAFTON, 2009). A redução da atividade e a persistência da ativação após dias ou anos de prática possivelmente indicam eficiência sináptica da rede neural envolvida na prática (NAITO; HIROSE, 2014).

Essa lógica apresentada acima parece estar associada à proposta de Hebb (1949). A representação interna de um objeto consiste em todas as células corticais que são ativadas pelo estímulo externo. A representação interna do objeto é mantida na memória de curto prazo enquanto houver reverberação da atividade através das conexões do agrupamento de células. Se a ativação desse agrupamento de células persistir, a consolidação ocorrerá por um processo que torna as conexões recíprocas mais eficientes. Posteriormente, se apenas uma fração das células do agrupamento for ativada por um estímulo subsequente mais fraco que o primeiro, fará com que toda representação interna seja evocada (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2002).

A partir dos resultados observados nos estudos que investigaram o papel do M1 na aprendizagem e da análise da lei Hebbiana, é possível propor um novo modelo de formação e recuperação de memória ao longo das fases envolvidas nos estudos de aprendizagem. É possível sugerir que uma maior ativação gerada, por exemplo, pelo maior esforço cognitivo ou pela ETCC na fase de aquisição, age como um estímulo forte causando uma maior ativação entre as conexões dos neurônios. A persistência da ativação das conexões dos neurônios durante o processo de consolidação conduz a uma modificação neural reforçando as conexões recíprocas. No teste de aprendizagem, um estímulo externo que contenha alguma característica da habilidade aprendida, ativa de forma parcial as conexões fortalecidas e ou formadas anteriormente. Essa ativação parcial conduz a um reconhecimento da habilidade, conduzindo o sujeito a uma evocação da memória motora, exprimindo ou não um comportamento (FIGURA 8).

Figura 8 – Esforço cognitivo exigido pela prática na fase de aquisição atua como um estímulo forte, causando uma maior ativação entre as conexões dos neurônios. A persistência da ativação das conexões dos neurônios durante o processo de consolidação acarreta na modificação neural reforçando as conexões recíprocas. No teste de aprendizagem, um estímulo externo que contenha alguma característica da habilidade aprendida, ativa de forma parcial as conexões fortalecidas e ou formadas anteriormente. Essa ativação parcial conduz a uma ativação total.



Fonte: Imagem adaptada de Bear, Connors e Paradiso, 2002.

Embora não se tenha medidas diretas do fortalecimento sináptico no presente estudo, estudos anteriores já apontam que a dificuldade imposta na fase de aquisição conduza a maiores níveis de integração em redes neurais ligadas ao M1 (DEBAS *et al.*, 2014; NAITO; HIROSE, 2014; SONG *et al.*, 2012). Segundo a lógica apresentada e os dados do presente estudo, o

fortalecimento das conexões do M1 possivelmente reflete na aprendizagem da dimensão absoluta do movimento.

Outra questão levantada nos estudos neurobiológicos que reforça a lógica apresentada acima é a forma que acontece a consolidação da habilidade na memória. Estudos que utilizaram o eletroencefalograma observaram que durante a realização da tarefa e durante o sono há um aumento da atividade cerebral em áreas do lobo frontal (MORIN *et al.*, 2008; NISHIDA; WALKER, 2007; WALKER; BRAKEFIELD; HOBSON, 2003). A principal conclusão desses estudos é que o aumento da atividade de determinadas frequências cerebrais (frequência de 12 a 16 Hz) no lobo frontal durante o sono relaciona-se à consolidação da habilidade motora (MORIN *et al.*, 2008; NISHIDA; WALKER, 2007; WALKER; BRAKEFIELD; HOBSON, 2003). Somados a esses resultados sobre ondas cerebrais, os achados de Walker *et al.* (2005) apontam que o M1 está ativado durante esse processo de consolidação da habilidade. Sendo que a demanda cognitiva imposta durante a prática é um fator que fortalece esse processo (KURIYAMA; STICKGOLD; WALKER, 2004). Portanto, a maximização do recrutamento de sistemas neurais, tais como o M1, consolidam de forma mais eficiente a representação da habilidade na memória (MORIN *et al.*, 2008).

Uma possível limitação do estudo é a localização espacial do M1 e o tamanho do eletrodo utilizado. Pode ser razoável supor que a aplicação da ETCC em áreas de estreita proximidade espacial, tais como, o M1, área motora suplementar, córtex pré-motor pode produzir resultados semelhantes. Esta questão é importante, no entanto, está fora do escopo deste trabalho e certamente merece consideração em estudos futuros.

8 CONCLUSÃO

No presente estudo foi utilizada uma abordagem metodológica que comparou a prática de natureza menos repetitiva e a prática de natureza mais repetitiva com estimulação no M1, com o objetivo de verificar o papel do M1 na aprendizagem motora. Foi possível observar que mesmo sob a condição de prática constante, a aprendizagem da parametrização foi otimizada a partir da estimulação do M1. Os resultados do presente estudo sugerem que o M1 tem um papel importante na aprendizagem motora. Mais especificamente, o M1 está mais envolvido na aprendizagem da dimensão absoluta do movimento do que a dimensão relativa.

Esses achados são complementares as proposições dos estudos de Neurociências, nas quais assumisse que o M1 é responsável por produzir os elementos específicos da habilidade (CUNNINGTON *et al.*, 2002; LANG *et al.*, 2013; LEIGUARDA; MARSDEN, 2000; KOLB; WHISHAW, 2009; ROLAND, 1993), ou seja, o que é denominado nos estudos comportamentais como parâmetros do movimento.

O papel do M1 na parametrização do movimento necessita-se de novas investigações, possivelmente esse é o primeiro trabalho que se propõe fazer uma integração dos conhecimentos produzidos no nível comportamental e neurobiológico.

REFERÊNCIAS

ANTAL, A. *et al.* Facilitation of visuo-motor learning by transcranial direct current stimulation of the motor and extrastriate visual areas in humans. **The European journal of neuroscience**, v. 19, n. 10, p. 2888–92, 2004.

BATSIKADZE, G. *et al.* Partially non-linear stimulation intensity-dependent effects of direct current stimulation on motor cortex excitability in humans. **The Journal of Physiology**, v. 591, n. Pt 7, p. 1987–2000, 2013.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

BUYS, E. J. *et al.* Selective facilitation of different hand muscles by single corticospinal neurones in the conscious monkey. **The Journal of Fisiologi**, v. 381, p. 529–549, 1986.

CHENEY, P. D. Role of Cerebral Cortex in Voluntary Movements A Review. **PHYS THER**, v. 65, p. 624–635, 1985.

CHIVIACOWSKY, S.; TANI, G. Efeitos da frequência do conhecimento de resultados na aprendizagem de uma habilidade motora em crianças. **Revista paulista de educação física**, v. 7, n. 1, p. 45–57, 1993.

COOKE, S. F.; BLISS, T. V. P. Plasticity in the human central nervous system. **Brain: a journal of neurology**, v. 129, n.7, p. 1659–73, 2006.

CROSS, E. S.; SCHMITT, P. J.; GRAFTON, S. T. Neural substrates of contextual interference during motor learning support a model of active preparation. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 19, n. 11, p. 1854–1871, 2007.

CUYPERS, K. *et al.* Is motor learning mediated by tDCS intensity? **PloS one**, v. 8, n. 6, p. e67344, 2013.

CUNNINGTON, R. *et al.* The preparation and execution of self-initiated and externally-triggered movement: a study of event-related fMRI. **NeuroImage**, v. 15, n. 2, p. 373–85, 2002.

DAYAN, E.; COHEN, L. G. Neuroplasticity subserving motor skill learning. **Neuron**, v. 72, n. 3, p. 443–454, 2012.

DEBAS, K. *et al.* Off-line consolidation of motor sequence learning results in greater integration within a cortico-striatal functional network. **NeuroImage**, v. 99, p. 50–8, 2014.

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

EVARTS, E. V. Relation of pyramidal tract activity to force exerted during voluntary movement. **Journal of neurophysiology**, v. 31, n. 1, p. 14–27, 1968.

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

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.

GEORGOPOULOS, A. P. *et al.* On the relations between the direction of two-dimensional arm movements and cell discharge in primate motor cortex. **The Journal of neuroscience** : the official journal of the Society for Neuroscience, v. 2, n. 11, p. 1527–1537, 1982.

GIUFFRIDA, C. G.; SHEA, J. B.; FAIRBROTHER, J. T. Differential transfer benefits of increased practice for constant, blocked, and serial practice schedules. **Journal of motor behavior**, v. 34, n. 4, p. 65–353, 2002.

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

GRELOTTI, D. J.; KAPTCHUK, T. J. Placebo by proxy. **BMJ** (Clinical research ed.), v. 343, p. 43-45, 2011.

HEBB, D. O. **The organization of behavior**. Nueva York: Wiley, 1949.

HOWELL, David C. **Statistical Methods for Psychology**. 3 ed. Boston: PWS-KENT, 1992.

HULL, S. C. *et al.* Patients' attitudes about the use of placebo treatments: telephone survey. **BMJ** (Clinical research ed.), v. 347, p. 37-57, 2013.

HUMPHREY, D. R.; SCHMIDT, E. M.; THOMPSON, W. D. Predicting measures of motor performance from multiple cortical spike trains. **Science (New York, N.Y.)**, v. 170, n. 959, p. 758–762, 1970.

KANG, E. K.; PAIK, N. J. Effect of a tDCS electrode montage on implicit motor sequence learning in healthy subjects. **Experimental & translational stroke medicine**, v. 3, n. 1, p. 4, 2011.

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.

KANTAK, S. S. *et al.* Transfer of Motor Learning Engages Specific Neural Substrates During Motor Memory Consolidation Dependent on the Practice Structure. **Journal of Motor Behavior**, v. 43, n. 6, p. 499–507, 2011.

KAPTCHUK, T. J. *et al.* Components of placebo effect: randomised controlled trial in patients with irritable bowel syndrome. **BMJ** (Clinical research ed.), v. 336, n. 7651, p. 999–1003, 2008.

KOLB, B.; WHISHAW, I. Q. **Fundamentals Of Human Neuropsychology**. 6. ed. New York: Worth Publishers, 2009.

KORNYSHEVA, K.; DIEDRICHSEN, J. Human premotor areas parse sequences into their spatial and temporal features. **eLife**, v. 3, p. 1–23, 2014.

KURIYAMA, K.; STICKGOLD, R.; WALKER, M. P. Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. **Learning & memory** (Cold Spring Harbor, N.Y.), v. 11, n. 6, p. 705–13, 2004.

LAGE, G. M. **Efeito de Diferentes Estruturas de Prática na Aprendizagem de Habilidades Motoras**. 2005. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

LAI, Q. *et al.* Optimizing generalized motor program and parameter learning. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 71, n. 1, p. 10–24, 2000.

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. 51–9, 1998.

LAM, W. K.; MASTERS, R. S. W.; MAXWELL, J. P. Cognitive demands of error processing associated with preparation and execution of a motor skill. **Consciousness and cognition**, v. 19, n. 4, p. 1058–61, 2010.

LANG, N. *et al.* Europe PMC Funders Group How does transcranial DC stimulation of the primary motor cortex alter regional neuronal activity in the human brain? **European Journal of Neuroscience**, v. 22, n. 2, p. 495–504, 2013.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios? conceitos fundamentais de neurociência**. 2 ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

LEYTON, A. S. F.; SHERRINGTON, C. S. Observations on the Excitable Cortex of the Chimpanzee, Orang-Utan, And Gorilla. **Quarterly Journal of Experimental Physiology**, v. 11, p. 135–22, 1917.

LIEBETANZ, D. *et al.* Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. **Brain: a journal of neurology**, v. 125, n. 10, p. 2238–47, 2002.

LIN, C. H.; FISHER, B. E.; WINSTEIN, C. J. Contextual Interference Effect: Elaborative Processing or Forgetting—Reconstruction? A Post Hoc Analysis of Transcranial Magnetic Stimulation—Induced Effects on. **Journal of Motor Behavior**, v. 40, n. 6, p. 578–586, 2008.

LIN, C. H. J. *et al.* Brain–behavior correlates of optimizing learning through interleaved practice. **Neuroimage**, n. 56, p. 1758–1772, 2011.

LIN, C. H. J. *et al.* Neural correlate of the contextual interference effect in motor learning: A kinematic analysis. **Journal of Motor Behavior**, v. 41, n. 3, p. 232–242, 2009.

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

MANOEL, E. J. Aprendizagem motora: o processo de aquisição de ações habilidosas. EDITORES ASSOCIADOS (Org.). **As ciências do esporte no Brasil**. Campinas, p. 103–131, 1995.

MARQUEZ, C. M. S.; ZHANG, X. Task-specific effect of transcranial direct current stimulation on motor learning. **Frontiers in human Neuroscience**, v. 7, p. 1–12, 2013.

MCKIERNAN, B. J. *et al.* Corticomotoneuronal Postspike Effects in Shoulder , Elbow, Wrist, Digit, and Intrinsic Hand Muscles During a Reach and Prehension Task Corticomotoneuronal Postspike Effects in Shoulder, Elbow, Wrist, Digit, and Intrinsic Hand Muscles During a Reach. **The American Physiological Society**, v. 80, p. 1961–1980, 1998.

MORIN, A. *et al.* Motor sequence learning increases sleep spindles and fast frequencies in post-training sleep. **Sleep**, v. 31, n. 8, p. 1149–56, 2008.

NAKAMURA, K. A. E.; SAKAI, K.; HIKOSAKA, O. Neuronal Activity in Medial Frontal Cortex During Learning of Sequential Procedures. **The American Physiological Society**, v. 22, p. 2671–2687, 1998.

NAITO, E.; HIROSE, S. Efficient foot motor control by Neymar’s brain. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 8, p. 1–7, 2014.

NISHIDA, M.; WALKER, M. P. Daytime naps, motor memory consolidation and regionally specific sleep spindles. **PloS one**, v. 2, n. 4, p. 341, 2007.

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

NITSCHKE, M.; PAULUS, W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. **The Journal of physiology**, v. 527, p. 633–9, 2000.

NITSCHKE, M. *et al.* Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. **Brain stimulation**, v. 1, n. 3, p. 206–23, 2008.

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

RAICEK, J. E.; STONE, B. H.; KAPTCHUK, T. J. Placebos in 19th century medicine: a quantitative analysis of the BMJ. **BMJ** (Clinical research ed.), v. 345, p. 83-26, 2012.

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

PURVES, Dale *et al.* **Medical Neuroscience**. 5 ed. Sunderland, MA U.S.A 2012.

REIS, J. *et al.* Contribution of transcranial magnetic stimulation to the understanding of cortical mechanisms involved in motor control. **The Journal of physiology**, v. 586, n. 2, p. 325–51, 2008.

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

RIOULT-PEDOTTI, M. S. Learning-Induced LTP in Neocortex. **Science**, v. 290, n. 5491, p. 533–536, 2000.

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

ROLAND, P. E. *et al.* Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. **Journal of neurophysiology**, v. 43, n. 1, p. 118–36, 1980.

ROSENKRANZ, K. *et al.* Diminution of training-induced transient motor cortex plasticity by weak transcranial direct current stimulation in the human. **Neuroscience letters**, v. 296, n. 1, p. 61–3, 2000.

ROSNER'S, Bernard. **Fundamentals of Biostatistics**. 7 ed. Boston: Books/Cole, 2011.

RUSHWORTH, M. F. S. *et al.* Role of the Human Medial Frontal Cortex in Task Switching : A Combined fMRI and TMS Study Role of the Human Medial Frontal Cortex in Task Switching: A Combined fMRI and TMS Study. **Journal Neurophysiology**, v. 87, n. 2002, p. 2577–2592, 2001.

SADATO, N. *et al.* Frequency-dependent changes of regional cerebral blood flow during finger movements. **Journal of cerebral blood flow and metabolism : official journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism**, v. 16, n. 1, p. 23–33, 1996.

SAUCEDO M. C. M. *et al.* Task-specific effect of transcranial direct current stimulation on motor learning. **Front Hum Neurosci**, v. 7, p. 333, 2013.

SEIDLER, R. D.; NOLL, D. C. Neuroanatomical correlates of motor acquisition and motor transfer. **Journal of neurophysiology**, v. 99, n. 4, p. 1836–45, 2008.

SEKIYA, H. *et al.* The contextual interference effect for skill variations from the same and different generalized motor programs. **Research quarterly for exercise and sport**. v.65, p.330- 338, 1994.

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, p.59-68, 1996.

SEKIYA, H.; MAGILL, R. A. The contextual interference effect in learning force and timing parameters of the same generalized motor program. **Human Journal of Studies Movement**, v. 39, p. 45–71, 2000.

SCHMIDT, R. A. Psychological Review. **American Psychological Association**, v. 82, n. 4, p. 225 – 260, 1975.

SHEA, C. H. *et al.* Consistent and variable practice conditions: effects on relative and absolute timing. **Journal of motor behavior**, v. 33, n. 2, p. 139–52, 2001.

SONG, S. *et al.* White matter microstructural correlates of superior long-term skill gained implicitly under randomized practice. **Cerebral Cortex**, v. 22, n. 7, p. 1671–1677, 2012.

STAGG, C. J.; NITSCHKE, Michael a. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. **The Neuroscientist: a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry**, v. 17, n. 1, p. 37–53, 2011.

TANAKA, S. *et al.* Differential contribution of the supplementary motor area to stabilization of a procedural motor skill acquired through different practice schedules. **Cerebral Cortex**, v. 20, n. 9, p. 2114-2121, 2010.

UKUEBERUWA, D.; WASSERMANN, E. M. Direct current brain polarization: a simple, noninvasive technique for human neuromodulation. **Neuromodulation: journal of the International Neuromodulation Society**, v. 13, n. 3, p. 168–73, 2010.

VICARIO, C. M.; MARTINO, D.; KOCH, G. Temporal accuracy and variability in the left and right posterior parietal cortex. **Neuroscience**, v. 245, p. 121–8, 15 2013.

VOLLMANN, H. *et al.* Anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over supplementary motor area (SMA) but not pre-SMA promotes short-term visuomotor learning. **Brain stimulation**, v. 6, n. 2, p. 101–7, 2013.

WALKER, M. P.; BRAKEFIELD, T.; HOBSON, J. A. Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. **Nature**, v. 425, p. 8–12, 2003.

WALKER, M. P. *et al.* The Functional Anatomy of Sleep-dependent Visual Skill Learning. **Cerebral Cortex**, v. 15, p. 1666–1675, 2005.

WILLIAMS, P. S.; HOFFMAN, R. L.; CLARK, B. C. Preliminary evidence that anodal transcranial direct current stimulation enhances time to task failure of a sustained submaximal contraction. **PloS one**, v. 8, n. 12, p. 1418, 2013.

WULF, G.; SCHMIDT, R.; DEUBEL, H. Reduced feedback frequency enhances generalized motor program learning but not parameterization learning. **Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition**, v. 19, n. 5, p. 1134–50, set. 1993.

WULF, G.; LEE, T. D.; SCHMIDT, R. A. Reducing knowledge of results about relative versus absolute timing: Differential effects on learning. **Journal of Motor Behavior**, v. 26, p. 362–389, 1994.

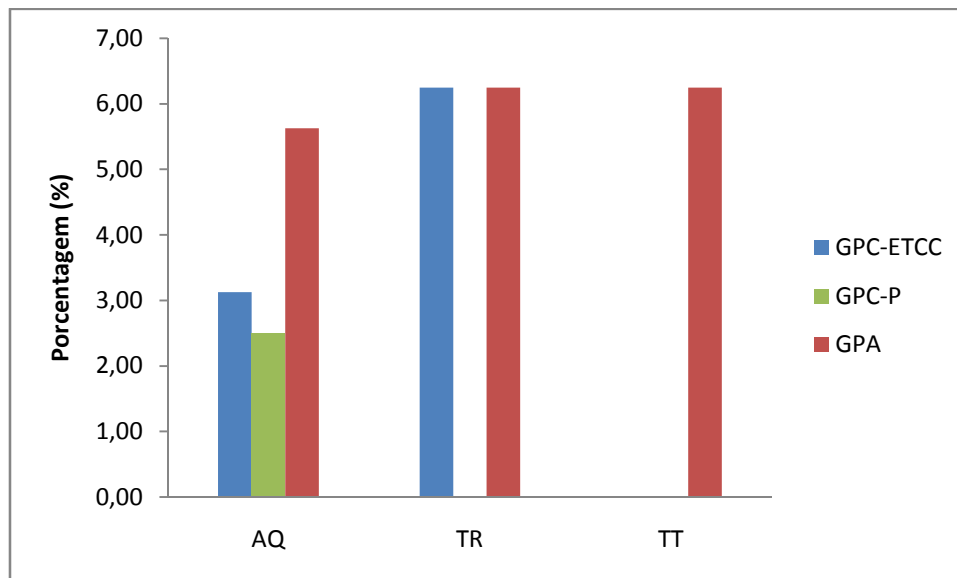
WYMBS, N. F. N.; GRAFTON, S. T.. Neural substrates of practice structure that support future off-line learning. **Journal of Neurophysiology**, v. 102, n. 4, p. 2462–2476, 2009.

APÊNDICES

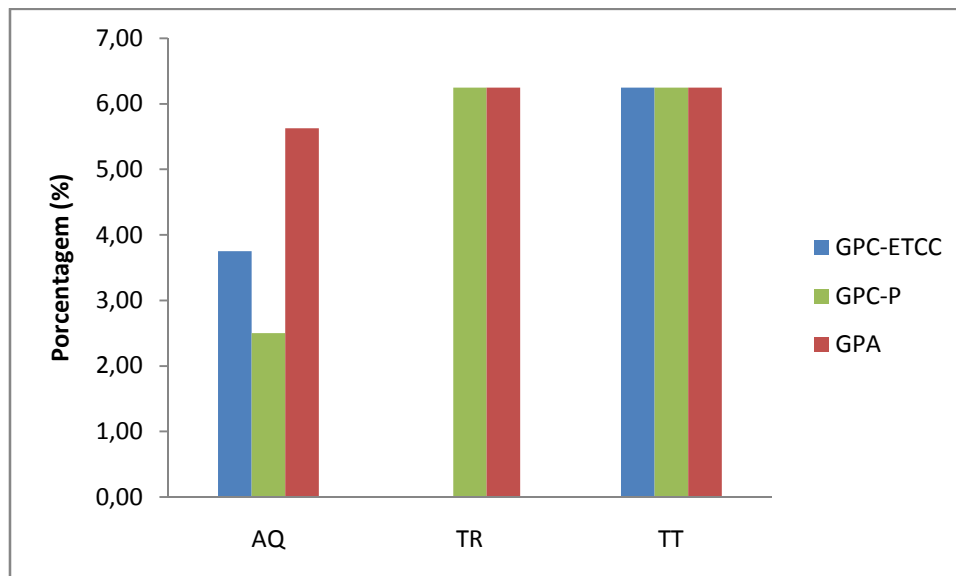
Apêndice 1 – Coeficiente de variação e intervalo de confiança e o das médias nos testes.

Erro relativo			
GPC-ETCC	Retenção	26,35 %	(±) 3,75925
GPC-ETCC	Transferência	26,17 %	(±) 4,29844
GPC-P	Retenção	41,15 %	(±) 4,21832
GPC-P	Transferência	26,37 %	(±) 3,21074
GPA	Retenção	26,86 %	(±) 3,24652
GPA	Transferência	34,93 %	(±) 4,61952
Erro Absoluto			
GPC-ETCC	Retenção	44,28 %	(±) 33,9523
GPC-ETCC	Transferência	37,94 %	(±) 41,4629
GPC-P	Retenção	35,78 %	(±) 17,3167
GPC-P	Transferência	39,26 %	(±) 41,031
GPA	Retenção	46,52 %	(±) 32,1212
GPA	Transferência	55,29 %	(±) 67,6386

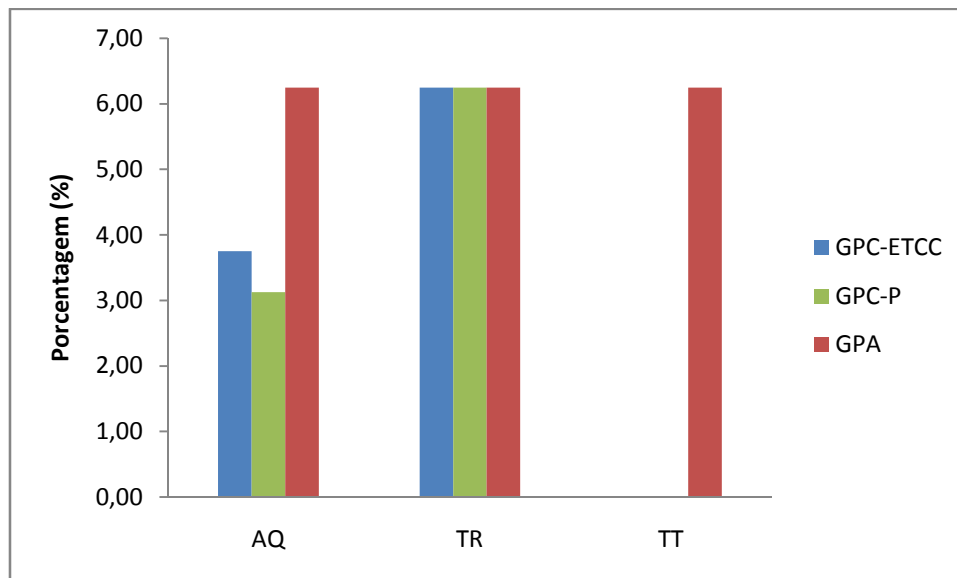
Apêndice 2 – Frequência média dos *outliers* no erro relativo (média) entre os grupos na fase de aquisição (AQ) e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



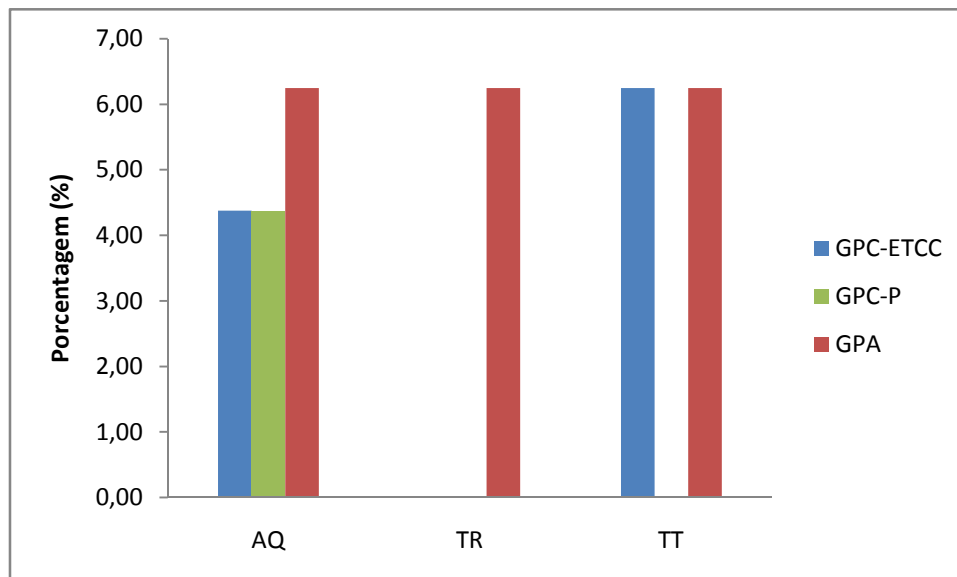
Apêndice 3 – A frequência média dos *outlier* no erro relativo (desvio padrão) entre os grupos na fase de aquisição (AQ) e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



Apêndice 4 – A frequência média dos *outlier* no erro absoluto (média) entre os grupos na fase de aquisição (AQ) e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



Apêndice 5 – A frequência média dos *outlier* no erro absoluto (desvio padrão) entre os grupos na fase de aquisição (AQ) e testes de retenção (TR) e transferência (TT).



Apêndice 6 – A frequência média e desvio padrão dos *outlier* no erro absoluto (EA) e erro relativo (ER) nas tentativas na fase de aquisição (AQ) e testes de retenção (TR) e transferência (TT).

