

CARLOS EDUARDO CAMPOS

**EFEITOS DO NÍVEL DE ESTABILIZAÇÃO DO DESEMPENHO E DA ESTRUTURAÇÃO DA
PRÁTICA NA ADAPTAÇÃO A PERTURBAÇÕES MECÂNICAS IMPREVISÍVEIS**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

2017

CARLOS EDUARDO CAMPOS

EFEITOS DO NÍVEL DE ESTABILIZAÇÃO DO DESEMPENHO E DA ESTRUTURAÇÃO DA PRÁTICA NA ADAPTAÇÃO A PERTURBAÇÕES MECÂNICAS IMPREVISÍVEIS

Tese de doutorado apresentado 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 de avaliação parcial de conclusão.

Orientador: Dr. Herbert Ugrinowitsch

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer minha família, minha mãe Sra. Alice “Maravilha” e meu pai Sr. Francisco Ribeiro Campos^(in memória). Pelos exemplos de vida, pelo carinho, pela dedicação, pela educação e os ensinamentos.

Aos meus irmãos, irmãs, sobrinhos e sobrinhas e...todos os meus familiares que de alguma forma me deram suporte para chegar até aqui.

Aos meus grandes amigos, em especial ao Luiz Amorin e ao Alex Chain pela amizade e apoio incondicional.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao Prof. Herbert Ugrinowitsch, Orientador desta tese, pela amizade, pela oportunidade de estar sempre aprendendo nas orientações e pela atenção fundamental nos momentos de dificuldade.

A minha Irmã mais que acadêmica, Crislaine Rangel Couto, pela amizade e companheirismo durante todo o processo. A quem aprecio, além da amizade, a perseverança e humanidade incomparável.

À nossa grande colaboradora e amiga Juliana Buere, pelo auxílio e paciência no processo de implementação da parte virtual do equipamento utilizado em minha tese.

Ao Prof. Rodolfo Benda, pela amizade, pelo incentivo e pelas grandes contribuições desde a minha graduação.

Ao Prof. Guilherme Lage pela amizade e pelas grandes contribuições acadêmicas.

Aos meus irmãos e amigos integrantes do GEDAM (em especial ao Arthur, Diego, Isabela e André pelo apoio incondicional).

Ao Prof. André Gustavo pela amizade e apoio incondicional durante o processo.

A Prof. Mauro Heleno Chagas pela amizade, pelas contribuições acadêmicas e por ter me trazido até o GEDAM.

Ao Prof. Eric Perreault pela oportunidade e apoio durante meu estágio em Chicago.

Ao Prof. HongChul pela amizade e apoio incondicional durante todo meu processo em Chicago.

A Prof. Lilian Gobbi pelos desafios acadêmicos lançados a serem alcançados.

Ao Robson e o Bruno “Mezenga” pela disponibilidade e pelas contribuições técnicas.

A todos os funcionários e funcionárias que de alguma forma me ajudaram durante o processo.

A essa Escola de Educação Física, na qual eu passei grande parte da minha vida.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima vez pode ser a vitoriosa”

Albert Einstein

RESUMO

A adaptação motora está relacionada à capacidade de se utilizar as estruturas de controle motor para prever ou modificar o planejamento tanto em função do contexto quanto em função do nível de estabilização do desempenho. A formação de estruturas de controle, bem como a recalibração e combinação das mesmas, parece estar condicionada à forma com que se pratica a habilidade. A prática de somente uma determinada habilidade, a interceptação a um alvo móvel usando somente uma carga externa, leva à formação de MIs com uma limitada capacidade de generalização, por outro lado em situações em que a prática é feita com maior variação, essa capacidade aumenta. A forma como a adaptação ocorre é vista a partir de observações nas estratégias e de inferências sobre os mecanismos de controle utilizados em tarefas de apontamento com e sem aplicação de força externa, e que podem ser utilizados para tarefas que envolvem interceptação de alvos móveis. Desta forma, os objetivos deste estudo foram desenvolvidos em duas direções. A primeira é investigar os efeitos da manipulação de diferentes níveis de estabilização do desempenho em função da estruturação da prática na adaptação a perturbações imprevisíveis. A segunda é investigar como o controle é realizado diante de perturbações imprevisíveis, em função de diferentes níveis de estabilização do desempenho e da estruturação da prática. Para alcançar esses objetivos foram realizados dois experimentos [Experimento I – quatro grupos (n=56); Experimento II – dois grupos (n=22)], em que os participantes foram submetidos a uma fase de prática, denominada fase de pré-exposição, e posteriormente (24 horas após) a uma fase de exposição a perturbações (ex: mudanças na carga externa). A tarefa consistia em mover o efetor físico (com tempo entre 200 e 250ms), a fim de interceptar um alvo virtual projetado em uma tela, que se moveu perpendicularmente em relação ao efetor ($v=145$ cm/s). Foram feitas análises tanto da fase de pré-exposição, quanto da fase de exposição a perturbações. Os resultados mostraram que alcançar o nível de estabilização do desempenho a partir de prática constante e prática aleatória, levam à formação de estruturas de controle que utilizam estratégias diferentes durante o processo de aquisição da habilidade, e que resultam em maior competência para a prática aleatória diante de perturbação. O alcance do nível de especialização do desempenho, a partir de prática constante, prática aleatória e prática combinada (Constante-Aleatória e Aleatória-Constante) parecem levar à formação de estruturas de controle que utilizam estratégias semelhantes, e refletem em melhores níveis de desempenho diante de perturbações motoras imprevisíveis. Desta forma, os achados do presente estudo permitem concluir que não só o nível de estabilização do desempenho, mas também a forma como a prática é estruturada influencia na formação das estruturas de controle motor e consequentemente na adaptação motora.

Palavras-chave: Adaptação Motora. Nível de estabilização do Desempenho. Estratégias de Controle. Modelos Internos. Tarefa de Interceptação.

ABSTRACT

Motor adaptation is related with the ability in how to use the structures of motor control to predict or modify the motor planning according to the context and the level of performance stabilization. The formation of control structures, as well as the recalibration and the combination of them, seems to be conditioned to the way in which the practice is scheduled. In this manner, the practice of only one particular skill, such as intercepting a moving target using an effector with just one weight, leads to the formation of Internal Models (MIs) with a limited capacity for generalization. On the other hand, the practice with greater variation increases this ability. Following this assumption, the present study has two aims. Firstly, to investigate the effects of two different levels of performance stabilization (e.g. level of ability) to unpredictable perturbations. Further, to investigate the control in function of different levels of stabilization and practice schedules. With this end, two experiments were performed [experiment I – four groups (n=56); experiment II – two groups (n=22)], in which the participants underwent a pre-exposure phase, and later (24 hours after) an exposure phase with mechanical perturbations (i.e. changing the external load). The task was to move a physical effector at a 200-250ms in order to intercept a virtual moving target projected on a screen perpendicularly to the virtual effector ($v=145\text{cm/s}$). The analysis was performed in both pre-exposure and exposure phase. The results revealed that the achieve of the level of stabilization with constant and random practice lead to the formation of structures control that use different strategies during the process of skill acquisition, which was even more prominent in the random practice. The achievement of the level of performance specialization, from constant practice, random practice and combined practice (Constant-Random and Random-Constant) seem to lead to the formation of control structures that use similar strategies and reflect in an improved performance when faced to unpredictable mechanical perturbation. Therefore, the findings of this study allow us to conclude that not only the level of stabilization of performance, but also the practice schedule influences the formation of structures control and consequently the motor adaptation.

Keywords: Motor Adaptation. Level of Stabilization. Control Strategy. Internal Model. Interception Task.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – A Figura (a) mostra o modelo de combinação simples de dois Módulos <i>experts</i> na geração de um comando motor. Na Figura (b) são mostrados dados correspondentes às duas tarefas aprendidas (L2 e L6), e os correspondentes à adaptação a partir dos pontos de início praticados (L1, L3, L4, L5, e L7). P2 e P6 representam os apontamentos realizados sob perturbação (distorção visual)	24
Figura 2 – Modelo esquemático da combinação de múltiplos pares de Modelos Internos. As linhas tracejadas representam a atuação do estimador de responsabilidade dentro de cada módulo. As linhas pontilhadas representam a atuação do Modelo Forward sem a utilização do <i>feedback</i> sensorial dentro de cada módulo. Os círculos cheios representam pontos de integração e processamento das informações de cada estrutura. O símbolo externo (+) representa a soma das informações processadas para que o comando chegue ao membro efector (adaptado de KAWATO, 1999; WOLPERT; KAWATO, 1998).....	28
Figura 3 – Tarefa de interceptação a alvo móvel. a. vista lateral. b. vista frontal posterior	37
Figura 4 – Sistema de captura de sinais eletromiográficos NORAXON EMGSystem 1400A (a esquerda). Colocação dos eletrodos de superfície sobre os músculos Deltóide Anterior (DAn), Deltóide Posterior (DPo), Biceps Braquial (BBr) e Tríceps porção lateral (TBl) (a direita)	38
Figura 5 – Síntese do delineamento do experimento I	41
Figura 6- Resultados de quatro blocos de 25% das tentativas das variáveis de desempenho e de controle motor referentes à fase de pré-exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA); b) o Erro Constante; c) o tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV); d) Número de correções; e) Co-contração de Deltóide Anterior/Posterior (%); e f) Co-contração de Biceps/Tríceps	47
Figura 7- Resultados do desempenho referentes à fase de exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA) em PI1; b) o Erro Absoluto (EA) em PI2; c) o Erro Absoluto (EA) em PI3	48
Figura 8- Resultados do Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) referentes à fase de exposição. a) representa o %tpV em PI1; b) o %tpV em PI2; c) o %tpV em PI3	50
Figura 9- Resultados do número de correções (NC) referentes à fase de exposição. a) representa o NC em PI1; b) o NC em PI2; c) o NC em PI3.....	51
Figura 10- Resultados da co-contração de Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) referentes à fase de exposição. a) a co-contração de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contração de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contração de DelAnt/Pos em PI3	52
Figura 11- Resultados da co-contração de Biceps/Tríceps (Bic/Tri) referentes à fase de exposição. a) a co-contração de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contração de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contração de DelAnt/Pos em PI3	54
Figura 12- Resultados do desempenho referentes à fase de exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA) em PII1; b) o Erro Absoluto (EA) em PII2; c) o Erro Absoluto (EA) em PII3	55

Figura 13- Resultados do Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) referentes à fase de exposição. a) representa o %tpV em PII1; b) o %tpV em PII2; c) o %tpV em PII3.....	57
Figura 14- Resultados do número de correções (NC) referentes à fase de exposição. a) representa o NC em PII1; b) o NC em PII2; c) o NC em PII3	58
Figura 15- Resultados da co-contracção de Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) referentes à fase de exposição. a) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI3	59
Figura 16- Resultados da co-contracção de Biceps/Triceps (Bic/Tri) referentes à fase de exposição. a) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI3	60
Figura 17 – Síntese do delineamento do experimento II	71
Figura 18 – Resultados de quatro blocos de 25% das tentativas das variáveis de desempenho e de controle motor referentes à fase de pré-exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA); b) o Erro Constante; c) o tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV); d) Número de correções; e) Co-contracção de Deltóide Anterior/Posterior (%); e f) Co-contracção de Biceps/Triceps (%)	74
Figura 19- Resultados do desempenho referentes à fase de exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA) em PI1; b) o Erro Absoluto (EA) em PI2; c) o Erro Absoluto (EA) em PI3	76
Figura 20- Resultados do Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) referentes à fase de exposição. a) representa o %tpV em PI1; b) o %tpV em PI2; c) o %tpV em PI3	77
Figura 21- Resultados do número de correções (NC) referentes à fase de exposição. a) representa o NC em PI1; b) o NC em PI2; c) o NC em PI3	78
Figura 22- Resultados da co-contracção de Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) referentes à fase de exposição. a) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI3	79
Figura 23- Resultados da co-contracção de Biceps/Triceps (Bic/Tri) referentes à fase de exposição. a) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI3	80
Figura 24- Resultados do desempenho referentes à fase de exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA) em PII1; b) o Erro Absoluto (EA) em PII2; c) o Erro Absoluto (EA) em PII3	81
Figura 25- Resultados do Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) referentes à fase de exposição. a) representa o %tpV em PII1; b) o %tpV em PII2; c) o %tpV em PII3	82
Figura 26- Resultados do número de correções (NC) referentes à fase de exposição. a) representa o NC em PII1; b) o NC em PII2; c) o NC em PII3	26

Figura 27- Resultados da co-contracção de Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) referentes à fase de exposição. a) a co-contracção de DelAnt/Pos em PII1; b) a co-contracção de DelAnt/Pos em PII2; c) a co-contracção de DelAnt/Pos em PII3 84

Figura 28- Resultados da co-contracção de Biceps/Triceps (Bic/Tri) referentes à fase de exposição. a) a co-contracção de DelAnt/Pos em PII1; b) a co-contracção de DelAnt/Pos em PII2; c) a co-contracção de DelAnt/Pos em PII3 85

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	Adaptação Motora e a natureza das perturbações	14
2.2	Adaptação motora e Nível de Estabilização do Desempenho	16
2.3	Adaptação motora e estruturação da prática.....	20
2.4	Adaptação motora e mecanismos de controle.....	24
2.4.1	<i>Estratégias de controle em tarefas de interceptação</i>	26
3.	OBJETIVO GERAL	29
3.2	Objetivos específicos	29
4.	EXPERIMENTO I	30
4.1	Objetivos específicos do Experimento I.....	30
4.2	Hipóteses do experimento I	30
4.3	Método – Experimento I.....	31
4.3.1	<i>Amostra</i>	31
4.3.2	<i>Instrumentos e trefa</i>	32
4.3.3	<i>Procedimentos</i>	33
4.3.4	<i>Delineamento</i>	35
4.3.5	<i>Descrição das variáveis de estudo</i>	36
4.3.6	<i>Variáveis dependentes</i>	37
4.3.7	<i>Análise estatística</i>	38
5	RESULTADOS DO EXPERIMENTO I	40
5.1	Fase de Pré-exposição	40
5.1.1	<i>Resultados de desempenho motor</i>	40
5.1.2	<i>Resultados das variáveis de inferência de controle motor</i>	40
5.1.3	<i>Medidas de co-contração</i>	41
5.2	Fase de Exposição – Perturbação I	43
5.2.1	<i>Resultados de desempenho motor dos blocos de P11, P12 e P13</i>	43
5.2.2	<i>Resultados do %tpV dos blocos P11, P12 e P13</i>	45
5.2.3	<i>Resultados do Número de correções dos blocos de P11, P12 e P13</i>	46
5.2.4	<i>Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) para blocos P11, P12 e P13</i>	47
5.2.5	<i>Co-contração dos músculos Biceps/Triceps (Bic/Tri) para blocos de P11, P12 e P13</i>	48

5.3 Fase de Exposição – Perturbação II	50
5.3.1 Resultados de desempenho motor dos blocos de PIII, PII2 e PII3.....	50
5.3.2 Resultados do %tpV dos blocos de PIII, PII2 e PII3	52
5.3.3 Resultados do Número de correções dos blocos de PIII, PII2 e PII3	53
5.3.4 Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) para blocos de PIII, PII2 e PII3	54
5.3.5 Co-contração dos músculos Biceps/Triceps (Bic/Tri) para blocos de PIII, PII2 e PII3	55
6 DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO I	56
6.1 Fase de Pré-exposição	56
6.1.1 Desempenho: Erro Absoluto e Erro Constante	56
6.1.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e número de correções.....	58
6.1.3 Medidas de co-contração.....	59
6.2 Fase de Exposição.....	60
6.2.1 Erro Absoluto e Erro Constante	60
6.2.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e número de correções.....	61
7 EXPERIMENTO II.....	63
7.1 Objetivos específicos do Experimento II.....	64
7.2 Hipóteses do experimento II.....	64
7.3 Método – Experimento I I	65
7.3.1 Amostra.....	65
7.3.2 Delineamento	65
7.3.3 Análise estatística.....	66
8 RESULTADOS DO EXPERIMENTO II	67
8.1 Fase de Pré-exposição	67
8.1.1 Erro Absoluto e Erro Constante	67
8.1.2 Resultados das variáveis de inferência de controle motor	68
8.1.3 Medidas de co-contração.....	70
8.2 Fase de exposição – Perturbação I	70
8.2.1 Erro Absoluto e Erro Constante dos blocos de perturbação PII1, PII2 e PII3	70
8.2.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) dos blocos de PII1, PII2 e PII3	72
8.2.3 Número de correções dos blocos de PII1, PII2 e PII3	73
8.2.4 Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior dos blocos de PII1, PII2 e PII3.....	74
8.2.5 Co-contração dos músculos Biceps/Triceps dos blocos de PII1, PII2 e PII3.....	74

8.3 Fase de Exposição – Perturbação II	75
8.3.1 Erro Absoluto e Erro Constante dos blocos de PIII, PII2 e PII3	75
8.3.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) dos blocos PIII, PII2 e PII3	77
8.3.3 Resultados do Número de correções dos blocos de PIII, PII2 e PII3	78
8.3.4 Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) para os blocos PIII, PII2 e PII3	79
8.3.5 Co-contração dos músculos Biceps/Triceps (Bic/Tri) para blocos de PIII, PII2 e PII3	80
9 DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO II.....	81
9.1 Fase de Pré-exposição	82
9.1.1 Erro Absoluto e Erro Constante	82
9.1.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e número de correções.....	83
9.1.3 Medidas de co-contração.....	84
9.2 Fase de Exposição.....	85
9.2.1 Erro Absoluto e Erro Constante	85
9.2.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e número de correções.....	86
9.2.3 Medidas de Co-contração.....	87
10 DISCUSSÃO GERAL.....	88
11 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E PROJEÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS.....	92
REFERÊNCIAS	94

1. INTRODUÇÃO

Os seres humanos, em sua maioria, demonstram notável capacidade de realizar movimentos precisos, mesmo diante de diferentes contextos. Um exemplo pode ser visto em esportes como o golfe, em que o jogador precisa utilizar tacos com massas distintas em função da distância do alvo (buraco) e dos diferentes tipos de “solo” do campo. A manutenção do desempenho frente a tais mudanças contextuais se dá a partir da utilização de estratégias que permitem um controle motor eficiente (BRENNER; SMEETS, 2015), e é definida como adaptação motora (BERNIKER; KORDING, 2008; WOLPERT; DIEDRICHSEN; FLANAGAN, 2011). A adaptação motora depende da competência das estruturas de controle motor, consideradas nesse estudo como representações centrais, para prever e/ou modificar o planejamento do comando motor em função da inserção de mudanças que interferem no desempenho (GHAHRAMANI; WOLPERT, 1997; WOLPERT; KAWATO, 1998). Essas mudanças são definidas como perturbações e tem sido observado que a capacidade de se adaptar frente a perturbações depende do nível de estabilização do desempenho, tanto para situações previsíveis (UGRINOWITSCH *et al.*, 2014), quanto para situações imprevisíveis (FONSECA *et al.*, 2012).

A formação de representações centrais foi sugerida por Craik (1943) apontando que o sistema traz consigo “modelos de pequena escala” referentes ao ambiente e ao corpo, e acrescenta que o sistema nervoso central (SNC) pode combiná-los para prever de forma probabilística uma ação futura, a partir de informações já experimentadas. Embora o autor não apresente resultados experimentais, pesquisas mais recentes corroboram suas proposições (AZIM; ALSTERNARK, 2015; MIALL; WOLPERT, 1996; SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994). Esses estudos mais recentes apontam que essas representações centrais, consideradas como modelos internos (MIs), são capazes de prever um erro e corrigir uma ação, a partir de informações do próprio sistema sensorial e/ou do ambiente (AZIM; ALSTERNARK, 2015; WOLPERT; KAWATO, 1998). A capacidade de predição para mudar o planejamento pode ser facilitada diante de previsibilidade (SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994), dificultada para situações imprevisíveis (SHADMEHR; SMITH; KRAKAUER, 2010), ou até mesmo impossibilitada diante do nível de imprevisibilidade (CASTRO *et al.*, 2014; RICHTER *et al.*, 2004).

A formação de estruturas de controle, bem como a recalibração e combinação das mesmas, parece depender da forma com que se pratica a habilidade (GANDOLFO *et al.*, 1996; KRAKAUER *et al.*, 2000;

IZAWA *et al.*, 2008). Krakauer *et al.* (2000) mostraram que a prática de somente uma determinada habilidade, como o apontamento em uma direção, leva à formação de MIs com uma limitada capacidade de generalização. Enquanto situações em que a prática com maior variação de apontamentos aumenta essa capacidade (KRAKAUER *et al.*, 2000; KRAKAUER, 2006). Além disso, a prática com maior variação do contexto leva o sistema sensorio motor a uma maior capacidade de realizar ajustes (IZAWA *et al.*, 2008; LEITE, 2014). Outra forma que pode levar o sistema sensorio motor a uma maior adaptabilidade é a estruturação da prática de forma combinada (CASTRO *et al.*, 2014; HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017). Parece que a combinação de prática sem variação aumenta a capacidade de predição (ex: utilização de controle via *feedforward*) e a prática variada aumenta a capacidade de realizar correções (ex: utilização de controle via *feedback*). Pois, a variação da prática exige um comportamento exploratório e desencadeia uma constante atualização do comando motor. Desta forma, o sistema sensorio motor adquire um controle mais flexível para se adaptar (CASTRO *et al.*, 2014; HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017; WU *et al.*, 2014).

A partir dos estudos apresentados acima, é possível observar que existe relação entre adaptação motora, estruturação de prática e nível de estabilização. No entanto, as variáveis referentes ao nível de estabilização do desempenho e estruturação da prática não foram manipuladas em conjunto, o que poderia favorecer a adaptação diante de perturbações imprevisíveis, pois diferentes estruturas de prática poderiam levar à formação de estruturas de controle flexíveis (FIALHO; TRESILIAN, 2017; GHARAMANI; WOLPERT, 1997; LEITE, 2014), e níveis superiores de estabilização favoreceriam tanto na extração de informações em função do contexto, quanto no planejamento conforme as demandas ambientais e do próprio sistema (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; SHADMEHR; SMITH; KRAKAUER, 2010). Desta forma, o objetivo do presente estudo é investigar os efeitos da manipulação de diferentes níveis de estabilização do desempenho e estruturação da prática na adaptação a perturbações motoras imprevisíveis.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Adaptação Motora e a natureza das perturbações

Conceitualmente a adaptação pode ser entendida como alterações em aspectos funcionais do organismo para a sua adequação às demandas situacionais oriundas da interação com o ambiente (HOLLAND, 1995). Mais especificamente, a adaptação no comportamento motor pode ser conceituada como a capacidade do sistema sensorio motor em manter o desempenho enquanto as propriedades do corpo, do ambiente (BERNIKER; KORDING, 2008), ou da tarefa são modificadas (CASTRO *et al.*, 2014). Desta forma, a adaptação motora é dependente da capacidade do sistema sensorio motor em estimar o estado do corpo ou de um membro efetor em função das mudanças contextuais (CREVECOEUR; SCOTT, 2013; GHARAMANI; WOLPERT, 1997).

A adaptação motora pode ser observada a partir do efeito de perturbações, e identificada tanto no resultado do desempenho quanto no controle motor, sendo manipuladas a partir de diferentes tarefas, tais como em apontamento com aplicação de campo de força (SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999); em tarefas de *timing* coincidente (FONSECA *et al.*, 2012; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014; LEITE, 2014); e em tarefas de interceptação de alvos móveis (SANTOS *et al.*, no prelo; ZAGO *et al.*, 2009).

A manipulação da perturbação está relacionada à sua natureza, aqui assumida como a previsibilidade das perturbações, podendo ser classificada como previsível ou imprevisível. Perturbações previsíveis são inseridas com o conhecimento prévio do indivíduo sobre quando e como elas acontecerão. Nesse caso, a adaptação pode ser facilitada devido a baixa demanda sobre o sistema sensorio motor, pois existe a possibilidade de se organizar previamente toda a modificação na ação necessária para atingir a meta e se adaptar (RICHTER *et al.*, 2004; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014). Em outras palavras, as informações geradas pela perturbação e utilizadas para organizar as modificações na ação estão disponíveis antes de iniciar a ação. Já perturbações imprevisíveis são inseridas sem o conhecimento prévio do indivíduo sobre quando e como elas acontecerão. Neste caso, as informações geradas pela perturbação e utilizadas para organizar as modificações na ação estão disponíveis somente após o comando ser iniciado (SANTOS *et al.*, 2017; ZAGO *et al.*, 2009). Esta condição dificulta a adaptação devido à maior demanda

sobre o sistema sensorio motor, pois o indivíduo necessita modificar a ação somente após a detecção da mudança para que o desempenho seja mantido (RICHTER *et al.*, 2004; RIEGER *et al.*, 2005; FONSECA *et al.*, 2012; LEITE, 2014), com um tempo bem inferior para organizar as modificações necessárias para se atingir a meta.

Diante de perturbações imprevisíveis, os ajustes que viabilizam o alcance da meta da tarefa estão relacionados à capacidade de utilização de *feedback online*, que depende do tempo disponível para realizar as mudanças necessárias no controle previamente enviado (HOGAN, 1984; RICHTER *et al.*, 2004). Além disso, o tempo para utilização do *feedback online* é dependente do tipo de perturbação (aspecto manipulado da tarefa), o que pode ser visto em tarefas que envolvem *timing* (ex: tarefas de interceptação). Caso a inserção da perturbação seja imposta após o início do movimento, e se essa perturbação envolve o sistema visual, será necessário um tempo entre 150 a 200 milissegundos para que seja possível visualizar modificações (ex. curvas de velocidade) na resposta motora (BRENNER *et al.*, 1998; TEIXEIRA *et al.*, 2006). Por outro lado, quando as perturbações estão relacionadas com o sistema proprioceptivo (ex., perturbações mecânicas) tem sido mostrado que essas mudanças podem ser visualizadas em tempos menores, podendo variar de 120 a 180 ms após a inserção da perturbação (CREVECOEUR; SCOTT, 2013; CLUFF; CREVECOEUR; SCOTT, 2015; HAYASHI *et al.*, 2016). Uma possível explicação para as diferenças temporais é que existem mudanças na resposta motora involuntária (ex. reflexos de longa duração), que ocorrem em tempos bem menores (~75 ms), após a inserção da perturbação mecânica (NASHED, CREVECOUER, SCOTT, 2014; SCOTT *et al.*, 2015). Estes dados apontam, no mínimo, para uma diferença temporal na utilização das informações sensoriais relacionadas à visão e à propriocepção.

Quando perturbações mecânicas são impostas após o início do movimento, as modificações nas curvas de velocidade são observadas após 200 ms. Essas modificações são consequentes respostas da atividade eletromiográfica voluntária que ocorrem em tempos menores, que variaram entre 100 e 150 ms (NASHED *et al.*, 2014). Além disso, estudos recentes têm apontado essas mudanças (ex: mudanças na EMG) como respostas às alterações do reflexo de longa duração (~75ms). O que indica um processamento de informação em níveis superiores (PRUSZINSKI; SCOTT, 2012; SCOTT *et al.*, 2015). Esse processamento pode estar relacionado com a capacidade das estruturas de controle formadas (MIs) em modificar o comando motor em curso para se adaptar (NASHED, CREVECOUER, SCOTT, 2014; SCOTT *et al.*, 2015). Experimentalmente, a forma utilizada para se testar a capacidade de modificar um comando em curso, pode ser através da intercalação de tentativas sem perturbação (ex: tentativas controle)

e com perturbação (OSU *et al.*, 2003). Desta forma, a imprevisibilidade causada pela intercalação de tentativas controle e tentativas com perturbação possibilita analisar a capacidade de adaptação da estrutura formada diante de uma situação imprevisível (BURDET *et al.*, 2006; TODOROV; JORDAN, 2002).

A adaptação frente a uma mudança, vista aqui como a capacidade em realizar ajustes online diante de imprevisibilidade, está relacionada com a competência das estruturas de controle formadas (FONSECA *et al.*, 2012; SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994) e com nível de estabilização para lidar com essas mudanças (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; FONSECA *et al.*, 2012; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014).

2.2 Adaptação motora e Nível de Estabilização do Desempenho

A estabilização do desempenho motor pode ser entendida como a realização de movimentos dentro de uma margem de erro aceitável para se atingir uma meta (BENDA, 2006; BURDET *et al.*, 2006; UGRINOWITSCH, 2003). Para que o comportamento fique estável, o sistema sensorio motor, através de prática e *feedback*, explora as possibilidades de ações disponíveis para se atingir a meta modulando a aprendizagem (MORASSO *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2014). Como consequência, o sistema sensorio motor alcança uma padronização da atividade neuromuscular dos segmentos envolvidos (BURDET *et al.*, 2001; BURDET *et al.*, 2006; WIESTLER; KORNYSHEVA, 2013), bem como uma padronização espaço-temporal da ação (BENDA, 2006; TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014). Quando o desempenho se torna estável, é possível inferir que uma estrutura de controle é formada (BENDA, 2006; DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; FONSECA *et al.*, 2012; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014), pois a repetição de um comportamento não é totalmente aleatória. Seguindo este raciocínio, o alcance de níveis mais elevados de estabilização pode levar o sistema sensorio motor a uma especialização na seleção e execução do comando motor para lidar com as mudanças contextuais e manter o desempenho (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; WIESTLER; KORNYSHEVA, 2013).

Níveis superiores de estabilização do desempenho têm propiciado maior competência em lidar com as mudanças ambientais, na tarefa e/ou do próprio sistema sensorio motor (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; FONSECA *et al.*, 2012; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014; WIESTLER; KORNYSHEVA, 2013). Experimentalmente, a forma utilizada para manipular a estabilização do desempenho é proporcionar quantidade suficiente de prática para que haja diminuição do erro dentro de

uma faixa determinada (BENDA, 2006; TODOROV; JORDAN, 2002), ou até se atingir um desempenho critério, como por exemplo, realizar um número pré-determinado de tentativas corretas consecutivamente (COCA-UGRINOWITSCH *et al.*, 2014; FONSECA *et al.*, 2012; LEITE *et al.*, 2013). Quando a prática continua além da estabilização, e o desempenho critério se repete, a estrutura de controle passa de um nível de estabilização para o de “especialização” (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; FONSECA *et al.*, 2012; KORNYSHEVA; DIEDRICHSEN, 2014), ou seja, adquire maior competência em selecionar e executar um comando motor apropriado e atingir a meta estipulada (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; WIESTLER; KORNYSHEVA, 2013). Essa maior competência pode ser visualizada no aumento da velocidade de resposta, bem como na modificação do tempo de reação e no aumento da performance para a habilidade aprendida (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015).

O efeito do nível de estabilização tem sido estudado a partir da manipulação de diferentes quantidades de prática. No estudo de Benda *et al.* (2000) foram manipulados três níveis de estabilização (Pré-estabilização, Estabilização e Superestabilização), diferenciados operacionalmente pela quantidade de prática. De forma semelhante, Benda (2001) manipulou esses três níveis de estabilização utilizando duas tarefas distintas (Arremesso do dardo de salão e Tarefa complexa de *timing* coincidente). O alcance dos três diferentes níveis foi assumido a partir de quantidades de prática predeterminadas. Para o arremesso do dardo, o nível pré-estabilização foi considerado após a prática de 30 tentativas; o nível estabilização foi considerado após a realização de 90 tentativas; e o nível superestabilização após a prática de 250 tentativas. Para a tarefa de *timing* coincidente foram realizadas 10 tentativas para o nível de pré-estabilização; 50 tentativas para o nível estabilização; e 150 tentativas para o nível superestabilização. Mesmo com diferentes quantidades de prática para os níveis de estabilização e superestabilização, a variabilidade do desempenho foi semelhante. Em uma análise individual do desempenho dos participantes dos grupos experimentais, Benda (2001) identificou que o desempenho dos indivíduos variava em momentos distintos, ou seja, a diferenciação dos níveis de estabilização pela quantidade de prática não permitiu que fosse alcançado os diferentes níveis propostos. Partindo desse pressuposto, Ugrinowitsch (2003) inverteu o raciocínio e manipulou o nível de estabilização levando os sujeitos a níveis semelhantes de desempenho dentro dos três níveis utilizados por Benda (2001). Para isso, o autor adotou um critério, que requeria atingir um desempenho pré-determinado. Ou seja, para se alcançar a estabilização foi necessário realizar um bloco de três tentativas corretas consecutivas, e para se alcançar a superestabilização foram necessários seis blocos de três tentativas consecutivas dentro do critério adotado.

Segundo o autor, estudos piloto mostraram que os sujeitos tinham muita dificuldade em repetir o comportamento de forma precisa e consistente por um maior número de tentativas consecutivas, o que foi entendido como uma característica do próprio sistema neuromotor.

No estudo de Ugrinowitsch (2003), foram realizados três experimentos que utilizaram três diferentes níveis de estabilização a partir de uma tarefa seriada complexas de *timing* coincidente. No experimento I, os participantes do grupo Pré-estabilização do desempenho não atingiram a estabilização, pelo fato de terem realizado somente dez tentativas. No experimento II, os participantes deveriam praticar até realizarem um bloco de três tentativas consecutivas com o erro dentro de uma faixa estipulada. Esse critério levou à estabilização do desempenho e configurou o grupo “Estabilização”. No terceiro experimento, os participantes deveriam repetir o mesmo critério de desempenho por seis blocos para configurar o grupo “Superestabilização”, ou seja, um grupo com um nível superior de estabilização em relação ao grupo do experimento II. Para testar a competência adquirida na primeira fase, na segunda fase os três grupos foram expostos a três tipos de perturbações, sendo que cada uma delas se mantinha constante durante toda a fase, o que caracteriza a perturbação como sendo de natureza previsível. Os sujeitos que atingiram a Superestabilização conseguiram se adaptar à todas as perturbações; os que atingiram a Estabilização adaptaram mais facilmente à perceptiva; e os sujeitos que não estabilizaram o desempenho não conseguiram se adaptar.

Baseado na primeira fase do estudo de Ugrinowitsch (2003), o estudo de Fonseca *et al.* (2012) manipulou dois níveis de estabilização do desempenho. No entanto, a perturbação na segunda fase do estudo tinha um caráter imprevisível e as mudanças eram nos aspectos perceptivos da tarefa. Na primeira fase foram estabelecidos dois níveis de estabilização do desempenho, “Estabilização” e “Superestabilização” (considerado como prática extensiva). No entanto, a segunda fase do experimento foi composta por tentativas-controle (idênticas às tentativas da primeira fase) e tentativas com perturbação, proporcionando um contexto com imprevisibilidade. Os resultados mostraram que ambos os grupos não se adaptaram, mas o grupo de prática extensiva obteve desempenho superior ao grupo estabilização e retomou o desempenho mais rapidamente assim que era retirada a perturbação.

No estudo de Couto (2012), na primeira fase foi utilizado o mesmo critério de desempenho de Ugrinowitsch *et al.* (2011), que manipularam os níveis de Estabilização e Superestabilização. Na segunda fase foram impostas perturbações imprevisíveis, similar ao estudo de Fonseca *et al.* (2012). A tarefa no

trabalho de Couto (2012) era de interceptação a alvos móveis, que além de analisar o desempenho, permitia analisar as variáveis cinemáticas como, curvas de velocidade, tempo para o pico de velocidade e curvas de aceleração. A partir dessas variáveis foi possível identificar as mudanças no controle (TRESILIAN; PLOOY, 2006). Ao final da primeira fase, ambos os grupos estabilizaram o desempenho. Além disso, foram observadas alterações no perfil da velocidade do movimento do membro efetor. Mais especificamente, houve uma diminuição do tempo para se atingir o pico de velocidade. Esse comportamento demonstra que ao final da primeira fase, os participantes adquiriram uma característica preditiva no controle. Esta posição é baseada no fato de que picos de velocidade próximos ao final do movimento indicam que a execução é realizada sem aparentes correções, o que reflete também em uma maior confiança no movimento realizado (TRESILIAN; PLOOY, 2006; ELLIOT *et al.*, 2010). Conseqüentemente, é possível inferir que o controle do movimento é predominantemente pré-planejado. Na segunda fase, quando as perturbações foram impostas, o grupo superestabilização alcançou melhor desempenho quando comparado ao grupo estabilização. Para isso, este grupo antecipou o tempo para o pico de velocidade, estratégia que permitiu mais tempo para realizar as correções ao final do movimento, diante das perturbações. No entanto, mesmo com um nível superior de estabilização, o grupo superestabilização não se adaptou a todas as perturbações. Duas possíveis hipóteses podem ser levantadas.

A primeira é que a competência da estrutura formada pelo grupo superestabilização pode não ter atingido um nível suficiente de generalização para recalibrar as ações e lidar com a nova situação, ou seja, o sistema sensorio motor não se especializou o suficiente para selecionar e executar o comando motor adequado para lidar com as mudanças (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; WISTLER; DIEDRICHSEN, 2013). A segunda é que houve somente um contexto de prática, o que pode ter dificultado a generalização. Essa hipótese explicativa pode ser baseada em estudos que manipularam diferentes contextos de prática. Nesses estudos, foi observado que a prática com somente um contexto diminuiu a capacidade de generalização (GANDOLFO; MUSSA-IVALDI; BIZZI, 1996; KRAKAUER *et al.*, 2000). Por outro lado, maior variação na prática levou o sistema sensorio motor a desenvolver estratégias de controle mais competentes para lidar com as incertezas ambientais, ou seja, maior especialização do sistema sensorio motor (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; KORNYSHEVA; DIEDRICHSEN, 2014) e, conseqüentemente, maior capacidade de generalização (KRAKAUER *et al.*, 2000; IZAWA *et al.*, 2008; LEITE, 2014).

De acordo com o exposto anteriormente, parece que atingir a estabilização do desempenho é um pré-requisito para o sistema sensorio motor se adaptar. Além disso, a manipulação do nível de estabilização viabiliza a formação de estruturas de controle (MIs), e a prática além da estabilização leva a especialização desses MIs favorecendo a realização de movimentos eficientes para se atingir a meta da tarefa mesmo diante de perturbação. Por fim, a forma com que a prática é organizada pode facilitar a capacidade de adaptação, relação que ainda foi pouco investigada e será objeto do próximo tópico.

2.3 Adaptação motora e estruturação da prática

A aquisição de uma habilidade motora bem como a capacidade de se adaptar diante de perturbação está relacionada com as experiências motoras vivenciadas (ex: prática variada). Contudo, uma condição essencial é que essas experiências se assemelhem ao contexto no qual as perturbações serão impostas (CASTRO *et al.*, 2014; KRAKAUER *et al.*, 2000; KRAKAUER *et al.*, 2006). Tem sido observado que a prática variada tem maior eficácia no processo de aquisição de uma habilidade quando comparada com a prática constante (LAGE *et al.*, 2015). Além disso, a prática variada (ex. prática aleatória) pode proporcionar maior adaptabilidade (HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017; OSU *et al.*, 2004). Parece que a adaptabilidade proporcionada pela prática variada está relacionada à necessidade de se estimar diferentes estados do corpo a cada tentativa e consequentes mudanças no planejamento (CASTRO *et al.*, 2014; KRAKAUER *et al.*, 2006; WU *et al.*, 2014).

Uma forma de levar o sistema sensorio motor a adquirir capacidade de replanejar uma ação é proporcionar práticas que se aproximem de contextos variáveis. Estudos laboratoriais têm indicado que a estruturação da prática pode influenciar o planejamento e a execução diante de uma mudança (perturbação), ou seja, a adaptação motora (GANDOLFO; MUSSA-IVALDI; BIZZI, 1996; KRAKAUER *et al.*, 2000; IZAWA *et al.*, 2008; BRAUN *et al.*, 2009a; WEI; KORDING, 2010). Contudo, como não tinham objetivo de investigar a organização da prática, alguns foram realizados com a prática estruturada de forma constante (KRAKAUER *et al.*, 2000), de forma variada (KRAKAUER *et al.*, 2000; IZAWA *et al.*, 2008; BRAUN *et al.*, 2009a; BRAUN *et al.*, 2009b) e outros de forma combinada (CASTRO *et al.*, 2014; IZAWA *et al.*, 2008). A partir dos estudos apresentados neste parágrafo é possível relacionar a forma de organizar a prática variada com o que está sendo variado no contexto da prática, o que será tratado a seguir.

Quando o contexto de prática implica em adaptação espacial, tem sido observado que existe uma relação direta entre a região praticada (*workspace*) e as dimensões das perturbações impostas, ou seja, à medida que a perturbação se distancia da região praticada o desempenho piora. Isso demonstra que a capacidade de generalização tem relação com a forma com que se pratica uma habilidade (GANDOLFO; MUSSA-IVALDI; BIZZI, 1996; KRAKAUER *et al.*, 2000), pois quando a prática é realizada com maior variação, a adaptação melhora. Krakauer *et al.* (2000) investigaram os efeitos da quantidade de variações de práticas na adaptação em uma tarefa de apontamento com a manipulação da restrição espacial. Nesse estudo, em um dos experimentos, os apontamentos eram feitos sob duas condições experimentais. Na primeira, os apontamentos foram realizados para um só alvo e na segunda condição eram realizados apontamentos para um, dois, quatro e oito diferentes alvos. Foi observado que na situação com maior variação de direções de apontamentos, o desempenho diante de perturbações foi melhor quando comparada com as situações com menor número de variação de apontamentos.

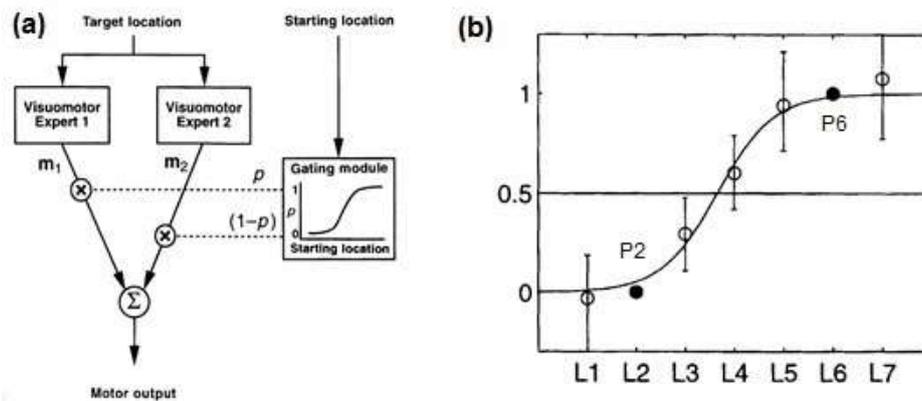
Nos estudos de Izawa *et al.* (2008) e Wei e Kording (2010), a estruturação da prática foi manipulada com diferentes incertezas aplicadas ao sistema sensorio motor com diferentes campos de força e com distorção visual do efetor. Foi manipulada a prática constante e prática aleatória com baixa e alta variação. No estudo de Izawa *et al.* (2008), para a prática constante a força aplicada durante o apontamento para o alvo foi fixa, sendo que para a prática aleatória com baixa e alta variação foi variado o desvio no campo de força a partir de uma função matemática (baixa variação=0,3; alta variação=0,6). No estudo de Wei e Kording (2010), a aleatoriedade foi determinada através da distorção visual da posição real da mão ao final do apontamento. As informações eram apresentadas aos participantes sob três formas escalonadas, uma escala constante, uma escala menor (com um desvio radial de 2 cm) e uma escala maior (com desvio radial de 4 cm). Em ambos os estudos foi observado que a prática com maior variação promoveu maior adaptação quando comparada com a de menor variação. Além disso, o estudo de Izawa *et al.* (2008) apresentou informações adicionais relacionadas às medidas de controle (tempo e velocidade do apontamento), que permitiram inferir sobre as estratégias utilizadas pelos participantes para se adaptarem. As curvas de velocidade mostraram que a prática com maior variação levou à antecipação do pico de velocidade quando comparado às outras práticas. Esse comportamento foi explicado sob duas formas: a diminuição do tempo para o pico de velocidade e a incerteza causada pela variação da prática.

A primeira, diminuição do tempo para se atingir o pico de velocidade, aponta para uma estratégia que permite aos participantes terem mais tempo para possíveis correções na porção final do movimento,

ou seja, a antecipação do pico de velocidade resulta em mais tempo para utilização do mecanismo de controle via *feedback* (ELLIOT *et al.*, 1999; ELLIOT *et al.*, 2010). A segunda mostra que a prática com maior variação gera mais incertezas e faz com que os participantes fiquem em um estado de maior prontidão, possibilitando maior capacidade de predição para os ajustes às novas demandas exigidas pela perturbação (IZAWA *et al.*, 2008; WEI; KORDING, 2010). Além disso, a variação da prática pode levar à formação de mais MIs, o que pode favorecer a extração e combinação de informações ambientais pelo sistema sensorio motor. Quando a prática é estendida, a capacidade de extrair e combinar informações pode ser explicada pela combinação de MIs já formados denominados como Módulos *experts* (GHAHRAMANI; WOLPERT, 1997; WOLPERT; MIALL; KAWATO, 1998; KAWATO; 1999).

A prática que contém variações da habilidade apresentadas de forma aleatória (ex: interceptação de alvos com diferentes distâncias) pode levar à formação de mais de um Módulo e, como consequência, faz com que o sistema sensorio motor tenha maior capacidade para se adaptar. No estudo de Ghahramani e Wolpert (1997) foi observado que a prática de apontamento a alvos fixos, com diferentes pontos de início do movimento, levou os indivíduos a maiores níveis de desempenho. Como os indivíduos se adaptaram às novas demandas, foi interpretado que houve combinação dos dois módulos aprendidos, e que o peso da contribuição de cada um dos módulos adquiridos variava de acordo com a proximidade do novo ponto de partida ao ponto anteriormente praticado. A Figura 1 mostra um esquema de como esses Módulos aprendidos são combinados e utilizados funcionalmente por uma estrutura denominada *Gating Module*, responsável em quantificar a contribuição de cada modelo aprendido.

Figura 1 – A Figura (a) mostra o modelo de combinação simples de dois Módulos *experts* na geração de um comando motor. Na Figura (b) são mostrados dados correspondentes às duas tarefas aprendidas (L2 e L6), e os correspondentes à adaptação a partir dos pontos de início praticados (L1, L3, L4, L5, e L7). P2 e P6 representam os apontamentos realizados sob perturbação (distorção visual).



Fonte: adaptado de GHAHRAMANI; WOLPERT (1997).

Resultados semelhantes foram encontrados por Thoroughman e Shadmehr (1999) utilizando uma tarefa de apontamento com perturbações na demanda. As mudanças eram impostas por um braço mecânico e após um período de prática, os autores inferiram que os indivíduos eram capazes de combinar *MI experts* para se adaptarem às perturbações de força em apontamentos ainda não praticados. Além disso, no decorrer da prática houve mudanças na atividade eletromiográfica (EMG) dos músculos envolvidos nos apontamentos. Foram observados aumentos nos picos de atividade dos músculos agonistas e diminuições nos picos de atividade dos músculos antagonistas ao final da prática. Esses dados mostram a diminuição da co-contracção que é uma característica marcante de aprendizagem, pois demonstram que o sistema neuro motor controla os comandos motores de forma mais eficiente (DARAINY; OSTRY, 2003; SANTOS *et al.*, 2017). Foi observado também que houve correlação significativa ($r= 0.75 - 0.80$) entre o aumento da EMG dos músculos agonistas e a melhora do desempenho, indicando a formação de Módulos *experts* para ambas as condições com as perturbações de força durante os apontamentos (THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999).

Os estudos acima encontraram indícios de formação de diferentes Módulos e da influência desses Módulos na adaptação motora em função de diferentes organizações da prática (prática constante e/ou prática aleatória). A adaptação foi testada a partir de movimentos de apontamento de alvos fixos com perturbação espacial (GHAHRAMANI; WOLPERT, 1997; KRAKAUER *et al.*, 2000) e com perturbação de força (IZAWA *et al.*, 2008; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Os autores utilizaram o delineamento de *aftereffect* para inferir a formação das estruturas de controle, e a tarefa utilizada foi o apontamento para alvos fixos.

Outra questão a ser abordada é a utilização de combinação de prática para a aquisição de habilidades motoras. Estudos recentes demonstraram que a combinação de prática favorece a aquisição de habilidades motoras (BRAUN *et al.*, 2009; CASTRO *et al.*, 2014; HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017). Estes estudos manipularam diferentes combinações de prática (Constante, Bloco e Aleatória). Foi observado que a prática com maior repetição (ex. constante) seguida de prática variada promoveu uma aprendizagem mais efetiva (CASTRO *et al.*, 2014), além de maior adaptabilidade (BRAUN *et al.*, 2009a; CASTRO *et al.*, 2014). Além disso, as práticas Constante-Aleatória e Aleatória-Blocos aumentaram a capacidade de generalização, e segundo os autores, a combinação de prática levou a uma maior capacidade de predição diante das mudanças impostas (HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017).

A explicação é que a estruturação de prática de forma combinada modula formação e combinação de MIs, visto que nos estudos mencionados acima, houve a utilização de prática constante e prática aleatória (GHAHRAMANI; WOLPERT, 1997; HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017; IZAWA *et al.*, 2008; BRAUN *et al.*, 2009a), somente prática aleatória (THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 2000), ou prática aleatória seguida de prática em blocos (HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017).

Embora a maioria dos estudos apresentados nesse tópico não terem como objetivo estudar especificamente os efeitos da estruturação da prática, a maioria utilizou diferentes estruturas de prática para observar a formação e combinação de MI e demonstraram maior efetividade da prática combinada. Uma explicação é que essa manipulação pode ter contribuído para a formação de mais de um MI possibilitando a combinação dos MIs formados para que ocorresse adaptação (BRAUN *et al.*, 2009). Neste caso, a prática constante proporcionaria a formação de um MI. Em seguida, com a prática aleatória novos MIs seriam formados e com base no MI já formado pela prática constante, e a adaptação poderia ser facilitada ou até mesmo acelerada. Isso porque a prática variada pode modular a formação de MIs capazes de modificar as estratégias utilizadas (KRAKAUER *et al.*, 2006), e consequentemente nos mecanismos de controle para se adaptar (BRAUN *et al.*, 2009b; CASTRO *et al.*, 2014).

2.4 Adaptação motora e mecanismos de controle

A adaptação do sistema sensorio-motor depende da efetividade dos mecanismos de controle. Esses mecanismos podem ser estudados a partir do funcionamento do sistema sensorio motor, quando são

utilizadas informações advindas de diferentes contextos (ex. diferentes estruturas de prática) para planejar e controlar uma ação (CASTRO *et al.*, 2014; KRAKAUER *et al.*, 2006; JOINER; BRAYANOV; SMITH, 2013). Com base nas diferentes estruturas de prática, o controle pode ser realizado predominantemente através do mecanismo via *feedforward* (HOGAN, 1984; WOLPERT; KAWATO, 1998). Esse tipo de controle demonstra a competência dos MIs em estimar previamente o comando necessário para atingir algum estado desejado (KAWATO, 1999; KARNIEL; MUSSA-IVALDI, 2002). Outra forma de controle utilizada pode ser predominantemente pelo mecanismo via *feedback* (HOGAN, 1984; WOLPERT; KAWATO, 1998). Nesta forma de controle, o sistema sensorio motor pode ser capaz de utilizar informações sensoriais (ex. propriocepção) para indicar a necessidade de modificar o comando motor iniciado, a fim de aumentar a possibilidade de atingir o estado desejado (BROWNSTONE; BUI; STIFANI, 2015; WOLPERT; GHARAMANI; JORADN, 1995).

Uma vez que os pontos de inflexão na curva são resultantes de mudanças no comando motor, é possível relacionar as inflexões nas curvas de aceleração com a atividade eletromiográfica (EMG) dos músculos envolvidos na ação, pois para que exista uma mudança na aceleração, os músculos envolvidos devem alterar o nível de ativação. Por exemplo, para corrigir o movimento em uma tarefa de apontamento após o movimento ser iniciado, é necessária que a ativação dos músculos agonistas diminua e a dos antagonistas aumente para frear o movimento (ELLIOT; HELSEN; CHUA, 2001).

Dentro dessa lógica, Marinovic, Plooy e Tresilian, (2009b) mostraram que é possível precisar o momento das mudanças na ativação muscular para cancelar um comando motor. Os autores observaram que após praticar uma tarefa de interceptação, é possível cancelar um comando motor em curso devido a perturbações quando existe tempo suficiente para a correção (entre 150 e 200ms). As alterações na EMG em função das perturbações impostas podem mostrar não somente a capacidade de gerar correções, mas também como o sistema neuromuscular pode alcançar essa competência (SCOTT *et al.*, 2015). A EMG, tanto dos agonistas quanto dos antagonistas, se modifica com a prática e o sincronismo é otimizado, com os músculos agonistas sendo ativados de forma elevada e antecipada para desencadear um movimento ou de forma diminuída para facilitar uma correção (DARAINY; OSTRY, 2008; GRIBBLE, *et al.*, 2003; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Parece que as alterações na EMG juntamente com as medidas cinemáticas estão associadas à formação das estruturas de controle (ex: modelos internos) e podem auxiliar

na compreensão das estratégias e mecanismos de controle que levam à adaptação (THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999; CLUFF; SCOTT, 2013; SCOTT *et al.*, 2015). No entanto, essas variáveis foram pouco exploradas para tarefas de interceptação que acontecem em curtos espaços de tempo (entre 200 e 250 ms). Discutir esta relação será o objetivo do próximo tópico.

2.4.1 Estratégias de controle em tarefas de interceptação

As ações que envolvem interceptação estão presentes no cotidiano dos seres humanos, e as ações que requerem interceptar alvos móveis são principalmente observadas em ações esportivas. Para se alcançar o sucesso nessas ações, os movimentos requerem precisão espaço-temporal (TRESILIAN; LONERGAN, 2002; TRESILIAN; PLOOY, 2006; IRIJI *et al.*, 2014). Para interceptar um alvo em movimento, é necessário que o efetor (objeto interceptador ou uma parte do corpo) e o objeto a ser interceptado alcancem a mesma localização espaço-temporal simultaneamente (TRESILIAN; PLOOY; CARROL, 2004). É preciso então, além de detectar a localização do objeto durante sua trajetória, identificar as informações temporais e o local mais propício para iniciar o movimento (TRESILIAN *et al.*, 2003; IRIJI *et al.*, 2014).

Nas tarefas de interceptação a alvos móveis, algumas estratégias comuns de controle diante de restrições espaço-temporal podem ser observadas. As restrições na precisão temporal são comumente impostas pela *time window* (TW), ou seja, a relação entre o tempo e a permanência do alvo na zona de interceptação (TRESILIAN; LONERGAN, 2002). Quando a TW na qual a interceptação pode ocorrer é pequeno, os movimentos tendem a ser mais rápidos (CALJOUW *et al.*, 2004a; TRESILIAN; LONERGAN 2002; TRESILIAN *et al.*, 2003).

A previsibilidade do contexto é um fator que influencia a estratégia utilizada na interceptação. Para contextos previsíveis, a estratégia comumente utilizada na interceptação é a de esperar o alvo chegar o mais próximo possível da zona de interceptação para iniciar a ação (TRESILIAN *et al.*, 2004; RANGEL *et al.*, em análise). Desta forma, o alcance do pico de velocidade ocorre nas porções finais do movimento, ou seja, próximo ao momento da interceptação, indicando um controle predominantemente via mecanismo de pré-programação (TRESILIAN; PLOOY, 2006; ELLIOT *et al.*, 2010). A vantagem desta estratégia é que os sujeitos têm mais tempo para observar o alvo e a velocidade de deslocamento e, então, desencadear os comandos baseados nas características deste objeto. A desvantagem é que devido ao

pequeno tempo entre o pico de velocidade e a interceptação, as possibilidades de correções do movimento em curso são reduzidas.

Para demandas em contextos imprevisíveis, o alcance do sucesso nas ações de interceptação depende da capacidade de modificar os comandos motores após o movimento ter iniciado. Uma estratégia comumente adotada consiste em iniciar o movimento baseado nas características da tentativa anterior. Em seguida, após identificação das características do alvo, o comando motor é modificado (DONKELAAR *et al.*, 1992). No entanto, o sucesso dessa estratégia depende do feedback sensorial, o que pode ocasionar um maior tempo de movimento. Outra estratégia observada está relacionada à antecipação do pico de velocidade. Ou seja, os indivíduos aumentam e antecipam o pico de velocidade, e uma maior porção final do movimento permite que as correções sejam realizadas (ELLIOT *et al.*, 1999; COUTO *et al.*, em análise). A vantagem desta estratégia é a possibilidade de atualizar o comando motor de seus movimentos utilizando do mecanismo via *feedback* (NAKAMOTO *et al.*, 2013), mas com restrição temporal dentro do limite da capacidade de processamento das informações disponíveis (CLUFF; CREVECOEUR; SCOTT, 2015; IRIJI *et al.*, 2014). Uma desvantagem é a dificuldade em modificar os movimentos realizados em tempos pequenos (inferiores a 150-200 ms). Esta atualização do comando motor exige modificações das ações musculares de agonistas e antagonistas e podem ser observadas nas respostas eletromiográficas dos músculos envolvidos na ação (MARINOVIC, *et al.*, 2008; CLUFF; CREVECOEUR; SCOTT, 2015), que são refletidas nas respostas cinemáticas do movimento (COUTO *et al.*, em análise; TRESILIAN; PLOOY, 2006).

Para situações em que as perturbações são impostas ao membro efetor de forma imprevisível (ex: perturbação mecânica), até o presente momento ainda não foram encontrados estudos que manipularam esse tipo de perturbação em tarefas de interceptação. Contudo, estudos com outros paradigmas que envolvem perturbações mecânicas podem fornecer alguns indícios. Em tarefas de apontamento com imposição de carga sobre o membro efetor (ex: campos de força) após o movimento ter sido iniciado, foram observadas diferentes estratégias de controle para manter o desempenho diante de perturbações (CREVECOEUR; SCOTT, 2013; CLUFF; CREVECOEUR; SCOTT, 2015). Uma estratégia foi o aumento e a antecipação do pico de velocidade diante de imprevisibilidade, que pode gerar maiores condições de realizar possíveis ajustes nas porções finais de movimentos já iniciados (IZAWA *et al.*, 2008). O aumento e antecipação do pico de velocidade, ocorre quando há um aumento da carga, e a

diminuição e antecipação do pico velocidade ocorre com redução da carga (CREVECOEUR; SCOTT, 2013).

Também foram observadas mudanças no controle, com diminuição da co-contração dos músculos antagonistas. Essa diminuição da co-contração é decorrente da aprendizagem, pode resultar em uma menor rigidez do sistema muscular e, conseqüentemente, facilitar o controle *online* (DARAINY; OSTRY, 2008; LEWIS *et al.*, 2010). Contudo, parece que a co-contração também é modulada em função da perturbação, pois o aumento ou diminuição da carga geram diferentes demandas (ex: aumento ou diminuição na tensão) no sistema muscular (SHEMMELL *et al.*, 2010). Quando a condição com perturbação se prolonga, o sistema sensório-motor pode utilizar as informações provocadas pelas diferentes perturbações, ou seja, a co-contração pode ser modulada pelo aumento ou diminuição da carga externa e serve como fonte de informação para que o comando motor possa ser atualizado (CREVECOEUR; SCOTT, 2013; SHEMMELL *et al.*, 2010).

De forma geral, os estudos que utilizaram perturbação mecânica impostas de forma imprevisível apontam que o sucesso das estratégias de controle depende não somente das estruturas de controle formadas, mas também da competência dos Módulos formados conseguida em função da prática (SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994; CLUFF; CREVECOEUR; SCOTT, 2015; SCOTT *et al.*, 2015). Se a competência dos Módulos é desenvolvida com a prática, as diferentes estruturas de prática influenciam também a competência no uso das estratégias de controle, pois, como dito anteriormente, a prática utilizando diferentes contextos leva o sistema sensório motor a se atualizar constantemente. Essa atualização é comumente gerada a partir de erros cometidos (ex: *feedback* sensorial), dando ao sistema sensorio motor um maior repertório de escolha e aprimoramento da estratégia de controle para uma nova situação. Conseqüentemente isso pode levar a uma maior competência diante de perturbação (WOLPERT; MIALL; KAWATO, 1998; CLUFF; CREVECOEUR; SCOTT, 2015).

Os estudos apresentados nas seções anteriores permitem inferir que a adaptação motora está relacionada à formação e combinação de Módulos. Essas inferências, em grande parte dos estudos apresentados, se baseiam no funcionamento de MIs e de múltiplos pares de MIs (Módulos). A forma com que os indivíduos se adaptam é vista a partir de observações nas estratégias e de inferências sobre os mecanismos de controle utilizados em tarefas de apontamento com e sem aplicação de força externa, e que possivelmente podem ser utilizados para tarefas que envolvem interceptação de alvos móveis. Desta

forma, os objetivos deste estudo foram desenvolvidos em duas direções. A primeira é investigar os efeitos da manipulação de diferentes níveis de estabilização do desempenho em função da estruturação da prática na adaptação a perturbações imprevisíveis. A segunda é investigar como o controle é realizado diante de perturbações imprevisíveis, em função de diferentes níveis de estabilização do desempenho e da estruturação da prática.

3. OBJETIVO GERAL

Investigar os efeitos do nível de estabilização do desempenho e da estruturação da prática na adaptação a perturbações mecânicas imprevisíveis.

3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos serão apresentados em função dos experimentos realizados nesse estudo. Serão primeiramente apresentados os objetivos específicos e as hipóteses do experimento I e em seguida do experimento II.

4. EXPERIMENTO I

No Experimento I são observados os efeitos do nível de estabilização e da estrutura de prática com maior variação (ex. Prática aleatória) sobre as mudanças no controle e no desempenho. Esses efeitos são vistos a partir da formação das estruturas de controle inferidas pelo desempenho e mecanismos de controle na fase de pré-exposição. Na fase de exposição os efeitos são vistos em função do desempenho e dos mecanismos de controle diante das perturbações impostas de forma imprevisível.

4.1 *Objetivos específicos do Experimento I*

1. Investigar os efeitos do nível de estabilização do desempenho e estruturação da prática constante e aleatória no desempenho durante a fase de pré-exposição.
2. Investigar os efeitos do nível de estabilização do desempenho e estruturação da prática constante e aleatória no mecanismo de controle durante a fase de pré-exposição.
3. Investigar os efeitos do nível de estabilização e da estruturação da prática constante e aleatória no desempenho diante de perturbações motoras imprevisíveis.
4. Investigar os efeitos do nível de estabilização e da estruturação da prática constante e aleatória no mecanismo de controle motor diante de perturbações motoras imprevisíveis.
5. Investigar os efeitos do nível de estabilização do desempenho e da estruturação da prática constante e aleatória no mecanismo de controle após a execução das tentativas com perturbação.

4.2 *Hipóteses do experimento I*

H₁- O desempenho dos grupos Especialização será melhor que os grupos Estabilização na fase de pré-exposição, independente do tipo de prática.

H₂- O mecanismo de controle utilizado pelos grupos será modificado durante a fase, iniciando com mecanismo predominante via *feedback* e finalizando com pré-programação predominantemente.

H₃- O alcance da Especialização do desempenho proporcionará melhor desempenho frente à perturbação quando comparada à Estabilização independente do tipo de prática.

H₄. A adaptação acontecerá mediante utilização predominante do mecanismo via *feedback*, independente do nível de estabilização e do tipo de prática.

H₅- Após a retirada da perturbação os grupos utilizarão do mecanismo de controle predominantemente via pré-programação, para a retomada do desempenho, independente do nível de estabilização e do tipo de prática.

4.3 Método – Experimento I

Para atingir o objetivo e responder as hipóteses do Experimento I, os participantes foram submetidos a uma fase de prática, denominada fase de pré-exposição, e posteriormente a uma fase de exposição a perturbações. Antes de determinar os procedimentos foram realizados dois estudos Piloto (em forma de APÊNDICES F e G) baseados em estudos anteriores (COUTO, 2012; SANTOS *et al.*, 2017). Na primeira fase, foram manipulados o nível de estabilização do desempenho (Estabilização e Especialização) e a estrutura de prática (Constante e Aleatória). O objetivo foi investigar os efeitos do nível de estabilização do desempenho alcançado a partir de prática constante e aleatória na adaptação a perturbações motoras imprevisíveis. Neste experimento foram investigados os efeitos da estruturação da prática constante, aleatória e dos níveis de estabilização do desempenho (estabilização e Especialização) no desempenho e no mecanismo de controle frente a perturbações motoras imprevisíveis.

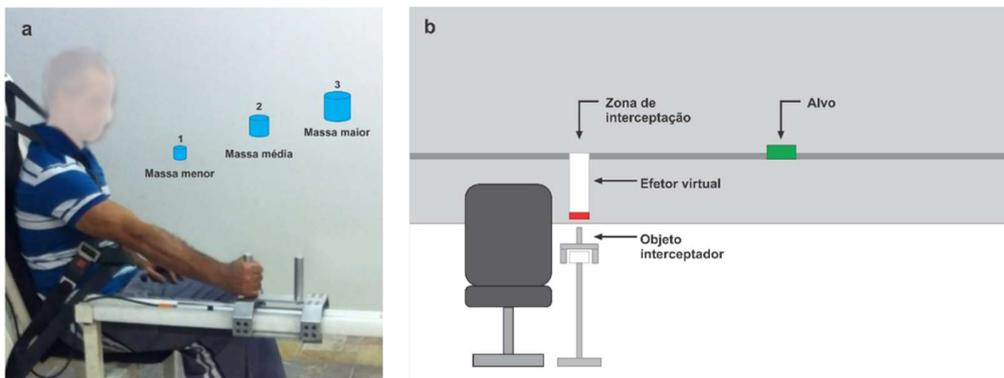
4.3.1 Amostra

Participaram deste estudo cinquenta e seis estudantes voluntários de ambos os sexos (33 homens e 23 mulheres). Como critério de inclusão foi levado em consideração: os participantes não poderiam ter experiência prévia na tarefa a ser utilizada; ter idade entre 18 e 35 anos; não apresentar histórico de lesão que pudesse comprometer os resultados experimentais; e ter visão normal ou corrigida. Esse projeto foi elaborado respeitando as recomendações do Conselho Nacional de Saúde (CNS - resolução nº 196/96) e foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa - CEP/UFMG – nº 27875514.5.0000.5149.

4.3.2 Instrumentos e tarefa

Inicialmente foi aplicado o inventário de dominância lateral de Edimburgo (OLDFIELD, 1971) para confirmação da lateralidade do participante (ANEXO I). Para testar as hipóteses propostas foi construído um equipamento denominado *Moving Target HCC-1 (MTHCCI)*. A partir do *MTHCCI* foi possível implementar uma tarefa de interceptação a um alvo móvel constituída por uma guia linear de *nylon* (trilho) com dimensão de 1,0 m (comprimento) x 0,10 m (largura) x 0,04 m (altura) e um objeto interceptador (efetor físico) (Fig.3). Para a aquisição das variáveis cinemáticas (posição-tempo) foi utilizado um Transdutor Magnético Balluff® (BTL6-A110-M0400), como precisão em μm adaptado à guia linear (APÊNDICE B-Fig.1). A frequência de captura dos sinais foi de 200hz. Para a aquisição e transformação dos dados cinemáticos foi utilizada uma placa *A/D Board DAC-NIUSB-6009 National Instruments®*. A aquisição e processamento dos dados foram realizados com *software* desenvolvido em *Labview®* (*National Instruments Corporation, Austin/TX, USA*), baseado no estudo de Couto (2012). O processamento dos dados cinemáticos foi realizado através do *software MatLab* versão 15.

Figura 3 – Tarefa de interceptação a alvo móvel. **a.** vista lateral. **b.** vista frontal posterior.



A tarefa consistiu-se em mover o efetor físico com o membro dominante (direito), a fim de acertar um alvo virtual (04x6 cm) que se movia perpendicularmente em relação ao efetor (Fig.3). O participante foi assentado em uma cadeira ao lado do trilho e segurava uma empunhadura fixada ao efetor que, por sua vez, era acoplado à guia linear. Em seguida o participante realizava uma flexão de ombro e extensão de cotovelo no sentido póster anterior a fim de empurrar o efetor em direção à zona de interceptação. O efetor físico, assim como o trilho era representado virtualmente. Dessa forma, quando o participante movimentava o efetor físico ao longo de 30 cm do trilho (guia linear), o efetor virtual (6x3 cm) também se movia na mesma proporção ao longo do trilho virtual. O efetor tinha três diferentes cargas compostas

por anilhas (massa menor=1,32kg, média=2,02kg e maior=2,72kg) que foram determinadas em estudo piloto (APÊNDICE G). Todas anilhas tinham as mesmas características quanto à forma (cilíndrica) e material (alumínio).

A velocidade de deslocamento do alvo foi constante (145 cm/s) e controlada pelo *software*. A partir da primeira aparição, o alvo percorria uma distância de 213 cm da direita para a esquerda do voluntário, até atingir a zona de interceptação. O tempo de movimento (TM) deveria ser realizado entre 200 e 250 ms e após cada tentativa, o participante recebia conhecimento de resultados (CR) qualitativo relacionado ao tempo de movimento.

Para a aquisição dos dados eletromiográficos foi utilizado o sistema de eletromiografia NORAXON® (MyoSYSTEM 1400A) e foram utilizadas as recomendações da *European Recommendations for Surface Electromyography* (SENIAN, 2016).

Figura 4 – Sistema de captura de sinais eletromiográficos NORAXON EMGSystem 1400A (a esquerda). Colocação dos eletrodos de superfície sobre os músculos Deltóide Anterior (DAn), Deltóide Posterior (DPo), Biceps Braquial (BBr) e Triceps porção lateral (TBl) (a direita).



4.3.3 Procedimentos

Inicialmente foram afixados cartazes pela Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) com o intuito de divulgar a pesquisa entre os estudantes e conseqüentemente recrutar voluntários. Para aqueles que se interessaram em participar da pesquisa, durante o primeiro contato por telefone ou pessoalmente no laboratório

(GEDAM – Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem motora), foi feito o agendamento do dia e horário para realização da coleta de dados. O(a) voluntário(a) foi recebido(a) individualmente pelos pesquisadores em uma sala da EEEFTO utilizada somente para fins de pesquisa. Neste momento, foram explicados os objetivos e os procedimentos da pesquisa. Caso concordassem em participar do estudo, os participantes recebiam o termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE A). Após leitura e assinatura, os procedimentos tiveram início.

O registro da EMG foi realizado através de eletrodos de superfície (Prata/Cloreto de Prata), autoadesivos. Os eletrodos foram afixados paralelamente às fibras musculares e dispostos longitudinalmente, com distância inter eletrodos de aproximadamente 3 cm sobre os músculos (Fig. 4): deltoide anterior (DAn), deltoide posterior (DPo), biceps braquial (BBr) (porção longa) e triceps braquial (TBr) (porção lateral). O eletrodo de referência foi colocado sobre o processo acromial. O local de fixação dos eletrodos foi previamente marcado com caneta hidro cor, tricotomizado e higienizado com álcool a 70%. Após a fixação dos eletrodos foi realizado um teste de contração isométrica voluntária máxima (CIVM) com duração de 10 segundos (ARJUNAN; KUMAR; NAIK, 2014; De LUCA, 1997). Esse teste foi realizado no próprio equipamento através da fixação de um suporte rígido, que simulava a posição de execução da tarefa, e foi utilizado para normalizar as curvas de EMG dos músculos envolvidos (APÊNDICE B-Fig.2). Os critérios utilizados para processar os dados de EMG foram baseados no estudo THOROUGHMAN; SHADMEHR, (1999). Os dados foram primeiramente filtrados utilizando um filtro *passa banda*, em seguida foram retificados. O momento de início para análise dos sinais eletromiográficos, bem como a co-contracção dos músculos agonistas-antagonistas, foi determinado utilizando o *MatLab* Versão 16.0. A normalização do Sinal eletromiográfico foi realizada em função do *Wasted cocontraction*, ou seja, em cada par de agonista-antagonista identificou-se o mínimo de ativação dos músculos na série temporal. Esse valor (*Wasted cocontraction*) foi subtraído do sinal de maior ativação, determinando uma série temporal denominada *contração efetiva* em cada tentativa (DARAINY; OSTRY, 2008; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Este procedimento permitiu analisar a EMG de todas as tentativas dos grupos experimentais de ambas as fases (pré-exposição e exposição – que serão descritas no delineamento) tanto do experimento I, quanto do experimento II.

Em seguida, após um intervalo de 10 minutos foi realizada uma familiarização precedida por demonstrações. Inicialmente um modelo experiente realizou cinco demonstrações da tarefa. Após as demonstrações o pesquisador forneceu uma instrução verbal referente a esta fase (APÊNDICE C) e então

se perguntou ao voluntário(a) se ele(a) compreendeu a tarefa. Quando não havia mais dúvidas sobre a execução, foi fornecido novamente o sinal “prepare para começar” e a fase de pré-exposição teve início. Após o aparecimento do alvo virtual na tela, o voluntário deveria controlar o tempo e a velocidade de movimento do efector físico sobre o trilho para conseguir interceptá-lo. Vinte quatro horas após o término da fase de Pré-exposição, o participante foi submetido à segunda fase do experimento, definida como Fase de Exposição.

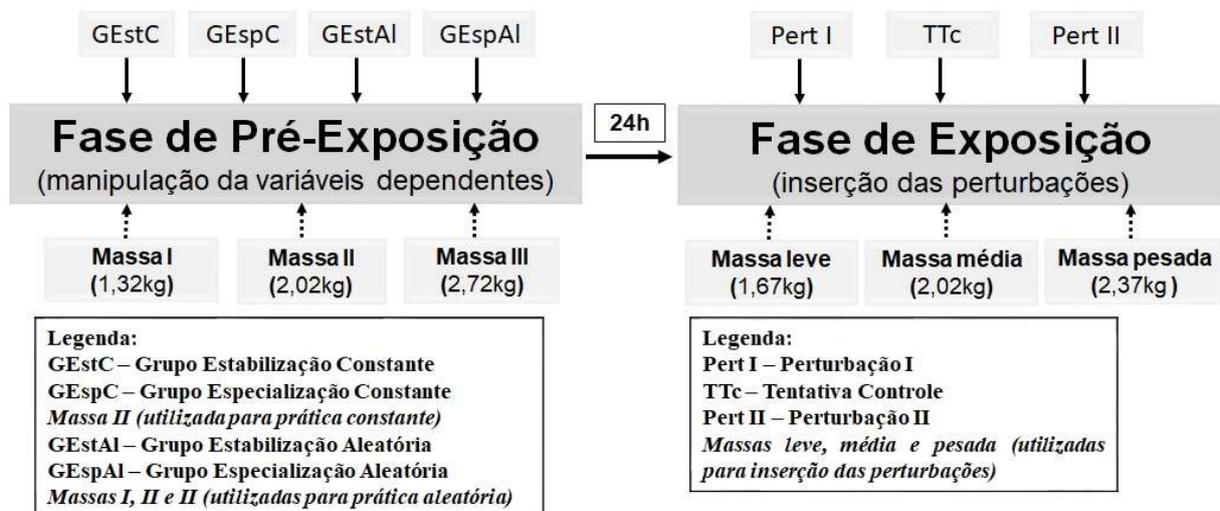
4.3.4 Delineamento

O experimento foi constituído por duas fases: Pré-exposição e Exposição, respectivamente. Durante a Pré-exposição os participantes foram orientados a movimentar o efector ao longo do trilho realizando um movimento rápido (APÊNDICE B). O efector virtual foi representado por uma linha (4x0,3cm). Após cada tentativa, o participante recebeu conhecimento de resultado (CR) qualitativo relacionado ao tempo de movimento (TM). Esta informação foi fornecida da seguinte forma: TMs abaixo de 179 ms: “seu movimento foi muito rápido!”. TMs entre 180 e 199 ms: “seu movimento foi rápido!”. TMs entre 200 e 250 ms: “bom tempo de movimento!”. TMs entre 251 e 270 ms: “seu movimento foi lento!”. TMs acima de 271 ms: “seu movimento foi muito lento!”. Esta informação era interrompida quando o participante realizava quatro tentativas consecutivas com TM entre 200 e 250 ms.

Durante a Pré-exposição, foram manipulados os níveis de estabilização do desempenho e a estruturação da prática. A manipulação dos níveis de estabilização resultou na formação de dois grupos, Estabilização e Especialização, que foram combinados com as duas formas de organização da prática (prática constante e prática aleatória). Esta combinação resultou em quatro grupos: Grupo Estabilização Constante (GestC-n=14); Grupo Estabilização Aleatório (GestA-n=14); Grupo Especialização Constante (GespC-n=14) e Grupo Especialização Aleatório (GespA-n=14). Para os participantes dos grupos estabilização, a fase foi finalizada quando foram realizadas quatro intercepções consecutivas com erro espacial entre -5 e +5 centímetros em relação à distância do centro do alvo do centro do efector e o movimento dentro do tempo alvo (200-250ms). Para os participantes dos grupos Especialização, a prática se estendeu até que fossem realizados seis blocos do mesmo critério. Para os grupos de prática aleatória foi montado um quadro em que as tentativas foram apresentadas de forma aleatória para todos os participantes (APÊNDICE D). A velocidade de deslocamento do alvo foi de 145 cm/s para ambas as estruturas de prática.

Como a estruturação de prática foi manipulada durante a fase de Pré-exposição, para os grupos de prática constante o efector teve uma carga média (massa II=2,02 kg); para os grupos de prática aleatória o efector teve três diferentes cargas (massa I=1,32kg, média II=2,02kg e maior III=2,72kg). Esta fase ocorreu no primeiro dia. Vinte quatro horas após o término da fase de Pré-exposição foi realizada a fase de Exposição. A Figura 5 ilustra as fases que compuseram o experimento I.

Figura 5 – Síntese do delineamento do experimento I.



Na fase de Exposição, os participantes de todos os grupos realizaram 129 tentativas, sendo 99 tentativas controle (massa II, a mesma da fase de pré-exposição) e 30 tentativas com perturbações. Estas perturbações foram inseridas por meio de mudanças na massa do efector sem que o participante pudesse ver quanto de massa foi aumentada ou diminuída. Desta forma, o participante foi perturbado assim que iniciou o movimento. As mudanças se deram em duas magnitudes da massa do efector: redução (massa=1,67kg, Perturbação I = PI) e aumento (massa=2,37kg, Perturbação II = PII) e foram inseridas em ordem pseudoaleatória (APÊNDICE G). Ao todo foram 15 PI e 15 PII. A organização das tentativas-controle (TTC) e tentativas com perturbações (PI e PII) foram apresentadas de forma que existissem pelo menos duas TTC entre as tentativas com perturbação (APÊNDICE E).

4.3.5 Descrição das variáveis de estudo

Variáveis independentes

- Níveis de estabilização do desempenho a partir do alcance de desempenhos critério na fase de Pré-exposição.
- Estruturação da prática manipulada na fase de Pré-exposição.

4.3.6 Variáveis dependentes

Variáveis de desempenho:

- Para análise da precisão do desempenho - Erro absoluto espacial: diferença em centímetros da distância entre o ponto médio do efector e o centro do alvo. Erro constante espacial: para apontar a direção do erro. De acordo com Tresilian (2005), em tarefas de interceptação em que o indivíduo move o efector em uma distância específica em um tempo específico, o erro temporal pode ser representado pelo erro espacial. Esta medida permitirá a observação da ocorrência ou não de adaptação.

Variáveis de controle motor:

- Tempo relativo para o pico de velocidade (%tPV): tempo relativo gasto até o alcance do pico de velocidade em milissegundos. Essa variável será utilizada para descrição das estratégias e inferência do mecanismo de controle (TRESILIAN; PLOOY, 2006).
- Número de correções: número de vales presentes na curva de aceleração. Essa variável foi utilizada para inferência do mecanismo de controle (TRESILIAN; PLOOY, 2006).
- Atividade neuromuscular (co-contração) – Essa variável foi utilizada a fim de inferir sobre o controle motor. Foi determinada a co-contração dos músculos deltoide anterior (agonista)/deltoide posterior (antagonista), tríceps braquial (agonista)/bíceps braquial (antagonista) (THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999).

Variável de controle de estudo

- Número de tentativas necessárias na Pré-exposição para alcançar o desempenho critério. Esta medida indicará se os grupos realizarão diferentes quantidades de prática em função da medida do nível de estabilização adotada.
- O tempo de movimento foi determinado para que se pudesse analisar a adaptação e o controle com tempos entre 200 e 250 ms. Isso porque em tarefas de intercepção (ex. movimentos rápidos) são necessários pelo menos 200 ms para se modificar/corrigir o movimento (MARINOVIC; PLOOY; TRESILIAN, 2008).

4.3.7 Análise estatística

Inicialmente os dados foram organizados em média e medida de dispersão (Desvio-Padrão). Após esta organização, todos os dados foram conferidos quanto à normalidade, homocedasticidade e esfericidade.

Na fase de Pré-exposição os dados foram organizados em quatro blocos de 25% das tentativas (0-25; 26-50; 51-75; 76-100%). A fim de testar as hipóteses 1 (H_1) e 2 (H_2) do experimento I, foram analisados o desempenho, o tempo relativo para o pico de velocidade em milissegundos (%tPV), o número de correções e a co-contração de Deltoide anterior/Deltoide posterior e Biceps/Triceps. Para tanto foi realizada um ANOVA *two way* (4 grupos x 4 blocos) para cada variável dependente.

Na fase de exposição, a comparação foi feita entre as tentativas imediatamente prévias à perturbação (Pré), tentativas com a perturbação (Per) e tentativas imediatamente após a retirada da perturbação (Pós), com os dados organizados em blocos de cinco tentativas. Esta organização resultou em três blocos de tentativas Pré PI, PI e Pós PI; e três blocos de tentativas Pré PII, PII e Pós PII. Esses dados foram utilizados para análise das variáveis dependentes EA, EC, %tPV (ms), número de correções na curva de aceleração e a co-contração de Deltoide anterior/Deltoide posterior e Biceps/Triceps.

Para responder a hipótese (H_3) do experimento I, foi conduzida um ANOVA *two way* (4 grupos x 3 blocos), para as medidas do EA e EC. Para responder a hipóteses (H_4) e (H_5) do experimento I, foi conduzida um ANOVA *two way* (4 grupos x 3 blocos), para as medidas do %tPV, número de correções e a co-contração de Deltoide anterior/Deltoide posterior e de Biceps/Triceps.

O post hoc de *Bonferroni* foi utilizado na comparação par a par, quando necessário. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$.

5 RESULTADOS DO EXPERIMENTO I

Preimeiramente serão apresentados os resultados de desempenho e de controle motor da pré-exposição para responder as hipóteses 1 e 2. Em seguida, os resultados de desempenho e de controle motor da fase de exposição para responder as hipóteses 3, 4 e 5.

5.1 Fase de Pré-exposição

5.1.1 Resultados de desempenho motor

Os resultados de desempenho motor se referem às medidas de erro absoluto (EA) e erro constante (EC) espacial dos quatro blocos de 25% das tentativas referentes à fase de Pré-exposição. A Figura 6 mostra os dados de desempenho e das variáveis de controle motor extraídos da fase de Pré-exposição. Para a análise do EA (Fig. 6a), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=14,959$, $p=0,001$; $\eta^2=0,46$], entre os blocos [$F(3, 156)=69,235$, $p=0,001$; $\eta^2=0,57$] e houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(9, 156)=2,7801$, $p=0,005$; $\eta^2=0,14$]. O *post hoc* da interação identificou que todos os grupos reduziram o erro a partir do segundo bloco e terminaram iguais ao final da fase de Pré-exposição, demonstrando que o desempenho critério realmente conduziu os grupos a desempenho semelhante. No entanto, o grupo Estabilização Constante obteve pior desempenho no primeiro, segundo e terceiro blocos quando comparado com os demais grupos ($p<0,05$). Os demais grupos tiveram desempenho semelhante durante toda a fase de Pré-exposição ($p>0,05$). Para a análise do EC (Fig. 6b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre os grupos [$F(3, 52)=0,01292$, $p=0,99$; $\eta^2=0,001$], mas houve diferença significativa entre blocos [$F(3, 156)=3,3116$, $p=0,021$; $\eta^2=0,06$]. O *post hoc* identificou que no terceiro e quarto blocos, somente o grupo Especialização Constante antecipou o movimento e aumentou a precisão ($p=0,02$). No entanto, não houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(9, 156)=1,3825$, $p=0,20$; $\eta^2=0,07$].

5.1.2 Resultados das variáveis de inferência de controle motor

O tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e o número de correções são variáveis que possibilitam inferir sobre as estratégias de controle para a interceptação. Para o %tpV (Fig. 6c), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=6,1158$, $p=0,006$; $\eta^2=0,26$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante teve o %tpV maior que os grupos Estabilização e

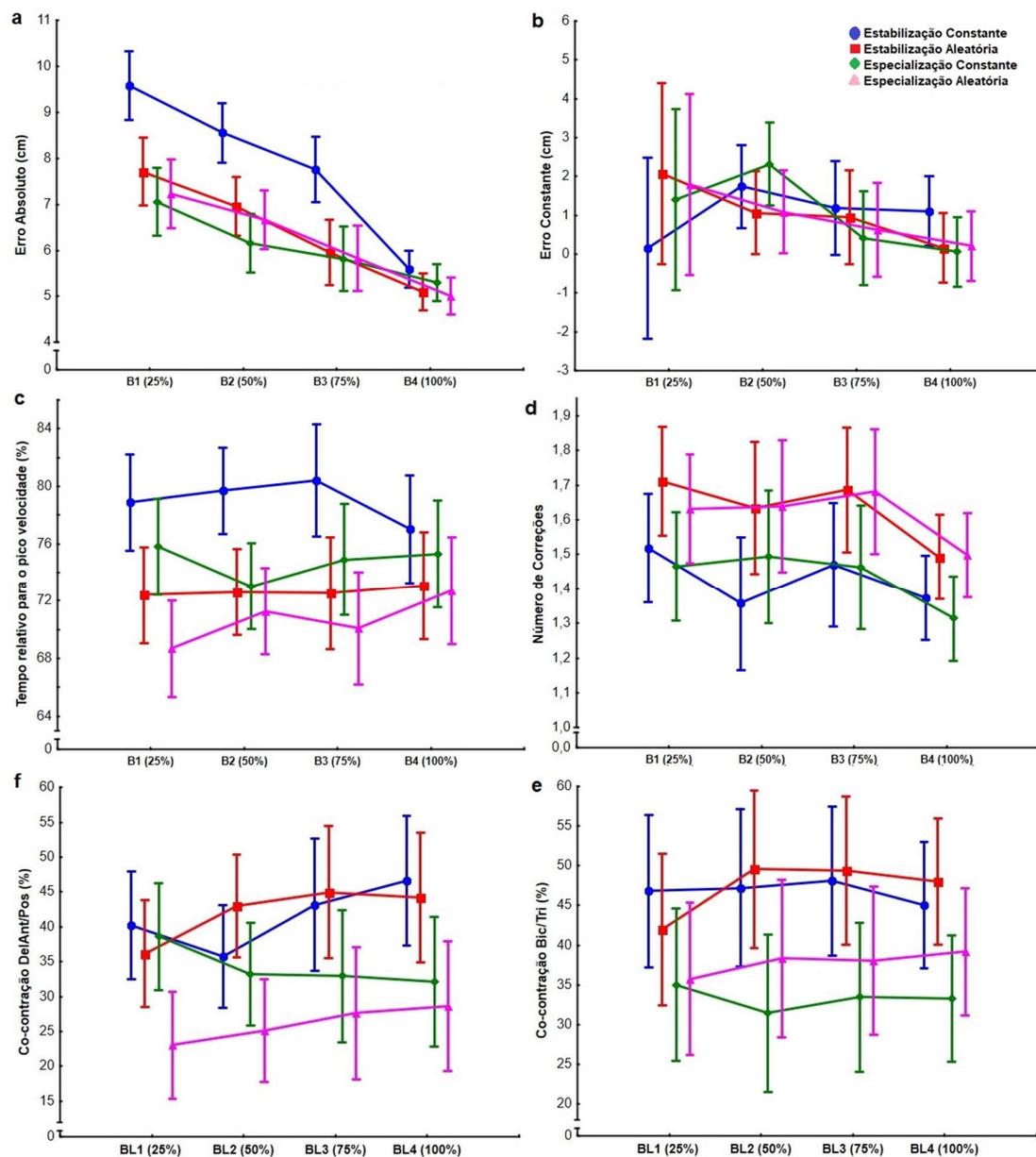
Especialização Aleatória ($p=0,02$), e o grupo Especialização Aleatória gastou menos tempo que todos os grupos ($p=0,004$). Não houve diferença significativa entre blocos [$F(3, 156)=0,2300$, $p=0,87$; $\eta^2=0,004$]. Contudo, houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(9, 156)=1,9350$, $p=0,05$; $\eta^2=0,083$]. O *post hoc* identificou que no primeiro bloco o %tpV foi maior para o grupo Estabilização Constante quando comparado com os grupos Estabilização Aleatória e Especialização Aleatória ($p=0,01$), no segundo bloco foi maior que todos os grupos ($p=0,03$) e no terceiro bloco foi maior que os grupos Estabilização Aleatória e Especialização Aleatória ($p=0,02$).

Para número de correções (Fig. 6d), a ANOVA mostrou que houve diferenças significativa entre grupos [$F(3, 52)=3,3732$, $p=0,025$; $\eta^2=0,16$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante realizou menos correções que os grupos de Estabilização Aleatória e Especialização Aleatória ($p=0,02$). Houve também diferença significativa entre blocos [$F(3, 156)=5,3299$, $p=0,002$; $\eta^2=0,09$]. O *post hoc* identificou que o número de correções diminuiu do primeiro para o quarto bloco ($p=0,02$). No entanto, não houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(9, 156)=0,46780$, $p=0,89$; $\eta^2=0,02$].

5.1.3 Medidas de co-contracção

As medidas de co-contracção estão realiccionadas à atividade dos músculos Deltóide anterior-Deltóide posterior e Bíceps-Tríceps e são representadas nas Figuras 6e e 6f. Para os músculos Deltóide Anterior/Posterior (Fig. 6e), os resultados da ANOVA mostraram que houve diferenças significativas entre grupos [$F(3, 36)=4,4891$, $p=0,008$; $\eta^2=0,23$]. O *post hoc* identificou que os grupos Estabilização Constante e Estabilização Aleatória apresentaram maior co-contracção que os grupos Especialização Aleatória e Especialização Constante no terceiro e quarto bloco ($p=0,04$). Não houve diferença significativa entre blocos [$F(3, 108)=2,0097$, $p=0,12$; $\eta^2=0,04$]. Contudo, houve interação significativa entre grupo e blocos [$F(9, 108)=1,9165$, $p=0,05$; $\eta^2=0,19$]. O *post hoc* mostrou que o grupo Especialização Aleatória apresentou menor co-contracção no primeiro bloco quando comparado com os demais grupos ($p=0,03$); e em todos os demais blocos quando comparado ao grupo Estabilização Constante ($p=0,02$). O grupo Especialização Aleatória apresentou menor co-contracção no terceiro bloco que o grupo Estabilização Aleatória ($p=0,004$). No quarto bloco, o grupo Estabilização Constante teve maior co-contracção que o grupo Especialização Constante ($p=0,05$).

Figura 6- Resultados de quatro blocos de 25% das tentativas das variáveis de desempenho e de controle motor referentes à fase de pré-exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA); b) o Erro Constante; c) o tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV); d) Número de correções; e) Co-contração de Deltóide Anterior/Posterior (%); e f) Co-contração de Biceps/Tríceps.



Os resultados da ANOVA para os músculos Bíceps/Tríceps (Fig. 6f) mostraram que não houve diferenças significante entre grupos [$F(3, 36)=2,6287$, $p=0,07$; $\eta^2=0,17$]. Não houve diferença significante

entre blocos [$F(3, 108)=1,1025, p=0,35; \eta^2=0,017$] e nem interação significativa entre grupo e blocos [$F(9, 108)=1,3319, p=0,23; \eta^2=0,11$].

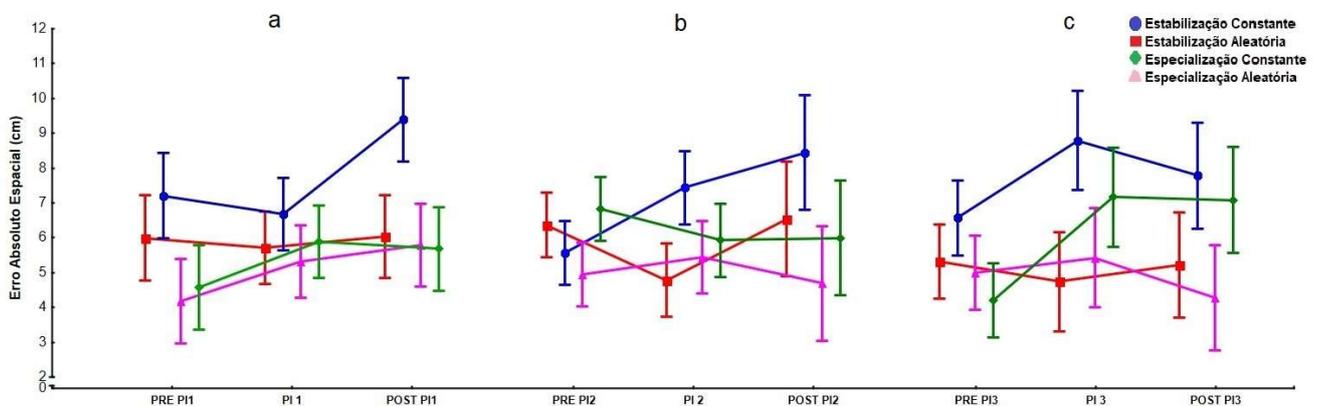
5.2 Fase de Exposição – Perturbação I

5.2.1 Resultados de desempenho motor dos blocos de PI1, PI2 e PI3

Os resultados de desempenho da fase de exposição se referem às medidas de erro absoluto (EA), erro constante (EC) espacial, e as medidas de controle motor são o tempo relativo para o pico de velocidade (% t_pV), Número de correções, Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) e Biceps/Triceps (Bic/Tri) dos três blocos de cinco tentativas, formados pelas tentativas Pré-perturbação (Pre), Perturbação (PI) e Pós-perturbação (Pós).

Para a análise do EA em PI1 (Fig. 7a), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=9,3347; p=0,001; \eta^2=0,35$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante apresentou maior erro que os demais grupos ($p=0,003$). Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=6,0076, p=0,003; \eta^2=0,10$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante aumentou o erro de PI para Pós ($p=0,003$). Também houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 104)=2,1473, p=0,05; \eta^2=0,11$]. O *post hoc* identificou que em Pós, o grupo Estabilização Constante não retomou o desempenho do bloco Pré ($p=0,001$), e no bloco Pós teve maior erro que os demais grupos ($p=0,003$).

Figura 7- Resultados do desempenho referentes à fase de exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA) em PI1; b) o Erro Absoluto (EA) em PI2; c) o Erro Absoluto (EA) em PI3.



Para a análise do EC, a ANOVA mostrou que houve diferença marginal entre os grupos [F(3, 52)=2,2967, $p=0,06$; $\eta^2=0,11$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante foi mais atrasado que os grupos Especialização Constante e Especialização Aleatória ($p=0,03$). Não houve diferença significativa entre blocos [F(2, 104)=2,2874, $p=0,10$; $\eta^2=0,042$]. Contudo, houve interação significativa entre grupos e blocos [F(6, 104)=2,2467, $p=0,04$; $\eta^2=0,12$]. O *post hoc* identificou que em PI, o grupo Especialização Constante antecipou mais o momento de interceptação que o grupo Estabilização Constante ($p=0,02$). Para as tentativas Pós, o grupo Estabilização Aleatória atrasou mais que os demais grupos ($p=0,03$).

Para a análise do EA em PI2 (Fig. 7b), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [F(3, 52)=4,8147, $p=0,004$; $\eta^2=0,21$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante teve maior erro que os demais grupos ($p=0,03$). Não houve diferença significativa entre os blocos [F(2, 104)=1,0118, $p=0,36$; $\eta^2=0,02$]. Contudo, houve interação significativa entre grupos e blocos [F(6, 104)=3,1100, $p=0,007$; $\eta^2=0,15$]. O *post-hoc* identificou que em PI2, o grupo Estabilização Constante teve maior erro que todos grupos ($p=0,03$). Além disso, o grupo Estabilização Constante não retomou o desempenho, pois o erro em Pós foi maior que em Pré ($p=0,05$).

Para a análise do EC PI2, a ANOVA mostrou diferença significativa entre os grupos [F(3, 52)=3,5600, $p=0,020$; $\eta^2=0,17$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante foi mais atrasado que os grupos Estabilização Aleatória e Especialização aleatória ($p=0,04$). Houve diferença significativa entre blocos [F(2, 104)=3,3826, $p=0,037$; $\eta^2=0,06$]. O *post hoc* identificou que o grupo Especialização Aleatória foi mais atrasado ($p=0,004$) e o grupo Especialização Constante foi mais adiantado em Pós que em PI ($p=0,002$). Houve também interação significativa entre grupos e blocos [F(6, 104)=5,2713, $p=0,001$; $\eta^2=0,23$]. O *post hoc* identificou que em PI2, o grupo Estabilização Constante atrasou mais que o grupo Estabilização Aleatória ($p=0,13$). Para o bloco Pós, o grupo Especialização Constante foi mais antecipado que o grupo Especialização Aleatória ($p=0,003$).

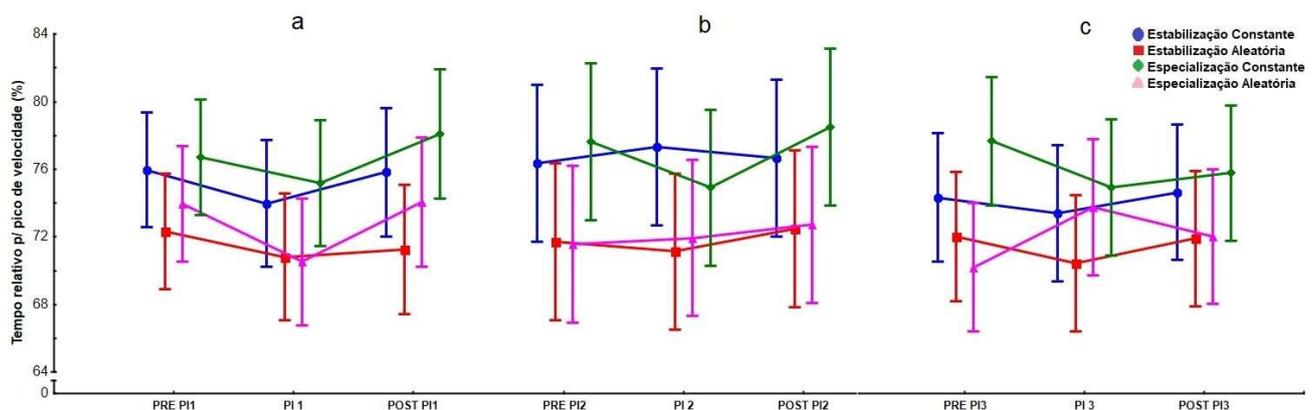
Para a análise do EA em PI3 (Fig. 7c), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre os grupos [F(3, 52)=6,6177, $p=0,001$; $\eta^2=0,27$]. O *post hoc* identificou o grupo Estabilização Constante teve maior erro que os demais grupos ($p=0,001$). Houve diferença significativa entre blocos [F(2, 104)=5,3559, $p=0,006$; $\eta^2=0,09$]. O *post hoc* identificou que o desempenho dos grupos Estabilização Constante e Especialização Constante foi pior em PI3 em comparação com Pré ($p=0,01$) e pior em Pós

comparado com Pré ($p=0,02$). Houve também interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 104)=3,1507, p=0,007; \eta^2=0,15$]. O *post hoc* identificou que o desempenho dos grupos Estabilização Constante e Especialização Constante foi pior em PI3 em comparação com os grupos Estabilização Aleatória e Especialização Aleatória ($p=0,01$). Para a análise do EC, a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre os grupos [$F(3, 52)=0,56225, p=0,64; \eta^2=0,03$]. Houve diferença significativa entre os blocos [$F(2, 104)=6,3201, p=0,003; \eta^2=0,11$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Aleatória foi mais atrasado em Pós que em PI ($p=0,02$). Também houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 104)=3,3523, p=0,005; \eta^2=0,16$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Aleatória foi mais antecipado que os demais grupos ($p=0,01$). Para o bloco Pós, o grupo Estabilização Aleatória foi mais atrasado que o grupo Especialização Aleatória ($p=0,03$).

5.2.2 Resultados do %tpV dos blocos PI1, PI2 e PI3

A Figura 8 ilustra os resultados do tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV). Na análise do %tpV em PI1 (Fig. 8a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=2,0013, p=0,12; \eta^2=0,10$]. A ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=7,0293, p=0,001; \eta^2=0,12$]. O *post hoc* identificou que o grupo Especialização Constante aumentou o %tpV em Pós em comparação com PI ($p=0,03$). Contudo, não houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 104)=0,69385, p=0,65; \eta^2=0,03$].

Figura 8- Resultados do Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) referentes à fase de exposição. a) representa o %tpV em PI1; b) o %tpV em PI2; c) o %tpV em PI3.



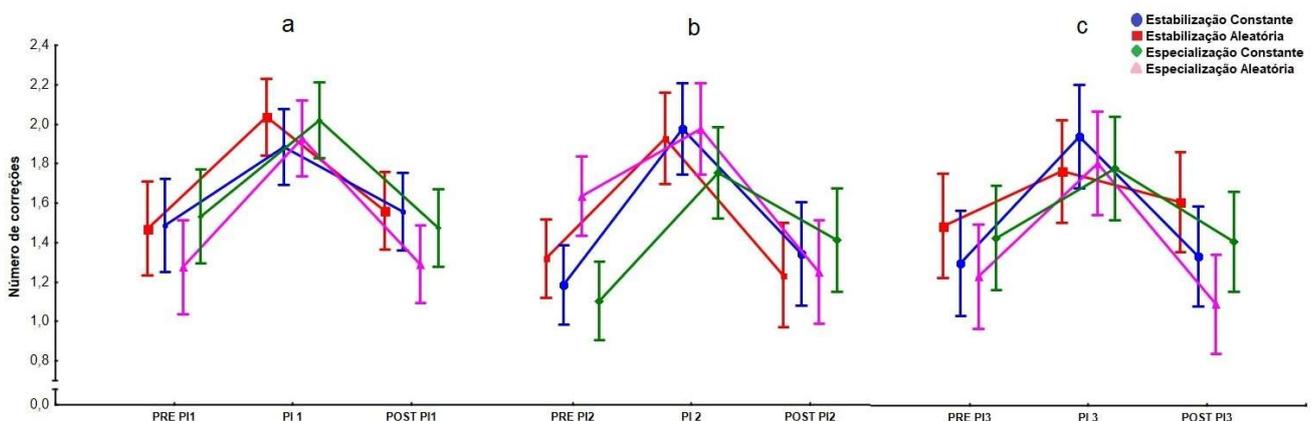
Na análise do %tpV em PI2 (Fig. 8b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos para o %tpV [$F(3, 52)=1,7109$, $p=0,17$; $\eta^2=0,08$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=2,1663$, $p=0,12$; $\eta^2=0,03$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(6, 104)=1,3123$, $p=0,25$; $\eta^2=0,07$].

Na análise do %tpV em PI3 (Fig. 8c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos para o %tpV [$F(3, 52)=1,3084$, $p=0,28$; $\eta^2=0,07$], e nem diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=0,47869$, $p=0,62$; $\eta^2=0,009$]. Contudo, houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 104)=3,5199$, $p=0,003$; $\eta^2=0,17$]. O *post hoc* identificou que o grupo Especialização Constante obteve maior %tpV em Pré-PI3 quando comparado com o grupo Especialização Aleatória ($p=0,009$).

5.2.3 Resultados do Número de correções dos blocos de PI1, PI2 e PI3

Para a análise do Número de Correções em PI1 (Fig. 9a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=1,3488$, $p=0,26$; $\eta^2=0,07$], houve diferença entre blocos [$F(2, 104)=44,730$, $p=0,001$; $\eta^2=0,46$]. O *post hoc* identificou mais correções em PI1 em comparação com os blocos Pré e Pós ($p=0,001$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 104)=0,71183$, $p=0,64$; $\eta^2=0,03$].

Figura 9- Resultados do número de correções (NC) referentes à fase de exposição. a) representa o NC em PI1; b) o NC em PI2; c) o NC em PI3.



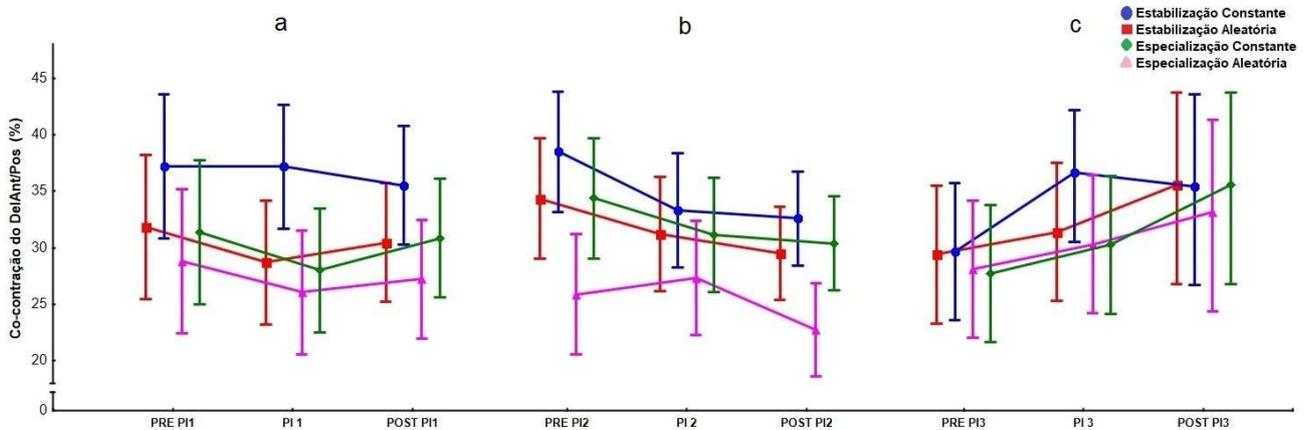
Para a análise do Número de Correções em PI2 (Fig. 9b) a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=1,0290, p=0,38; \eta^2=0,05$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=45,728, p=0,001; \eta^2=0,47$]. O *post hoc* identificou mais correções em PI1 que nos blocos Pré e Pós ($p=0,04$). Também houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 104)=2,5314, p=0,03; \eta^2=0,13$]. O *post hoc* identificou que o grupo Especialização Aleatória realizou mais correções em Pré que os demais grupos ($p=0,03$).

Para a análise do Número de Correções em PI3 (Fig. 9c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=1,0937, p=0,36; \eta^2=0,05$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=25,912, p=0,001; \eta^2=0,33$]. O *post hoc* identificou mais correções em PI1 que nos blocos Pré e Pós. Contudo, não houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 104)=1,5930, p=0,156; \eta^2=0,08$].

5.2.4 Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) para blocos PI1, PI2 e PI3

A Figura 10 ilustra os resultados da co-contração dos pares de músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos). Para os músculos Deltóide Anterior/Posterior em PI1 (Fig. 10a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 36)=2,1725, p=0,10; \eta^2=0,15$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 72)=4,2238, p=0,02; \eta^2=0,11$]. O *post hoc* não foi capaz de identificar onde ocorreram as diferenças. Não houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 72)=0,82400, p=0,55; \eta^2=0,06$].

Figura 10- Resultados da co-contracção de Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) referentes à fase de exposição. a) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contracção de DelAnt/Pos em PI3.



Para os músculos Deltóide Anterior/Posterior em PI2 (Fig. 10b), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 36)=3,1487, p=0,04; \eta^2=0,21$]. O *post hoc* identificou que o grupo Especialização Aleatória alcançou menor co-contracção que os demais grupos ($p=0,04$). Também houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 72)=20,444, p=0,001; \eta^2=0,36$]. O *post hoc* identificou que a co-contracção foi menor em Pós em comparação com Pré. Além disso, houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 72)=2,1505, p=0,05; \eta^2=0,15$]. O *post hoc* identificou que o grupo Especialização Aleatória apresentou menores níveis de co-contracção quando comparado com os demais grupos em Pré e Pós ($p=0,04$).

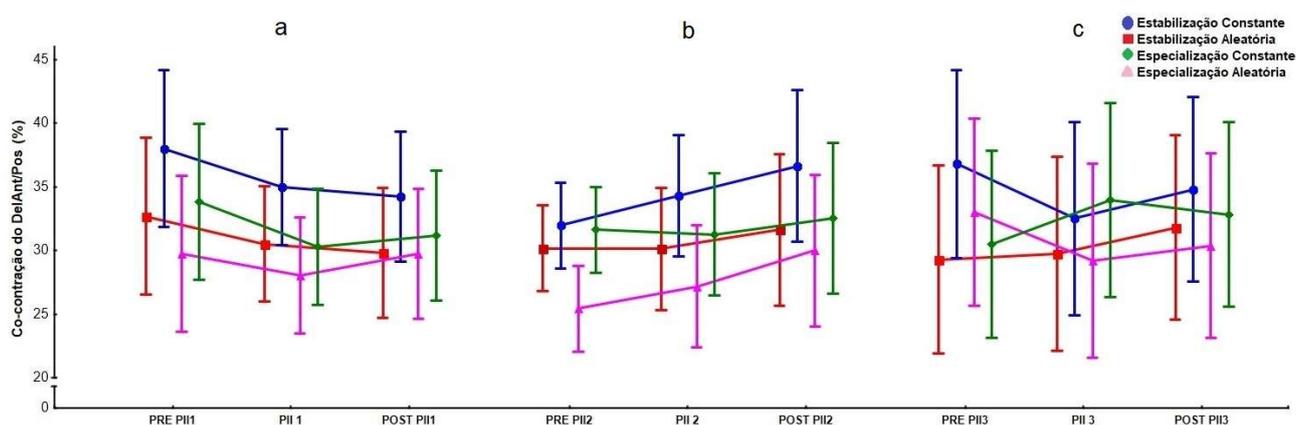
Para os músculos Deltóide Anterior/Posterior em PI3 (Fig. 10c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 36)=0,19936, p=0,89; \eta^2=0,016$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 72)=19,159, p=0,001; \eta^2=0,35$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante alcançou maior co-contracção em Pré em comparação com Pós ($p=0,005$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 72)=1,2494, p=0,29; \eta^2=0,09$].

5.2.5 Co-contracção dos músculos Biceps/Triceps (Bic/Tri) para blocos de PI1, PI2 e PI3

Para a análise da co-contracção de Bic/Tri em PI1 (Fig. 11a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 36)=1,4956, p=0,23; \eta^2=0,11$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 72)=5,9156, p=0,004; \eta^2=0,14$]. O *post hoc* identificou que a co-contracção foi menor

em PI1 em comparação com Pré e Pós ($p=0,01$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 72)=1,7066, p=0,13; \eta^2=0,12$].

Figura 11- Resultados da co-contração de Biceps/Triceps (Bic/Tri) referentes à fase de exposição. a) a co-contração de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contração de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contração de DelAnt/Pos em PI3.



Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PI2 (Fig. 11b), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 36)=4,3928, p=0,009; \eta^2=0,26$]. O *post hoc* identificou que a co-contração do grupo Estabilização Constante que todos os demais grupos ($p=0,002$). Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 72)=5,9181, p=0,004; \eta^2=0,14$]. O *post hoc* identificou que a co-contração em Pré foi maior que PI ($p=0,049$). Contudo, não houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 72)=0,15800, p=0,98; \eta^2=0,012$].

Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PI3 (Fig. 11c), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 36)=3,4842, p=0,02; \eta^2=0,22$]. O *post hoc* identificou que a co-contração do grupo Estabilização Constante foi maior que a dos demais grupos ($p=0,03$). Não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 72)=2,5001, p=0,08; \eta^2=0,06$] e não houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 72)=0,10376, p=0,99; \eta^2=0,09$].

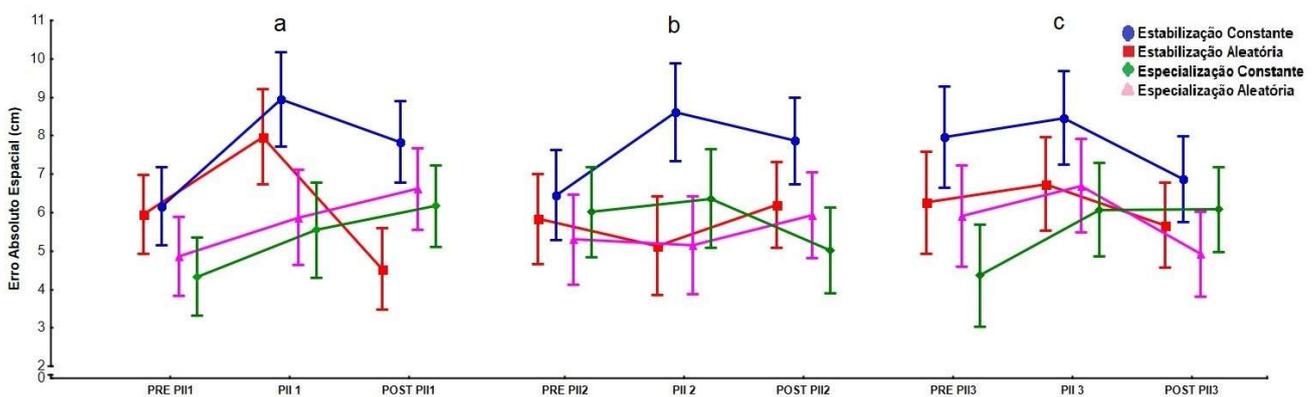
5.3 Fase de Exposição – Perturbação II

5.3.1 Resultados de desempenho motor dos blocos de PII1, PII2 e PII3

Os resultados de desempenho e de controle motor da fase de exposição se referem às medidas de erro absoluto (EA), erro constante (EC) espacial, tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV), Número de correções, Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) e Biceps/Triceps (Bic/Tri) dos blocos formados pelas tentativas (blocos de cinco tentativas) Pré-perturbação (Pre-PII), Perturbação (PII) e Pós-perturbação (Pós-PII).

Para a análise do EA em PII1 (Fig. 12a), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=6,6185, p=0,001; \eta^2=0,27$]. O *post hoc* identificou que o erro dos grupos Estabilização Constante e Estabilização Aleatória foi maior que dos demais grupos ($p=0,008$). Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=13,239, p=0,001; \eta^2=0,20$]. O *post hoc* identificou que o erro em PII1 foi maior que em Pré ($p=0,003$). Além disso, houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 104)=5,0381, p=0,001; \eta^2=0,22$]. O *post hoc* identificou que em PII1, o erro dos grupos Estabilização Constante e Estabilização Aleatória foi maior que dos grupos Especialização Constante e Especialização Aleatória ($p=0,001$).

Figura 12- Resultados do desempenho referentes à fase de exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA) em PII1; b) o Erro Absoluto (EA) em PII2; c) o Erro Absoluto (EA) em PII3.



Para a análise do EC em PII1, a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre os grupos [$F(3, 52)=9,0680, p=0,001; \eta^2=0,34$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante foi mais atrasado que os demais grupos ($p=0,001$). Também houve diferença significativa entre blocos [$F(2,$

104)=27,007, $p=0,001$; $\eta^2=0,34$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante foi mais atrasado em PIII que em Pré e Pós ($p=0,002$). Houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 104)=3,5799$, $p=0,003$; $\eta^2=0,17$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Constante foi mais atrasado em PIII que os demais grupos ($p=0,002$), e em Pós quando comparado com os grupos Especialização Constante e Especialização Aleatória.

Para a análise do EA em PII2 (Fig. 12b), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=5,5175$; $p=0,002$; $\eta^2=0,24$]. O *post hoc* identificou que o erro foi maior para grupo Estabilização Constante que os demais grupos ($p=0,008$). Não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=0,78483$, $p=0,45$; $\eta^2=0,014$]. Contudo, houve interação significativa entre blocos e grupos [$F(6, 104)=2,5477$, $p=0,024$; $\eta^2=0,13$]. O *post-hoc* identificou que em PII2, o erro do grupo Estabilização Constante foi maior que os demais grupos ($p=0,001$). Além disso, o erro em Pós o grupo Estabilização Constante foi maior em comparação com demais grupos ($p=0,049$).

Para a análise do EC em PII2, a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre os grupos [$F(3, 52)=7,1335$, $p=0,001$; $\eta^2=0,29$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Aleatória foi mais atrasado que os demais grupos ($p=0,001$). Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=21,477$, $p=0,001$; $\eta^2=0,29$]. O *post hoc* identificou que o erro foi mais atrasado em PII2 que em Pré e Pós ($p=0,002$). Além disso, houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 104)=6,9884$, $p=0,001$; $\eta^2=0,28$]. O *post hoc* identificou que o grupo Estabilização Aleatória foi mais atrasado em PII2 e em Pós que os grupos Especialização Constante e Estabilização Aleatória ($p=0,006$).

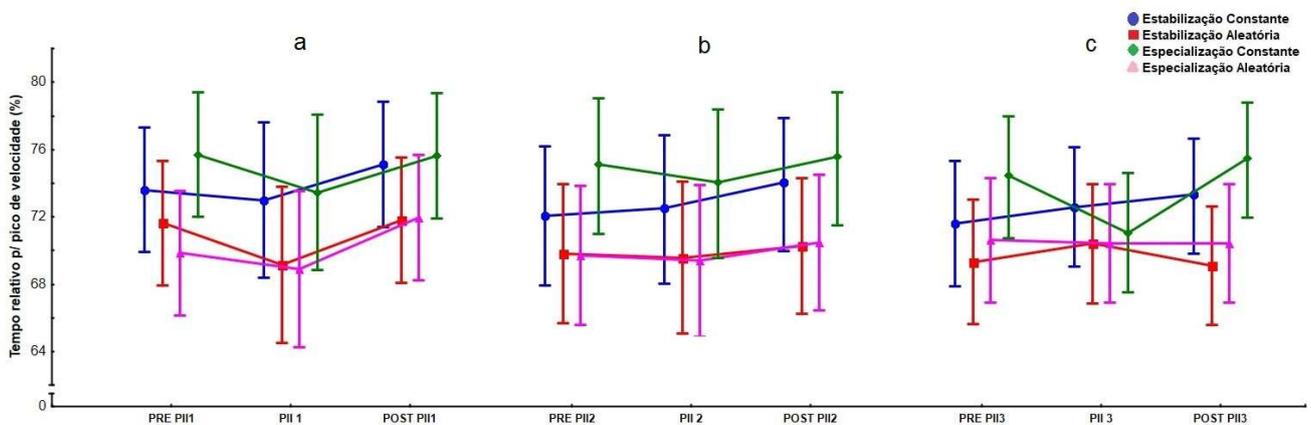
Para a análise do EA em PII3 (Fig. 12c), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=5,2217$, $p=0,003$; $\eta^2=0,23$]. O *post hoc* identificou que o erro do grupo Estabilização Constante foi maior que dos demais grupos ($p=0,04$). Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=5,0569$, $p=0,008$; $\eta^2=0,09$]. O *post hoc* identificou que o erro foi maior em PII3 que em Pré ($p=0,03$). Contudo, não houve interação significativa entre grupos e blocos [$F(6, 104)=1,7027$, $p=0,13$; $\eta^2=0,08$].

Para a análise do EC em PII3, a ANOVA mostrou não houve diferença significativa entre os grupos [$F(3, 52)=0,73217$, $p=0,53$; $\eta^2=0,04$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=3,2483$, $p=0,042$; $\eta^2=0,06$]. O *post hoc* identificou que o erro em Pós foi mais adiantado que em PII3 ($p=0,047$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 104)=0,75582$, $p=0,60$; $\eta^2=0,04$].

5.3.2 Resultados do %tpV dos blocos de PIII, PII2 e PII3

Para a análise do %tpV em PIII (Fig. 13a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(3, 52)=1,4535, p=0,23; $\eta^2=0,07$]. Houve diferença significativa entre blocos [F(2, 104)=9,1584, p=0,001; $\eta^2=0,15$]. O *post hoc* identificou que o %tpV para foi menor em Pós que em PII (p=0,01). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [F(6, 104)=0,52234, p=0,79; $\eta^2=0,03$].

Figura 13- Resultados do Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) referentes à fase de exposição. a) representa o %tpV em PIII; b) o %tpV em PII2; c) o %tpV em PII3.



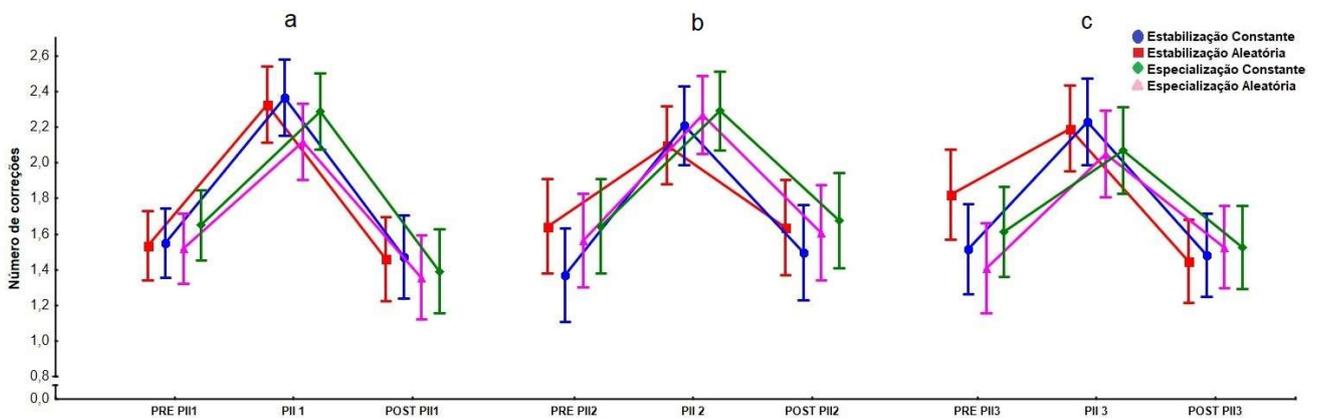
Para a análise do %tpV em PII2 (Fig. 13b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(3, 52)=1,5056, p=0,22; $\eta^2=0,07$], não houve diferença significativa entre blocos [F(2, 104)=2,5042, p=0,09; $\eta^2=0,04$] e também não houve interação entre grupos e blocos [F(6, 104)=0,28928, p=0,94; $\eta^2=0,01$].

Para a análise do %tpV em PII3 (Fig. 13c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos para o %tpV em PII3 [(3, 52)=1,1785, p=0,32; $\eta^2=0,06$]. Não houve diferença significativa entre blocos [F(2, 104)=2,1032, p=0,12; $\eta^2=0,03$]. Contudo, houve interação entre grupos e blocos [F(6, 104)=4,2066, p=0,001; $\eta^2=0,19$]. O *post hoc* identificou que o grupo Especialização Constante obteve maior %tpV em Pós-PII3 quando comparado com o grupo Especialização Aleatória e Estabilização Constante (p=0,04).

5.3.3 Resultados do Número de correções dos blocos de PII1, PII2 e PII3

Para a análise do Número de Correções em PII1 (Fig. 14a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=0,65967$, $p=0,58$; $\eta^2=0,03$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=91,384$, $p=0,001$; $\eta^2=0,63$]. O *post hoc* identificou mais correções em PII1 em comparação com os blocos Pré e Pós. Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 104)=0,42561$, $p=0,86$; $\eta^2=0,02$].

Figura 14- Resultados do número de correções (NC) referentes à fase de exposição. a) representa o NC em PII1; b) o NC em PII2; c) o NC em PII3.



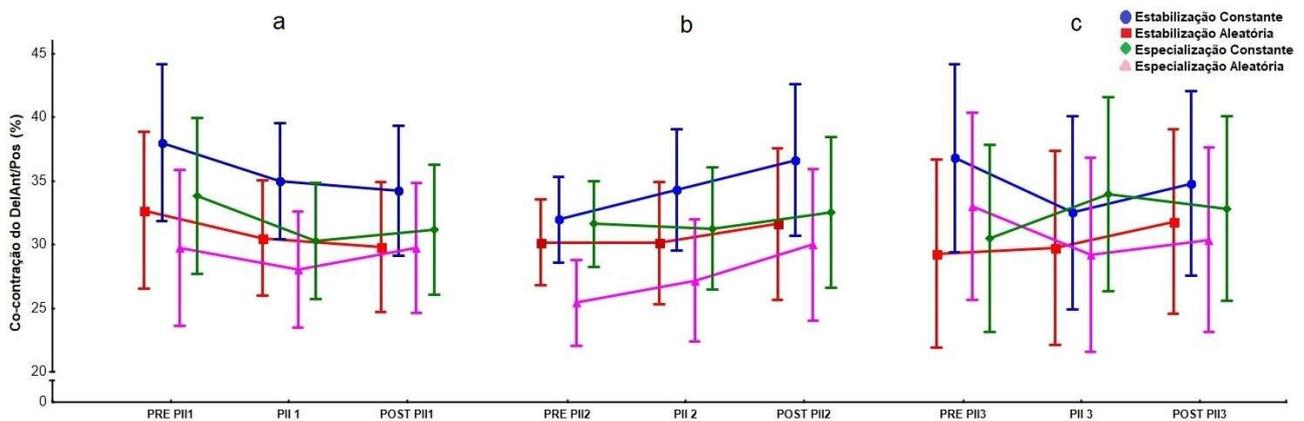
Para a análise do Número de Correções em PII2 (Fig. 14b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=0,69816$, $p=0,55$; $\eta^2=0,03$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=46,660$, $p=0,001$; $\eta^2=0,47$]. O *post hoc* identificou mais correções em PII2 em comparação com os blocos Pré e Pós. Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 104)=0,57324$, $p=0,75$; $\eta^2=0,032$].

Para a análise do Número de Correções em PII3 (Fig. 14c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(3, 52)=0,55674$, $p=0,64$; $\eta^2=0,03$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 104)=44,799$, $p=0,001$; $\eta^2=0,46$]. O *post hoc* identificou mais correções em PII3 em comparação com os blocos Pré e Pós. Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 104)=1,2817$, $p=0,27$; $\eta^2=0,06$].

5.3.4 Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) para blocos de PII1, PII2 e PII3

Para a análise da co-contração DelAnt/Pos em PII1 (Fig. 15a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(3, 36)=1,2516, p=0,30; $\eta^2=0,09$]. Houve diferença significativa entre blocos [F(2, 72)=7,4230, p=0,001; $\eta^2=0,17$]. O *post hoc* identificou que a co-contração em PII1 foi maior que em Pré (p=0,02). Contudo, não houve interação significativa entre grupos e blocos [F(6, 72)=0,73078, p=0,62; $\eta^2=0,06$].

Figura 15- Resultados da co-contração de Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) referentes à fase de exposição. a) a co-contração de DelAnt/Pos em PII1; b) a co-contração de DelAnt/Pos em PII2; c) a co-contração de DelAnt/Pos em PII3.



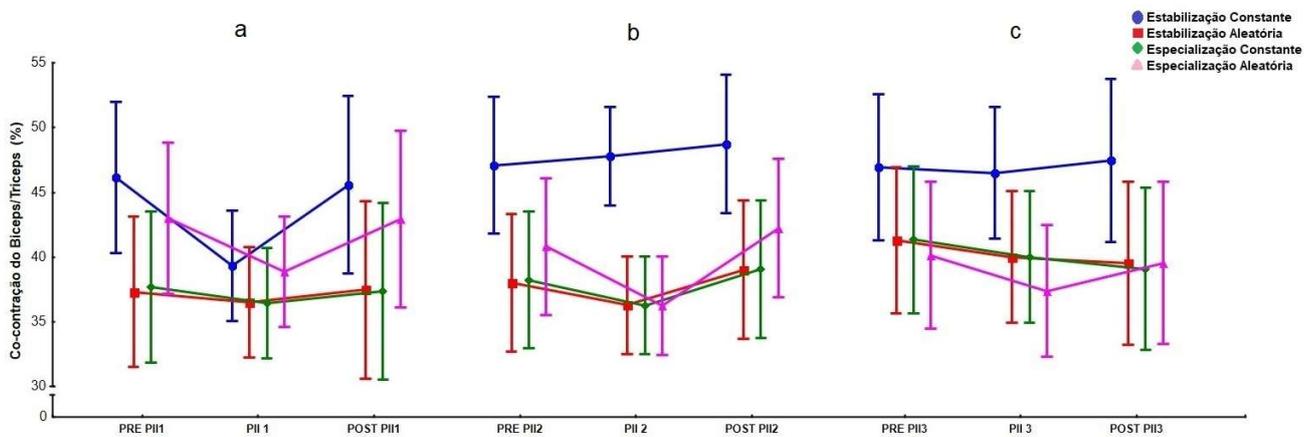
Para a análise da co-contração DelAnt/Pos em PII2 (Fig. 15b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(3, 36)=1,6814, p=0,18; $\eta^2=0,12$]. Houve diferença significativa entre blocos [F(2, 72)=6,1135, p=0,004; $\eta^2=0,15$]. O *post hoc* identificou que a co-contração foi menor em Pré que em Pós (p=0,008). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [F(6, 72)=0,73078, p=0,62; $\eta^2=0,05$].

Para a análise da co-contração DelAnt/Pos em PII3 (Fig. 15c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(3, 36)=0,3282, p=0,80; $\eta^2=0,03$], não houve diferença significativa entre blocos [F(2, 72)=0,68741, p=0,50; $\eta^2=0,02$], e nem interação entre grupos e blocos [F(6, 72)=0,73078, p=0,62; $\eta^2=0,13$].

5.3.5 Co-contração dos músculos Biceps/Triceps (Bic/Tri) para blocos de PII1, PII2 e PII3

Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PII1 (Fig. 16a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(3, 36)=1,6471, $p=0,19$; $\eta^2=0,12$]. Houve diferença entre blocos [F(2, 72)=6,1445, $p=0,003$; $\eta^2=0,15$]. O *post hoc* identificou que a co-contração foi maior em Pré e Pós em comparação com PII1 ($p=0,002$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [F(6, 72)=1,1311, $p=0,35$; $\eta^2=0,08$].

Figura 16- Resultados da co-contração de Biceps/Triceps (Bic/Tri) referentes à fase de exposição. a) a co-contração de DelAnt/Pos em PII1; b) a co-contração de DelAnt/Pos em PII2; c) a co-contração de DelAnt/Pos em PII3.



Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PII2 (Fig. 16b), a ANOVA mostrou que não houve diferença entre grupos [F(3, 36)=1,6471, $p=0,19$; $\eta^2=0,29$]. Houve diferença entre blocos [F(2, 72)=6,1445, $p=0,003$; $\eta^2=0,16$]. O *post hoc* identificou que a co-contração foi menor PII2 em comparação com Pré ($p=0,009$) e Pós ($p=0,001$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [F(6, 72)=1,0292, $p=0,41$; $\eta^2=0,08$].

Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PII3 (Fig. 16c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(3, 36)=1,6471, $p=0,19$; $\eta^2=0,14$]. Não houve diferença significativa entre blocos [F(2, 72)=1,2262, $p=0,29$; $\eta^2=0,03$], e nem interação significativa entre grupos e blocos [F(6, 72)=0,4187, $p=0,86$; $\eta^2=0,03$].

6 DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO I

A prática além da estabilização favorece a melhora do desempenho (FONSECA *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2017), pois a formação de estruturas de controle, inferidas pelo alcance da estabilização do desempenho (UGRINOWITSCH *et al.*, 2011), dá condições ao sistema sensorio motor de se especializar, explorando novas formas para selecionar e executar o comando motor e alcançar a meta estabelecida (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; KORNYSHEVA; DIEDRICHSEN, 2014). Alguns estudos têm mostrado que a variação de práticas anteriores proporciona ao sistema sensorio motor maiores níveis de adaptação (KRAKAUER *et al.*, 2000; LEITE, 2015). Porém, o nível de estabilização tem sido manipulado a partir de prática constante, e pouco se tem explorado o comportamento das estruturas de controle durante a aquisição da habilidade.

Perante este contexto, o experimento I teve como objetivo investigar os efeitos do nível de estabilização do desempenho e da estruturação da prática (constante e aleatória) na adaptação a perturbações motoras imprevisíveis. Foram levantadas cinco hipóteses, sendo as duas primeiras relacionadas à fase de pré-exposição, momento em que foram manipuladas as duas variáveis independentes. As hipóteses três, quatro e cinco são direcionadas à fase de exposição, momento em que foram impostas as perturbações para poder fazer inferências sobre o efeito das duas variáveis independentes no controle motor. Serão discutidas primeiramente as hipóteses relacionadas à fase de pré-exposição e, em seguida, as hipóteses relacionadas à fase de exposição às perturbações. A primeira hipótese está relacionada à forma com que o desempenho é influenciado pelo nível de estabilização manipulado a partir de prática constante e aleatória. A segunda hipótese diz respeito ao efeito do nível de estabilização e da estrutura de prática sobre o desempenho e sobre o controle durante a fase de pré-exposição, inferido a partir das estratégias utilizadas para se atingir a meta estipulada.

6.1 Fase de Pré-exposição

6.1.1 Desempenho: Erro Absoluto e Erro Constante

O desempenho motor, observado a partir do Erro Absoluto (EA) e Erro Constante (EC), mostrou que todos os grupos melhoraram do início para o final da fase de pré-exposição, independente do nível de estabilização do desempenho e do tipo de prática. Porém, o EA do grupo Estabilização Constante foi maior que os demais grupos nos três primeiros blocos da pré-exposição, e o grupo Estabilização Aleatória

apresentou desempenho semelhante ao dos grupos Especialização Constante e Especialização Aleatória. Esses resultados levam à confirmação parcial da primeira hipótese, de que o alcance do nível Especialização do desempenho levaria a melhores desempenhos na fase de pré-exposição quando comparados com o nível de Estabilização do desempenho.

Os resultados referentes ao grupo Especialização Constante vão ao encontro da literatura, pois a prática constante além da estabilização leva à formação de estruturas de controle mais competentes, e garante superioridade em comparação com grupos que praticam até a estabilização (FONSECA *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2017; UGRINOWITSCH *et al.*, 2011). Essa competência parece estar relacionada a maiores chances de atualização do comando motor (ex. cópia eferente) proporcionadas pela atualização do Modelo *Forward* (KAWATO, 1999; WOULPERT; KAWATO, 1998). Ou seja, o alcance de níveis superiores de estabilização leva a uma especialização na seleção e execução dos comandos motores (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015).

Por outro lado, o desempenho do grupo Estabilização Aleatória aponta para uma superioridade no alcance do nível de estabilização proporcionada pela prática variada quando comparada com a prática constante até a estabilização. Uma primeira explicação é a forma com que os dados foram analisados, separando o total de tentativas da fase de Pré-exposição em quatro partes. Nesta fase, o grupo Estabilização Aleatória, como em qualquer prática aleatória, o desempenho alterna entre erro e acerto devido à necessidade de modificações na parametrização. Isso porque quando a meta é atingida, existe uma tentativa de se repetir o planejamento motor na próxima tentativa, mas devido à aleatoriedade, pode haver incompatibilidade entre o comando gerado e a atual demanda da tarefa. Esta proposta é baseada no fato de que o executante usa as informações da tentativa anterior para planejar a tentativa futura (CASTRO *et al.*, 2014). Uma outra explicação para esse resultado está na maior exigência ao sistema de controle motor provocado pela prática aleatória. Alguns estudos têm apontado que a prática variada exige um comportamento mais exploratório, e desencadeia uma constante atualização do comando motor em função da variação (LAGE *et al.*, 2015; WU *et al.*, 2014). A necessidade de atualização do comando exigida pela variação da prática, vista aqui como atualização do *Forward*, parece ter garantido diferentes cópias e isso pode ter provocado modificações nas estratégias de controle do grupo de prática aleatória (IZAWA *et al.*, 2008). Consequentemente, isso pode ter favorecido a formação de estruturas de controle mais competentes (*Módulos experts*) na aquisição da habilidade motora (KAWATO, 1999; WOULPERT; KAWATO, 1998) e o erro se manteve mais baixo durante esta fase.

6.1.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e número de correções

As variáveis %tpV e o número de correções possibilitam observar as estratégias de controle e realizar inferências sobre os mecanismos de controle utilizados para a interceptação. Para tarefas de interceptação em contextos previsíveis a estratégia comumente utilizada é esperar que o alvo se aproxime da zona de interceptação para iniciar o movimento. Desta forma, o alcance do pico de velocidade ocorre nas porções finais do movimento (TRESILIAN *et al.*, 2004; TRESILIAN; PLOOY, 2006). Essa estratégia é utilizada quando existe maior certeza sobre o contexto e leva à utilização do mecanismo predominantemente via pré-programação diminuindo número de correções em função da prática (TRESILIAN; PLOOY, 2006). Este pressuposto foi testado e auxilia a responder a segunda hipótese.

Os resultados das comparações do %tpV mostraram que não houve diferenças entre blocos, demonstrando que os grupos iniciaram e finalizaram a fase de pré-exposição de forma semelhantes. Contudo, os grupos utilizaram diferentes estratégias, pois o grupo Estabilização Constante apresentou maior %tpV que os dois grupos de prática aleatória. Neste caso, a não repetição da prática aleatória levou a uma estratégia de antecipar o início do movimento, garantindo mais tempo para as correções nas porções finais do movimento em comparação com o grupo Estabilização Constante. Esta estratégia já foi observada em estudos anteriores (IZAWA *et al.*, 2008, LEITE, 2014). Ou seja, iniciava o movimento, mas a sua finalização era baseada nas informações proprioceptivas referentes à tentativa em questão, e não nas informações da tentativa anterior, como já observado na literatura (CASTRO *et al.*, 2015). Além disso, houve diferenças entre os grupos no número de correções do primeiro para o último bloco de tentativas, sendo que o grupo Estabilização Constante realizou menos correções que os dois grupos aleatórios. Este resultado pode ser justamente pela falta de tempo para as correções, já que o %tpV era mais próximo do final do movimento, proporcionando menos tempo para possíveis correções.

De fato, o grupo Estabilização Constante só atingiu o mesmo desempenho que os outros três grupos quando adquiriu o mesmo mecanismo de controle que os demais, indicando resultados diferentes aos encontrados por Tresilian e Plooy (2006), pois o melhor desempenho acontece com o uso predominante do mecanismo via *feedback*. Este comportamento era esperado para os grupos de prática aleatória, e realmente estes tiveram o menor %tpV, mas não explicam o grupo Especialização Constante. Este grupo iniciou com maior %tpV que o grupo Especialização Aleatório, mas a partir do segundo bloco o comportamento de ambos se iguala. Estes dados mostram que quando a prática constante continua além

da estabilização do desempenho, as estratégias de controle podem ser alteradas, e o sistema sensório motor pode adquirir características similares às dos grupos com prática aleatória (WU *et al.*, 2014). No geral, esses resultados refutam a hipótese 2, pois a diminuição do %tpV ao longo da fase indica predominância de controle via *feedback*, e os resultados presentes na literatura indicam o contrário.

6.1.3 Medidas de co-contração

A análise da atividade elétrica muscular (EMG) é uma medida que pode auxiliar na compreensão de formação das estruturas de controle (Modelos Internos) e conseqüentemente no processo de aquisição de habilidades motoras (DARAINY; OSTRY, 2008; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). De forma mais específica, as medidas de co-contração dão condições de observar as estratégias de controle utilizadas pelo sistema neuromuscular. A característica comumente observada é o aumento da co-contração dos músculos antagonistas nas fases iniciais de prática e com decorrente diminuição quando a habilidade é adquirida (THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Estes resultados auxiliam a responder a hipótese 2.

Os resultados das medidas de co-contração mostram que o grupo Especialização Aleatória apresentou menor co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior que os demais grupos no primeiro bloco da fase de pré-exposição. Além disso, a partir do segundo bloco, os dois grupos Especialização tiveram resultados semelhantes. Já os grupos Estabilização Constante e Aleatória foram semelhantes entre si durante toda a fase de pré-exposição. Esses dados apontam para um melhor controle dos grupos Especialização em comparação com os grupos Estabilização do desempenho. Pois, menores valores de co-contração podem resultar em uma menor rigidez do sistema muscular e, conseqüentemente, facilitar o controle via *feedback online* (CREVECOEUR; SCOTT, 2013; SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994; SANTOS *et al.*, 2017). Esta diferença na co-contração parece ser modulada, principalmente nível de estabilização do desempenho. Pois, ao se alcançar maiores níveis de habilidade, o sistema neuromotor adquire maior capacidade em controlar de forma eficiente a rigidez articular (BURDET *et al.*, 2001; BURDET *et al.*, 2006).

A partir dos resultados relacionados às estratégias de controle utilizadas durante a fase de pré-exposição, é possível inferir que os mecanismos de controle foram influenciados não somente pelo nível de estabilização, mas também pelo tipo de prática.

6.2 Fase de Exposição

Em estudos relacionados à adaptação motora, mesmo utilizando diferentes abordagens, existem pressupostos de que níveis superiores de estabilização do desempenho proporcionam ao sistema sensoriomotor maior competência em lidar com as mudanças geradas por perturbações (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; FONSECA *et al.*, 2012; UGRINOWITSCH *et al.*, 2011). Desta forma, a análise dos resultados referentes às variáveis de desempenho motor (EA e EC) da fase de exposição do Experimento I, tem como objetivo responder a hipótese 3, de que o alcance da Especialização do desempenho proporcionaria melhores desempenhos frente à perturbação em comparação com a Estabilização do Desempenho. Todos os dados desta fase estão analisados por blocos de perturbação, separados por três blocos de PI e três blocos de PII. Além disso, cada uma destas perturbações foi comparada com as suas respectivas tentativas anteriores (Pré) e posteriores (Pós) perturbação.

6.2.1 Erro Absoluto e Erro Constante

Na análise do EA, o grupo Especialização Aleatória foi o que apresentou melhor desempenho frente às perturbações. Já o grupo Estabilização Constante foi o que obteve o pior desempenho quando enfrentou as perturbações, e também foi o que apresentou maior dificuldade para retomar o desempenho na tentativa subsequente à perturbação. Além disso, o grupo Especialização Constante também apresentou bom desempenho, mas principalmente na PII. Da mesma forma que na Pré-exposição, os dois grupos de Especialização tiveram melhor desempenho durante a fase de Exposição. Na análise do EC, o grupo Estabilização Constante foi mais atrasado nas tentativas com perturbação em comparação com os demais grupos, e esta medida também mostrou a maior dificuldade deste grupo para se adaptar à PII. Esses dados levam à confirmação parcial da hipótese três.

O melhor desempenho dos grupos especialização Aleatória e Constante pode ser explicado pela prática além da estabilização. Pois, quando a prática se estende além da estabilização e são impostos o alcance de desempenhos critério (FONSECA *et al.*, 2012), a estrutura de controle se especializa nesta função (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015). Além disso, a continuação da prática além da Estabilização pode ter aumentado a competência das estruturas de controle formadas, pois nesta condição mais cópias eferentes são enviadas ao Modelo *Forward* para a atualização do comando motor, transformando os módulos aprendidos em Módulos *experts* (KAWATO, 1999; WOULPERT; KAWATO,

1998). Já os grupos Estabilização Aleatória e Constante tiveram menores oportunidades, devido à necessidade de se atingir o desempenho critério somente uma vez.

A segunda explicação está relacionada à variação da prática, que favoreceu a formação de estruturas mais competentes para lidar com as perturbações (HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017; OSU *et al.*, 2004). Uma vez que a variação da prática exige uma nova estimativa do estado desejado (KRAKAUER *et al.*, 2006), o planejamento e a execução do comando motor devem ser modificados a cada tentativa (WU *et al.*, 2014). Assim, a prática aleatória criou mais módulos capazes de serem combinados para responder adequadamente à perturbação (KAWATO, 1999; WOULPERT; KAWATO, 1998). Neste caso, o grupo Estabilização Aleatório conseguiu atingir o desempenho dos grupos Especialização devido aos efeitos da prática aleatória.

O Grupo especialização constante obteve resultados semelhantes aos do grupo Especialização aleatória frente às perturbações. A explicação para essa semelhança torna-se desafiadora, pois na prática constante não existe uma variação paramétrica (ex: mudanças na carga) imposta pela tarefa realizada. Parece que a prática além da estabilização com imposição do desempenho critério foi suficiente para a formação de estruturas de controle competentes para lidar com a perturbação. Entretanto, é possível especular que mesmo praticando de forma constante, o sistema sensorio motor pôde gerar variabilidade suficiente para alcançar um *workspace* suficiente para auxiliar na formação das estruturas de controle. Uma possível forma de se observar essa possibilidade seria uma análise da variabilidade no desempenho e nas estratégias de controle utilizadas durante a fase de aquisição (pré-exposição).

6.2.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e número de correções

O %tpV é uma medida capaz de fornecer informações sobre as estratégias utilizadas para realizar em tarefas de interceptação. Quando o pico de velocidade é alcançado de forma antecipada em relação ao tempo total de movimento, ou seja, menores valores percentuais do %tpV, existe a possibilidade de utilização predominante do mecanismo via *feedback*, pois sobra mais tempo para correções na parte final do movimento (ELLIOT *et al.*, 1999). Por outro lado, quando o pico de velocidade é alcançado em momentos finais do movimento, as possibilidades de correções ficam limitadas ou até mesmo impossibilitadas (ELLIOT *et al.*, 2006; TRESILIAN; PLOOY, 2006). Além do %tpV, as inflexões nas curvas de aceleração provocadas por diminuições e aumentos na velocidade possibilitam contabilizar possíveis correções durante o movimento (ELLIOT *et al.*, 1999; TRESILIAN; PLOOY, 2006). Partindo

do pressuposto que o %tpV e o número de correções dão condições de inferir sobre o mecanismo de controle utilizados na adaptação em tarefas de interceptação, foram levantadas as hipóteses quatro e cinco. A hipótese quatro é que a adaptação ocorreria mediante a utilização predominante do mecanismo via *feedback*, tanto para os grupos de prática constante, quanto para os grupos de prática aleatória. Para responder a esta hipótese, esperava-se que o %tpV diminuísse nos blocos de “P” e aumentassem nos blocos Pós. Este resultado não aconteceu, pois praticamente não houve mudanças nesta variável. Contudo, mesmo sem aumentar o tempo disponível para as correções nas tentativas P, o número de correções aumentou. A hipótese cinco diz que após a retirada da perturbação, todos os grupos utilizariam do mecanismo de controle via pré-programação de forma predominante, o que novamente seria observado no aumento do %tpV. Contudo, este resultado não aconteceu.

Os resultados do %tpV frente às perturbações mostrou que os grupos não modificaram esta variável para fazer as correções. Era esperado que, ao perceber as informações, o %tpV diminuísse para sobrar mais tempo para as correções, predominando o mecanismo de *feedback* para que as correções fossem feitas *on line* (TRESILIAN; PLOOY, 2006). Contudo, isso não ocorreu, e o comportamento também se manteve quando foi retirada a perturbação.

Apesar da não diminuição do %tpV em P, que proporcionaria mais tempo para as correções, o número de correções aumentou significativamente de forma similar entre os grupos. Esses dados apontam que os grupos fizeram uso do mecanismo via *feedback* durante toda a segunda fase, a ponto de ainda ser possível o aumento número de correções diante das perturbações.

6.2.3 Medidas de Co-contração

Uma das estratégias mais comuns em um sistema neuromotor habilidoso é a diminuição da co-contração dos músculos antagonistas diante de mudanças externas (THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Como citado anteriormente, valores mais baixos de co-contração resultam em uma menor rigidez do sistema muscular e, como consequência, o controle via *feedback* pode ser facilitado (CREVECOEUR; SCOTT, 2013; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Essa estratégia pode favorecer as modificações necessárias para enfrentar a perturbação.

Na comparação da co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior, os resultados não mostraram diferença resultante das duas variáveis independentes e nem da perturbação. Contudo,

resultados importantes foram encontrados na co-contração de Bic/Tri. Na análise das perturbações, a co-contração diminuiu na maioria dos blocos “P”. Este dado mostra que quando foi necessário fazer alguma modificação devido à perturbação, a estratégia utilizada foi diminuir a rigidez na articulação proximal, corroborando os achados na literatura. Pois, a diminuição da co-contração diante de mudanças externas está relacionada com a adaptação (SANTOS *et al.*, 2017) e conseqüentemente com o processo de aprendizagem (DARAINY; OSTRY, 2008).

Por outro lado, os resultados do presente estudo contrariam alguns resultados relacionados à cocontração para movimentos que envolvem precisão. Pois, tendo mostrado que para situações em que a tarefa envolve precisão, a estratégia utilizada é aumentar a rigidez nas articulações proximais e conseqüentemente tornar o movimento mais estável (SCHIEPPATI *et al.*, 1996). Porém, a tarefa utilizada pelos autores foi a partir de ações isométricas e as mudanças foram de forma previsível. No presente estudo a tarefa foi realizada a partir de ações dinâmicas e as mudanças foram imprevisíveis. Pode-se então assumir que, diante de situações imprevisíveis e quando as ações são dinâmicas, a estratégia é manter o nível de co-contração na articulação proximal e reduzir a cocontração na articulação distal para facilitar a realização de ajustes. Com a diminuição da co-contração, o músculo agonista mais próximo do efetor (Triceps) pôde atuar para realizar as correções com maior precisão (GRIBBLE *et al.*, 2003).

Na análise dos grupos, o Estabilização Constante apresentou maior nível de co-contração na articulação do cotovelo que os demais grupos. A combinação da prática até o nível de Estabilização realizada de forma constante dificultou a realização dos ajustes nesta articulação, pois não houve prática suficiente para formar grande quantidade de cópias eferentes, que não viabilizou a formação de Módulos *experts* (WOULPERT; KAWATO, 1998). Além disso, a prática realizada somente de forma constante até a estabilização do desempenho não viabilizou a formação de mais módulos capazes de serem combinados para enfrentar a perturbação. Em conjunto, os dados confirmam a hipótese quatro e rejeitam a hipótese cinco.

7 EXPERIMENTO II

O experimento II tem como objetivo verificar a efetividade da combinação de prática (Constante e Aleatória), pois, estudos recentes demonstraram que a combinação de prática favorece a aquisição de habilidades motoras (BRAUN *et al.*, 2009; CASTRO *et al.*, 2014; HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017). Estes estudos manipularam diferentes combinações de prática (Constante, Bloco e Aleatória). Foi

observado que a prática com maior repetição (ex. constante) seguida de prática variada promoveu uma aprendizagem mais efetiva (CASTRO *et al.*, 2014), além de maior adaptabilidade (BRAUN *et al.*, 2009a; CASTRO *et al.*, 2014). Entretanto, no presente estudo serão manipuladas duas estruturas de forma combinada. A primeira será a partir da combinação Constante-Aleatória e a segunda Aleatória-Constante.

7.1 Objetivos específicos do Experimento II

1. Investigar os efeitos da estruturação da prática combinada (constante-aleatória; aleatória-constante) no desempenho durante a fase de pré-exposição.
2. Investigar os efeitos da estruturação da prática combinada (constante-aleatória; aleatória-constante) no mecanismo de controle durante a fase de pré-exposição.
3. Investigar os efeitos da estruturação da prática combinada (constante-aleatória; aleatória-constante) no desempenho diante de perturbações motoras imprevisíveis.
4. Investigar os efeitos da prática combinada (constante-aleatória; aleatória-constante) no mecanismo controle diante de perturbações motoras imprevisíveis.
5. Investigar os efeitos da prática combinada (constante-aleatória; aleatória-constante) no mecanismo de controle motor após a execução das tentativas com perturbação.

7.2 Hipóteses do experimento II

H₁- O desempenho do grupo Constante-Aleatória será semelhante ao do grupo Aleatória-Constante na fase de pré-exposição.

H₂- O mecanismo de controle utilizado pelos grupos será modificado durante a fase de pré-exposição, iniciando com mecanismo predominante via *feedback* e finalizando com o mecanismo predominantemente via pré-programação, independente da combinação da prática.

H₃- A prática combinada constante-aleatória proporcionará melhores desempenhos frente à perturbação quando comparada com a prática combinada aleatória-constante.

H₄- O mecanismo de controle utilizado pelos grupos diante das perturbações será predominantemente via *feedback*.

H₅- Após a retirada da perturbação, ambos os grupos utilizarão do mecanismo de controle predominantemente via pré-programação, para a retomada do desempenho.

7.3 Método – Experimento I I

Para atingir o objetivo e responder as hipóteses do Experimento II, os participantes foram submetidos a uma fase de prática, denominada fase de pré-exposição, e posteriormente a uma fase de exposição a perturbações, semelhantes ao Experimento I (SANTOS *et al.*, 2017). Neste experimento a diferença em relação aos experimentos I está relacionada a amostra e à manipulação da estrutura de prática e do nível de Especialização do desempenho. Para não ficar repetitivo, aqui será descrita apenas a primeira fase (Pré-exposição) na qual será manipulada a variável independente.

7.3.1 Amostra

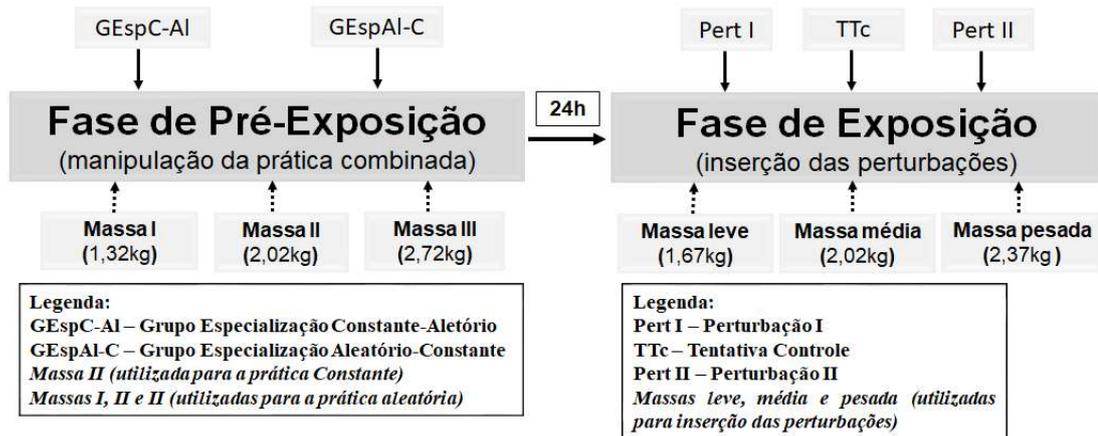
A amostra foi composta por 22 participantes, estudantes voluntários de ambos os sexos (16 homens e 6 mulheres), com idade entre 18 e 35 anos de idade. Os critérios de exclusão foram os mesmos do Experimento I.

7.3.2 Delineamento

Nesta fase, os participantes foram organizados em dois grupos: grupo Especialização constante-aleatória (GEspC-AI; n=11) e grupo Especialização aleatória-constante (GEspAI-C; n=11). Na Pré-exposição o GEspC-AI foi submetido à prática constante até o alcance do critério de estabilização do desempenho, ou seja, realizar um bloco de quatro tentativas consecutivas corretas. Nesta condição (constante) tanto a velocidade de deslocamento do alvo (145 cm/s), quanto a massa do efector (massa II=2,02kg) foram constantes. Quando a estabilização do desempenho era alcançada iniciava-se a prática aleatória até o alcance do critério de Especialização (mais cinco blocos de quatro tentativas consecutivas corretas). A velocidade de deslocamento do alvo foi de 145 cm/s e a massa do efector era variada (massa menor I=1,32kg, média II=2,02kg e maior III=2,72kg). Já o GEspAI-C praticou a tarefa sob condição aleatória da massa do efector, até o alcance da estabilização do desempenho (massa leve=1,32kg, média=2,02kg e pesada=2,72kg), seguida da prática constante até o alcance de Especialização. Após 24

horas do final desta fase, os participantes foram submetidos à fase de Exposição (Idêntica ao Experimento I). A figura 17 ilustra as fases que compunham o experimento II.

Figura 17 – Síntese do delineamento do experimento II.



7.3.3 Análise estatística

Neste experimento, os dados foram organizados em média e medida de dispersão. Após esta organização, todos os dados foram conferidos quanto à normalidade, homocedasticidade e esfericidade.

Na fase de Pré-exposição, os dados foram organizados em quatro blocos de 25% das tentativas (0-25; 26-50; 51-75; 76-100%). A fim de testar a hipótese 1 (H_1) e 2 (H_2) do experimento I, foram analisados o desempenho, o tempo relativo para o pico de velocidade em milissegundos (%tPV), o número de correções e a co-contração de Deltoide anterior/Deltoide posterior e Biceps/Triceps. Para tanto foi realizada um ANOVA *two way* (2 grupos x 4 blocos).

Na fase de exposição, a comparação foi feita entre as tentativas imediatamente prévias à perturbação (Pré), tentativas com a perturbação (Per) e tentativas imediatamente após a retirada da perturbação (Pós), com os dados organizados em blocos de cinco tentativas. Esta organização resultou em três blocos de tentativas Pré PI, PI e Pós PI; e três blocos de tentativas Pré PII, PII e Pós PII. Esses dados foram utilizados para análise das variáveis dependentes EA, EC, %tPV (ms), número de correções na curva de aceleração e a co-contração de Deltoide anterior/Deltoide posterior e Biceps/Triceps.

Para responder as hipóteses 3 (H₃) do experimento II, foi conduzida um ANOVA *two way* (2 grupos x 3 blocos), para as medidas do EA e EC.

Para responder as hipóteses 4 (H₄) e 5 (H₅) do experimento II, foi conduzida um ANOVA *two way* (2 grupos x 3 blocos), para as medidas do %tPV, número de correções e a co-contração de Deltoide anterior/Deltoide posterior e Biceps/Triceps.

O *post hoc* de *Bonferroni* foi utilizado na comparação par a par, quando necessário. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$.

8 RESULTADOS DO EXPERIMENTO II

Preimeiramente serão apresentados os resultados de desempenho e de controle motor referente à fase de pré-exposição para que se possa responder as hipóteses 1 e 2. Em seguida serão apresentados os resultados de desempenho e de controle motor referentes à fase de exposição para responder as hipóteses 3,4, e 5.

8.1 Fase de Pré-exposição

8.1.1 Erro Absoluto e Erro Constante

Os resultados de desempenho motor se referem às medidas de erro absoluto (EA) e erro constante (EC) espacial dos quatro blocos de 25% das tentativas referentes à Pré-exposição. A Figura 18 mostra os

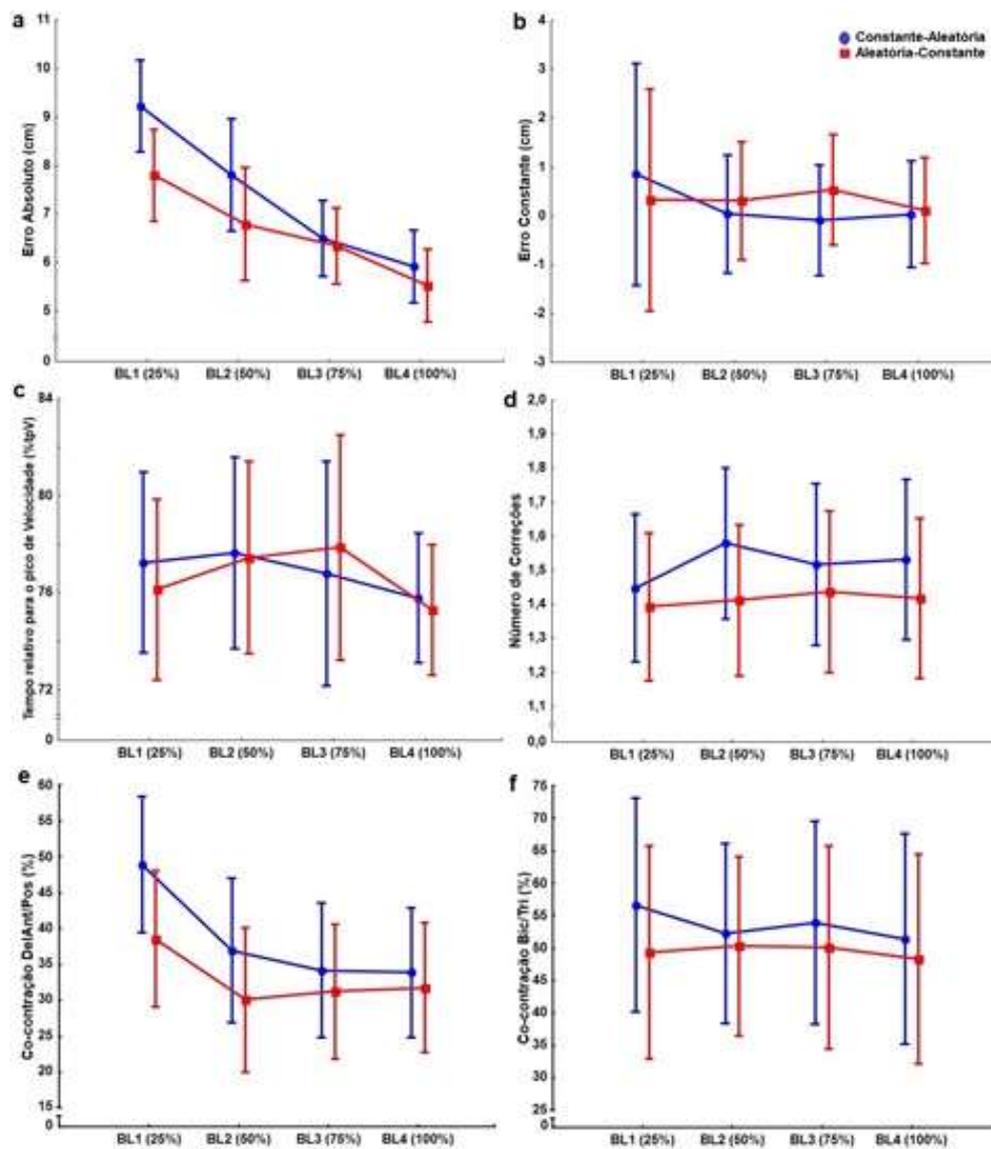
resultados do EA (18a) e os resultados do EC (18b). Para a análise do EA a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=2,0937$, $p=0,16$; $\eta^2=0,09$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(3, 60)=34396$, $p=0,001$; $\eta^2=0,63$]. O *post hoc* identificou que houve redução significativa do erro a partir do segundo bloco para ambos os grupos ($p=0,01$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(3, 60)=2,0180$, $p=0,12$; $\eta^2=0,09$].

Para a análise do EC a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre os grupos [$F(1, 20)=0,01940$, $p=0,89$; $\eta^2=0,001$]. Não houve diferença significativa entre blocos [$F(3, 60)=0,42793$, $p=0,73$; $\eta^2=0,02$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(3, 60)=0,48356$, $p=0,69$; $\eta^2=0,02$].

8.1.2 Resultados das variáveis de inferência de controle motor

O tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e o número de correções são variáveis que possibilitam inferir sobre as estratégias de controle para a interceptação. A Figura 18 mostra o %tpV (18c) e o Número de correções (18d) dos quatro blocos. Para o %tpV (Fig. 18c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,00777$, $p=0,93$; $\eta^2=0,001$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(3, 60)=1,0800$, $p=0,36$; $\eta^2=0,05$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(3, 60)=0,28011$, $p=0,83$; $\eta^2=0,01$].

Figura 18 – Resultados de quatro blocos de 25% das tentativas das variáveis de desempenho e de controle motor referentes à fase de pré-exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA); b) o Erro Constante; c) o tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV); d) Número de correções; e) Co-contração de Deltóide Anterior/Posterior (%); e f) Co-contração de Biceps/Triceps (%).



Para o número de correções (Fig. 18d), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,57937$, $p=0,45$; $\eta^2=0,02$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(3, 60)=0,58425$, $p=0,62$; $\eta^2=0,03$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(3, 60)=0,32708$, $p=0,80$; $\eta^2=0,01$].

8.1.3 Medidas de co-contração

As medidas de co-contração estão realiccionadas à atividade dos músculos Deltóide anterior-Deltóide posterior e Bíceps-Tríceps e são representadas na Figuras 18e e 18f. Para os músculos Deltóide Anterior/Posterior (Fig. 18e), o resultado da ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(1, 18)=14574,, p=0,24; $\eta^2=0,005$]. Houve diferença significativa entre blocos [F(3, 54)=1,2563, p=0,03; $\eta^2=0,14$]. O *post hoc* identificou que ambos os grupos apresentaram menor co-contração no segundo, terceiro e quarto em comparação com o primeiro (p=0,03). Houve interação entre grupos e blocos [F(3, 54)=3,2606, p=0,028; $\eta^2=0,15$]. O *post hoc* identificou que o grupo Aleatória-Constante apresentou menor co-contração que o grupo Constante-Aleatória no primeiro bloco (p=0,04).

O resultado da ANOVA para os músculos Bíceps/Tríceps (Fig. 18f) mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(1, 18)=0,00107, p=0,97; $\eta^2=0,004$]. Não houve diferença significativa entre blocos [F(3, 54)=0,68297, p=0,56; $\eta^2=0,03$] e nem interação entre grupo e blocos [F(3, 54)=0,70604, p=0,55; $\eta^2=0,04$].

8.2 Fase de exposição – Perturbação I

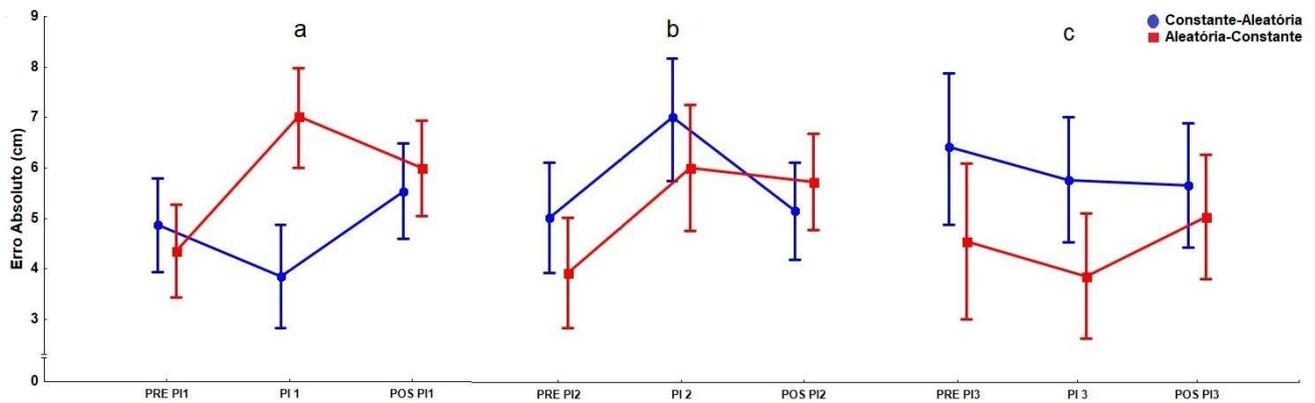
8.2.1 Erro Absoluto e Erro Constante dos blocos de perturbação PI1, PI2 e PI3

Os resultados de desempenho da fase de exposição se referem às medidas de erro absoluto (EA), erro constante (EC) espacial, e de controle motor às medidas de tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV), Número de correções, Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) e Biceps/Triceps (Bic/Tri) dos três blocos cinco tentativas, formados pelas tentivas Pré-perturbação (Pre), Perturbação (PI) e Pós-perturbação (Pós) e são representadas pela Figura 19.

Para a análise do EA em PI1 (Fig. 19a), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [F(1, 20)=6,5365, p=0,02; $\eta^2=0,24$]. O *post hoc* identificou que o grupo Aleatória-Constante teve maior erro que o grupo Constante-Aleatória (p=0.001). Houve diferença significativa entre blocos [F(2, 40)=3,6141, p=0,04; $\eta^2=0,15$]. O *post hoc* identificou que o erro foi maior em PI1 que em Pré e Pós (p=0,001). Houve interação entre grupos e blocos [F(2, 40)=9,3503, p=0,001; $\eta^2=0,31$]. O *post hoc* identificou que o erro grupo Aleatória-Constante foi pior que o grupo Constante-Aleatória frente a perturbação (p=0001). Para a análise do EC a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre

os grupos [$F(1, 20)=2,7605$, $p=0,11$; $\eta^2=0,12$], não houve diferença significativa entre blocos [$(2, 40)=0,32113$, $p=0,72$; $\eta^2=0,01$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,46448$, $p=0,63$; $\eta^2=0,02$].

Figura 19- Resultados do desempenho referentes à fase de exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA) em PI1; b) o Erro Absoluto (EA) em PI2; c) o Erro Absoluto (EA) em PI3.



Para a análise do EA em PI2 (Fig. 19b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=1,5693$, $p=0,22$; $\eta^2=0,07$]. Houve diferença entre blocos [$F(2, 40)=6,8612$, $p=0,002$; $\eta^2=0,25$]. O *post hoc* identificou que o erro em PI2 foi maior que em Pré ($p=0,01$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=1,4787$, $p=0,24$; $\eta^2=0,06$]. Para a análise do EC, a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre os grupos [$F(1, 20)=1,7067$, $p=0,20$; $\eta^2=0,07$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=0,26471$, $p=0,76$; $\eta^2=0,01$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,20052$, $p=0,81$; $\eta^2=0,009$].

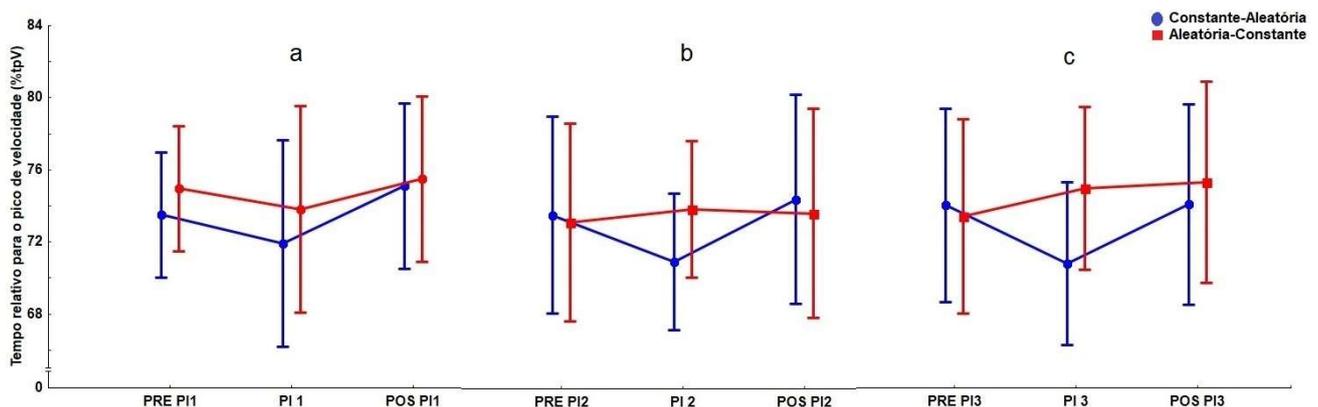
Para a análise do EA em PI3 (Fig. 19c), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=9,1515$, $p=0,007$; $\eta^2=0,31$]. O *post hoc* identificou que o erro do grupo Aleatória-Constante foi menor que o grupo Constante-Aleatória ($p=0,04$). Não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=0,56932$, $p=0,57$; $\eta^2=0,02$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,60569$, $p=0,55$; $\eta^2=0,3$]. Para a análise do EC, a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre os grupos [$F(1, 20)=0,00046$, $p=0,98$; $\eta^2=0,001$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=0,67072$, $p=0,51$; $\eta^2=0,03$]. Houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=3,2176$, $p=0,05$; $\eta^2=0,14$]. O *post hoc* identificou que o grupo Aleatória-Constante foi mais adiantado em Pré que o grupo

Constante-Aleatória ($p=0,04$). Além disso, o grupo Aleatória-Constante foi mais atrasado em PI3 quando comparado com Pré ($p=0,03$).

8.2.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) dos blocos de PI1, PI2 e PI3

A Figura 20 ilustra os resultados do tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e o número de correções para o bloco PI1. Para a análise do do %tpV em PI1 (Fig. 20a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,18463$, $p=0,67$; $\eta^2=0,09$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=2,4199$, $p=0,10$; $\eta^2=0,10$] e não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,24263$, $p=0,78$; $\eta^2=0,01$].

Figura 20- Resultados do Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) referentes à fase de exposição. a) representa o %tpV em PI1; b) o %tpV em PI2; c) o %tpV em PI3.



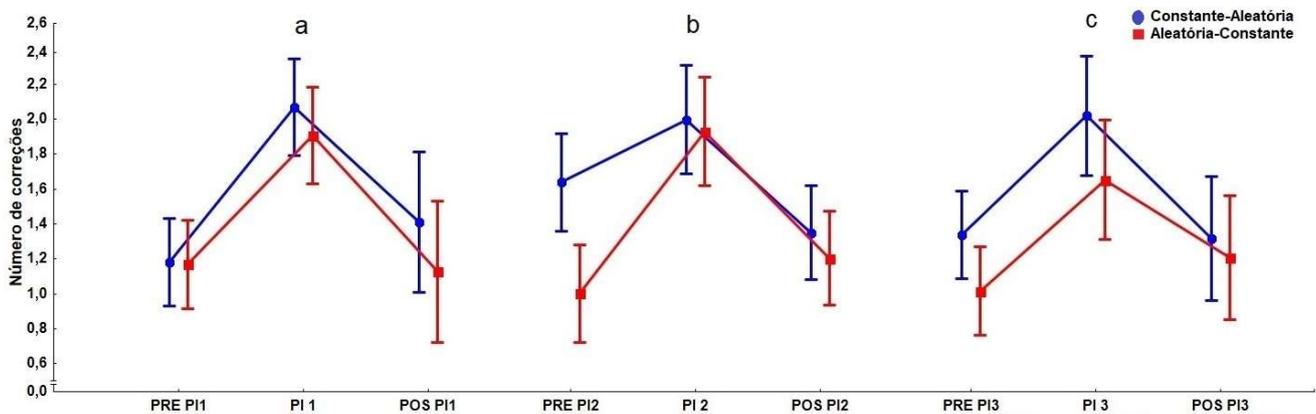
Para a análise do %tpV em PI2 (Fig. 20b), a ANOVA mostrou que não houve diferença entre grupos [$F(1, 20)=0,03194$, $p=0,85$; $\eta^2=0,01$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=1,2091$, $p=0,30$; $\eta^2=0,05$] e não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=1,9255$, $p=0,15$; $\eta^2=0,08$].

Para a análise do %tpV em PI3 (Fig. 20c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,22514$, $p=0,64$; $\eta^2=0,01$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=2,0869$, $p=0,13$; $\eta^2=0,09$]. Houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=3,7127$, $p=0,03$; $\eta^2=0,15$]. O *post hoc* identificou que o grupo Constante-Aleatória obteve menor %tpV em comparação com o grupo Aleatória-Constante ($p=0,012$).

8.2.3 Número de correções dos blocos de PI1, PI2 e PI3

Para a análise do Número de correções em PI1 (Fig. 21a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=1,2664$, $p=0,27$; $\eta^2=0,24$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=18,716$, $p=0,001$; $\eta^2=0,70$]. O *post hoc* identificou mais correções em PI1 em comparação com os blocos Pré e Pós. Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(6, 104)=0,71183$, $p=0,64$; $\eta^2=0,19$].

Figura 21- Resultados do número de correções (NC) referentes à fase de exposição. a) representa o NC em PI1; b) o NC em PI2; c) o NC em PI3.



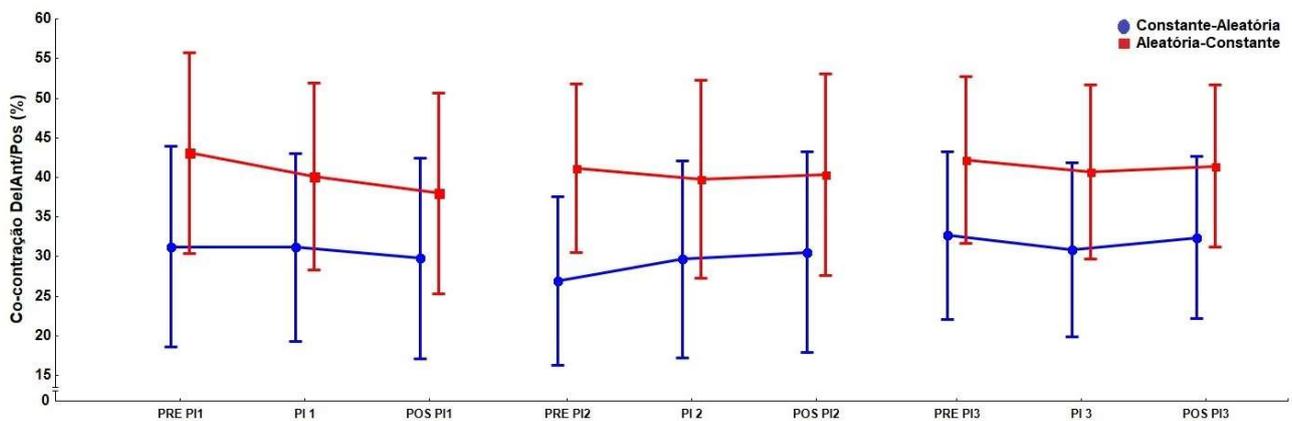
Para a análise do Número de correções em PI2 (Fig. 21b), a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=5,1401$, $p=0,04$; $\eta^2=0,45$]. O *post hoc* identificou que o grupo Constante-Aleatória fez mais correções que o grupo Aleatória-Constante ($p=0,01$). Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=18,716$, $p=0,001$; $\eta^2=0,70$]. O *post hoc* identificou mais correções em PI2 em comparação com Pré e Pós. Foi observado um efeito marginal entre grupos e blocos [$F(2, 40)=2,8998$, $p=0,068$; $\eta^2=0,12$]. O *post hoc* identificou que o grupo Constante-Aleatória realizou mais correções que o grupo Aleatória-Constante em Pré ($p=0,002$).

Para a análise do Número de correções em PI3 (Fig. 21c) ANOVA mostrou que não houve diferença entre grupos [$F(1, 20)=4,0972$, $p=0,07$; $\eta^2=0,40$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=11,679$, $p=0,001$; $\eta^2=0,61$]. O *post hoc* identificou mais correções em PI3 em comparação com os blocos Pré-PI3 e Pós-PI3. Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,42378$, $p=0,65$; $\eta^2=0,15$].

8.2.4 Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior dos blocos de PI1, PI2 e PI3

Para a análise da co-contração de DelAnt/Pos em PI1 (Fig. 22a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=1,3718$, $p=0,25$; $\eta^2=0,07$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 36)=4,0690$, $p=0,025$; $\eta^2=0,18$]. O *post hoc* identificou menor nível de co-contração em Pós em comparação com Pré ($p=0,003$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 36)=1,3834$, $p=0,26$; $\eta^2=0,07$].

Figura 22- Resultados da co-contração de Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) referentes à fase de exposição. a) a co-contração de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contração de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contração de DelAnt/Pos em PI3.



Para a análise da co-contração de DelAnt/Pos em PI2 (Fig. 22b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=2,0745$, $p=0,16$; $\eta^2=0,10$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 36)=0,52750$, $p=0,59$; $\eta^2=0,03$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 36)=1,6434$, $p=0,21$; $\eta^2=0,08$].

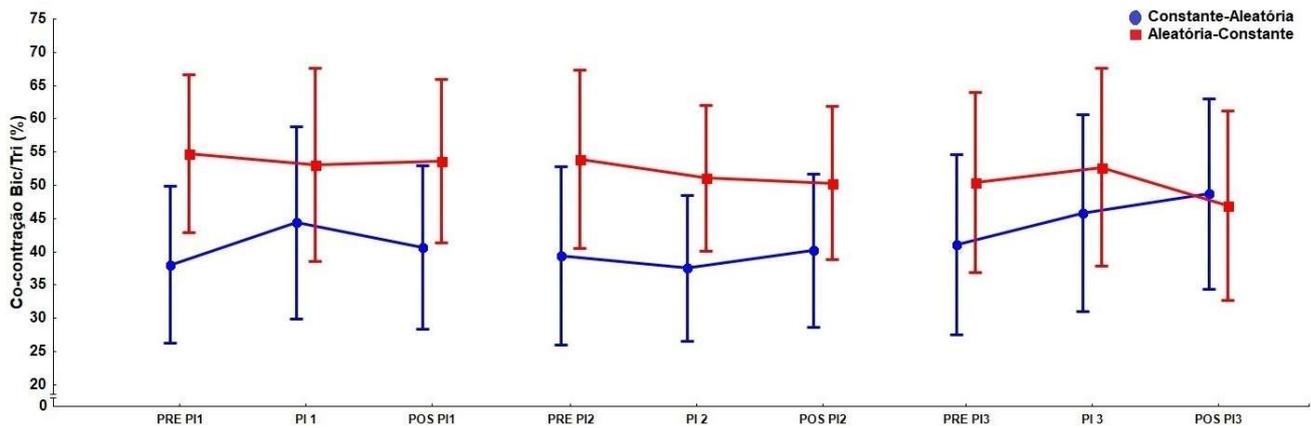
Para a análise da co-contração de DelAnt/Pos em PI3 (Fig. 22c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=1,8182$, $p=0,19$; $\eta^2=0,09$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 36)=1,3647$, $p=0,26$; $\eta^2=0,07$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 36)=0,08024$, $p=0,92$; $\eta^2=0,004$].

8.2.5 Co-contração dos músculos Biceps/Triceps dos blocos de PI1, PI2 e PI3

Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PI1 (Fig. 23a) a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=2,2422$, $p=0,15$; $\eta^2=0,11$], não houve diferença significativa

entre blocos [F(2, 36)=1,3148, p=0,28; $\eta^2=0,06$]. Houve interação entre grupos e blocos [F(2, 36)=3,7279, p=0,033; $\eta^2=0,17$]. O *post hoc* identificou que o grupo Constante-Aleatória obteve menor nível de co-contração em Pré-PI1 em comparação com o grupo Aleatória-Constante (p=0,05).

Figura 23- Resultados da co-contração de Biceps/Triceps (Bic/Tri) referentes à fase de exposição. a) a co-contração de DelAnt/Pos em PI1; b) a co-contração de DelAnt/Pos em PI2; c) a co-contração de DelAnt/Pos em PI3.



Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PI2 (Fig. 23b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(1, 18)=2,2422, p=0,15; $\eta^2=0,12$], não houve diferença significativa entre blocos [F(2, 36)=0,52750, p=0,59; $\eta^2=0,06$], e nem interação entre grupos e blocos [F(2, 36)=1,6141, p=0,21; $\eta^2=0,06$].

Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PI3 (Fig. 23c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(1, 18)=0,27038, p=0,60; $\eta^2=0,01$], não houve diferença significativa entre blocos [F(2, 36)=1,5009, p=0,23; $\eta^2=0,07$]. Houve interação entre grupos e blocos [F(2, 36)=4,1344, p=0,024; $\eta^2=0,19$]. No entanto, o *post hoc* não foi capaz de identificar onde ocorreram as diferenças.

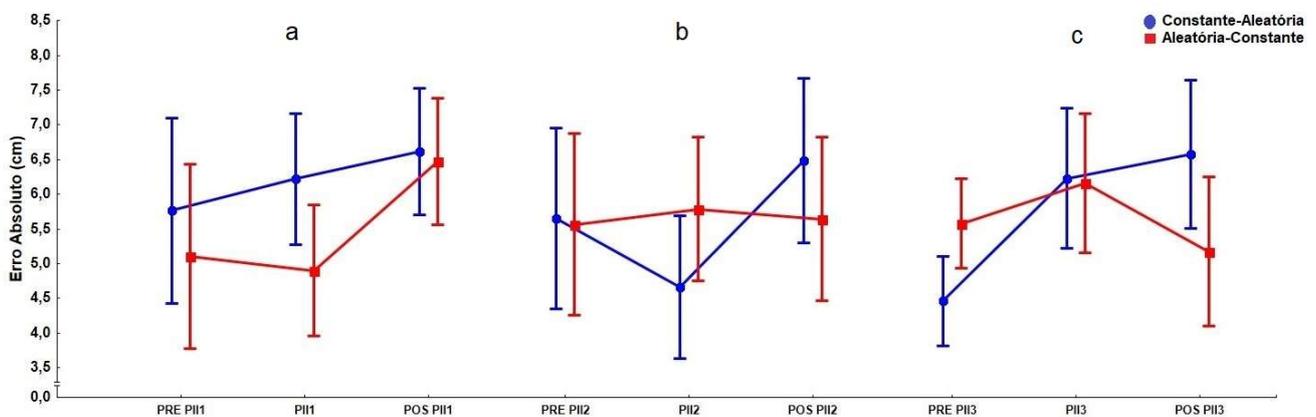
8.3 Fase de Exposição – Perturbação II

8.3.1 Erro Absoluto e Erro Constante dos blocos de PIII, PII2 e PII3

Para a análise do EA em PIII (Fig. 24a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [F(1, 20)=1,6149, p=0,21; $\eta^2=0,07$]. Houve diferença significativa entre blocos [F(2,

40)=4,3740, $p=0,02$; $\eta^2=0,18$]. O *post hoc* identificou que o erro foi maior em Pós que em Pré ($p=0,009$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=1,0224$, $p=0,36$; $\eta^2=0,04$]. Para a análise do EC, a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre os grupos [$F(1, 20)=5,4523$, $p=0,05$; $\eta^2=0,21$]. O *post hoc* identificou que o grupo Aleatória-Constane foi mais adiantado que o grupo Constante-Aleatória ($p=0,001$). Houve diferença entre blocos [$F(2, 40)=5,8874$, $p=0,006$; $\eta^2=0,22$]. O *post hoc* identificou que o grupo Aleatória-Constane foi mais adiantado em PII ($p=0,02$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=1,6413$, $p=0,21$; $\eta^2=0,07$].

Figura 24- Resultados do desempenho referentes à fase de exposição. a) representa o Erro Absoluto (EA) em PII1; b) o Erro Absoluto (EA) em PII2; c) o Erro Absoluto (EA) em PII3.



Para a análise do EA em PII2 (Fig. 24b) a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,02462$, $p=0,87$; $\eta^2=0,001$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=1,0372$, $p=0,36$; $\eta^2=0,04$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=1,4417$, $p=0,24$; $\eta^2=0,06$]. Para a análise do EC, a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre os grupos [$F(1, 20)=0,26416$, $p=0,61$; $\eta^2=0,01$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=3,1021$, $p=0,06$; $\eta^2=0,13$], e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,15601$, $p=0,85$; $\eta^2=0,007$].

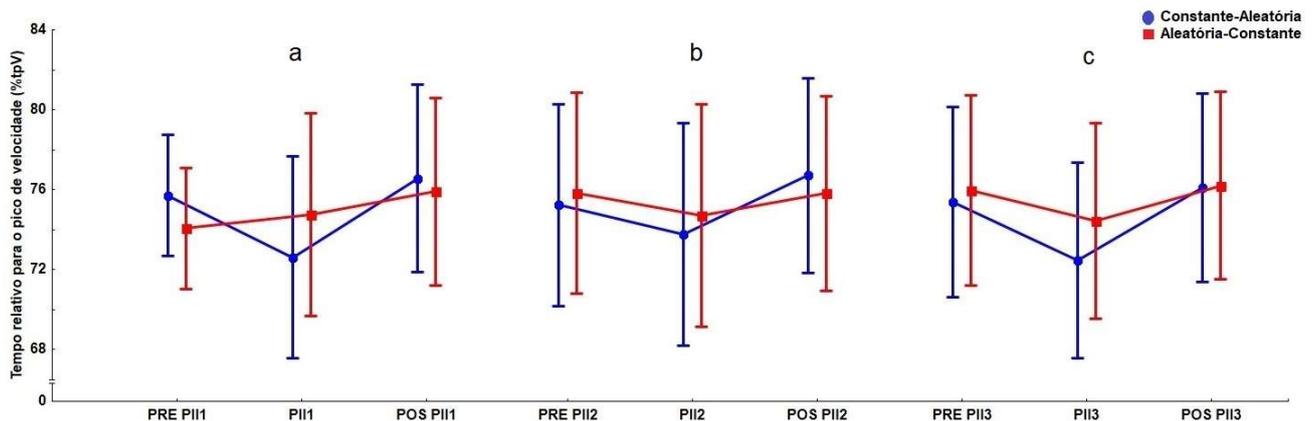
Para a análise do EA em PII3 (Fig. 24c), a ANOVA mostrou não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,09879$, $p=0,75$; $\eta^2=0,001$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=3,9128$, $p=0,03$; $\eta^2=0,16$]. O *post hoc* identificou que o erro do grupo Constante-Aleatória foi maior em PII3 que em Pré. Houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=4,2405$, $p=0,02$; $\eta^2=0,17$]. O *post hoc* identificou que o erro do grupo Constante-Aleatória foi maior em Pós do que em e em Pré ($p=0,006$). Para a análise do EC, a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre os grupos [$F(1,$

20)=12,544, $p=0,002$; $\eta^2=0,38$]. O *post hoc* identificou que o grupo Aleatória-Constante foi mais atrasado que o grupo Constante-Aleatória ($p=0,05$). Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=4,5684$, $p=0,02$; $\eta^2=0,18$]. O *post hoc* identificou que erro foi mais atrasado em PII3 em comparação com Pré ($p=0,03$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,79067$, $p=0,46$; $\eta^2=0,03$].

8.3.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) dos blocos PII1, PII2 e PII3

Para a análise do %tpV em PII1 (Fig. 25a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,00050$, $p=0,98$; $\eta^2=0,001$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=2,0869$, $p=0,02$; $\eta^2=0,18$]. O *post hoc* identificou que %tpV foi maior em PII1 que em Pré ($p=0,013$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=2,7154$, $p=0,08$; $\eta^2=0,11$].

Figura 25- Resultados do Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) referentes à fase de exposição. a) representa o %tpV em PII1; b) o %tpV em PII2; c) o %tpV em PII3.



Para a análise do %tpV em PII2 (Fig. 25b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,00450$, $p=0,94$; $\eta^2=0,001$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=2,0580$, $p=0,14$; $\eta^2=0,09$], e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,47580$, $p=0,62$; $\eta^2=0,02$].

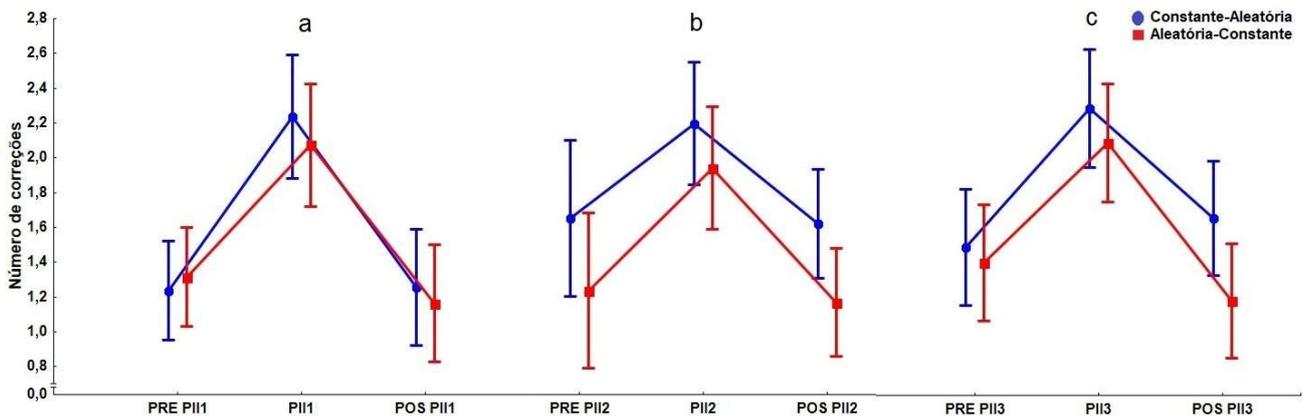
Para a análise do %tpV em PII3 (Fig. 25c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,08848$, $p=0,76$; $\eta^2=0,001$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=3,1421$, $p=0,054$; $\eta^2=0,14$]. O *post hoc* identificou que o %tpV foi menor em PII3 quando comparado

com Pós ($p=0,031$). Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,34995$, $p=0,70$; $\eta^2=0,02$].

8.3.3 Resultados do Número de correções dos blocos de PII1, PII2 e PII3

Para a análise do Número de Correções em PII1 (Fig. 26a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=0,11163$, $p=0,74$; $\eta^2=0,005$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=41,268$, $p=0,001$; $\eta^2=0,67$]. O *post hoc* identificou mais correções em PII1 em comparação com os blocos Pré e Pós. Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,57345$, $p=0,56$; $\eta^2=0,02$].

Figura 26- Resultados do número de correções (NC) referentes à fase de exposição. a) representa o NC em PII1; b) o NC em PII2; c) o NC em PII3.



Para a análise do Número de Correções em PII2 (Fig. 26b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=3,6618$, $p=0,08$; $\eta^2=0,15$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=14,450$, $p=0,001$; $\eta^2=0,41$]. O *post hoc* identificou mais correções em PII2 em comparação com os blocos Pré e Pós. Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,27546$, $p=0,76$; $\eta^2=0,01$].

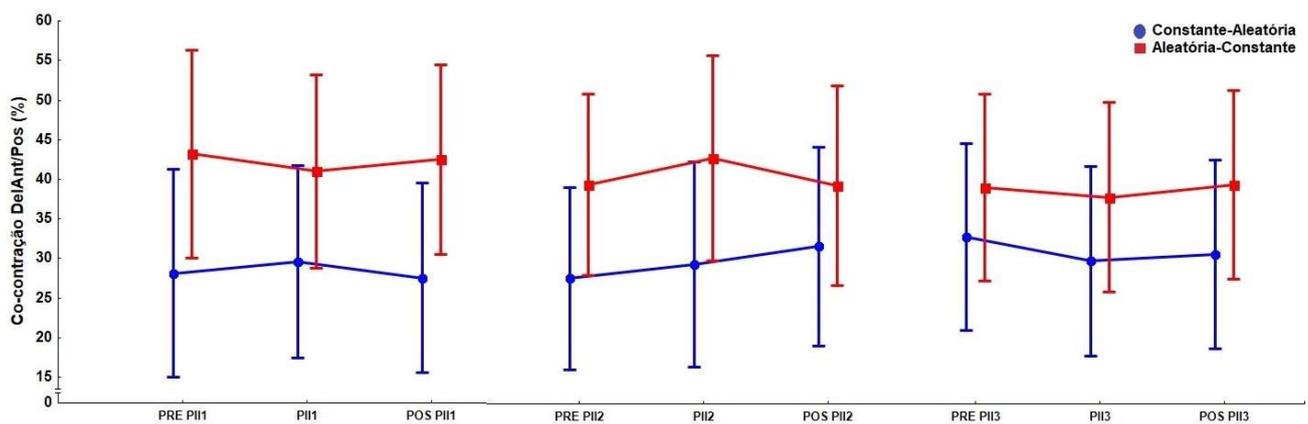
Para a análise do Número de Correções em PII3 (Fig. 26c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 20)=2,8312$, $p=0,10$; $\eta^2=0,12$]. Houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 40)=18,225$, $p=0,001$; $\eta^2=0,47$]. O *post hoc* identificou mais correções em PII3 em

comparação com os blocos Pré e Pós. Contudo, não houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 40)=0,94339$, $p=0,39$; $\eta^2=0,04$].

8.3.4 Co-contração dos músculos Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) para os blocos PII1, PII2 e PII3

Para a análise da co-contração de DelAnt/Pos em PII1 (Fig. 27a), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=2,8160$, $p=0,11$; $\eta^2=0,13$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 36)=0,12851$, $p=0,87$; $\eta^2=0,007$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 36)=1,2905$, $p=0,28$; $\eta^2=0,06$].

Figura 27- Resultados da co-contração de Deltóide Anterior/Posterior (DelAnt/Pos) referentes à fase de exposição. a) a co-contração de DelAnt/Pos em PII1; b) a co-contração de DelAnt/Pos em PII2; c) a co-contração de DelAnt/Pos em PII3.



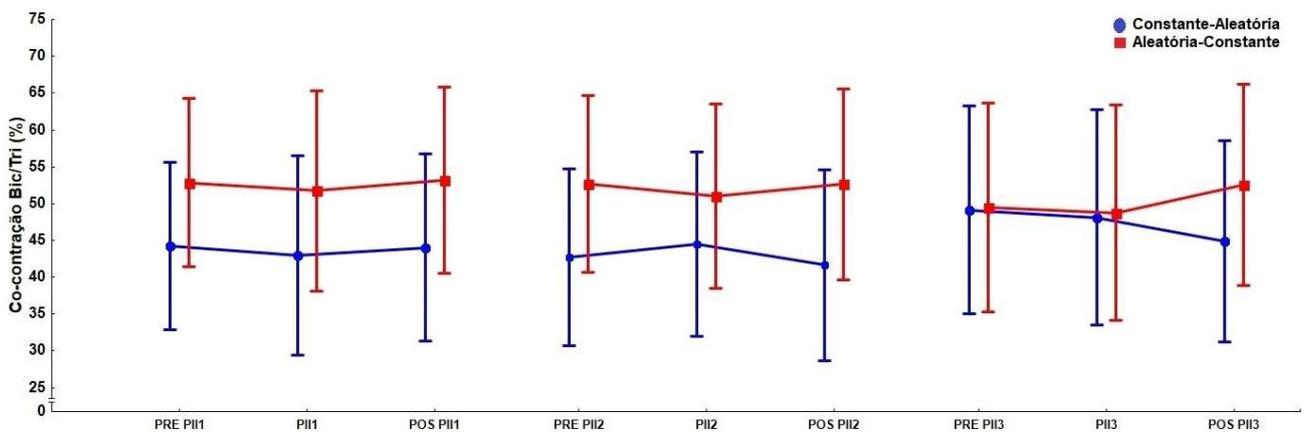
Para a análise da co-contração de DelAnt/Pos em PII2 (Fig. 27b), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=1,7995$, $p=0,19$; $\eta^2=0,009$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 36)=2,4851$, $p=0,09$; $\eta^2=0,12$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 36)=3,1079$, $p=0,06$; $\eta^2=0,15$].

Para a análise da co-contração de DelAnt/Pos em PII3 (Fig. 27c), a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=0,93305$, $p=0,34$; $\eta^2=0,04$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 36)=2,8633$, $p=0,07$; $\eta^2=0,13$] e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 36)=1,1071$, $p=0,34$; $\eta^2=0,05$].

8.3.5 Co-contração dos músculos Biceps/Triceps (Bic/Tri) para blocos de PII1, PII2 e PII3

Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PII1 (Fig. 28a) a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=1,1283$, $p=0,30$; $\eta^2=0,05$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 36)=0,60066$, $p=0,55$; $\eta^2=0,03$], e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 36)=0,01765$, $p=0,98$; $\eta^2=0,001$].

Figura 28- Resultados da co-contração de Biceps/Triceps (Bic/Tri) referentes à fase de exposição. a) a co-contração de DelAnt/Pos em PII1; b) a co-contração de DelAnt/Pos em PII2; c) a co-contração de DelAnt/Pos em PII3.



Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PII2 (Fig. 28b) a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=1,2042$, $p=0,28$; $\eta^2=0,06$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 36)=0,19436$, $p=0,82$; $\eta^2=0,01$], e nem interação entre grupos e blocos [$F(2, 36)=2,1398$, $p=0,13$; $\eta^2=0,10$].

Para a análise da co-contração de Bic/Tri em PII3 (Fig. 28c) a ANOVA mostrou que não houve diferença significativa entre grupos [$F(1, 18)=0,09369$, $p=0,76$; $\eta^2=0,005$], não houve diferença significativa entre blocos [$F(2, 36)=0,19215$, $p=0,82$; $\eta^2=0,01$]. Houve interação entre grupos e blocos [$F(2, 36)=3,9738$, $p=0,027$; $\eta^2=0,18$]. Contudo, o *post hoc* não foi capaz de identificar onde ocorreram as diferenças.

9 DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO II

A forma com que se estrutura a prática (ex. combinação de prática) favorece a aquisição de uma habilidade motora e tem sido objeto de estudo de várias pesquisas (BRAUN *et al.*, 2009; CASTRO *et al.*, 2014; KANTAK *et al.*, 2010). Parece que a estruturação de prática combinada influencia na formação e funcionamento das estruturas de controle e conseqüentemente no processo de aquisição de habilidades motoras (CASTRO *et al.*, 2014). Parte-se do princípio de que combinar a prática (ex: Constante-Aleatória) favorece a formação e combinação de MIs (BRAUN *et al.*, 2009). A prática constante levaria à formação de um MI e a prática aleatória após a prática constante levaria à formação mais modelos (CASTRO *et al.*, 2014) e que tomariam como base as informações do modelo previamente formado (WAGNER; SMITH,

2008). Além disso, parece plausível que associar a combinação de prática a níveis superiores de estabilização pode dar ao sistema sensorio motor condições de se especializar explorando diferentes formas de executar o comando motor e alcançar a meta estabelecida (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; KORNYSHEVA; DIEDRICHSEN, 2014). A combinação destas duas formas de prática e seus efeitos na formação de MIs e na adaptação ainda não foram investigadas.

Desta forma, o experimento II teve como objetivo investigar os efeitos do nível de Especialização alcançado a partir da estruturação da prática combinada (Constante-Aleatória e Aleatória-Constante) na adaptação a perturbações motoras imprevisíveis. Foram levantadas cinco hipóteses, sendo as duas primeiras direcionadas para a fase de pré-exposição, momento em que foi manipulada a prática. As hipóteses três, quatro e cinco foram direcionadas à fase de exposição, momento em foram impostas as perturbações. Serão discutidas primeiramente as hipóteses relacionadas à fase de pré-exposição e em seguida as hipóteses relacionadas à fase de exposição às perturbações. A primeira hipótese está relacionada à forma com que o desempenho é influenciado pela manipulação da combinação de prática. A segunda hipótese diz respeito ao efeito da combinação de prática sobre o controle durante a fase de pré-exposição, inferido a partir das estratégias utilizadas para se atingir a meta estipulada.

9.1 Fase de Pré-exposição

9.1.1 Erro Absoluto e Erro Constante

O desempenho motor, representado pelo Erro Absoluto (EA) e Erro Constante (EC), melhorou ao final da fase de pré-exposição para ambos os grupos. No entanto, não houve diferenças significativas no desempenho entre os grupos. Este resultado era esperado, pois a prática aleatória deve influenciar na capacidade de selecionar ou combinar Modelos *experts* em uma situação que exige mudança (KAWATO, 1999). No sentido oposto, quando a situação é constante, com o mínimo de incerteza, é necessário aprender a selecionar mais vezes o mesmo comando correto (CASTRO *et al.*, 2014), o que não é problema quando se atinge a Especialização. Esses resultados levam a confirmação da primeira hipótese.

Embora não tenham sido encontrados trabalhos de manipularam de forma direta os efeitos do nível de estabilização e da estrutura de prática na aquisição de uma habilidade, é possível inferir sobre nossos

resultados a partir de estudos que manipularam a estrutura de prática (HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017; IZAWA *et al.*, 2008; BRAUN *et al.*, 2009), e de estudos que apontam para a formação de mais de uma estrutura (MIs) em função do contexto (IZAWA *et al.*, 2008; KRAKAUER *et al.*, 2000). A melhora do desempenho para o grupo Constante-Aleatória vai ao encontro de resultados encontrados na literatura, de que a prática constante facilitaria a formação de um Modelo Interno devido a uma maior capacidade de previsão (CASTRO *et al.*, 2014), e a variação levaria à formação de mais de um Modelo Interno (BRAUN *et al.*, 2009). Esses novos modelos poderiam ser formados a partir do modelo já existente e facilitaria a aquisição da habilidade (SMITH *et al.*, 2006).

Os resultados do desempenho para o grupo Aleatória-constante foram semelhantes aos do Constante-aleatório, o que torna desafiadora a explicação desta semelhança. Pois, os resultados contrariam estudos que apresentaram superioridade da combinação de prática constante aliada à prática variada (HINKEL-LIPSKER; HAHN, 2017; LAGE *et al.*, 2007). Parece, que o alcance da especialização do desempenho, independentemente do tipo de prática favoreceu a formação de estruturas de controle capazes de lidar com as perturbações impostas. Neste caso, a prática além da estabilização parece levar o fortalecimento das estruturas formadas.

9.1.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e número de correções

As variáveis %tpV e o número de correções possibilitam observar as estratégias de controle e realizar inferências sobre os mecanismos de controle utilizados para a interceptação. Como dito anteriormente, para tarefas de interceptação em contextos previsíveis a estratégia mais comumente utilizada é esperar que o alvo aproxime-se da zona de interceptação para iniciar o movimento. Desta forma, o alcance do pico de velocidade ocorre nas proções finais do movimento (TRESILIAN *et al.*, 2004; TRESILIAN; PLOOY, 2006). Essa estratégia leva à utilização do mecanismo predominantemente via pré-programação, diminuindo o número de correções em função da prática (TRESILIAN; PLOOY, 2006).

Os resultados das comparações do %tpV mostraram que não houve mudanças ao longo da fase de Pré-exposição, demonstrando que os grupos iniciaram e finalizaram esta fase realizando as interceptações alcançando o pico de velocidade com o mesmo percentual médio (76%). Além disso, não houve diferença entre grupos, demonstrando que a estratégia utilizada pelos grupos foi a mesma. Quanto ao número de

correções os resultados também mostraram que os grupos foram semelhantes durante toda a fase de pré-exposição. Desta forma, a segunda hipótese, de que o mecanismo de controle seria modificado ao longo da fase de pré-exposição, iniciando com mecanismo de controle predominantemente via *feedback* e finalizando com mecanismo via pré-programação, não foi confirmada. Parece que a variação da prática inserida na fase de pré-exposição, gerou um ambiente de incerteza, e isso fez com que os grupos antecipassem o pico de velocidade durante toda a fase, levando ambos os grupos a utilizarem predominantemente o mecanismo via *feedback* (CLUFF; CREVECOEUR; SCOTT, 2015; ELLIOT *et al.*, 1999; IZAWA *et al.*, 2008; NAKAMOTO *et al.*, 2013). A outra medida, número de correções, não mostrou alteração ao longo da prática. Isso mostra que foi possível aumentar a precisão do desempenho sem fazer mais correções. Estes resultados mostram que a aprendizagem aconteceu devido à formação de Módulos *expert*, que aumentaram a precisão nos seus comandos, sem que houvesse a necessidade de aumentar o número de correções para alcançar a meta.

Uma possível explicação para a não identificação de mudanças durante a fase de Pré-exposição pode ser a organização dos dados. Ao adotar um desempenho critério, respeita-se as diferenças individuais, pois é possível iniciar o experimento com diferentes níveis de habilidade, mas terminar com nível similar. Contudo, isso permite que os participantes tenham diferentes quantidades de prática, o que dificulta a análise dos dados.

A opção deste estudo foi de dividir os dados em porcentagem, pois assim cada quarto de prática representa uma quantidade relativa do total de prática realizado. Contudo, é possível que ao longo dos primeiros 25% de prática os sujeitos já tenham aprendido a tarefa, com as mudanças subsequentes sendo muito pequenas, e não perceptível pelos métodos utilizados.

9.1.3 Medidas de co-contração

A co-contração é uma medida que pode auxiliar na compreensão de formação das estruturas de controle (Modelos Internos) e, conseqüentemente, no processo de aquisição das habilidades motoras (DARAINY; OSTRY, 2008; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). De forma mais específica, as medidas de co-contração dão condições de observar as estratégias de controle utilizadas pelo sistema neuromuscular. A característica mais comumente observada é o aumento da co-contração dos músculos antagonistas nas fases iniciais de prática e com decorrente diminuição quando a habilidade é adquirida (THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999; SANTOS *et al.*, 2017).

Os resultados da co-contração de DelAnt/Pos mostrou que houve diminuição significativa da EMG do Deltóide Posterior, corroborando os achados de estudos anteriores (THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Para a co-contração de Bic/Tri não houve alteração nas medidas ao longo da fase. Esses resultados mostram que os grupos utilizaram da mesma estratégia de controle tanto para a articulação do ombro, diminuindo a ação do deltóide posterior, como para a articulação do cotovelo. Parece que a prática além da estabilização leva a características semelhantes, independentemente do tipo de prática. Esses dados corroboram os achados da literatura, demonstrando que a diminuição da co-contração acompanha a melhora do desempenho durante o processo de aquisição de uma habilidade motora (DARAINY; OSTRY, 2008; GRIBBLE *et al.*, 2003).

A partir dos dados relacionados às estratégias de controle utilizadas durante a fase de pré-exposição, é possível inferir que os mecanismos de controle são influenciados pelo nível de estabilização do desempenho, mas não pela combinação da prática. Estes resultados refutam a hipótese dois.

9.2 Fase de Exposição

Em estudos relacionados à adaptação motora existem pressupostos de que níveis superiores de estabilização do desempenho proporcionam ao sistema sensoriomotor maior competência em lidar com perturbação (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015; FONSECA *et al.*, 2012; UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2017). Além disso, a combinação de prática variada favorece a adaptação (IZAWA *et al.*, 2008). Desta forma, a análise dos resultados referentes as variáveis de desempenho motor (EA e EC) da fase de exposição do Experimento I, tem como objetivo responder a hipótese 3. A terceira hipótese é que o alcance da Especialização a partir de prática Constante-Aleatória levaria a melhores níveis de desempenho frente às perturbações em comparação com o grupo de prática Aleatória-Constante.

9.2.1 Erro Absoluto e Erro Constante

Na análise do EA, o desempenho do grupo Constante-Aleatória frente às perturbações foi superior ao grupo Aleatória-Constante em PI1. O desempenho do grupo Aleatória-Constante foi superior somente em PII3. Nos demais blocos de perturbação, o desempenho de ambos os grupos foi semelhante. Esses dados levam a não confirmação da hipótese três, de que o grupo Constante-Aleatória apresentaria melhores desempenhos frente à perturbação. Em relação à análise dos blocos Pós-Perturbação, os

resultados mostram que a perturbação afetou ambos os grupos de forma semelhante durante toda a fase de exposição.

Esses resultados podem ser explicados sob duas direções: a primeira, de que a prática constante seguida de prática aleatória levou a formação de um modelo que serviu como base de informação para os outros dois modelos. Desta forma, o primeiro modelo formado tornaria-se um Módulo *expert*, pois continuaria a ser praticado até se atingir o desempenho critério, e facilitaria a formação de mais modelos (BRAUN *et al.*, 2010), o que daria ao grupo Constante-Aleatória mais módulos *experts* ao final da fase Pré-exposição. Isso porque um maior número de cópias eferentes e um maior número de diferentes cópias pode levar o sistema de controle a maior nível de eficiência para lidar com a perturbação imprevisível (KAWATO, 1999; WOLPERT; KAWATO, 1998). Essa primeira inferência pode ser visualizada no primeiro bloco de perturbação (PI1) e pós-perturbação (Pós-PI1), momentos em que o grupo Constante-Aleatória foi melhor que o grupo Aleatória-Constante. A segunda, é de que a prática além da estabilização pode ter levado o sistema a uma especialização e independentemente do tipo de prática favorecendo a adaptação frente às perturbações (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015). Desta forma, a prática além da estabilização levaria o fortalecimento dos módulos formados, transformando-os em módulos *expert*. Os resultados referentes ao primeiro bloco de perturbações dão sustentação para essa inferência. Parece que os módulos formados pelo grupo Aleatória-Constante não permitiram um bom desempenho no primeiro e segundo blocos de perturbações. Entretanto, parece a prática durante a segunda fase e a exposição às perturbações deu aos módulos formados, cópias eferentes suficientes para se igualarem aos módulos do grupo Constante-Aleatória, o que foi confirmado nos demais blocos de perturbação. Assim, como o grupo Constante-Aleatória mostrou melhor desempenho somente com a PI, a hipótese foi parcialmente confirmada.

9.2.2 Tempo relativo para o pico de velocidade (%tpV) e número de correções

Como dito anteriormente o %tpV e o número de correções são variáveis referentes às estratégias utilizadas pelo sistema sensoriomotor e que dão condições de inferir sobre os mecanismos de controle utilizados. Partindo do pressuposto que menores valores percentuais do %tpV, possibilitam a utilização predominantemente do mecanismo via *feedback* para realizar correções (ELLIOT *et al.*, 1999); e que maiores percentuais limitam as possibilidades de correções ou até mesmo as impossibilita (ELLIOT *et al.*, 2006; TRESILIAN; PLOOY, 2006), foram levantadas as hipóteses quatro e cinco. A hipótese quatro é que

a adaptação ocorreria mediante a utilização predominante do mecanismo via *feedback*, tanto para o grupo de prática Constante-Aleatória, quanto para o grupo de prática Aleatória-Constante. A hipótese cinco diz que após a retirada da perturbação, ambos os grupos utilizariam do mecanismo de controle via pré-programação de forma predominante. Em conjunto, os dados %tpV e do número de correções levam à confirmação das hipóteses quatro e cinco. Pois, nos blocos de perturbação, o %tpV diminuiu e o número de correções aumentou significativamente em todos os blocos de PI e PII para ambos os grupos. Para os blocos Pós, mesmo não havendo diferenças entre blocos para o %tpV, houve uma diminuição significativa do número de correções.

Esses dados apontam que as estratégias de controle utilizadas para se adaptar foram influenciadas de forma positiva, tanto pela prática Constante-Aleatória, quanto pela prática Aleatória-Constante. Além disso, é possível inferir que o mecanismo de controle utilizado por ambos os grupos predominantemente para a adaptação foi via *feedback*. Parece que prática combinada (Constante-Aleatória e Aleatória-Constante) favoreceu a formação de Módulos *experts* capazes de detectar as mudanças e realizar correções de forma *online* (KAWATO, 1999; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 2000; WOLPERT; KAWATO, 1998).

9.2.3 Medidas de Co-contração

A diminuição da co-contração dos músculos antagonistas aumenta as possibilidades de atuação do agonista e aponta para uma característica marcante de aprendizagem (DARAINY; OSTRY, 2008; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Isso porque valores mais baixos de co-contração resultam em uma menor rigidez do sistema muscular e facilitam a utilização do mecanismo de controle via *feedback* (CREVECOEUR; SCOTT, 2013; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999; SANTOS *et al.*, 2017). Os resultados apresentados por ambos os grupos referentes à co-contração de DelAnt/Pot e de Bic/Tri, mostraram que a estratégia utilizada pelos grupos foi influenciada de forma semelhante pelas duas estruturas de prática. Pois, os valores de co-contração de DelAnt/Pot e de Bic/Tri em PI e PII não sofreram alteração em nenhum dos blocos de perturbação. Parece que durante a fase de pré-exposição, ambos os grupos adquiriram estruturas de controle (Módulos *experts*) capazes de controlar a co-contração de forma suficiente para lidar com as perturbações na fase de exposição para se adaptarem (BURDET *et al.*, 2001; DARAINY; OSTRY, 2008; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Desta forma, pode-se inferir que

a prática além da estabilização leva à especialização do sistema neuromuscular favorecendo a adaptação frente às perturbações imprevisíveis.

10 DISCUSSÃO GERAL

O presente estudo foi composto por dois experimentos, sendo que o primeiro contou com seis e o segundo com cinco hipóteses. As duas primeiras hipóteses de ambos os experimentos estão relacionadas à fase de pré-exposição (fase de aquisição das habilidades motoras), momento em que foram manipuladas as variáveis independentes (nível de estabilização e estrutura de prática). Sendo a primeira relacionada ao desempenho e a segunda às variáveis de controle motor. Para o Experimento I as hipóteses três e cinco estão relacionadas ao desempenho e as hipóteses quatro e seis relacionadas aos efeitos sobre os mecanismos de controle provocados pelas perturbações na fase de exposição. Para o Experimento II a hipótese três está relacionada ao desempenho frente às perturbações e as hipóteses quatro e cinco estão relacionadas aos efeitos sobre os mecanismos de controle provocados pelas perturbações na fase de exposição. Para o experimento I ambas as hipóteses H_1 e H_2 foram confirmadas parcialmente. Pois o desempenho dos grupos Especialização Constante e Estabilização Aleatória foi semelhante ao desempenho do grupo Especialização Aleatória. Demonstrando que o nível de estabilização do desempenho proporciona a formação de estruturas que levam a maiores níveis de desempenho. A prática estruturada de forma aleatória até a estabilização garantiu o desempenho motor semelhante durante a fase

de pré-exposição em comparação com os grupos que praticaram até a Especialização. Parece que a prática aleatória favoreceu a formação de mais de um MI e que as informações geradas durante a prática (diferentes cópias eferentes dos comandos motores) favoreceram e aceleram a aquisição da habilidade (KAWATO, 1998; WOLPERT; KAWATO, 1998).

Para os resultados referentes o experimento II, a combinação de prática mostrou similaridade no desempenho dos grupos Constante-Aleatória e Aleatória-Constante durante a aquisição na fase de pré-exposição. Levando em consideração que ambos os grupos praticaram até a especialização é possível inferir que a prática além da estabilização desempenha um papel determinante na formação das estruturas de controle (DIEDRICHSEN; KORNYSHEVA, 2015). Pois, o desempenho na segunda fase, momento em que foram impostas as perturbações, foi semelhante para ambos os grupos a partir do terceiro bloco de perturbações.

Quanto ao controle motor, os resultados apontam que as diferenças na formação da estrutura são provocadas não só pelo nível de estabilização do desempenho, mas também pela estrutura de prática. Pois, as variáveis relacionadas às estratégias de controle se modificaram durante a fase de pré-exposição. As estruturas de controle dos grupos que alcançaram somente o nível de estabilização apresentaram diferenças em relação ao %tpV e ao nível de co-contração do par de músculos DelAnt/Pos. O grupo Estabilização Constante realizou as interceptações na primeira fase com %tpV mais elevados (Fig. 6c) em comparação com os demais grupos. Esses resultados (maiores %tpV), apontam para um mecanismo de controle diferente, ou seja, o mecanismo de controle utilizado pelo grupos Estabilização constante foi predominantemente via pré-programação (ELLIOT *et al.*, 2006; TRESILIAN; PLOOY, 2006).

Em relação à co-contração dos músculos DelAnt/Pos (Fig. 6f), houve elevações dos níveis para os grupos Estabilização Constante e Estabilização Aleatória a partir do terceiro bloco da fase de pré-exposição em comparação com os grupos Especialização Aleatória e Especialização Constante. Além disso, os níveis de co-contração dos grupos que praticaram até a Especialização no Experimento I (Fig. 6f), foram similares aos dos grupos Constante-Aleatória e Aleatória-Constante (Fig. 16e) no Experimento II, ao final da fase de pré-exposição. Esses resultados apontam que os grupos Especialização, tanto do Experimento I quanto do Experimento II formaram estruturas de controle mais eficientes (FONSECA *et al.*, 2012; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014). Pois, menores níveis de co-contração levam a uma menor rigidez do sistema neuromuscular, demandando menor gasto energético (GRIBBLE *et al.*, 2003), além de

aumentarem as possibilidades de utilização do mecanismo via *feedback* (DARAINY; OSTRY, 2008; THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999). Parece que com a prática além da estabilização, o sistema sensório-motor pôde gerar mais atualizações a partir das informações provocadas pelos diferentes estímulos, ou seja, a co-contração pôde ser modulada pelas modificações da carga externa (três diferentes cargas utilizadas de pré-exposição) (CREVECOEUR; SCOTT, 2013; SHEMMELL *et al.*, 2010).

Os resultados da fase de pré-exposição podem auxiliar a compreensão e explicação dos resultados da fase de exposição, momento em que foram impostas as perturbações. De acordo com o modelo proposto, a aquisição de Módulos *experts* na fase de pré-exposição podem ter auxiliado na adaptação diante das perturbações imprevisível, impostas na fase de exposição (KAWATO, 1998; WOLPERT; KAWATO, 1998). Os resultados para os grupos de prática aleatória e prática combinada podem ser explicados a partir da combinação dos Módulos formados na primeira fase (WAGNER; SMITH, 2008). Ou seja, a adaptação foi alcançada a partir da integração de módulos *experts*, que são representações neurais de controle formadas com a prática na pré-exposição e possibilitou a execução de movimentos (ex: interceptações) a partir da combinação de informações armazenadas e as informações contidas (aspectos dinâmicos ou cinemáticos) na fase de exposição (KRAKAUER *et al.*, 1999; WAGNER; SMITH, 2008).

As correções diante das perturbações imprevisíveis foram realizadas com tempos que variaram entre 225 e 251 milissegundos em ambos os experimentos. Desta forma, para que as correções pudessem ser realizadas com sucesso, é possível inferir que houve atualização do comando motor a partir da atuação do *Forward Model* de cada módulo *expert* sem a utilização do *feedback* sensorial, possibilitando a utilização do mecanismo via *feedback online* para que houvesse adaptação (WOLPERT; KAWATO, 1998; SCOTT, 2012; SCOTT *et al.*, 2015). Os resultados demonstram que a prática aleatória até a estabilização e a prática até Especialização, de forma Constante, de forma Aleatória e de forma Combinada (Constante-Aleatória e Aleatória-Constante), levaram à formação de estruturas de controle semelhantes. Esses resultados levaram à confirmação parcial das Hipóteses três e cinco do Experimento I e hipótese três do Experimento II. Parece que mais cópias e diferentes cópias, geradas pela prática Aleatória e prática Combinada, ou mais cópias eferentes, geradas pela prática até a especialização constante, enviadas ao Modelo *Forward* para a atualização do comando motor dão condições de formar Módulos *experts* capazes de lidar com as perturbações imprevisíveis (KAWATO, 1999; WOLPERT; KAWATO, 1998). Esses resultados são visualizados a partir do segundo de bloco no experimento I e no Experimento II, momento

em que o desempenho passou a ser semelhante diante de perturbação para os grupos Especialização Constante, Estabilização Aleatória e Especialização Aleatória no Experimento I e para ambos os grupos do Experimento II.

Os resultados referentes ao %tpV e ao Número de correções dão suporte a essa inferência, pois não houve diferenças significativas entre os grupos para essas variáveis. No entanto, o grupo Estabilização Constante, mesmo com %tpV e número de correções semelhantes não foi competente em manter o desempenho frente às perturbações para se adaptar. Além disso, o maior nível de co-contracção dos músculos Bic/Tri alcançado por esse grupo, nos blocos de perturbação, aumentou a rigidez nas articulações tanto de ombro, quanto de cotovelo e isso pode ter prejudicado a utilização do *feedback* (DARAINY; OSTRY, 2008), e conseqüentemente levou a menores níveis de adaptação (THOROUGHMAN; SHADMEHR, 1999).

De forma conjunta, os resultados dos experimentos realizados nesse estudo apontam que a capacidade para se adaptar é influenciada não só pela manipulação do nível de estabilização do desempenho, mas também pela estruturação da prática variada aleatória e pela combinação de prática constante-aleatória e aleatória-constante.

11 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E PROJEÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

Os achados do presente estudo permitem concluir, que não só o nível de estabilização do desempenho, mas também a forma como se estrutura de prática parecem influenciar na formação das estruturas de controle motor e conseqüentemente na adaptação motora. Contudo, o nível de estabilização do desempenho influencia mais que a estrutura de prática, pois resultam em estruturas e estratégias de controle distintas. Contudo, a prática aleatória até a estabilização permite se adaptar e também utilizar mecanismos de controle similares àqueles utilizados quando a prática vai até a especialização.

O alcance do nível de Especialização do desempenho, a partir de prática constante, prática aleatória e prática combinada (Constante-Aleatória e Aleatória-Constante) parecem levar à formação de estruturas de controle que utilizam estratégias semelhantes, durante o processo de aquisição da habilidade motora, e que refletem em melhores níveis de desempenho diante de perturbações motoras imprevisíveis. A formação destas estruturas parecem estar relacionadas à formação e combinação de Módulos, que com a prática além da Estabilização, alcançam o nível de Especialização do Desempenho e se tornam Módulos *Experts* para a habilidade praticada.

No que se refere às medidas utilizadas para inferir sobre controle motor utilizadas neste estudo, a co-contração parece ser uma medida, que além de auxiliar na compreensão do processo de aquisição da habilidade praticada, pode auxiliar na compreensão das estratégias e nos mecanismos de controle utilizados para a adaptação motora. Contudo, para estudos futuros sugere-se que seja incluída a análise da

EMG do tempo de latência de média e longa duração, pois, essas medidas dariam maior capacidade de generalização para inferências quanto ao mecanismo de controle via *feedback online*.

Mesmo com os resultados encontrados dando suporte teórico para inferir sobre a formação de Módulos, seria de suma importância que em trabalhos futuros, fosse adicionado ao design experimental a medida de força de reação do membro efetor para que se possa implementar, juntamente com as medidas cinemáticas e as medidas de EMG, um Modelo Experimental com maiores possibilidades de generalização. Desta forma, poder-se-ia determinar com maior aproximação os cálculos de modelagem da formação de um ou mais Modelos Internos.

REFERÊNCIAS

- ARJUNAN, S. P.; KUMAR, D. K.; NAIK, G. Computation and Evaluation of Features of Surface Electromyogram to Identify the Force of Muscle Contraction and Muscle Fatigue. **BioMed Research International**, v. 2014, n. 1, p. 1-6, 2014.
- AZIM, E.; ALSTERMARK, B. Skilled forelimb movements and internal copy motor circuits. **Current Opinion of Neurobiology**. n. 33, p. 16-24, 2015.
- BENDA, R. N. Sobre a natureza da aprendizagem motora: mudança e estabilidade... e mudança. **Revista Brasileira de Educação Física e Esportes**, v. 20, n. 5, p. 43-45, 2006.
- BENDA, R. N. **Variabilidade e processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras**. 2001. 314 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Educação Física). Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- BENDA, R. N.; CORREA, U. C.; OLIVEIRA, D. L.; TANI, G. Variabilidade e processo adaptativo na aprendizagem de uma de controle da força manual. In: BARREIROS, J.; MELO, F.; SARDINHA, E. **Percepção e ação III**. Lisboa: MH edições, 2000. p. 166-182.
- BERNIKER, M. KORDING, K. Estimating the sources of motor errors for adaptation and generalization. **Nature of Neuroscience**, v.11, p.1454-1461, 2008.
- BRAUN, D.A. AERTSEN, A.; WOLPERT, D.M. MEHRING, C. Motor task variation induces structural learning. **Current Biology**, v.19, p.352–357, 2009a.
- BRAUN, D.A. AERTSEN, A.; WOLPERT, D.M. MEHRING, C. Learning optimal adaptation strategies in unpredictable motor task. **Journal of Neuroscience**, v.20, p.6472-6478, 2009b.
- BRENNER, E.; SMEETS, J.B.J.; LUSSANET, M.H.E. Hitting moving targets: continuous control of the acceleration of the hand on the basis of the target's velocity. **Experimental Brain Research**, v. 122, p. 467-474, 1998.
- BRENNER, E.; SMEETS, J. B. J. How people achieve their amazing temporal precision in Interception. **Journal of vision**, v. 15, n. 8, p. 1-21, 2015.
- BROWNSTONE, R. M.; BUI, T, V.; STIFANI, N. Spinal circuits for motor learning. **Current Opinion of Neurobiology**, v. 33, p. 166-173, 2015.
- BURDET, E.; OSU, R.; FRANKLIN, D. W.; MILNER, T. E.; KAWATO, M. The central nervous system stabilizes unstable dynamics by learning optimal impedance. **Nature**, v. 414, n. 22, p. 446-449, 2001.

BURDET, E.; TEE, K. P.; MAREELS, I.; MILNER, T. E.; CHEW, C. M.; FRANKLIND, W.; OSU, R.; KAWATO, M. Stability and motor adaptation in human arm movements. **Biological Cybernetic**, v. 94, n. 1, p. 20-32, 2006.

CALJOUW, S. R.; van DER KAMP, J.; SALVESBERGH, G. J. P. Catching optical information for the regulation of timing. **Experimental Brain Research**, v. 155, p. 427-438, 2004a.

CASTRO, L. N. G.; HADJIOSIF, A. M.; HEMPHILL, M. A.; SMITH, A. M. Environmental Consistency Determines the Rate of Motor Adaptation. **Current Biology**, v. 24, p. 1050-1061, 2014.

CIZEK P. Internal Models. In: **Encyclopedia of Neuroscience**. Springer, 2004. p. 2009-2012.

CLUFF, T.; SCOTT, S. H. Rapid Feedback Responses Correlate with Reach Adaptation and Properties of Novel Upper Limb Loads. **The Journal of Neuroscience**, v. 33, n. 40, p. 15903-15914, 2013.

CLUFF, T.; CREVECOEUR, F.; SCOTT, S. H. A perspective on multisensory integration and rapid perturbation responses. **Vision Research**, v. 110, p. 215-222, 2015.

COCA-UGRINOWITSCH, A. U.; BENDA, R. N., ABURACHID, M. L., ANDRADE, A. G. P., GRECO, P. J., HANS-JOACHIN KARL MENZEL, H-J. K., UGRINOWITSCH, H. Bandwidth knowledge of results on the learning of the saloon dart throwing task. **Perceptual and Motor Skills: Motor Skills and Ergonomics**, v.118, p.462-474, 2014.

COUTO, R. C. **Efeitos do nível de estabilização do desempenho na adaptação a perturbações imprevisíveis inseridas após o início do movimento**. 2012. 110f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências do Esporte). Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG, 2012.

COUTO, C. R.; BENDA, R. N.; PORTES, L. L.; CARLOS EDUARDO CAMPOS, C. E.; MATOS, C. O.; SANTOS, S. P.; UGRINOWITSCH, H. Extensive practice enhances online feedback control during adaptation to unpredictable perturbation in interceptive task. *em análise*.

CRAIK, K. J. W. **The nature of explanation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1943. p. 126.

CREVECOEUR, F.; SCOTT, S. H. Priors Engaged in Long-Latency Responses to Mechanical Perturbations Suggest a Rapid Update in State Estimation. **PLoS Computation Biology**, v. 9, n. 8, p. 1-14, 2013.

DARAINY, M.; OSTRY, D. J. Muscle cocontraction following dynamics learning. **Experimental Brain Research**, v. 190, p.153-163, 2008.

De LUCA, C. I. The Use of Surface Electromyography in Biomechanics **Journal of Applied Biomechanics**, v. 13, p. 135-163, 1997.

- DIEDRICHSEN, J.; KORNYSHEVA, K. Motor skill learning between selection and execution. **Trends Cognition Science**, v. 19, n. 4, p. 227-233, 2015.
- ELLIOTT, D., HEATH, M., BINSTED, G., RICKER, K. L. ROY, E. A., CHUA, R. Goal-directed aiming: Correcting a force specification error with the right and left hand. **Journal Motor Behavior**, v.31, p.309-324, 1999.
- ELLIOTT, D.; HELSEN, W.F.; CHUA, R. A century later: Woodworth's (1899) two-component model of a goal-directed aiming. **Psychological Bulletin**, v.127, n.3, 2001, p.342-357.
- ELLIOTT, D. HANSEN, S.; GRIERSON, L. E.; LYONS, J.; BENNETT, S. J.; HAYES, S. J. Goal-Directed Aiming: two components but multiple processes. **Psychological Bulletin**, v. 136, n. 6, p. 1023-1044, 2010.
- FIALHO, J. V. A. P.; TRESILIAN, J. R. Intercepting accelerated moving targets: effects of practice on movement performance. **Experimental Brain Research**, v.235, p-1257-1268, 2017.
- FONSECA, F.S; BENDA, R.N.; PROFETA, V. L. S.; UGRINOWITSCH, H. Extensive practice improves adaptation to unpredictable perturbations in a sequential coincident timing task. **Neuroscience Letters**. v. 517, p.123-127, 2012.
- GANDOLFO, F.; MUSSA-IVALDI, F. A.; BIZZI, E. Motor learning by field approximation. **Proc Natl Acad Sci**, v.93, p-3843-3846, 1996.
- GHAHRAMANI, Z.; WOLPERT, D.M. Modular decomposition in visuomotor learning. **Nature**. v.386, p.392-395, 1997.
- HAYASHI, T.; YOKOI, A.; HIRASHIMA, M.; NOZAKI, D. Visuomotor map determines how visually guided reaching movements are corrected within and across trials, **ENEURO**, v.3, p. 2-13, 2016.
- HINKEL-LIPSKER, J. W.; HAHN, M. E. The effects of variable practice on locomotor adaptation to a novel asymmetric gait. **Experimental Brain Research**. v. 235, p-2829-2841, 2017.
- HOGAN, N. Adaptive control of mechanical impedance by coactivation of antagonist muscles. **IEEE Transactional of automatic control**. v. 29, n. 8, p. 681-690, 1984.
- HOLLAND, J.H. **Hidden Order**: how adaptation builds complexity. New York: Basic Books. 1995.
- IRIJI, T.; SHINYA, M.; NAKAZAWA, K. Interpersonal variability in timing strategy and temporal accuracy in rapid interception task with variable time-to-contact. **Journal of Sports Sciences**, v.33, p.381-390, 2014.
- IZAWA, J.; RANE, T.; DONCHIN, O.; SHADMEHR, R. Motor adaptation as a process of reoptimization. **The Journal of Neuroscience**. v. 28, n.11, p. 2883-2891, 2008.

JOINER, W. M.; BRAYANOV, J. B. The training schedule affects the stability, not the magnitude, of the interlimb transfer of learned dynamics. **The Journal of Neuroscience**. v. 110, n. 4, 984-998, 2013.

JORDAN, M.I.; WOLPERT, D.M. Computational motor control. **The Cognitive Neurosciences**, 1999.

KARNIEL, A.; MUSSA-IVALDI, F.A., Does the motor control system use multiple models and context switching to cope with a variable environment? **Experimental Brain Research**. v.143, n. 4, p. 520–524, 2002.

KAWATO, M. Internal models of motor control and trajectory planning. **Current Opinion Neurobiology**. v. 9, p. 718-727, 1999.

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

KRAKAUER, J.W. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. **Current Opinion in Neurology**, v.19, p.84–90, 2006.

KRAKAUER, J.W.; PINE, Z.M.; GHILARDI, M-F., GHEZ, C. Learning of visuomotor transformation for vectorial planning of reaching trajectories. **The Journal of Neuroscience**. v. 20, n.23, p. 8916-8924, 2000.

LAGE, G. M.; ALVES, M. A. F.; OLIVEIRA, F. S.; PALHARES, L. R.; UGRINOWITSCH, H.; BENDA, R. N. The combination of practiceschedules: effects on relativeand absolute dimensions of the task. **Journal of Human Movement Studies**. v. 52, p. 021-035, 2007.

LAGE, G. M.; UGRINOWITSCH, H.; APOLINÁRIO-SOUZA, T.; VIEIRA, M. M.; ALBUQUERQUE, M. R.; BENDA, R. N. Repetition and variation in motor practice: A review of neural correlates. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v.57, p. 132-141, 2015.

LEITE, C. M. F. **Efeitos da organização da prática variada sobre a adaptação motora a perturbações previsíveis e imprevisíveis**. 2014. 102f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências do Esporte). Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG, 2014.

MARINOVIC, W.; PLOOY, A.; TRESILIAN, J. R. The time course of amplitude specification in brief interceptive actions. **Experimental Brain Research**, v.188, p. 275-288, 2008.

MARINOVIC, W.; PLOOY, A. M.; TRESILIAN, J. R. The utilization of visual information in the control of rapid interceptive actions. **Experimental Psychology**, v. 56, n. 4, p. 265-273, 2009b.

MIALL, R.C.; WOLPERT, D. Forward Models for Physiological Motor Control. **Neural networks**. v.8, n. 8, p. 1265-1279, 1996.

MORASSO, P.; CASADIO, M.; SANTIS, D.; NOMURA, T.; REA, F.; ZENZERI, J. Stabilization strategies for unstable dynamics. **Journal of Electromyography and kinesiology**, v. 24, n. 6, p. 803-814, 2014.

NAKAMOTO, H.; IKUDOME, S.; YOTANI, K.; MARUYAMA, A.; MORI, S. Fast-ball sports experts depend on an inhibitory strategy to reprogram their movement timing. **Experimental Brain Research**, v. 228, n. 02, p. 193-203, 2013.

NASHED, J. Y.; CREVECOEUR, F.; SCOTT, S. H. Rapid Online Selection between Multiple Motor Plans. **The Journal of Neuroscience**, v.34, p. 1769-1780, 2014.

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

OSU, R.; HIRAI, S.; YOSHIOKA, T.; KAWATO, M. Random presentation enables subjects to adapt to two opposing forces on the hand. **Nature Neuroscience**, v.7, p.111-112, 2004.

LEWIS, G. N.; MACKINNON, C. D.; RANDY TRUMBOWER, R.; PERREAULT, E. J. Co-contraction modifies the stretch reflex elicited in muscles shortened by a joint perturbation. **Experimental Brain Research**, v. 207, p.39-48, 2010.

PRUSZYNSKI, J. A.; SCOTT, S. H. Optimal feedback control and the long-latency stretch response, **Experimental Brain Research**, v. 218, p.341-359, 2012.

RIEGER, M.; KNOBLICH, G.; PRINZ, W. Compensation for and adaptation to changes in the environment. **Experimental Brain Research**. V. 163, p. 487-502, 2005.

RICHTER, S.; JANSEN-OSMANN, P.; KONCZAK, J.; KALVERAM, K. Motor adaptation to different dynamic environments is facilitated by indicative context stimuli. **Psychological Research**, v. 68, n. 4, p. 245-251, 2004.

SANTOS, S. P.; RODOLFO N. BENDA, R. N.; RANGEL, C. C.; CAMPOS, C. E.; ANDRADE, A. G. P.; LAGE, G. M.; UGRINOWITSCH; H. The level of performance stabilization influences motor adaptation on an isometric force control task. **Plos One**, v. p. 2-14, 2017.

SCHIEPPATI, M.; TROMPETTO, C.; ABBRUZZESE, G. Selective facilitation of responses to cortical stimulation of proximal and distal arm muscles by precision tasks in man. **Journal of Physiology**, v.491, p.551-562, 1996.

SCOTT, S. H.; CLUFF, T.; LOWREY, C. R.; TAKEI, T. Feedback control during voluntary motor actions. **Current Opinion of Neurobiology**. v. 33, p. 85-94, 2015.

SHADMENR, R.; MUSSA-IVALDI, F. A. Adaptive Representation of Dynamics during Learning of a Motor Task. **The Journal of Neuroscience**, v. 14, p. 3208-3224, 1994.

SHADMEHR, R.; SMITH, M. A.; KRAKAUER, J. Error Correction, Sensory Prediction, and Adaptation in Motor Control. **Annual Review of Neuroscience**, v. 33, n. 1, p. 89-108, 2010.

SHEMMELL, J.; KRUTKY, M. A.; PERREAULT, E. J. Stretch sensitive reflexes as an adaptive mechanism for maintaining limb stability. **Clinical Neurophysiology**, v.121, p. 1680-1689, 2010.

SMITH, M. A.; GHAZIZADEH, A.; SHADMEHR, R. Interacting Adaptive Processes with Different Timescales Underlie Short-Term Motor Learning. **PLOS Biology**, v. 4, n. 6, p. 1035-1043, 2006.

SURFACE Electromyography for the Non-invasive Assessment of muscles. Disponivel em: www.seniam.org. Acessado em: 21 de janeiro de 2016.

TANI, G.; CORREA, C. C.; BENDA, R. N.; UGRINOWITSCH, H.; CHOSHI, K. An Adaptive Process Model of Motor Learning: Insights for the Teaching of Motor Skills. **Nonlinear Dynamics Psychological Life Science**, v. 18, n. 1, p. 47-65, 2014.

TEIXEIRA, L. A.; CHUA, R.; NAGELKERKE, P.; FRANKS, I.M.. Reprogramming of interceptive actions: time course of temporal corrections for unexpected target velocity change. **Journal of Motor Behavior**, v. 38, n. 6, p. 467-477, 2006.

THOROUGHMAN, K. A.; SHADMEHR, R. Electromyographic Correlates of Learning an Internal Model of Reaching Movements. **The Journal of Neuroscience**, v. 19, n. 19, p. 8573-8588, 1999.

THOROUGHMAN, K. A.; SHADMEHR, R. Learning of action through adaptive combination of motor primitives. **Nature**. v. 407, p. 742-747, 2000.

TODOROV, E.; JORDAN, M. Optimal feedback control as a theory of motor coordination. **Nature of neuroscience**, v. 5, n. 11, p. 1226-1235, 2002.

TRESILIAN, J. R.; LONERGAN, A. Intercepting a moving target: effects of temporal precision constraints and movement amplitude. **Experimental Brain Research**, v. 142, n. 2, p. 193-207, 2002.

TRESILIAN, J. R.; OLIVER, J.; CARROL, T. J. Temporal precision of interceptive action: differential effects of target size and speed. **Experimental Brain Research**, v. 148, n. 4, p. 425-438, 2003.

TRESILIAN, J. R.; PLOOY, A.; CARROL, T. J. Constrains on spatiotemporal accuracy of interceptive action: effects of target size on hitting a moving target. **Experimental Brain Research**, v. 155, n. 4, p. 509-526, 2004.

TRESILIAN, J. R.; PLOOY, A. Systematic changes in the duration and precision of interception in response to variation of amplitude and effector size. **Experimental Brain Research**, v. 171, n. 4, p. 421-435, 2006.

- UGRINOWITSCH, H. **Efeito do nível de estabilização do desempenho e do tipo de perturbação no processo adaptativo em aprendizagem motora**. 2003. 319 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Educação Física). Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- UGRINOWITSCH, H. BENDA, R. N.; CORREA, C. C.; TANI, G. Extensive practice improves adaptation to predictable perturbations in a sequential coincident timing task. **American Journal of Life Science**, v. 2, n. 2, p.90-95, 2014.
- UGRINOWITSCH, H., SANTOS-NAVES, S. P., CARBINATTO, M. V., BENDA, R. N., TANI, G. Motor skill adaptation depends on the level of learning. **International Journal of Human and Social Science**, v.6, p.177-181, 2011.
- van DONKELAAR, P.; LEE, R. G.; GELLMAN, R. S. Control strategies in directing the hand to moving targets. **Experimental Brain Research**, v. 91, n. 1, p. 151-161, 1992.
- WAGNER, M. J.; SMITH, M. A. Shared Internal Models for Feedforward and Feedback Control. **The Journal of Neuroscience**, v.28, p. 10663-10673, 2008.
- WEI, K.; KORDING, Uncertainty of feedback and state estimation determines the speed of motor adaptation. **Frontier Computational of neuroscience**, v. 4, n. 11, p. 1-9, 2010.
- WIESTLER T, DIEDRICHSEN J. Skill learning strengthens cortical representations of motor sequences. **eLife**, v.2, p.1-20, 2013.
- WOLPERT, D. M.; DIEDRICHSEN, J.; FLANAGAN, J. R. Principles of sensorimotor learning, **Neuroscience**, v. 12, p.739-751, 2011.
- WOLPERT, D.M.; KAWATO, M. Multiple paired forward and inverse models for motor control. An adaptation study. **Neural Network**, v. 11, p. 1317–1329, 1998.
- WOLPERT, D. M.; MIALL, R. C.; KAWATO, M. Internal Model in the Cerebellum. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 2, n. 9, p. 338-347, 1998.
- WU, H. G.; MIYAMOTO, Y. R.; CASTRO, L. N. G.; BENCE P ÖLVE CZKY, B. P.; SMITH, A. M. Temporal structure of motor variability is dynamically regulated and predicts motor learning ability. **Nature Neuroscience**, v.17, p-312-322, 2014.
- YANG, L.; MICHAELS, J. A.; PRUSZYNSKI, J. A.; SCOTT, S. H. Rapid motor responses quickly integrate visuospatial task constraints. **Experimental Brain Research**, v. 211, p.231-242, 2011.
- ZAGO, M.; JOSEPH MCINTYRE, J.; PATRICE SENOT, P.; LACQUANITI, F. Visuo-motor coordination and internal models for object interception. **Experimental Brain Research**, v.192, p-571-604, 2009.

APENDICE A

Termo de consentimento livre e esclarecido

Pesquisa: “EFEITOS DO NÍVEL DE ESTABILIZAÇÃO DO DESEMPENHO E DA ESTRUTURAÇÃO DA PRÁTICA NA ADAPTAÇÃO A PERTURBAÇÕES MECÂNICAS IMPREVISÍVEIS”

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Via do Voluntário

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Você está sendo convidado a participar de um estudo realizado pelo Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM), da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO), na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sob a coordenação do Prof. HERBERT UGRINOWITSCH e pelo doutorando CARLOS EDUARDO CAMPOS. O objetivo deste estudo é investigar os efeitos da manipulação de níveis de estabilização do desempenho e estrutura da prática na adaptação a perturbações imprevisíveis. Como participante voluntário, você tem todo direito de recusar sua participação ou retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa *caso não se sinta à vontade durante os procedimentos experimentais*, sem penalização alguma e sem prejuízo à sua pessoa.

A coleta de dados será realizada NA SALA DO CEMECH NA ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL DA UFMG. O experimento será conduzido em dois dias consecutivos. No primeiro dia a duração será de aproximadamente 60 minutos. No segundo dia (24 horas) a duração será de aproximadamente 40 minutos. Durante toda a coleta de dados você será sempre acompanhado por um dos responsáveis pela pesquisa. No período da coleta, você deverá MOVIMENTAR UM OBJETO SOBRE UMA GUIA LINEAR TENTANDO INTERCEPTAR UM ALVO VIRTUAL QUE SE DESLOCARÁ EM UMA PAREDE À SUA FRENTE. Todos os seus dados pessoais serão confidenciais, sua identidade não será revelada publicamente em hipótese alguma e somente os pesquisadores envolvidos neste estudo terão acesso aos seus dados, sendo que estas informações serão somente utilizadas para fins de pesquisa.

Você não terá qualquer forma de remuneração financeira nem despesas relacionadas ao estudo e apenas estará exposto a riscos inerentes a uma atividade do seu cotidiano.

Além disso, em qualquer momento da pesquisa, você terá total liberdade para esclarecer qualquer dúvida com o professor Dr. HERBERT UGRINOWITSCH, pelo telefone (0xx31) 3409-2393, ou com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG), pelo telefone (0xx31) 3409-4592 ou pelo endereço Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II – 2º andar, sala: 2005 31270-901 – BH – MG.

Eu _____, voluntário, tive minhas dúvidas respondidas e aceito participar desta pesquisa. Portanto, concordo com tudo que foi acima citado e livremente dou o meu consentimento.

Belo Horizonte, ____ de _____ de 2015.

Assinatura do voluntário

Assinatura do pesquisador

APÊNDICE B: Parte física da tarefa de interceptação a alvo móvel e virtual (TIMV).

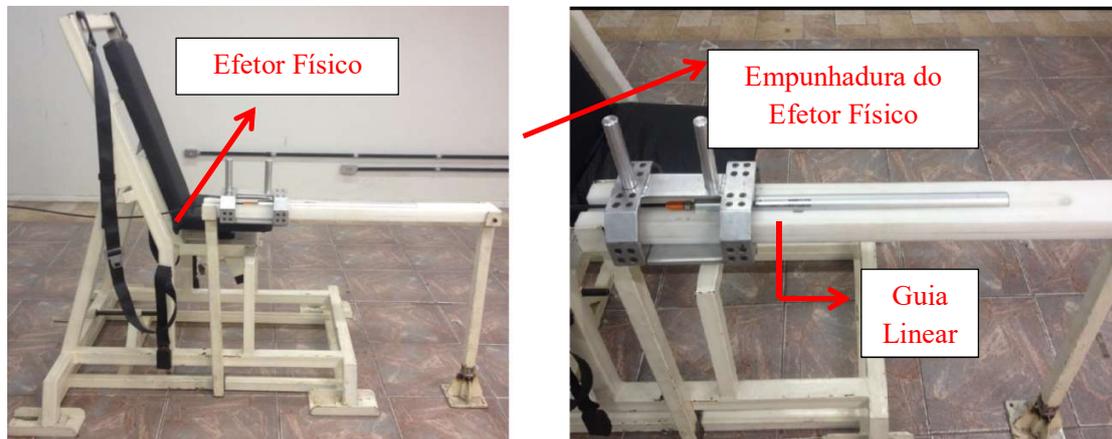


Figura 1 – Parte física do equipamento de interceptação

Para a realização do CIVM foram utilizadas barras rígidas fixadas na parede e no chão, correntes presas às barras, abraçadores presos nas correntes e no membro do (a) participante (a) e uma cadeira (Figura 2). A cadeira foi posicionada próxima às barras a 130 cm de altura da barra superior com o assento a 42 cm do solo.



Figura 2– Barras rígidas, correntes, abraçadores e cadeira utilizados para realização do teste de CVIM.

APÊNDICE C

Instrução verbal para a Familiarização, Pré-exposição e Exposição

Como você pôde ver durante as demonstrações, você deverá realizar a tarefa de movimentar este efetor (MOSTRAR) realizando um movimento rápido.

Hoje você realizará a mesma tarefa de ontem, ou seja, você deverá interceptar o alvo azul que se moverá ao longo deste trilho (mostrar trilho com o *laser pointer*) a partir da realização de um movimento rápido, empurrando este efetor (mostrar efetor físico) para frente. As metas da tarefa continuam as mesmas: interceptar o centro do alvo com o TM correto. Poucas coisas mudarão e estas lhe serão informadas ao longo desta instrução, por favor, fique atento (a)!

Ontem após cada tentativa nós te fornecíamos um *feedback* verbal referente ao seu TM, você se lembra? (aguardar resposta do participante – se responder “**não**”, esclareça a dúvida com o mínimo de informação possível. Se responder “**sim**”, continue a leitura da instrução verbal). Hoje você só receberá este *feedback* naquelas tentativas que você realizar o movimento fora da faixa considerada adequada, ou seja, com “bom TM”. Então nós te diremos: “você foi muito rápido (a)” ou, “você foi rápido (a)” ou, “você foi pouco rápido (a)” ou, “você foi pouco lento (a)” ou, “você foi lento (a)” ou, “você foi muito lento (a)”. Se não te dissermos coisa alguma após a tentativa é porque o seu tempo de movimento estava correto.

Em relação ao *feedback* que te diz se você interceptou ou não o alvo, ou seja, aquela imagem congelada que aparece na tela após o fim do seu movimento será mantida exatamente como ontem. Logo, após o fim de cada tentativa aparecerá uma imagem congelada do alvo exatamente no local onde ele estava quando o efetor chegou à zona de interceptação.

Em relação à ontem, o que será modificado hoje? Duas variáveis! São elas:

- 1) Hoje você realizará um número fixo de tentativas. Ontem você deveria praticar a tarefa até alcançar um desempenho critério, hoje independente do número de tentativas corretas você realizará 129 tentativas. Porém, mesmo que o número de tentativas seja fixo, É MUITO IMPORTANTE (fortaleça o tom de voz) que você

se comprometa em interceptar o número máximo possível de alvos! Isso é realmente muito importante para nós!

- 2) Para os grupos ESP-CONS e EST-CONS: você se lembra que ontem a velocidade de deslocamento do alvo nunca mudava? Você se lembra de que a massa do efetor era sempre a mesma durante o todo o percurso do alvo e também em todas as tentativas? [Espere pela resposta do (a) participante. Se a resposta for “**não**” descreva, com o mínimo de informações, como se deu o deslocamento do alvo]. Se a resposta for “**sim**”, prossiga com a leitura da instrução: hoje, ao longo das 129 tentativas serão inseridas algumas modificações. Estas modificações correspondem a mudanças na massa do efetor. Na maioria das tentativas a massa será a mesma, aquela que você praticou ontem, entretanto, em algumas o alvo começará seu deslocamento com a massa praticada, mas esta poderá aumentar ou diminuir. Atenção: mesmo diante destas modificações é **MUITO IMPORTANTE** que você se comprometa em interceptar o alvo! Atenção: para esta pesquisa é muito importante que você se comprometa em interceptar o alvo mesmo naquelas tentativas com mudanças de velocidade, certo? Informação importante, atenção novamente: você só poderá perceber a mudança após o início do seu movimento, pois esta será inserida imediatamente após o início do seu movimento, logo, fique atento (a)!
- 3) Para os grupos ESP-ALEA e EST-ALEA: você se lembra que ontem a velocidade de deslocamento do alvo variava em três diferentes magnitudes a cada tentativa? Você se lembra de que a velocidade era sempre a mesma durante o todo o percurso do alvo, mas que havia variação entre as tentativas? [Espere pela resposta do (a) participante. Se a resposta for “**não**” descreva, com o mínimo de informações, como se deu o deslocamento do alvo e variações de velocidade ao longo da fase]. Se a resposta for “**sim**”, prossiga com a leitura da instrução: hoje, ao longo das 129 tentativas serão inseridas algumas modificações. Estas modificações correspondem a mudanças na carga externa do efetor físico. Na maioria das tentativas a carga externa do efetor físico, aquela carga média que você praticou ontem, lembre-se, havia uma carga maior, uma média e uma menor. Hoje na maioria das tentativas a massa do efetor será aquela média ao longo de todo o percurso. Entretanto, em algumas tentativas a massa do efetor poderá aumentar ou diminuir. Atenção: mesmo diante destas modificações é **MUITO IMPORTANTE** que você se comprometa em interceptar o alvo! Atenção: para esta pesquisa é muito importante que você se comprometa em interceptar o alvo mesmo naquelas tentativas com mudanças de velocidade, certo? Informação importante, atenção novamente: você só poderá perceber a mudança após o início do seu movimento, pois esta será inserida imediatamente após o início do seu movimento, logo, fique atento (a)!

Como você pôde ver durante as demonstrações, fazendo um movimento rápido (igual ao aprendido na fase de familiarização), você deverá interceptar o alvo amarelo com o retângulo verde.

Você controlará o retângulo verde com este efetor (MOSTRAR).

Durante esta fase, após cada tentativa você poderá observar na imagem, através do congelamento do alvo e do efetor, se você conseguiu interceptar o alvo. Além dessa informação, vou lhe dizer, após cada tentativa, se o seu movimento foi rápido, muito rápido, lento, muito lento, ou bom. Você deverá utilizar estas informações para programar a tentativa seguinte. A meta é interceptar o alvo no seu centro realizando o movimento com duração correta, ou seja, “bom”. Esta fase terminará quando você interceptar o alvo formando um bloco de quatro tentativas corretas e consecutivas.

Para os grupos Especialização será dada a seguinte informação:

Esta fase terminará quando você realizar seis blocos de tentativas interceptando o alvo quatro vezes de forma consecutiva.

APÊNDICE D

Quadro organização prática aleatória fase Pré-exposição (tentativa 1-400)

Legenda: tts = tentativas; Massa (kg) 1, 2 e 3.

Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)
1	2	26	2	51	2	76	2
2	2	27	3	52	2	77	3
3	3	28	1	53	1	78	2
4	1	29	2	54	3	79	3
5	2	30	3	55	3	80	3
6	3	31	3	56	2	81	1
7	3	32	2	57	3	82	3
8	1	33	2	58	1	83	2
9	2	34	1	59	2	84	2
10	2	35	1	60	3	85	3
11	1	36	2	61	3	86	1
12	3	37	3	62	2	87	2
13	1	38	1	63	2	88	3
14	1	39	1	64	1	89	3
15	2	40	3	65	1	90	3
16	3	41	2	66	2	91	2
17	1	42	3	67	3	92	1
18	3	43	1	68	1	93	2
19	1	44	2	69	3	94	1
20	2	45	1	70	2	95	3
21	2	46	3	71	3	96	3
22	3	47	2	72	3	97	3
23	2	48	3	73	1	98	2
24	1	49	1	74	1	99	3
25	3	50	1	75	1	100	1

Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)
101	3	126	3	151	2	176	2
102	1	127	2	152	3	177	3
103	2	128	1	153	1	178	3
104	3	129	1	154	3	179	1
105	2	130	2	155	3	180	2
106	1	131	1	156	2	181	1
107	2	132	3	157	1	182	1
108	1	133	1	158	1	183	3
109	2	134	1	159	2	184	2
110	3	135	1	160	2	185	2
111	1	136	3	161	3	186	3
112	1	137	2	162	2	187	3
113	2	138	1	163	3	188	1
114	1	139	3	164	3	189	2
115	3	140	1	165	1	190	1
116	3	141	2	166	3	191	2
117	2	142	3	167	2	192	1
118	3	143	2	168	1	193	3
119	3	144	3	169	3	194	1
120	2	145	1	170	1	195	2
121	2	146	3	171	2	196	1
122	1	147	3	172	2	197	3
123	2	148	1	173	3	198	3
124	1	149	2	174	3	199	2
125	3	150	3	175	1	200	3

Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)
201	2	226	1	251	3	276	1
202	1	227	3	252	3	277	3
203	2	228	2	253	2	278	1
204	1	229	3	254	1	279	2
205	3	230	1	255	1	280	2
206	2	231	1	256	3	281	3
207	1	232	2	257	2	282	3
208	1	233	1	258	1	283	1
209	1	234	1	259	3	284	1
210	1	235	3	260	3	285	2
211	2	236	3	261	1	286	2
212	1	237	1	262	1	287	3
213	2	238	3	263	2	288	1
214	2	239	1	264	2	289	1
215	2	240	2	265	3	290	2
216	1	241	3	266	2	291	1
217	2	242	2	267	3	292	2
218	1	243	3	268	1	293	3
219	2	244	1	269	2	294	2
220	2	245	2	270	3	295	2
221	1	246	3	271	1	296	1
222	1	247	2	272	1	297	3
223	2	248	3	273	2	298	3
224	2	249	2	274	1	299	3
225	2	250	1	275	3	300	1

Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)	Tentativas	Massa(kg)
301	2	326	2	351	1	376	1
302	3	327	2	352	3	377	2
303	3	328	1	353	1	378	3
304	1	329	3	354	2	379	1
305	3	330	1	355	2	380	1
306	2	331	2	356	1	381	3
307	2	332	1	357	2	382	2
308	1	333	2	358	3	383	1
309	1	334	1	359	1	384	3
310	2	335	3	360	3	385	3
311	2	336	1	361	2	386	2
312	3	337	3	362	1	387	1
313	2	338	2	363	1	388	2
314	1	339	3	364	2	389	1
315	1	340	2	365	3	390	3
316	2	341	1	366	2	391	1
317	3	342	2	367	2	392	2
318	1	343	3	368	3	393	3
319	3	344	2	369	3	394	3
320	2	345	1	370	1	395	2
321	3	346	1	371	3	396	2
322	3	347	3	372	1	397	1
323	3	348	3	373	2	398	2
324	1	349	1	374	3	399	3
325	3	350	2	375	1	400	3

APÊNDICE E

Ilustração da quantidade de tentativas e organização das perturbações na fase de Exposição para os experimentos I e II.

<u>tts</u>		<u>tts</u>		<u>tts</u>		<u>tts</u>	
1-4	↔	30	PII	61-63	↔	94	PI
5	PII	31-32	↔	64	PII	95-100	↔
6-8	↔	33	PII	65-68	↔	101	PII
9	PI	34-36	↔	69	PI	102-106	↔
10-11	↔	37	PII	70-72	↔	107	PI
12	PI	38-40	↔	73	PI	108-110	↔
13-14	↔	41	PII	74-78	↔	111	PII
15	PI	42-45	↔	79	PII	112-113	↔
16-18	↔	46	PI	80-81	↔	114	PII
19	PII	47-50	↔	82	PI	115-117	↔
20-22	↔	51	PI	83-85	↔	118	PI
23	PI	52-53	↔	86	PII	119-121	↔
24-26	↔	54	PII	87-89	↔	122	PII
27	PI	55-59	↔	90	PII	123-126	↔
28-29	↔	60	PI	91-93	↔	127	PI
						128-129	↔

APÊNDICE F: Estudo piloto I

Objetivo 1: testar o funcionamento dos instrumentos.

Objetivo 2: familiarizar os pesquisadores com os instrumentos utilizados na coleta de dados.

Objetivo 3: testar a instrução verbal a ser fornecida na fase de Pré-exposição.

Método

Amostra: 3 participantes compuseram a amostra para a realização deste piloto, sendo uma mulheres e dois, com média de idade de 26,5 anos.

Procedimentos: Inicialmente os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Após esclarecimento de todas as dúvidas e explicações necessárias referentes à participação no estudo piloto, os participantes receberam cinco demonstrações e uma instrução verbal (adaptação do estudo de Couto, 2012) contendo informações referentes à execução da TIMV.

Tarefa: interceptar o centro do alvo o máximo de vezes possível a partir da realização de um movimento rápido (200 a 250 ms) de flexão de ombro e extensão do cotovelo. Após cada tentativa havia fornecimento de *feedback* verbal e qualitativo referente ao tempo de movimento (TM) e referente à interceptação ou não do alvo (ver descrição do método dos experimentos I e II da tese). Cada participante realizou 77 tentativas¹. A velocidade de deslocamento do alvo na fase de Pré-exposição foi de 145 cm/s (COUTO, 2012; SANTOS, 2015).

Após o fornecimento da instrução verbal foi solicitado aos participantes que informassem à pesquisadora a ocorrência de qualquer desconforto físico no membro superior direito em virtude da execução da tarefa.

Informações referentes à tarefa:

Velocidade de deslocamento do alvo: 145 cm/s.

Distância entre o encosto da cadeira e a zona de interceptação: 328 cm.

Comprimento do trilho de deslocamento do alvo: 253 cm

Distância percorrida pelo alvo até a zona de interceptação: 210 cm

¹ Número médio de tentativas realizado pelo grupo Estabilização para alcançar o desempenho critério no estudo de Santos (2015)

Distância entre o centro da zona de interceptação e o final do trilho: 43 cm

Altura da zona de interceptação (centro) em relação ao chão: 125 cm

Largura do trilho do alvo: 4 cm (igual a altura do alvo)

Comprimento do alvo: 6 cm

Largura do trilho virtual do efetor: 4 cm (igual a largura do efetor virtual)

Comprimento do trilho do efetor virtual (entre a posição inicial e a zona de interceptação): 30 centímetros.

Massa do efetor físico: 2720 gramas

Todas as medições necessárias foram realizadas com trena digital a *laser* da marca BOSH®, DLE70, profissional. As especificações acima descritas se basearam em valores utilizados no estudo de Couto (2012) e foram testadas no presente piloto.

Resultados: participante número um: na 32ª tentativa, a participante número um queixou-se de desconforto no ombro em virtude do peso do efetor. Em virtude do desconforto que persistiu, a coleta de dados foi interrompida na 45ª tentativa.

Participante número dois: Ao ser questionado, ao final do experimento, o participante número dois relatou ter sentido um pequeno desconforto no “braço”. Além disso, ele destacou que para ele aquele representou “um desconforto suportável”.

Participante número três: na 47ª tentativa, a participante número três queixou-se de desconforto no “braço”. Em virtude do desconforto que persistiu, a coleta de dados foi interrompida na 58ª tentativa.

Alguns ajustes na cadeira precisaram ser realizados durante a coleta, uma vez que os pesquisadores observaram que os participantes apresentavam dificuldades em manter a postura solicitada no início do experimento.

Em relação à instrução verbal algumas observações foram feitas por um dos pesquisadores presente durante a realização do piloto. Após discussões entre os dois pesquisadores alguns ajustes foram realizados na instrução verbal inicial.

Conclusões: o equipamento funcionou bem. Não houve qualquer problema operacional durante a coleta, apenas foram necessários ajustes na posição da cadeira. Em virtude das movimentações indesejadas durante a coleta, foi controlada, a partir de uma ficha individual os ajustes de cada participante. Os ajustes individuais foram utilizados na Pré-exposição e na fase de Exposição. Além disso, em virtude das queixas referentes ao desconforto no membro superior solicitamos a fabricação de outro efector com massa mais leve do que a utilizada no presente piloto.

COUTO, R. C. **Efeitos do nível de estabilização do desempenho na adaptação a perturbações imprevisíveis inseridas após o início do movimento.** 2012. 110f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências do Esporte). Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG, 2012.

SANTOS, S. P.; RODOLFO N. BENDA, R. N.; RANGEL, C. C.; CAMPOS, C. E.; ANDRADE, A. G. P.; LAGE, G. M.; UGRINOWITSCH; H. The level of performance stabilization influences motor adaptation on an isometric force control task. **Plos One**, v. p. 2-14, 2017.

APÊNDICE G: Estudo piloto II

Objetivo 1: testar a massa do efector.

Objetivo 2: testar a aquisição da habilidade na fase de pré-exposição em função do nível de estabilização e da estrutura de prática.

Objetivo 3: testar as perturbações na fase exposição.

Amostra: a amostra foi composta por vinte participantes de ambos os sexos com média de idade de 25,8 anos.

Procedimentos: inicialmente as participantes assinaram um TCLE. Após esclarecimento de todas as dúvidas e explicações necessárias referentes à participação no estudo piloto, as participantes receberam cinco demonstrações e uma instrução verbal contendo informações referentes à execução da TIMV. Foram formados quatro grupos em função do nível de habilidade (estabilização e especialização) e do tipo de prática. Foram formados os seguintes grupos: prática constante-estabilização (n=5); prática aleatória-estabilização (n=5); prática constante especialização (n=5); e prática aleatória-especialização (n=5). O nível de habilidade foi baseado no trabalho de Santos (2015). O critério utilizado para os grupos estabilização foi realizar um bloco de quatro tentativas consecutivas corretas. Para os grupos especialização o critério foi realizar seis blocos de quatro tentativas consecutivas corretas.

Tarefa: interceptar o centro alvo o máximo de vezes possível a partir da realização de um movimento rápido (200 a 250 ms) de flexão de ombro e extensão do cotovelo. Após cada tentativa havia fornecimento de *feedback* verbal e qualitativo referente ao tempo de movimento e referente à interceptação ou não do alvo (ver descrição do método dos experimentos I e II da tese). A velocidade de deslocamento do alvo tanto na fase de Pré-exposição, quanto na exposição foi de 145 cm/s.

Após o fornecimento da instrução verbal foi solicitado às participantes que informassem ao pesquisador sobre a ocorrência de qualquer desconforto físico no membro superior direito em virtude da execução da tarefa.

Informações referentes à tarefa:

Velocidade de deslocamento do alvo: 145 cm/s.

Distância entre o encosto da cadeira e a zona de interceptação: 328 cm.

Comprimento do trilho de deslocamento do alvo: 253 cm

Distância percorrida pelo alvo até a zona de interceptação: 210 cm

Distância entre o centro da zona de interceptação e o final do trilho: 43 cm

Altura da zona de interceptação (centro) em relação ao chão: 125 cm

Largura do trilho do alvo: 4 cm (igual a altura do alvo)

Comprimento do alvo: 6 cm

Largura do trilho virtual do efetor: 4 cm (igual a largura do efetor virtual)

Comprimento do trilho do efetor virtual (entre a posição inicial e a zona de interceptação): 30 centímetros.

Massas do efetor físico: para o grupos de prática constante foi utilizada uma carga (massa do efetor físico) de 2,02 kg e para os grupos de prática aleatória foram utilizadas três cargas (massa menor=1,32kg, média=2,02kg e maior=2,72kg).

Todas as medições necessárias foram realizadas com trena digital a *laser* da marca BOSH®, DLE70, profissional. As especificações acima descritas se basearam em valores utilizados no estudo de Couto (2012) e foram testadas no estudo piloto I.

Objetivo 1: testar a massa do efetor.

As massas do efetor foram mantidas para a execução dos experimentos realizados nesta tese, assim como as demais demarcações e ajustes apresentados acima no tópico intitulado “informações referentes à tarefa”.

Resultados: nenhum dos voluntários interrompeu o experimento para queixar-se de desconforto no membro superior em virtude da execução da tarefa. Nenhum dos voluntários respondeu sim quando questionados a respeito de desconforto, nem durante nem no final da tarefa.

Objetivo 2: testar a aquisição da habilidade na fase de pré-exposição em função do nível de estabilização e da estrutura de prática.

Resultados:

O resultados quanto à manipulação do nível de habilidade foi satisfatório pois todos os voluntários atingiram o critério estipulado para definir os dois níveis de habilidade. Foi observado que para o alcance do nível estabilização, o tipo de prática não influenciou de forma significativa o número de tentativas, pois a média de tentativas entre os grupos de prática constante e aleatória foram semelhantes. O mesmo ocorreu para os grupos de prática até a especialização do desempenho. Todos os grupos apresentaram uma curva de aprendizagem ao final da fase de prática, momento em que atingiram o desempenho critério (Fig. 1). Desta forma, o desempenho critério utilizado para determinar o nível de habilidade em conjunto com o tipo de prática se mostrou eficiente para caracterizar os quatro grupos formados.

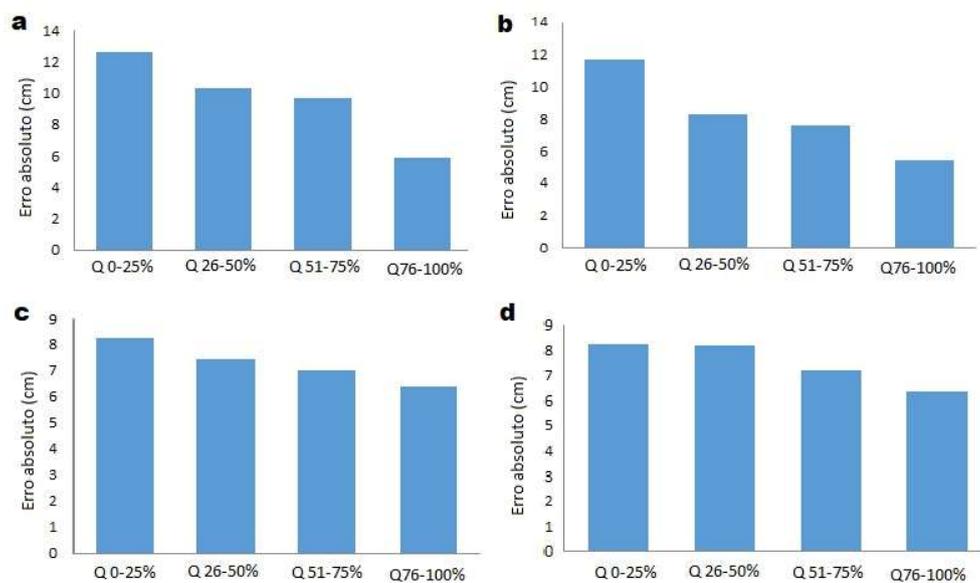


Figura 1 – Erro absoluto durante a fase de pré-exposição que foi dividida em quatro Quartis (Q 0-25%; Q 26-50%; Q 51-75%; e Q 76-100%). Na figura são apresentados o desempenho dos grupos: a) Constante Estabilização; b) Aleatório Estabilização; c) Constante Especialização; e d) Aleatório Especialização.

Objetivo 3: testar as perturbações na fase exposição.

Descrição da fase de exposição: das 129 tentativas, 99 eram tentativas controle (massa média = 2,02 kg). Em outras 15 tentativas o efetor iniciava o deslocamento com 2,02 kg, entretanto, imediatamente após o (a) participante iniciar o movimento a massa do efetor aumentava para 2,37 kg (Perturbação II). Em outras 15 tentativas o efetor iniciava o deslocamento com 2,02 kg, entretanto, imediatamente após o (a) participante iniciar o movimento a massa do efetor aumentava para 1,67 kg (Perturbação I).

Resultados:

Variáveis analisadas:

- Relatos dos participantes.
- Erro Absoluto (cm).
- Tempo de movimento (ms)

Resultados

Relatos

Todos os participantes apontaram que a perturbação foi sensível quanto ao aumento e à diminuição da carga. Outro fato importante foi que nenhum dos participantes conseguiu antecipar quando as perturbações aconteceriam.

Erro Absoluto em PI (cm)

Os resultados do desempenho frente à perturbação (PI-diminuição da massa) mostrou que a a massa imposta nas tentativas com perturbação foi suficiente para provocar mudanças no desempenho.

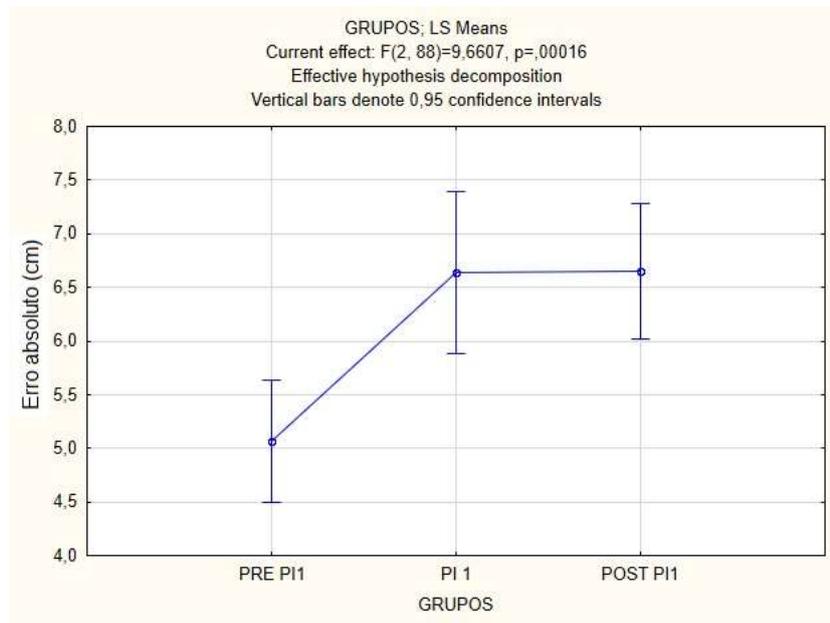


Figura 2 – Resultados do desempenho para os grupos frente à perturbação PI.

Erro Absoluto em PII (cm)

Os resultados do desempenho frente à perturbação (PII-aumento da massa) mostrou que a a massa imposta nas tentativas com perturbação foi suficiente para provocar mudanças no desempenho.

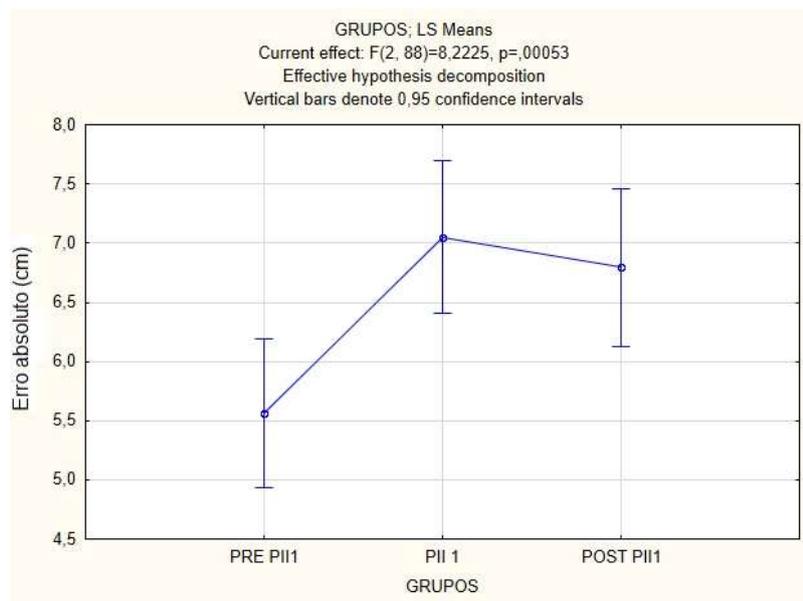


Figura 3 – Resultados do desempenho para os grupos frente à perturbação PII.

COUTO, R. C. **Efeitos do nível de estabilização do desempenho na adaptação a perturbações imprevisíveis inseridas após o início do movimento.** 2012. 110f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências do Esporte). Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG, 2012.

SANTOS, S. P.; RODOLFO N. BENDA, R. N.; RANGEL, C. C.; CAMPOS, C. E.; ANDRADE, A. G. P.; LAGE, G. M.; UGRINOWITSCH; H. The level of performance stabilization influences motor adaptation on an isometric force control task. **Plos One**, v. p. 2-14, 2017.

ANEXO I

Inventário de Dominância Lateral de Edimburg (OLDFIELD, 1971)

NOME COMPLETO:

IDADE:

Por favor, indique sua preferência no uso das mãos nas seguintes atividades pela colocação do sinal + na coluna apropriada. Onde a preferência é tão forte que nunca usaria a outra mão a menos que fosse forçado a usá-la, coloque ++. Se em algum caso a mão utilizada é realmente indiferente, coloque + em ambas as colunas. Algumas das atividades requerem ambas as mãos. Nestes casos a parte da tarefa, ou objeto, para qual preferência manual é desejada é indicada entre parênteses.

Por favor, tente responder todas as questões, e somente deixe em branco se você não tiver qualquer experiência com o objeto ou tarefa.

		Esquerda	Direita
1	Escrever		
2	Desenhar		
3	Arremessar		
4	Uso de tesouras		
5	Escovar os dentes		
6	Uso de faca (sem garfo)		
7	Uso de colher		
8	Uso de vassoura (mão superior)		
9	Ascender um fósforo (mão do fósforo)		
10	Abrir uma caixa (mão da tampa)		