

Arthur Moreira Ferreira

EFEITO DA ADAPTAÇÃO ESTRUTURAL NA COMPETÊNCIA DO DESEMPENHO

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2020

Arthur Moreira Ferreira

EFEITO DA ADAPTAÇÃO ESTRUTURAL NA COMPETÊNCIA DO DESEMPENHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Esporte da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências do Esporte

Área de concentração: Treinamento Esportivo

Orientador: Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2020

F383e Ferreira, Arthur Moreira
2020 Efeito da adaptação estrutural na competência do desempenho. [manuscrito] /
Arthur Moreira Ferreira - 2020.
90 f.: il.

Orientador: Herbert Ugrinowitsch

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de
Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: f. 79-84

1. Educação física - Teses. 2. Aprendizagem motora - Teses. 3. Desempenho -
Teses. I. Ugrinowitsch, Herbert. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de
Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 796.015

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Sheila Margareth Teixeira, CRB6: nº 2106 da
Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade
Federal de Minas Gerais.



A Dissertação intitulada "EFEITO DA ADAPTAÇÃO ESTRUTURAL NA COMPETÊNCIA DO DESEMPENHO", de autoria do discente Arthur Moreira Ferreira, defendida em 20 de agosto de 2020, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, foi submetida à banca examinadora composta pelos professores:

Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch (orientador)
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Rodolfo Novellino Benda
Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Umberto Cesar Corrêa
Universidade de São Paulo

Belo Horizonte, 20 de agosto de 2020.

DEDICATÓRIA

Para àqueles que apostaram, apostam e apostarão no Processo Adaptativo, continuemos o jogo.

AGRADECIMENTO

UM agradecimento em três partes.

A parte mais óbvia – mas não pequena - é a gratidão àqueles cujas movimentações e esforços construíram ou possibilitaram este trabalho (direta ou indiretamente). Ao Cruzeiro Esporte Clube pelo suporte durante esse tempo de isolamento social, ao Bráulio e família *FunFit* pela oportunidade de trabalho, de crescimento e dos laços. A todos os brasileiros que indiretamente custearam este trabalho via bolsa CAPES. Aos atletas do vôlei masculino do ICEX pela confiança no trabalho e pela amizade. Aos que me fortaleceram com suporte psíquico/emocional e espiritual (conselhos, risadas, acolhidas e empurrões) ao longo do processo: Maria Tereza, Joubert, Ana Clara, Luis N., Terezinha, Adenice, André e Isabella, Andrea, Aparecida, Bruno e Ana Flávia, Conceição e Marcos, Débora e Luciano, Didi, Evandro, Guilherme, Lada, Lauro e Flávia, Lita, Luís Carlos, Marcelo, Norberto, Olívio e Sarah, Francesco, Simone e Nelton, Samuel e Cecília, Tânia, Toninho, Vânia, Luís Gustavo e Fernanda, Luís Eduardo, Thiago e Flora, Gustavo Dias, Bruno Amorim e Larissa, Luiz Fernando, Rafael, Victor Lupp, Guilherme Avelar, Nicolas, Camila, Andrea C., Samantha, Douglas Bernardes, Pedro P., Bruno Santos, Douglas Andrade, Pedro D., Cintia, Simara, Leandro, Madson, Matheus, Giovanna, Brenner, Benhur, Jean, André, Cristiane, Tércio, Natália, Nathálya, Juliana, Barbara, Lidiane, Lílian, Perpétua, Mayndra, José e Bete, Gislaine, Jéssica, Gustavo R., Guilherme L., Rodolfo, Herbert, Gleide, Pe. Weliton e Luciana. À Márcia e sua equipe da Point, pelo acolhimento, paciência e ajuda. Aos que contribuíram na minha formação durante a pós-graduação: à família GEDAM, aos professores Herbert, Rodolfo, Guilherme, André, Mauro, Samuel, Pablo, Franco, Profeta, Cláudio, Priscila e Líria. Aos que fizeram possíveis a criação do algoritmo para análises e extração dos dados cinemáticos deste trabalho: Professora Priscila, Luis Eduardo e Luiz Fernando. Aos que viabilizaram as minhas coletas de dados: Professores Thales e Sérgio, Professoras Priscila e Líria, técnico Délsio, os integrantes do LAM, Gislaine, Benhur, Dillian e todos os meus voluntários (as). Aos que diretamente contribuíram na escrita deste produto: Professor Herbert, Professor Rodolfo, Professor Umberto, Cíntia, Brenner e Leandro.

Obrigado.

A segunda parte fica àqueles que influenciaram nas minhas principais escolhas, reflexo para o rumo da minha vida até então: a escolha pela pós-graduação (Bruno, Lauro, Gustavo, Senpai), pelo Processo Adaptativo (Maria Flávia, Lívia, Natália, Professor Herbert, Professor Rodolfo, Professor Umberto, Professor Go Tani, Crislaine, Suziane e Carlos), pela área (Professor Herbert pelo direcionamento, e à família GEDAM pelo acolhimento), pelo curso (os espelhos: Ivo, Rose, Manoel, Henrique Furtado, Tiago Sensei, Ricardo Picinin, Gustavo Conti, Isaías e Ricardo), pelo esporte (os meus irmãos que me seguraram no começo da prática: Felipe e Victor, e os que ganhei depois: Gustavo, Thiago, Bruno, Rafael, Lupp, Bernardo), e pelo sonho (mãe, pai e Xuxu) por não só não me deixarem hesitar, mas me incentivaram sempre! E toda a minha família que sempre foram um porto seguro, em especial os que nos iluminam do alto (Geraldo, Fátima, Maria, Lúcia, Renato). Principalmente à esses pertence à segunda parte.

Obrigado.

A terceira parte carrega o sentimento mais profundo e amplo, no silêncio dá pra sentir no coração. À Trindade, o terceiro agradecimento. É adequado que assim seja, pois essa é a maior gratidão das três, e a que compreende todas as outras dentro de si.

Obrigado!



*Numa noite de fadiga
Sobre o barco em alto mar
O céu começa a clarear
E tua rede está vazia*

*Mas a Voz que te chama
Te mostrará um outro mar
E sobre muitos corações
A tua rede lançará*

(...)



RESUMO

O objetivo desse estudo foi investigar o efeito da adaptação estrutural no aumento de competência do desempenho. Foi desenvolvido experimento usando uma tarefa complexa de *timing* coincidente, na qual os aprendizes deveriam tocar sequencialmente 5 sensores e coincidir o toque no último sensor com a chegada de um estímulo visual. Os participantes foram divididos aleatoriamente em grupo experimental, chamado de Grupo de Adaptação (GA) com 19 participantes, e Grupo Controle (GC) com 20 participantes. O experimento teve três fases: Estabilização, Adaptação I e Adaptação II. Ambos os grupos praticaram a tarefa em uma mesma condição durante a Estabilização até atingirem o critério de desempenho (DC) estipulado em três tentativas consecutivas corretas. Na Adaptação I foi inserida uma perturbação, caracterizada pelo aumento da velocidade do estímulo visual, e o grupo GA praticou até atingir novamente o DC. Essa perturbação levou à adaptação estrutural de 11 aprendizes, sendo que os 9 que não se adaptaram estruturalmente foram excluídos das análises posteriores. O GC não participou da Adaptação I. Ambos os grupos participaram da Adaptação II, com uma nova perturbação caracterizada pela redução da velocidade do estímulo visual, e a praticaram até atingirem novamente o DC. Os resultados indicaram que os grupos foram similares no desempenho durante a Adaptação II, sendo que o GA mostrou um desempenho mais variável no início desta fase. Ambos os grupos se adaptaram parametricamente na Adaptação II. A análise da fluência do movimento mostrou que apenas o GA apresentou uma melhora nesta variável no início da Fase de Adaptação II. Os resultados indicam que a adaptação estrutural leva a ganho de competência do desempenho, refletido no controle do movimento, mas que esse ganho de competência não refletiu na velocidade de estabilização do desempenho. A informação obtida pelo GA na Fase de Adaptação I resultou em maior competência. Levando em consideração que a variável de eficiência do desempenho pode refletir a característica do Programa de Ação Hierarquicamente Organizado em nível macro, pode-se concluir que a adaptação estrutural aumentou a competência do desempenho por levar a mudanças no controle mais eficientes na macroestrutura. A relação entre competência desempenho, velocidade de estabilização do desempenho e Programa de Ação Hierarquicamente Organizado ainda carece de futuros estudos.

Palavras-chave: Aprendizagem motora. Processo adaptativo. Qualidade do movimento. Jerk.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of structural adaptation on increasing performance competence. An experiment was developed using a complex coincident timing task, in which the learners should touch sequentially 5 sensors and match the touch of the last sensor with the arrival of a visual stimulus. Participants were randomly divided into an experimental group, called the Adaptation Group (AG) with 19 participants, and Control Group (CG) with 20 participants. The experiment had three phases: Stabilization, Adaptation I, and Adaptation II. Both groups practiced the task in the same condition during the Stabilization until they reached the performance criterion (PC) stipulated in three consecutive correct attempts. In Adaptation I, a perturbation was inserted, characterized by an increase in the speed of the visual stimulus, and the AG group practiced until reaching the PC again. This perturbation led 11 apprentices to structural adaptation, and the 9 who did not adapt structurally were excluded from further analysis. The CG did not participate in Adaptation I. Both groups participated in Adaptation II, with a new perturbation characterized by a reduction in the speed of the visual stimulus, and practiced it until they reached PC again. The results indicated that the groups were similar in performance during Adaptation II, with AG showing a more variable performance at the beginning of this phase. Both groups adapted parametrically in Adaptation II. The analysis of the fluency of the movement showed that only the AG showed an improvement in this variable at the beginning of the Adaptation II. The results indicate that the structural adaptation leads to a gain in performance competence, reflected in the movement control, but that this competence gain did not reflect in the speed of performance stabilization. The information obtained by GA in the Adaptation I resulted in greater competence. Leading into account that the performance efficiency variable may reflect the feature of the Hierarchical Organized Action Program at the macro level, it can be concluded that structural adaptation increased performance competence by leading to more efficient changes in control in the macrostructure. The relationship between performance competence, performance stabilization speed with Hierarchical Organized Action Program still needs further studies.

Keywords: Motor learning. Adaptive process. Movement quality. Jerk.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 16 |
| 2.1 | O Processo Adaptativo em aprendizagem motora | 16 |
| 2.1.1 | Estabilização | 19 |
| 2.1.2 | Perturbação | 26 |
| 2.1.3 | Adaptação | 31 |
| 2.1.4 | Programa de Ação Hierarquicamente Organizado | 35 |
| 2.2 | Aumento de competência | 39 |
| 3 | OBJETIVOS E HIPÓTESES | 44 |
| 4 | MATERIAS E MÉTODO | 45 |
| 4.1 | Cuidados | 45 |
| 4.2 | Amostra | 45 |
| 4.3 | Instrumentos e Tarefa | 45 |
| 4.3 | Delineamento | 48 |
| 4.5 | Procedimentos | 49 |
| 4.6 | Medidas e Análises | 50 |
| 4.6.1 | Variável independente | 50 |
| 4.6.2 | Variáveis dependentes | 50 |
| 5 | RESULTADOS | 56 |
| 5.1 | Erro Absoluto | 56 |
| 5.2 | Desvio padrão do erro absoluto | 57 |
| 5.3 | Erro de execução | 58 |
| 5.4 | Número de tentativas | 59 |
| 5.5 | Tempo total de movimento | 60 |
| 5.6 | Desvio padrão do tempo total de movimento | 61 |
| 5.7 | Distância total percorrida | 62 |

| | |
|--|-----------|
| 5.8 Tempo relativo | 62 |
| 5.9 Desvio padrão do tempo relativo..... | 64 |
| a. 5.10 Magnitude do jerk | 66 |
| 6 DISCUSSÃO | 69 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 78 |
| REFERÊNCIAS..... | 79 |
| APÊNDICE I - Instrução Padronizada | 85 |
| APÊNDICE II - Termo De Consentimento Livre e Esclarecido..... | 86 |
| APÊNDICE III – Valores da análise individual para determinação da adaptação estrutural | 88 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Exemplo de sequenciamento usado na tarefa complexa de <i>timing</i> coincidente | 29 |
| Figura 2 - Estrutura hierárquica do programa de ação da cortada do voleibol. | 36 |
| Figura 3 - Aparelho de tarefa de timing coincidente. | 46 |
| Figura 4 - Câmera usada no experimento; B - kit de calibração; C - exemplo de saída visual do Qualisys Track Manager. | 47 |
| Figura 5 - Mão com marcador e mesa de resposta | 47 |
| Figura 6 - Ambiente de coleta estruturado no LAM-EEFFTO | 49 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Erro Absoluto ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II | 57 |
| Gráfico 2 - Desvio padrão do erro absoluto ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II | 58 |
| Gráfico 3 - Frequência dos erros de execução por grupo na Adaptação-II | 59 |
| Gráfico 4 - Frequência do número de tentativas gastas para alcançar a estabilização do desempenho na Adaptação-II | 59 |
| Gráfico 5 - Tempo total de movimento ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II | 60 |
| Gráfico 6 - Variabilidade do tempo total de movimento ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II | 61 |
| Gráfico 7 - Distância total percorrida ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II | 62 |
| Gráfico 8 - Organização temporal dos componentes da habilidade do GA ao fim da Estabilização e da Adaptação-II | 63 |
| Gráfico 9 - Organização temporal dos componentes da habilidade do GC ao fim da Estabilização e da Adaptação-II | 63 |
| Gráfico 10 - Variabilidade da organização temporal dos componentes da habilidade do GA ao fim da Estabilização e da Adaptação-II | 65 |
| Gráfico 11 - Variabilidade da organização temporal dos componentes da habilidade do GC ao fim da Estabilização e da Adaptação-II | 65 |
| Gráfico 12 - Magnitude do jerk do GA ao fim da Estabilização e da Adaptação-II | 67 |
| Gráfico 13 - Magnitude do jerk do GC ao fim da Estabilização e da Adaptação-II | 67 |
| Gráfico 14 - Medianas dos erros de execução cometidos na Adaptação-I e Adaptação-II pelo GA | 75 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Velocidade dos estímulos e portes das perturbações perceptivas em artigos que usaram a tarefa complexa de <i>timing</i> coincidente em Processo Adaptativo | 28 |
| Tabela 2: Relação das variáveis dependes e testes estatísticos..... | 54 |

1 INTRODUÇÃO

Seres vivos podem ser classificados em função da sua interação com o ambiente onde estão inseridos (BERTALANFFY, 2015). Uma vez que interagem com o ambiente trocando energia, matéria e informação os seres vivos são classificados como sistemas abertos (BERTALANFFY, 2015). Conseqüentemente, os seres humanos também se encontram nesta classificação de sistemas abertos (BERTALANFFY, 2015).

Para que o ser humano realize uma ação motora, ele precisa ter informações sobre “o que fazer” e “como fazer” (MAGILL, 2011). Como as ações motoras são realizadas em diferentes contextos ao longo da vida, o comportamento motor do executante também deve mudar, já que para cada situação ele deve adquirir informações do ambiente (TANI, 2008a). Isso permite dizer que o comportamento motor do executante nunca se encontra em equilíbrio (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014). Logo, um modelo teórico de comportamento motor deveria seguir estes pressupostos (TANI, 1995; TANI *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2017).

Baseado na concepção do ser humano como um sistema aberto e que seu comportamento muda em função da interação com o ambiente (LAZLO, 2002), o modelo teórico denominado Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora propõe que a aprendizagem motora se caracteriza como um processo contínuo em que o desempenho passa por sucessivas e alternadas fases de instabilidade e estabilidade (TANI *et al.*, 2014; CATUZZO; TANI, 2016; BARROS, TANI; CORRÊA, 2017). Esta alternância acontece pela necessidade de emergência e mudanças da estrutura que controla a habilidade, denominada Programa de Ação Hierarquicamente Organizado (PAHO). O PAHO é organizado em nível macroscópico e microscópico, sendo o nível macro responsável pela macroestrutura da habilidade – observada na consistência do padrão de interação dos componentes da habilidade, e o nível micro responsável pela microestrutura da habilidade – observado nos próprios componentes (TANI *et al.*, 2014; CORRÊA *et al.*, 2015; BARROS, TANI; CORRÊA, 2017). Na execução de uma habilidade a macroestrutura é responsável pela padronização da habilidade e a microestrutura pela flexibilidade da mesma.

A organização do PAHO emerge da prática e *feedback*, tornando o desempenho estável (TANI *et al.*, 2014; CORREA *et al.*, 2015; BARROS; TANI; CORRÊA, 2017). Contudo, uma mudança perturbação (mudança) que impele a reorganização da interação dos componentes pode ser inserida no contexto de execução da habilidade. A reorganização da macroestrutura da habilidade para vencer a perturbação é denominada como uma adaptação estrutural, e é um mecanismo de aumento da complexidade do PAHO (UGRINOWITSCH *et al.*, 2008; TANI *et al.*, 2014; CARVALHO, 2017).

Diferentes estudos abordaram o aumento de complexidade do PAHO. Tani (1995) e Cattuzzo (2007) inferiram que a resposta antecipatória em uma tarefa de rastreamento de um padrão seriado caracteriza um PAHO mais complexo. Ugrinowitsch *et al.* (2008) e Carvalho (2017) apontaram que quando ocorre a adaptação estrutural o PAHO adquire a capacidade de realizar a mesma tarefa com diferentes organizações, o que reflete sua maior complexidade. Esses últimos autores assumiram que quanto mais complexo for o PAHO, mais competente ele será, o que deverá ser refletido em um desempenho também mais competente.

Contudo, a relação entre a maior complexidade do PAHO resultante da adaptação estrutural, e a competência do desempenho ainda é uma pergunta a ser testada. Esta maior competência pode ser observada na velocidade com que outra perturbação é vencida e em movimentos mais econômicos, uma vez que ambas as características estes estão relacionadas com estágios mais avançados da aprendizagem (UGRINOWITSCH, 2003; MAGILL, 2011). Esses movimentos mais econômicos podem ser alcançados, por exemplo, em trajetórias mais curtas e/ou movimentos mais fluidos (NELSON, 1983; EAGER; PENDRILL; REISTAD, 2016). O presente estudo testou se a passagem pela adaptação estrutural resulta em aumento na qualidade do desempenho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O Processo Adaptativo em aprendizagem motora

Seres humanos podem ser entendidos como sistemas abertos, pois interagem com o meio trocando matéria, energia e informação (BERTALLANFY, 2015). Nesta interação é possível exportar informação já existente e importar informação do ambiente, quando exporta entropia positiva e importa entropia negativa (BERTALANFFY, 2015). A entropia é uma medida de incerteza (GREVEN; KELLER; WARNECKE, 2003), e à medida que ela aumenta a probabilidade de um estado novo ser encontrado diminui (GREVEN; KELLER; WARNECKE, 2003). Isso permite dizer que o aumento de entropia conduz um sistema a um estado cada vez mais incapaz de mudar, de apresentar novidade e quando a entropia chega ao máximo diz-se que o sistema se encontra em estado de equilíbrio termodinâmico (GREVEN; KELLER; WARNECKE, 2003; BERTALANFFY, 2015). Para se evitar o equilíbrio termodinâmico os sistemas abertos se mantêm em estados estáveis temporários, alcançados pelo processo de exportação e importação de entropia, no qual o sistema adquire novas informações e assim pode modificar continuamente a sua organização (BERTALANFFY, 2015).

Tani *et al.* (1992) e Tani (2008a; 2016) utilizou estes princípios para propor o modelo denominado Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora. O Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora é um modelo teórico que busca explicar o fenômeno da aprendizagem motora como um processo contínuo de não-equilíbrio (TANI *et al.*, 2014; BARROS; TANI; CORRÊA, 2017). O não-equilíbrio é resultante da interação com o ambiente, que permite importação de informação. Quando tal importação acontece, a informação nova tem que ser organizada com a existente, causando uma perda temporária da estabilidade do desempenho até que uma nova organização das informações aconteça, observada quando o desempenho se torna estável (TANI, 1995; TANI *et al.*, 2014). Com base nestes pressupostos, o modelo de Processo Adaptativo propõe a aprendizagem de uma habilidade motora como um processo contínuo em cíclico de Instabilidade-Estabilidade-Instabilidade do desempenho.

Neste processo, o início da aprendizagem é marcado pelo desempenho instável, com uma alta quantidade de erros e um padrão de execução da habilidade mal-definido (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014). As novas informações referentes à habilidade a ser aprendida (meta ambiental a ser atingida e/ou padrão de execução) precisam ser

organizadas com as já existentes. A busca da organização dos componentes da habilidade motora e a sua relação com a meta ambiental resultam na primeira fase de instabilidade (CATTUZZO, 2007; TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014).

Com a prática aliada ao *feedback* negativo¹ as informações são organizadas, as incertezas diminuem e o resultado se torna consistente e preciso e o padrão de execução da habilidade bem definido, caracterizando o desempenho estável (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014). Neste momento é assumido que uma estrutura de controle da habilidade foi formada (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014).

Contudo, como a interação com o ambiente não cessa, a troca de informação é contínua e em algum momento uma informação será importada e deverá ser organizada com a já existente². Quando isso acontece duas formas de modificação na estrutura de controle podem acontecer (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014, UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). A primeira acontece quando a informação está dentro das alternativas já existentes da estrutura da habilidade, e com ajustes paramétricos (ex.: aumento do tempo total do movimento, diminuição da amplitude do movimento) o desempenho se torna estável novamente (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014, UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Esta forma de modificação na estrutura de controle é denominada adaptação paramétrica (TANI, 2008b).

A segunda forma de modificação na estrutura de controle acontece quando a informação é nova, estando além das alternativas já existentes da estrutura da habilidade, o que requer uma reorganização da própria estrutura (ex.: reorganização dos tempos relativos dos componentes) para que a nova organização torne o desempenho estável novamente (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Neste caso a adaptação é denominada estrutural (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b).

O desempenho se mantém estável até que algum evento interno ou externo mude o contexto de execução da habilidade (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014,

¹ Entende-se por *feedback* negativo a informação de retorno em relação ao desempenho de uma habilidade motora que é usada para reduzir a distância entre o desempenhado e a meta, para neutralização do desvio (TANI, 2008a), ou seja, é a informação para redução do erro.

² Apesar de entender que o próprio aprendiz possa levar à mudança na habilidade existente devido à sua variabilidade inerente ou à tentativa de explorar o ambiente (TANI, 2000; BENDA *et al.*, 2016), neste momento trataremos apenas das informações do ambiente.

UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). Essas mudanças internas e/ou externas desafiam o desempenho e, por vezes, sua característica de estabilidade é substituída por instabilidade, levando o desempenho a um estado instável (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a).

Nesse novo estado instável do desempenho, as respostas passam a ser imprecisas e inconsistentes, assim como o padrão de movimento também pode perder consistência (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). Novamente, por meio da prática e *feedback* a resposta e padrão de movimento se tornam gradualmente precisos e consistentes, indicando que o desempenho alcançou um novo estado estável (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a).

Toda vez que o desempenho é desafiado por alguma mudança e consegue vencê-la, os estados instáveis e estáveis vão se alternando (CATTUZZO, 2007; TANI, 2008a; BARROS *et al.*, 2017). Esse é o ciclo de instabilidade-estabilidade-instabilidade do desempenho pelo qual a aprendizagem avança (CATTUZZO, 2007; TANI, 2008a; BARROS *et al.*, 2017).

A continuidade de momentos de estabilidade e perturbações levam a modificações, caracterizando o processo de aprendizagem motora como um processo contínuo de Instabilidade, Estabilidade, Instabilidade... em direção a estados mais complexos. É por meio dessa segunda forma de modificação na estrutura de controle – adaptação estrutural, que o Processo Adaptativo propõe o aumento de complexidade (TANI, 2008a; UGRINOWITSCH *et al.*, 2008; TANI *et al.*, 2014), e espera-se um ganho em competência (CARVALHO, 2017).

Todos os fenômenos e conceitos apresentados no modelo possuem relação e codependência. No intuito de elucidá-los de forma mais cuidadosa, optou-se neste trabalho por apresentá-los em tópicos subjacentes ao Processo Adaptativo, portanto, não deixam de estar relacionados entre si. Eles serão apresentados em uma sequência didática de acordo com o fenômeno observado (estabilização, perturbação, adaptação), a estrutura de controle adotada (PAHO) e por último as o aumento de competência do desempenho.

2.1.1 Estabilização

Dentro do Processo Adaptativo em aprendizagem motora o termo “estabilização” é usado para se referenciar a um fenômeno, a um processo e ao delineamento experimental para testar o modelo. A estabilização como um fenômeno pode ser entendida como a propriedade de estabilidade do desempenho, que segundo Freudenheim (1999) se deve à confiabilidade das soluções de um problema motor que podem ser repetidas a partir da intenção.

Já a estabilização como processo se refere às mudanças observadas no desempenho advindas de prática e *feedback* em direção à um resultado preciso e consistente, que é relacionado ao momento que um padrão de movimento está bem definido (TANI, 1995; 2008a). Enquanto delineamento experimental, a estabilização se refere à primeira fase de prática dos experimentos, que tem por objetivo a formação da estrutura de controle da habilidade, decorrente da padronização espaço-temporal do movimento, do aumento de precisão e de consistência (TANI, 1995; FREUDENHEIM, 1999).

No início da aprendizagem de uma habilidade motora o desempenho é marcado por muitas respostas imprecisas e inconsistentes, que resultam na ausência de um padrão de movimento devido à inexistência de uma estrutura de controle da habilidade (TANI, 2008b). Conseqüentemente, tanto o desempenho quanto o padrão de movimento no início da aprendizagem são caracterizados por serem instáveis (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). Continuando a prática e o respectivo *feedback*, tanto a resposta quanto o padrão de movimento se tornam mais precisos e consistentes, o que caracteriza o desempenho estável (TANI, 2008b; TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a).

Para testar o modelo de Processo Adaptativo, os estudos utilizam uma fase de estabilização e a segunda de fase de adaptação (esta segunda fase será abordada na sessão 2.1.3). A fase de estabilização caracteriza o início da aprendizagem, na qual o comportamento passa de um estado instável e com a prática e o *feedback* o comportamento atinge um estado estável, quando é possível inferir a formação de uma estrutura de controle da habilidade (TANI, 2008a). Portanto, o alcance à estabilização do desempenho é um pré-requisito no modelo do Processo Adaptativo

(TANI, 2008a), sendo necessária a certificação de que a quantidade de prática foi suficiente para que o desempenho se torne estável (TANI, 2008a).

Operacionalmente, durante a fase de estabilização, o desempenho estável foi assumido em alguns estudos e em outros foi identificado. Os estudos que assumiram que o desempenho estaria estável ao final da fase de estabilização estabeleceram previamente um número de tentativas para todos os sujeitos. Tani (1995) usou uma tarefa de rastreamento de um padrão seriado³, e em seu primeiro experimento assumiu que 60 tentativas seriam suficientes para a estabilização do desempenho. Em 1999, Freudenheim assumiu que, em uma tarefa de reprodução de um padrão gráfico, o comportamento estável aconteceria antes de 280 tentativas. No seu segundo experimento, Benda (2001) usou uma tarefa complexa de timing coincidente⁴ e assumiu que 30 tentativas seria suficiente para tornar o desempenho estável. Posteriormente, Cattuzzo (2007) utilizou a mesma tarefa de rastreamento de um padrão seriado de Tani (1995) e assumiu que fixar 100 tentativas na fase de estabilização seria suficiente para tornar o desempenho estável. Ambrósio (2014), utilizando a mesma tarefa de Tani (1995) e Cattuzzo (2007), assumiu 120 tentativas, como suficiente para tornar o desempenho estável. O mesmo procedimento foi utilizado em estudos que investigaram outros fatores que influenciam a aquisição de habilidades motoras com pano de fundo do processo adaptativo, como a organização da prática em Correa *et al.* (2010a) que usou a mesma tarefa que Benda (2001) propondo 72 tentativas na fase de estabilização, e como o *feedback* em Ugrinowitsch *et al.* (2003) que propôs 30 tentativas para aprendizagem de uma tarefa de preensão manual.

A diferença no número de tentativas utilizado durante a fase de estabilização mostra que os estudos que estabeleceram previamente a quantidade de tentativas podem não ter permitido que o desempenho tenha se tornado estável, podendo ser uma abordagem imprecisa (TANI, 1995). Tal imprecisão acontece uma vez que as experiências motoras de cada sujeito influenciarão na quantidade necessária de tentativas para que ele alcance o desempenho estável (UGRINOWITSCH, 2003;

³ Nessa tarefa os sujeitos precisavam tocar com o dedo indicador direito em cinco sensores, que correspondiam a LEDs que se acendiam com intervalo de 800ms em uma sequência pré-determinada, mas não informada.

⁴ Nessa tarefa os sujeitos precisavam tocar em cinco sensores em uma sequência específica informada previamente a fim que coincidir o último toque com a chegada de um estímulo luminoso.

COCA-UGRINOWITSCH *et al.*, 2014). No experimento dois de Tani (1995) foi criado um desempenho critério para identificar quando os sujeitos alcançaram um desempenho estável, caracterizado por sequencias de toques certos ou antecipatórios consecutivos.

Outro estudo que usou um desempenho critério para identificar a estabilização do desempenho foi Ugrinowitsch (2003), que ao observar os resultados do segundo experimento de Benda (2001) interpretou que os sujeitos tinham atingido a estabilização do desempenho em momentos diferentes durante a fase de estabilização. Em função disso, utilizando a mesma tarefa complexa de timing coincidente que Benda (2001), Ugrinowitsch (2003) propôs o desempenho critério de 3 tentativas consecutivas corretas (erro menor que 30ms) como medida de identificação de um desempenho estável. Este critério foi estabelecido pelos resultados de estudos-piloto, após identificar que a sequência de 4 ou mais tentativas consecutivas com erro menor que 30ms eram infrequentes.

Uma consequência importante que a identificação da estabilização do desempenho proporciona é a também identificação dos ciclos de instabilidade e estabilidade (CATTUZZO, 2007). Já que o modelo teórico adotado pressupõe que a aprendizagem motora vai além da estabilização passando por ciclos de instabilidade-estabilidade-instabilidade (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2017), estudar como o sistema lida com a instabilidade é dependente dos mecanismos que ele usa para se adaptar, que por sua vez dependem do momento e de quanta instabilidade é inserida (TANI, 1995; UGINOWITSCH, 2003).

Em seu primeiro experimento, Tani (1995) verificou que os sujeitos que apresentaram uma maior frequência de respostas antecipatórias (respostas que refletem um estado de organização do desempenho com mais informação uma vez que conseguem executar uma ação correta vinculada a um estímulo independente da sua ocorrência) também apresentaram uma maior frequência da mesma quando desafiados por uma mudança no contexto de execução (diminuição de 800ms para 700ms do intervalo inter estímulo). Entretanto, neste primeiro experimento todos os sujeitos tiveram a mesma quantidade de prática na fase de estabilização.

Segundo o autor, estabelecer previamente a quantidade de prática não permitiu avaliar claramente se a estabilização foi realmente alcançada, o que levou à

mudanças no segundo experimento. Tani (1995) propôs então o desempenho estável como observado em dois tipos de respostas: o de respostas corretas (três séries completas consecutivas em respostas corretas – este critério representa um estado de organização com informação suficiente) e de respostas antecipatórias (uma série completa em respostas antecipatórias – este critério representa um estado de organização com informação abundante). Os resultados mostraram que o alcance de distintos níveis de estabilização (organização com informação suficiente vs organização com informação abundante) influenciaram o desempenho frente a mudança no contexto de execução (operacionalizada como uma mudança na sequência e a redução do intervalo inter-estímulo). Estes dois critérios resultaram em diferenças no desempenho quando havia uma mudança no contexto da tarefa, indicando que representam níveis de estabilização distintos.

Posteriormente, os estudos que investigaram “quando” inserir a instabilidade, o fizeram propondo investigar a inserção da instabilidade em três momentos: antes do desempenho se tornar estável, assim quando o desempenho se torna estável e depois que o desempenho se tornou estável (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). De forma operacional, os estudos estabeleceram três níveis de estabilização: pré-estabilização, estabilização e superestabilização (BENDA, 2001; UGRINOWITSCH, 2003; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). A clareza sobre os três níveis de estabilização é fundamental para o entendimento do modelo teórico adotado e que serão abordados adiante.

O nível pré-estabilização é definido como aquele em que a prática é insuficiente para que o desempenho se torne estável (UGRINOWITSCH; TANI, 2008; UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). Como a investigação deste nível exige que a estrutura de controle da habilidade não tenha sido formada, tradicionalmente nos experimentos é adotado um número mínimo de tentativas que garanta a não estabilização do desempenho e que seja suficiente para conduzir a análise estatística. Em Benda (2001) e no primeiro experimento de Ugrinowitsch (2003), usando a tarefa complexa de timing coincidente, os grupos de pré-estabilização (GP) praticaram 10 tentativas, e os resultados indicaram que a quantidade de prática estipulada foi insuficiente para estabilizar o desempenho e adaptar à mudanças na tarefa. Tais resultados foram encontrados em outros estudos na mesma tarefa complexa de timing coincidente (UGRINOWITSCH *et al.*, 2011;

UGRINOWITSCH *et al.*, 2014) e no *putting* do golfe (SOUZA; CORRÊA, 2020), independente do referencial teórico utilizado.

O nível de pré-estabilização também foi testado com um critério de desempenho. Ambrósio (2019) usou a tarefa de rastreamento de um padrão seriado e identificou o nível pré-estabilização como cinco toques corretos consecutivos. Como a sequência da tarefa tinha seis componentes, esse critério refletiu um estado de organização com informação insuficiente para estabilizar o desempenho na sequência correta. Os resultados desse estudo corroboram com os já apresentados, uma vez que a pré-estabilização não favoreceu adaptação.

O nível estabilização é definido como aquele em que a prática é suficiente para que o desempenho se torne estável (UGRINOWITSCH, 2003; UGRINOWITSCH; TANI, 2008; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). Investigar este nível requer proporcionar prática suficiente para que o desempenho se torne estável, e se possa inferir que a estrutura de controle da habilidade foi formada (TANI, 2008a). Como já mencionado neste tópico, existem estudos que assumiram uma quantidade fixa de tentativas suficientes para que o desempenho se tornasse estável e estudos que propuseram medidas para identificar a estabilização do desempenho (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a).

Estabelecer um critério para identificar o nível de estabilidade pelo desempenho mostrou ser eficiente para o desenvolvimento dos estudos. Tal desempenho critério já foi utilizado tanto para testar o modelo teórico do Processo Adaptativo (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a) quanto para investigar o Comportamento Motor (UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016) em diferentes abordagens. Independente da abordagem utilizada, os resultados dos estudos mostraram que quando foi possível estabilizar o desempenho houve adaptação (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). A partir destes resultados, e em conjunto com os resultados sobre pré-estabilização, é possível assumir que a estabilização do desempenho é um pré-requisito para a adaptação (TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a; BARROS *et al.*, 2017).

O nível superestabilização é definido como aquele alcançado quando a prática vai além daquela necessária para a estabilização do desempenho (UGRINOWITSCH, 2003; UGRINOWITSCH; TANI, 2008; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). Investigar este

nível requer estender a prática até que o desempenho se apresente estável sucessivas vezes (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). Esse nível levaria à abundância de alternativas de uma estrutura de controle já formada (TANI, 2008a; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). Em Benda (2001), usando a tarefa complexa de timing coincidente, o grupo superestabilização (GS) praticou 150 tentativas – quantidade que seria suficiente para que a prática fosse além da estabilização do desempenho. Os resultados não indicaram efeitos superiores da superestabilização na adaptação. Como já mencionado, identificar a estabilização do desempenho parece ser mais seguro que assumir a estabilização, o mesmo pode valer para a superestabilização (UGRINOWITSCH, 2003). No seu terceiro experimento, Ugrinowitsch (2003), usando a tarefa de *timing* coincidente, propôs o critério desempenho para a identificação da superestabilização: alcançar por seis vezes um bloco de três tentativas consecutivas com erro menor que 30ms. Este critério foi baseado no estudo piloto, que identificou que os sujeitos não conseguiam repetir um desempenho com erro menor que 30ms por mais de três tentativas consecutivas (UGRINOWITSCH, 2003).

Os estudos que identificaram a superestabilização via desempenho critério mostram que o nível de superestabilização conseguiu lidar melhor com as alterações no contexto de execução, em diferentes tarefas: na tarefa complexa de *timing* coincidente (UGRINOWITSCH *et al.*, 2008; UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014), na tarefa de controle de força isométrica (CARVALHO, 2017) e a tarefa de rastreamento (AMBRÓSIO, 2019). Essa constatação advém dos resultados que indicaram que quando alcançada a superestabilização, foi utilizado um menor número de tentativas e/ou de modificações dos componentes da habilidade para retomar o bom desempenho (UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014; CARVALHO, 2017). Tais resultados mostram que praticar além da estabilização do desempenho desenvolve uma estrutura de controle da habilidade mais flexível, que precisa modificar menos a sua organização quando enfrenta alterações no contexto de execução, a fim de manter o bom desempenho (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a).

Para além dos três níveis de estabilização do desempenho supracitados, outra forma de investigar o processo de estabilização foi realizada nos estudos de Basso (2010) e Ambrósio (2014). Ambos investigaram a estabilidade do desempenho durante e ao final da fase de estabilização usando a tarefa de rastreamento de um padrão seriado,

e mostraram que a estabilidade do desempenho, tanto ao final quanto durante a fase de estabilização, influenciou a adaptação. Os resultados de Basso (2010) mostraram que a maior estabilidade no final da fase de estabilização proporcionou um melhor desempenho quando uma mudança no contexto de execução (adição de um componente na sequência de rastreamento) foi inserida. Os resultados de Ambrósio (2014) mostraram que a maior estabilidade durante a fase de estabilização levou a formação de uma estrutura de controle da habilidade mais apta a lidar com a mudança no contexto de execução, (mudança na sequência dos componentes e redução do intervalo entre os estímulos). Em conjunto esses dois trabalhos indicam que não só o nível de estabilização influencia na adaptação, como também a forma com a qual se atinge este nível (BASSO, 2010; AMBRÓSIO, 2014).

As evidências mostram que o processo de estabilização do desempenho é suficiente para a formação de uma estrutura de controle da habilidade capaz de lidar com alterações no contexto de execução (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Uma forma de investigar o processo adaptativo é inserir alterações no contexto da tarefa, denominadas perturbações para, então, observar como acontece a adaptação perante estas perturbações. O próximo tópico é destinado a este assunto.

2.1.2 Perturbação

A perturbação é uma alteração no contexto de execução de uma habilidade que impele modificações (ajuste e/ou reorganização) da estrutura de controle da habilidade, com o objetivo de manter o bom desempenho anterior (TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Experimentalmente, a perturbação precisa ser percebida pelo sujeito, o que levará a uma queda do desempenho ou modificação na estrutura de controle da habilidade (UGRINOWITSCH, CORRÊA, TANI, 2005). A forma com a qual o sujeito age frente à perturbação é dependente do nível de estabilização do desempenho (assunto abordado no tópico anterior) e das características da perturbação (TANI, 1995). As perturbações podem ser categorizadas em função de suas características, tais como previsibilidade, magnitude e demanda (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b).

Quanto a sua previsibilidade, a perturbação pode ser classificada em previsível ou imprevisível (FONSECA *et al.*, 2012). É considerada imprevisível se não há conhecimento prévio de quando e como a perturbação acontecerá. Neste caso, a perturbação é inserida após o início do movimento, e em ordem aleatória exigindo uma modificação no movimento já iniciado (RICHTER *et al.*, 2004; FONSECA *et al.*, 2012, SANTOS *et al.*, 2017). É considerada perturbação previsível aquela em há o conhecimento em relação a quando e como a alteração do contexto acontecerá, o que permite uma modificação no planejamento da ação previamente à sua execução (RICHTER *et al.*, 2003; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014).

Trabalhos como os de Fonseca *et al.* (2012), Couto (2012) e Dos Santos *et al.* (2017), mesmo que não apoiados no modelo do Processo Adaptativo, estudaram a relação entre de perturbações imprevisíveis e o nível de estabilização do desempenho. Os resultados apontaram uma superioridade do grupo superestabilização tanto para a velocidade de retorno ao bom desempenho quando a perturbação foi inserida (FONSECA *et al.*, 2012), quanto à precisão e consistência do desempenho (COUTO, 2012) e também à melhor coordenação neuromuscular (SANTOS *et al.*, 2017). Com esses indícios, é possível entender que mesmo que as perturbações imprevisíveis imponham alta exigência para estrutura de controle da habilidade, exigindo mudanças na ação já iniciada (FONSECA *et al.*, 2012), um estágio mais avançado da aprendizagem foi competente em lidar com a perturbação. Essa competência em vencer a perturbação com menos tentativas (FONSECA *et al.*, 2012) e com um

desempenho mais preciso (COUTO, 2012) pode ter sido viabilizado pela menor rigidez na articulação envolvida que facilita a alteração do movimento já iniciado (SANTOS *et al.*, 2017).

Os trabalhos de Processo Adaptativo usam predominantemente perturbações previsíveis e contínuas – que se mantém ao longo da segunda fase do experimento. Usar perturbações com esta característica tem por objetivo investigar como a habilidade aprendida se modifica ao longo do tempo (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Posto que a perturbação previsível proporciona a oportunidade de planejar a execução da habilidade com antecedência (UGRINOWITSCH *et al.*, 2014), a manutenção da mesma perturbação em uma sequência de tentativas, permite observar como a estrutura de controle da habilidade se modifica para lidar com a perturbação (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Usando a tarefa complexa de timing coincidente, Ugrinowitsch *et al.* (2011) e Ugrinowitsch *et al.* (2014) identificaram que a estabilização do comportamento foi suficiente para que os aprendizes lidassem com a perturbação previsível.

Nenhum trabalho em Processo Adaptativo foi encontrado que comparasse o nível de exigência entre perturbações previsíveis e imprevisíveis. Em princípio, é possível deduzir que perturbações previsíveis parecem impor menor exigência para estrutura de controle da habilidade, já que a ação pode ser planejada com antecedência (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b).

Outra forma de classificar as perturbações se baseia no quanto de mudança uma perturbação exige da estrutura de controle da habilidade, essa é a forma de classificar a magnitude da perturbação (TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Esta classificação é observada pelo efeito da perturbação na estrutura de controle (TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016). Existem perturbações que podem ser superadas pela competência já existente da estrutura de controle da habilidade, retornando o desempenho à estabilidade com ajustes paramétricos (ex. ajustes no tempo total de movimento), tais perturbações são classificadas como de pequena magnitude (TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016). Já quando a perturbação inserida não pode ser superada pela competência já existente da estrutura de controle da habilidade, é necessária a reorganização desta estrutura. A perturbação que impele a reorganização da interação dos componentes da habilidade é classificada como de grande magnitude (ex.: reorganização do tempo relativo dos componentes)

(TANI *et al.*, 2014;). A identificação da magnitude da perturbação apenas pode ser feita a *posteriori*, pois a classificação é dependente de qual mudança ocorrerá na estrutura de controle da habilidade (TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b).

Outra forma de classificar as perturbações é com relação às suas demandas. As perturbações podem ter exigência predominante sobre os mecanismos perceptivos, motores ou ambos os mecanismos, sem a predominância clara de um deles (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Quando a perturbação acontece pela modificação de um estímulo vinculado à execução da habilidade, como um estímulo visual em uma tarefa de *timing* coincidente, a perturbação exige mais de mecanismos perceptivos, então é classificada como perturbação perceptiva (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Como a mudança acontece em um estímulo visual, é possível identificar o porte da perturbação, que significa a diferença absoluta entre a velocidade do estímulo da perturbação e a velocidade do estímulo no momento anterior (CATTUZZO, 2007).

Os artigos que estudaram Processo Adaptativo usando a tarefa complexa de *timing* coincidente, com a velocidade do estímulo visual sendo constante durante a fase de estabilização, manipularam a perturbação perceptiva com as mudanças da velocidade de deslocamento do estímulo visual listadas na Tabela 1. De forma geral, os resultados indicam que quando a perturbação exige predominantemente de mecanismos perceptivos, ela implica em uma menor dificuldade para se adaptar (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b).

Tabela 1 – Velocidade dos estímulos e portes das perturbações perceptivas em artigos que usaram a tarefa complexa de *timing* coincidente em Processo Adaptativo

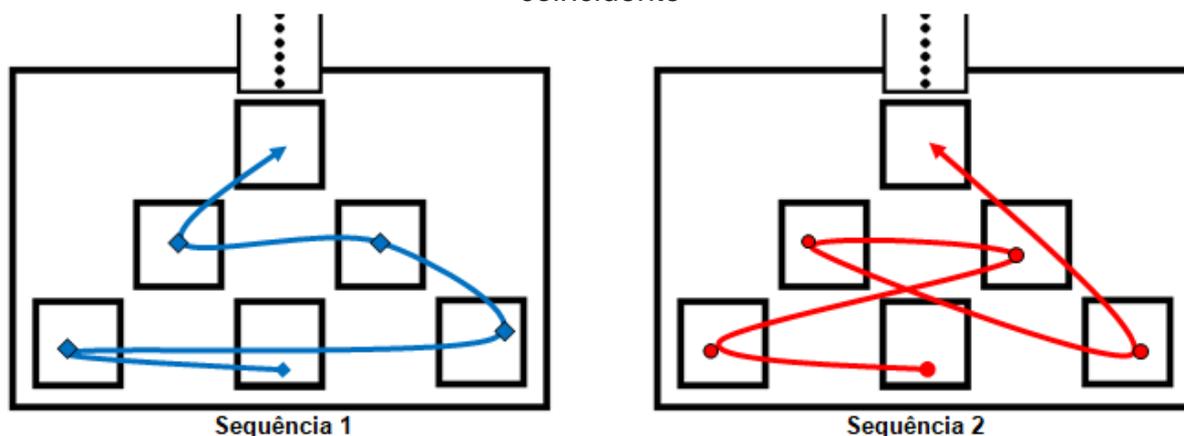
| Autores e ano dos artigos | Velocidade do estímulo na estabilização | Velocidade do estímulo na adaptação | Porte da perturbação |
|-----------------------------------|---|--|----------------------|
| Ugrinowitsch <i>et al.</i> (2005) | 124 cm/s | 104 cm/s | - 20 cm/s |
| Ugrinowitsch <i>et al.</i> (2005) | 124 cm/s | 153 cm/s | + 29 cm/s |
| Ugrinowitsch <i>et al.</i> (2005) | 124 cm/s | 1ª metade: 182 cm/s; 2ª metade: 94 cm/s | 0 cm/s |
| Ugrinowitsch <i>et al.</i> (2005) | 124 cm/s | 1ª metade: 94 cm/s; 2ª metade: 182 cm/s | 0 cm/s |
| Pinheiro e Corrêa (2007) | 168 cm/s** | 149 cm/s** | - 18 cm/s |
| Ugrinowitsch <i>et al.</i> (2008) | 124 cm/s | 153 cm/s | + 29 cm/s |

| | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|-----------|
| Corrêa <i>et al.</i> (2010a)* | 142 cm/s | 104 cm/s | - 38 cm/s |
| Corrêa <i>et al.</i> (2010b) | 142 cm/s | 104 cm/s | - 38 cm/s |
| Ugrinowitsch <i>et al.</i> (2010) | 117 cm/s | 133 cm/s | + 16 cm/s |

Fonte: Elaboração própria; *valores referentes ao primeiro experimento do artigo; ** valores de velocidade média.

Quando a perturbação acontece pela necessidade de modificação da forma da habilidade exigindo mais de mecanismos motores (ex.: modificação no sequenciamento de componentes de uma habilidade) a perturbação é classificada como motora (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b). Nos artigos que estudaram Processo Adaptativo usaram a tarefa complexa de *timing* coincidente e manipularam a perturbação motora, o fizeram com mudanças no sequenciamento de toques. A Figura 1 exemplifica a sequência mais comum (Sequência 1) e a perturbação motora (Sequência 2) nos trabalhos de Corrêa *et al.* (2006), experimento dois de Corrêa *et al.* (2010a), experimento dois de Corrêa *et al.* (2014) e experimento dois de Pinheiro *et al.* (2015). De forma geral, os resultados indicam que esta demanda implica uma dificuldade intermediária para se adaptar (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b).

Figura 1 - Exemplo de sequenciamento usado na tarefa complexa de *timing* coincidente



Fonte: elaboração própria.

Por último, quando a perturbação acontece pela modificação de um estímulo vinculado à execução da tarefa em conjunto com uma modificação da forma da habilidade, ela é classificada como perturbação perceptivo-motora. Nesta não há predominância sobre os mecanismos perceptivos ou motores (UGRINOWITSCH *et*

al., 2016b). Na maioria os artigos que estudaram Processo Adaptativo usando a tarefa complexa de timing coincidente, a perturbação perceptivo-motora foi manipulada como a configuração da sequência 2 da Figura 1 e uma redução da velocidade para 104 cm/s. Como exemplo pode-se citar Correa *et al.* (2007), Correa *et al.* (2010a) e Gonçalves (2010). De forma geral, os resultados indicam que esta demanda implica a maior dificuldade das três para se adaptar (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b).

O Processo Adaptativo postula que a uma perturbação de grande magnitude incita um processo que, usado para neutralizar a incerteza inserida, é responsável pelo avanço da aprendizagem rumo ao aumento de complexidade (TANI, 2008a). Tal processo é denominado adaptação estrutural (TANI, 2008a), sendo assunto integrante do próximo tópico que de forma mais ampla abordará a adaptação.

2.1.3 Adaptação

Em Processo Adaptativo, a adaptação pode ser vista como um fenômeno, como um processo e como uma fase do delineamento experimental para testar o modelo. Enquanto fenômeno pode ser entendida como a manutenção ou retomada da estabilidade do desempenho em função de mudanças na estrutura de controle da habilidade (TANI, 2008a). A adaptação como processo se refere às mudanças observadas no desempenho e/ou estrutura de controle advindas de prática e *feedback* que fazem frente à incerteza resultante da perturbação, sendo tais mudanças dependentes da relação entre a estrutura de controle e a perturbação (TANI, 2008a). Enquanto delineamento experimental, a adaptação se refere à segunda fase de prática dos experimentos, que tem por objetivo testar o modelo teórico investigando a continuidade da aprendizagem a partir das modificações de uma habilidade aprendida (TANI, 2008a).

O fenômeno da adaptação como manutenção ou retorno ao bom desempenho pode acontecer de três formas, dependentes da magnitude da perturbação. Quando a estrutura de controle da habilidade já possui informações suficientes para lidar com a perturbação, ela é considerada de pequena magnitude (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2017). Neste caso, as mudanças que ocorrem no comportamento são caracterizadas pelos ajustes dos parâmetros da habilidade (ex.: tempo total, distância total percorrida), o que caracteriza a adaptação como paramétrica (TANI, 2008; TANI *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2017).

A segunda forma de retomar o bom desempenho acontece quando a estrutura de controle precisa integrar novas informações da perturbação às informações que já existiam, a perturbação é considerada de grande magnitude (TANI, 2008a; UGRINOWITSCH *et al.*, 2008). Esta forma de adaptação perpassa pelo enfraquecimento temporário da interação entre os componentes da habilidade para que emerja uma nova forma de interação, que contemple a informação nova e permita que o desempenho volte a ser preciso e estável (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2017). Conseqüentemente, as mudanças são vistas nas variáveis que refletem os aspectos da estrutura da habilidade (ex.: tempo relativo, a força relativa), o que caracteriza uma adaptação estrutural (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2017).

A terceira forma de manter o bom desempenho é quando a reorganização dos componentes da estrutura de controle não é suficiente para lidar com a perturbação, sendo necessária uma nova organização da estrutura de controle. Essa forma de adaptação se constitui na emergência de um padrão completamente novo em função de uma perturbação de grande magnitude (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2017). Esta maneira de adaptação é denominada auto organizacional, é um tema complicado para ser operacionalizado experimentalmente, e não foi encontrado estudo algum testando esta forma de adaptação.

Todas as três formas de adaptação apresentadas anteriormente se dão em consequência da instabilidade criada pela perturbação, deflagrando o segundo ciclo de instabilidade-estabilidade (CATTUZZO, 2007; TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014). No delineamento experimental dos estudos em Processo Adaptativo, este momento está compreendido dentro da segunda fase dos experimentos, chamada fase de adaptação.

Essa fase é caracterizada pela inserção da perturbação e tem por objetivo fornecer prática para investigar como se dão as modificações de uma habilidade já aprendida para manter ou reestabelecer o desempenho (TANI, 2008a; BARROS *et al.*, 2017). Tais modificações estão relacionadas aos processos de adaptação paramétrica ou estrutural, que acontecem para que a instabilidade do desempenho gerada pela perturbação seja superada e que o desempenho retorne ao estado estável (TANI, 2008a; BARROS *et al.*, 2017). Esta chegada à nova estabilidade pode ser identificada tanto como o retorno do grupo a um bom desempenho, semelhante ao final da fase de estabilização (UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; UGRINOWITSCH *et al.* 2014), quanto em análise individual com desempenho critério (UGRINOWITSCH *et al.*, 2008; UGRINOWITSCH *et al.*, 2010), semelhante à na fase de estabilização (ver 2.1.1).

Operacionalmente, durante a fase de adaptação, a maioria dos estudos assumiu números fixos de tentativas para que a habilidade aprendida fosse modificada (UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; UGRINOWITSCH *et al.* 2014). Essa modificação foi analisada via testes estatísticos das variáveis que refletem a estrutura de controle, tanto em termos de magnitude quanto de variabilidade.

Nos estudos encontrados sobre Processo Adaptativo, a adaptação foi identificada durante a fase de adaptação via análise das variáveis que a refletem a estrutura de

controle, e discutidas enquanto efeito de outras variáveis manipuladas. Apenas seis artigos em Processo Adaptativo foram encontrados que 1) usaram a tarefa complexa de timing coincidente; 2) manipularam perturbação previsível e perceptiva; 3) incluíram medidas que viabilizaram a análise de qual tipo de adaptação aconteceu. Esses seis estudos serão citados, e apenas serão apresentados os resultados dos grupos mais semelhantes a um grupo de prática constante que chegou à estabilização e foi perturbado⁵.

Três estudos apresentaram resultados nos quais os grupos mais similares ao descrito acima se adaptaram parametricamente. Em seu primeiro experimento, Corrêa *et al.* (2010a) investigaram os efeitos da estrutura de prática no processo adaptativo em aprendizagem motora, e grupo de prática constante se adaptou parametricamente. Assim também aconteceu em Corrêa *et al.* (2010b), que investigaram os efeitos de diferentes quantidades de prática constante antes da prática aleatória no processo adaptativo em aprendizagem motora, com um grupo de prática constante até a estabilização e mais 36 tentativas de prática aleatória. A adaptação aconteceu via modificações paramétricas da habilidade aprendida. Por fim, Ugrinowitsch *et al.* (2014) investigaram se o nível de estabilização facilita adaptação a perturbações previsíveis, e o grupo estabilização se adaptou de forma paramétrica.

Os outros três estudos apresentaram resultados nos quais os grupos se adaptaram estruturalmente. Pinheiro e Corrêa (2007) investigaram os efeitos de diferentes estruturas de prática na aquisição de habilidades motoras com desaceleração do estímulo visual, e o grupo de prática constante se adaptou estruturalmente pela reorganização temporal de dois componentes. Ugrinowitsch *et al.* (2008) investigaram se o sistema motor aumenta a complexidade ao passar por ciclos de estabilização quando enfrenta uma perturbação perceptiva, e o grupo estabilização se adaptou estruturalmente na reorganização temporal de três componentes. O último foi Ugrinowitsch *et al.* (2010), que investigaram o efeito de perturbações perceptivas e nível de estabilização na adaptabilidade motora, e o grupo estabilização se adaptou estruturalmente com a reorganização temporal de dois componentes.

⁵ Essa restrição foi necessária para viabilizar a comparação dos tipos de adaptação entre estudos os quais alguns envolveram estruturas de prática e outros níveis de estabilização.

Uma consideração a ser feita sobre esse conjunto dos seis estudos é que tanto Pinheiro e Corrêa (2007) quanto Ugrinowitsch *et al.* (2014) não forneceram conhecimento de resultados durante a fase de adaptação. Essa escolha metodológica pode interferir no retorno ao estado estável anteriormente alcançado (BENDA *et al.*, 2005).

Com a exclusão de ambos os estudos, apenas quatro compõe as características já citas anteriormente (tarefa, demanda da perturbação e variáveis). Desses quatro estudos, nos dois cujo tipo de adaptação foi paramétrico, a perturbação foi operacionalizada pela redução da velocidade do estímulo visual (CORRÊA *et al.* 2010a; CORRÊA *et al.* 2010b), evidenciando que a estrutura de controle formada teve disponibilidade de recursos para lidar com a perturbação (TANI, 2008a). Nos outros dois estudos cujo tipo de adaptação foi estrutural, a perturbação foi operacionalizada pelo aumento da velocidade do estímulo (UGRINOWITSCH *et al.*, 2008; UGRINOWITSCH *et al.*, 2010), indicando que a estrutura formada não teve disponibilidade para lidar com a perturbação (TANI, 2008a). Esses resultados mostram uma tendência de que a perturbação na velocidade da do estímulo parece estar associada ao tipo de adaptação que ocorre para superá-la. O tipo de adaptação implica em ajustes ou reorganização da estrutura de controle da habilidade, que em Processo Adaptativo é denominado Programa de Ação Hierarquicamente Organizado (PAHO), e será o tema abordado no próximo tópico.

2.1.4 Programa de Ação Hierarquicamente Organizado

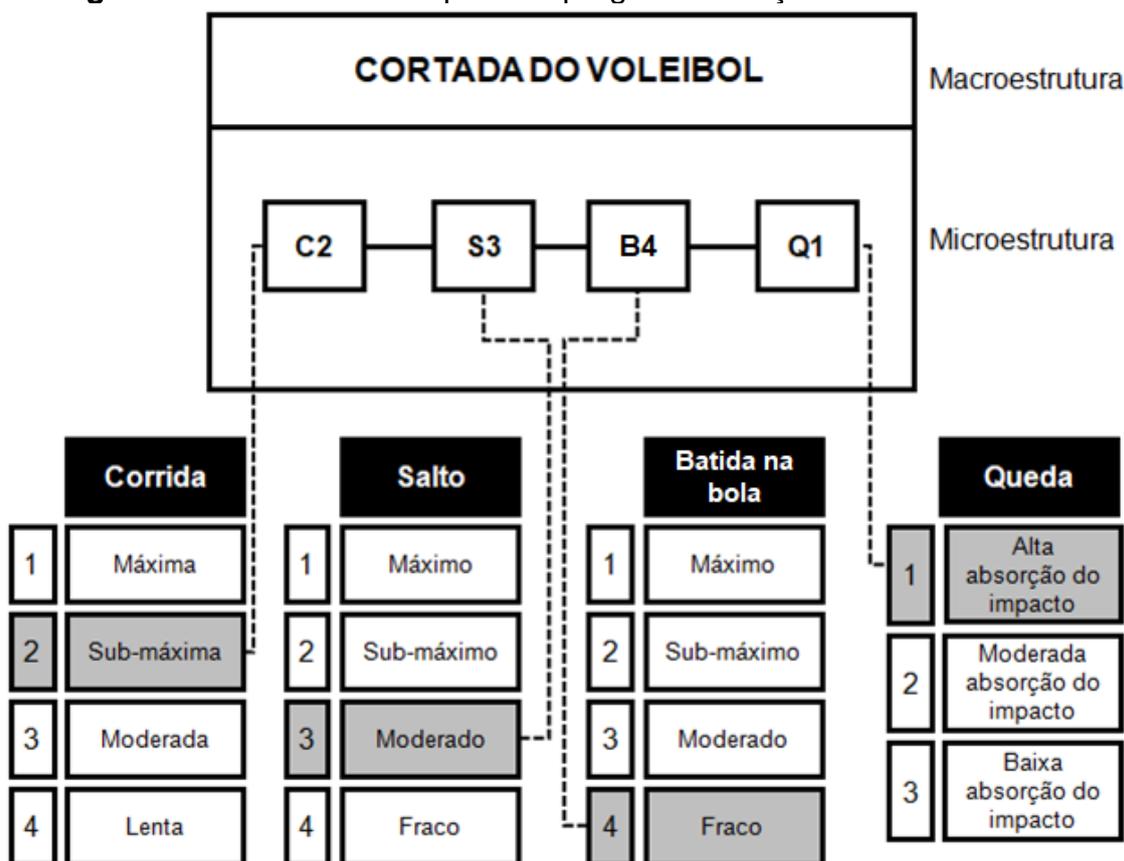
A estrutura de controle da habilidade é denominada Programa de Ação Hierarquicamente Organizado (PAHO), e foi adicionada à teoria do Processo Adaptativo por Go Tani e Kevin J. Connolly em 1995. O PAHO é uma estrutura organizada em dois níveis (macroestrutura e microestrutura), responsável por controlar a habilidade (TANI, 1995; CORREA *et al.*, 2015; BARROS *et al.*, 2017).

A macroestrutura do PAHO diz respeito ao padrão emergente da interação entre os componentes da habilidade (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015). Este nível do PAHO é orientado à ordem, responsável pela consistência das ações e é refletido pelos aspectos invariáveis da habilidade (ex.: tempo relativo, sequenciamento) (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015). A macroestrutura orientada à ordem significa que quando um programa de ação para uma habilidade é formado, há um padrão bem definido de interação espaço-temporal entre os componentes, garantindo consistência ao comportamento observado (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015).

A microestrutura diz respeito aos componentes da habilidade em si e suas possíveis variações (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015). Este nível do PAHO é orientado à desordem, responsável pela variabilidade das ações e é refletido pelos aspectos variáveis da habilidade (ex.: tempo total, amplitude) (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015). Segundo Tani (2008b), “a microestrutura orientada à desordem significa que quando um programa de ação é elaborado, um número de alternativas está disponível em relação a cada componente que constitui sua estrutura”. Esta quantidade de alternativas de cada componente garante ao PAHO sua flexibilidade (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015). Logo, se a quantidade de alternativas (extensão da microdesordem) é pequena, espera-se um comportamento menos variável (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015). Por outro lado, com uma maior extensão da microdesordem se espera um comportamento mais flexível (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015).

Tani (1995), a partir de uma perspectiva hierárquica exemplifica o programa de ação usando como objeto de análise a habilidade salto em distância, posteriormente Pinheiro *et al.* (2015) utilizaram os mesmos princípios para exemplificar o PAHO da cortada do voleibol. O uso do hipotético exemplo do PAHO da cortada do voleibol (Figura 2), em apenas dois níveis, possibilitaria uma abordagem exemplificada.

Figura 2 - Estrutura hierárquica do programa de ação da cortada do voleibol.



Fonte: Adaptado de Tani (1995) e Pinheiro (2015).

A partir da noção de que a macroestrutura do PAHO diz respeito ao padrão de interação dos componentes (TANI, 2008b), na cortada do voleibol (Figura 2) este nível seria responsável por delimitar como a corrida interagiria com o salto, como esse interagiria com a batida na bola, e como a batida na bola interagiria com a queda (PINHEIRO *et al.*, 2015). Uma interação dos componentes consistente promoveria uma habilidade com padrão de movimento bem definido (TANI, 2008b). Já no caso da microestrutura da hipotética cortada do voleibol (Figura 2), podem-se observar os próprios componentes da habilidade (ex.: corrida) e suas alternativas (ex.: máxima, submáxima, moderada, lenta). Na Figura 2 a corrida, o salto e a batida na bola possuem quatro alternativas de expressão e a queda apenas três alternativas, essas quantidades de alternativas nos permite buscar o número de possíveis combinações ($4^3 \times 3 = 192$ possíveis combinações), quantidade que se referiria à extensão da microdesordem. Esta extensão reflete a flexibilidade do PAHO (TANI, 2008b). Portanto características concomitantes das ações habilidosas como consistência e

flexibilidade podem ser explicadas pela estrutura macro e micro do PAHO, respectivamente (TANI, 2008b).

A proposta do controle do PAHO se baseia na seleção da macroestrutura e geração da microestrutura, tentativa a tentativa (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015). Ou seja, a cada execução uma forma de interação dos componentes é selecionada e a expressão de cada componente em si é gerada (TANI, 2008b).

A seleção da macroestrutura acontece pelo resgate no sistema de armazenamento de determinada forma de interação dos componentes, que atenda à restrição imposta pela relação entre a intenção e a especificidade da tarefa (CORREA *et al.*, 2015; BARROS *et al.*, 2017). Esta seleção da macroestrutura garante a consistência espaço-temporal do padrão da habilidade, por consequência desabilitando certo conjunto de alternativas da microestrutura, o que leva à limitação das possíveis alternativas dos componentes a serem geradas (TANI, 2008b, CORREA *et al.*, 2015). A geração da microestrutura acontece dentro dos limites das restrições causadas pelo padrão selecionado de interação dos componentes (TANI, 2008b; CORREA *et al.*, 2015). Essa geração acontece de forma a se responder adequadamente às especificidades das demandas ambientais, e por isso garante a flexibilidade necessária para lidar com as perturbações (TANI, 2008b).

Na relação de macro e micro, a macroestrutura é selecionada em função da meta da tarefa e restringe as alternativas da microestrutura, que é gerada em função das demandas de cada situação (TANI *et al.*, 2014; CORRÊA *et al.*, 2015; BARROS *et al.*, 2017). Como a macroestrutura estabelece a forma de interação dos componentes da habilidade, ela restringe as possibilidades da microestrutura, o que diminui a variabilidade da segunda, mas que ainda mantém algum grau de incerteza e o comportamento não fica estereotipado (TANI *et al.*, 2014; BENDA *et al.*, 2016; BARROS *et al.*, 2017). Entretanto essas relações vão se tornando bem estabelecidas com a prática, uma vez que a macroestrutura emerge da prática.

No início da prática, a macro e microestruturas do PAHO são inconsistentes, haja vista que a forma de interação entre os componentes é mal definida e leva a um excessivo grau de liberdade das alternativas de cada componente (TANI, 2008b, CORREA *et al.*, 2015). Isso promove um padrão de movimento não diferenciado e ineficiência do alcance da meta (TANI, 2008b). Informações como instrução e demonstração ajudam

na seleção da macroestrutura, mas esta só ganhará consistência com prática e *feedback* (TANI, 2008b, CORREA *et al.*, 2015).

A formação do PAHO alcançado por esse processo é o objetivo da primeira fase dos estudos em Processo Adaptativo, a fase de estabilização (abordada na sessão 2.1.1) (TANI, 2008b). Depois de formado, o PAHO deverá modificar sua micro e/ou macroestrutura quando uma perturbação é inserida a fim superar-lá (TANI, 2008b). Quando a perturbação é de pequena magnitude, a adaptação paramétrica acontece devido à flexibilidade da microestrutura (TANI, 2008b, CORREA *et al.*, 2015).

Já quando a perturbação é de grande magnitude, a adaptação estrutural acontece pela reorganização da macroestrutura (TANI, 2008b, CORREA *et al.*, 2015). Quando essa nova forma de interação é alcançada com consistência e o desempenho volta a ser estável, é caracterizada a adaptação estrutural (TANI, 2008b, CORREA *et al.*, 2015). A partir de tal adaptação é assumido o ganho em complexidade do PAHO (UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b; TANI, 2008a), e um novo ciclo de Instabilidade pode ser iniciado (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014). Com as sucessivas adaptações estruturais, o PAHO se torna cada vez mais competente, e é possível especular que essa competência deve ser observada no desempenho. O aumento de competência do desempenho será abordado no próximo tópico deste trabalho.

2.2 Aumento de competência

A teoria do Processo Adaptativo descreve a aprendizagem motora como um processo contínuo que passa por ciclos de Instabilidade-Estabilidade-Instabilidade (I-E-I) do desempenho, em direção à crescente complexidade (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014; CATUZZO, TANI, 2016). Neste processo, o primeiro ciclo I-E coincide com a primeira estabilização do desempenho e formação do PAHO (CATUZZO, 2007; CATUZZO e TANI, 2016). Após estabilizar o desempenho, uma perturbação gera instabilidade dando sequência à este ciclo, que por meio da adaptação atinge um novo estado estável (CATUZZO, 2007; TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014). Para se adaptar é necessário interagir as informações já existentes no PAHO com a perturbação (nova informação), que pode acontecer pela reorganização da macroestrutura, quando a perturbação ultrapassa os limites da flexibilidade da microestrutura, configurando a adaptação estrutural (TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b).

O estado estável atingido após passar por uma adaptação estrutural leva ao aumento de complexidade do PAHO (UGRINOWITSCH *et al.*, 2008; TANI *et al.*, 2014; CARVALHO, 2017). O segundo experimento do estudo de Cattuzzo (2007), usando a tarefa de rastreamento de um padrão seriado, investigou o que aconteceu com o desempenho ao passar por dois ciclos sucessivos de instabilidade, enfrentando diferentes níveis de exigência de perturbação. O experimento foi delineado em três fases: Estabilização (100 tentativas), Adaptação-I (100 tentativas cuja perturbação foi o aumento ou diminuição do intervalo entre os estímulos) e Adaptação-II (20 tentativas cuja perturbação foi o aumento ou diminuição do intervalo entre os estímulos). Os resultados mostraram que a passagem pelos ciclos de I-E ,quando se adapta frente uma perturbação com alto nível de exigência (curto intervalo entre os estímulos), o desempenho frente outra perturbação de alta exigência é melhor. Tais resultados contribuem para o entendimento que a adaptação é um fenômeno que pode levar ao aumento de complexidade (CATTUZZO, 2007; TANI, 2008a).

O ganho de complexidade no PAHO tem sido pouco investigado, sendo que uma dificuldade é encontrar ferramentas que permitam inferir esta questão com maior fidedignidade. Alguns estudos investigaram o aumento de complexidade utilizando medidas relativas à macroestrutura, como o tempo relativo (UGRINOWITSCH *et al.*, 2008) e impulso relativo (CARVALHO, 2017). Em Ugrinowitsch *et al.* (2008), os

sujeitos praticaram a tarefa complexa de *timing* coincidente em três fases: Estabilização I (prática até que o desempenho alcançasse o critério de desempenho estabelecido), Adaptação (prática numa situação com a inserção de uma perturbação perceptiva previsível de aumento da velocidade do estímulo que levassem os indivíduos à adaptação estrutural) e Estabilização II (prática com a situação semelhante à Estabilização I para testar os efeitos da fase anterior). Os resultados mostraram que passando pela adaptação estrutural, o PAHO apresentou distintas configurações do tempo relativo, quando comparados os momentos em que o contexto era similar (Estabilização I e Estabilização II). Os autores propuseram que tal resultado corrobora com a proposta de aumento da complexidade do PAHO, pois houve aumento no número de possíveis organizações espaço-temporais do PAHO para resolver um problema motor já conhecido.

Seguindo na mesma linha de Ugrinowitsch *et al.* (2008), Carvalho (2017) investigou a influência do nível de estabilização no aumento de complexidade adquirido após a passagem pela fase de adaptação. Neste estudo, os sujeitos praticaram uma tarefa de controle da produção de força isométrica dos flexores do cotovelo. Esta tarefa tinha dois componentes (C1 e C2), que se referiam ao alcance de dois percentuais da força máxima isométrica por 1,5seg, sequencialmente. O delineamento desse estudo foi similar ao de Ugrinowitsch *et al.* (2008), apresentando três fases experimentais: Estabilização I (cujos percentuais foram C1 = 20% e C2 = 35%, finalizada com o alcance do desempenho critério), Adaptação (cuja perturbação foi o aumento no percentual do segundo componente, C2 = 45%, finalizada com o alcance do desempenho critério) e Estabilização II (retorno à configuração da primeira fase, C1 = 20% e C2 = 35%, até alcançar o desempenho critério). Os resultados mostraram que, depois da adaptação estrutural – a organização do impulso relativo, medida que refletiu macroestrutura do PAHO, na Estabilização II foi diferente daquela apresentada ao fim da Estabilização I.

Como a organização da macroestrutura foi diferente na Estabilização-I e na Estabilização-II, entendeu-se que o que levou à reorganização nas relações de produção de força foi a adaptação estrutural (CARVALHO, 2017). Estes resultados, que corroboram com os achados de Ugrinowitsch *et al.* (2008), mostram que com a adaptação estrutural o PAHO ganha informação nova, refletida em uma nova organização que é utilizada para resolver um problema já conhecido, indicando um

aumento de complexidade do PAHO. É esperado que o aumento de complexidade do PAHO refletisse em um aumento de competência do desempenho (CARVALHO, 2017).

Pesquisas têm apontado o aumento de complexidade resultante da passagem por uma fase de adaptação (CATTUZZO, 2007; UGRINOWITSCH *et al.*, 2008; CARVALHO, 2017), mas não foram encontrados estudos que objetivaram investigar o efeito do aumento de complexidade do PAHO no desempenho. Dedutivamente, como o aumento de complexidade se dá pela adaptação estrutural (TANI, 2008a; TANI *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2017), é possível estabelecer uma relação entre os efeitos da adaptação estrutural com as características observáveis do desempenho em estágios mais avançados da aprendizagem. Os resultados dos estudos de Basso (2010), Carvalho (2017) e Ambrósio (2019) corroboram a ideia de que estágios mais avançados da aprendizagem são mais competentes, já possuindo os recursos disponíveis para enfrentar perturbações.

Basso (2010) usou a tarefa de rastreamento de um padrão seriado e seus resultados mostraram que o maior nível de estabilização (identificado pela frequência das respostas qualitativas ao fim da fase Estabilização) proporcionou o aumento de competência, já que precisaram de menos tentativas para se adaptar à perturbação de grande magnitude (inserção de um componente). Os resultados de Carvalho (2017), usando a tarefa de controle de força já descrita neste tópico, mostraram que a superestabilização do desempenho também proporcionou o aumento de competência, vista pelo menor número de tentativas necessário para se adaptar à perturbação de grande magnitude (mudança no percentual de força de um componente). Os resultados de Ambrosio (2019), usando a tarefa de rastreamento de um padrão seriado, também mostraram que a superestabilização do desempenho levou a um aumento de competência para enfrentar a perturbação de grande magnitude (mudança da sequência dos componentes), identificado nas precoces respostas antecipatórias na fase de Adaptação.

Em conjunto, os trabalhos de Basso (2010), Carvalho (2017) e Ambrósio (2019) mostraram que níveis mais avançados de aprendizagem apresentam um desempenho mais competente. Esta característica que pode ser refletida não só em medidas que indicam o resultado do desempenho (ex.: quantidade de tentativas necessárias para

retomar o bom desempenho), mas também em medidas de produção do desempenho (MAGILL, 2011).

A partir do exposto acima, pode-se entender que quanto mais avançado é o processo de aprendizagem, maior é a competência do desempenho para lidar com perturbações. Partindo do princípio que a aprendizagem acontece pela passagem por ciclos I-E-I..., que levam ao aumento de complexidade (CATTUZZO, 2007; TANI, 2008b), e a passagem pela adaptação estrutural leva o PAHO ao aumento de complexidade (TANI, 2008b; UGRINOWITSCH *et al.*, 2008; CARVALHO, 2017), é pertinente esperar que um PAHO mais complexo consiga se adaptar mais rapidamente (com menos tentativas), mas também com movimentos mais econômicos, refletindo um aumento da competência do desempenho.

O aumento de complexidade do PAHO pode ser refletido não somente na competência de voltar a estabilizar o desempenho mais rapidamente (CARVALHO, 2017), mas também na mudança da execução do movimento (TANI, 2008b). Por exemplo, seria plausível especular que o aumento de competência poderia ser observado em variáveis que podem refletir um movimento mais econômico, uma vez que ser mais econômico e eficiente são características de sujeitos em estados mais avançados da aprendizagem (MAGILL, 2011).

O aumento da economia em um movimento pode acontecer, por exemplo, pela redução de deslocamentos desnecessários para se alcançar a meta e pelo aumento da fluência do movimento, identificada pela menor variação de eventos de troca de aceleração e desaceleração (NELSON, 1983). Na tarefa complexa de *timing* coincidente, a distância total percorrida pela mão do pode indicar movimentos desnecessários ou um caminho mais econômico para atingir a meta. No início da prática desta tarefa, a sequência de componentes a ser realizada ainda não foi aprendida, os movimentos são fragmentados, a ponto de serem observados erros de execução e de sequência (UGRINOWITSCH, 2003) o que deve gerar deslocamentos mais amplos e desnecessários. Com a prática e o *feedback* é esperado o aumento da competência do desempenho, que pode ser observado na redução da distância total percorrida, ao se eliminar os deslocamentos desnecessários.

Outra variável que pode ser usada para identificar a competência do desempenho é a fluência do movimento, uma vez que está associada à economia do movimento

(KIELY *et al.*, 2019) e à diferenciação dos níveis de aprendizagem (GANZEVLES *et al.*, 2019). A fluência pode ser entendida como a qualidade de um movimento ininterrupto e suave (KIELY *et al.*, 2019). O aumento da fluência do movimento também pode refletir a melhora da competência do desempenho, uma vez que a maior fluência do movimento reflete maior domínio nas relações de aceleração e desaceleração no controle da habilidade (NELSON, 1983; SCHNEIDER; ZERNICKE, 1989; SEIFERT *et al.*, 2014). Essa fluência pode ser medida pelo jerk, uma variável biomecânica que mede a taxa de variação de uma curva de aceleração, derivada de dados da distância por tempo (NELSON, 1983; EAGER, PENDRILL; REISTAD, 2016). Quando se observa a magnitude dessa variável (distância em módulo de zero), índices menores indicam menores taxas de variação da aceleração, refletindo um melhor controle do movimento (NELSON, 1983; SEIFERT *et al.*, 2014; GANZEVLES *et al.*, 2019) e redução de gasto energético.

Partindo do princípio que a adaptação estrutural aumenta a complexidade do PAHO (TANI, 2008a; CORRÊA *et al.*, 2015; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016b), e que a complexidade do PAHO deve se refletir na competência do desempenho, a adaptação estrutural deve aumentar a competência do desempenho. Testar este pressuposto é uma forma de testar o modelo teórico proposto por Tani (1995, 2008a, 2008b) e adotado no presente estudo.

3 OBJETIVOS E HIPÓTESES

O objetivo geral deste trabalho foi testar se a adaptação estrutural aumenta a competência do desempenho.

O objetivo específico deste trabalho foi investigar o efeito da adaptação estrutural no aumento da competência do desempenho refletido no número de tentativas para se adaptar, na distância total percorrida e na fluidez do movimento.

H1: A adaptação estrutural propiciará um aumento de competência do desempenho, refletido em menor número de tentativas para se adaptar.

H2: A adaptação estrutural propiciará um aumento de competência do desempenho, refletido na redução da distância total percorrida.

H3: A adaptação estrutural propiciará um aumento de competência do desempenho, refletido na redução do jerk.

4 MATERIAS E MÉTODO

4.1 Cuidados

O experimento foi realizado em uma sala apropriada para a coleta de dados com temperatura e luminosidade controlados. Os dados quais foram mantidos em sigilo, bem como a identidade dos voluntários e todas as informações obtidas foram utilizadas apenas para fins de pesquisa.

O estudo não foi invasivo e a tarefa motora proposta (apresentada na seção 4.3) não exigiu esforços elevados dos voluntários, sendo, portanto, de baixo risco. Além disso, a pesquisa pôde ser interrompida pelos voluntários sem nenhum tipo de ônus, tendo direito de abandoná-la a qualquer momento, sem a necessidade de se justificar. As coletas também foram interrompidas pelo pesquisador responsável quando alguma inadequação do equipamento foi detectada. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa local e sob o protocolo CAAE: 04587118.2.0000.5149.

4.2. Amostra

Participaram inicialmente do estudo 43 sujeitos destros, 22 mulheres e 21 homens, com idade média de $21,53 \pm 2,26$ anos, inexperientes na tarefa. Houve uma perda amostral de 4 sujeitos, sendo 1 por não alcançar o desempenho critério dentro do número de 150 tentativas e os outros 3 por inadequações inerentes aos equipamentos. A fim de não causar confusão ao leitor cabe apontar que a amostra final deste trabalho foi composta por 22 sujeitos, as explicações estão presentes no início da sessão 5 deste trabalho.

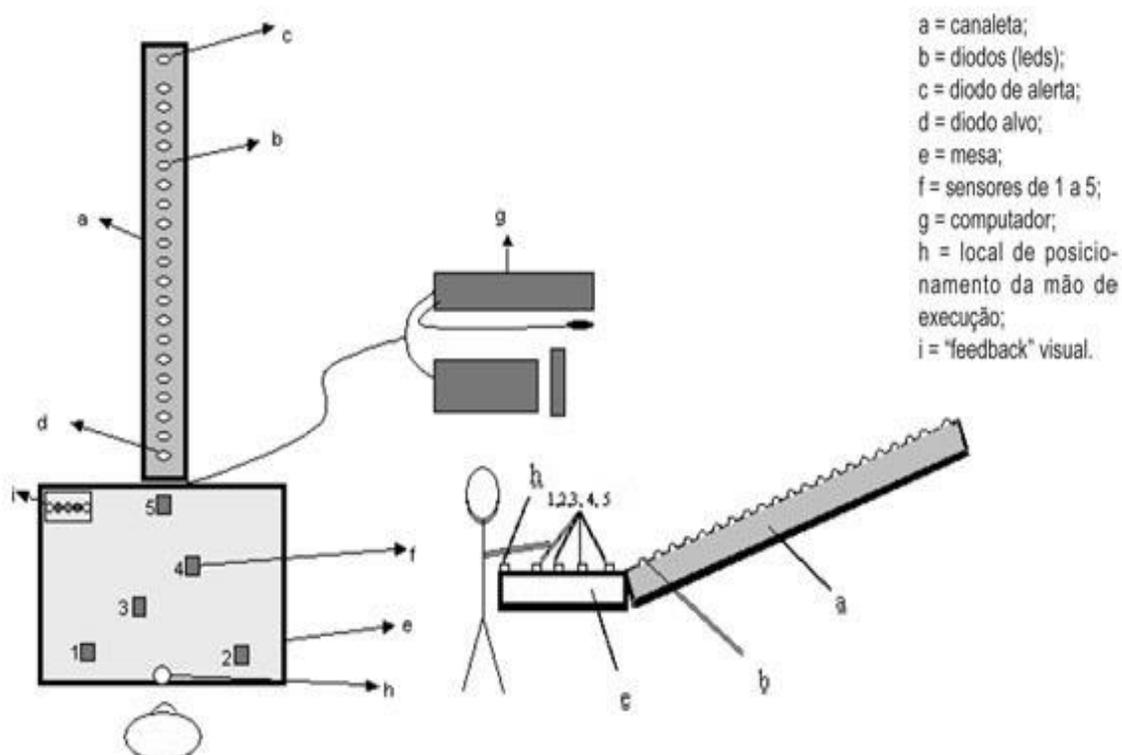
4.3. Instrumentos e Tarefa

Os instrumentos utilizados nesta pesquisa foram:

- 1) O aparelho de tarefa complexa de *timing* coincidente, composto por uma canaleta de 1,83 m de comprimento com 97 LEDs, sendo o primeiro amarelo, de alerta, e os demais vermelhos. Todos os 96 LEDs acendiam e apagavam

sequencialmente, simulando um objeto em deslocamento descendente na canaleta, e uma mesa de resposta com seis recipientes contendo um sensor infravermelho em cada. O primeiro sensor é de “início”, e os demais numerados de 1 a 5 (Figura 3).

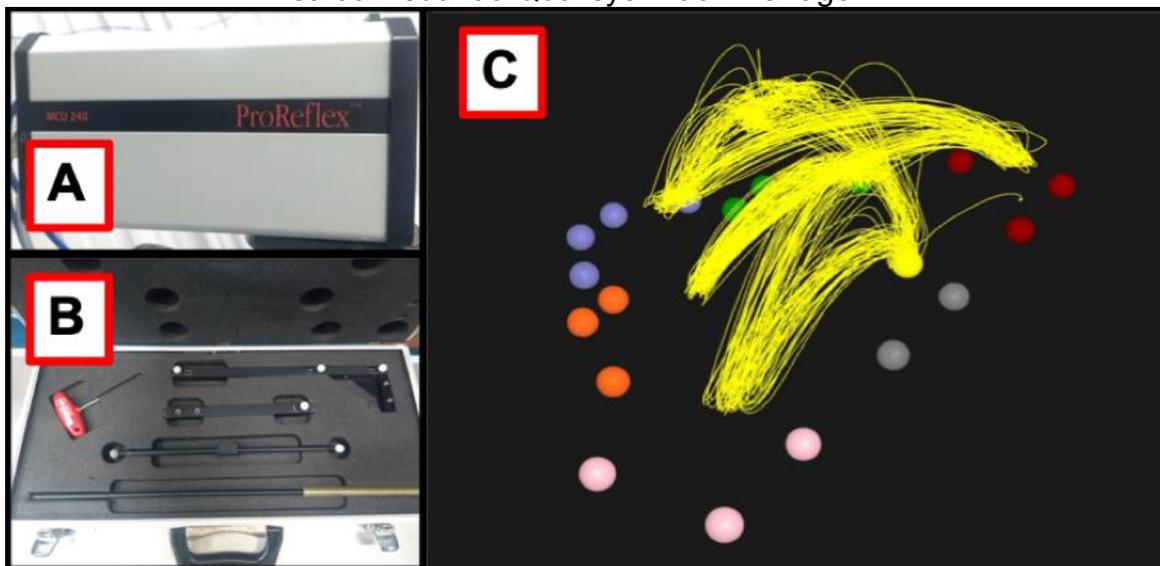
Figura 3 - Aparelho de tarefa de timing coincidente.



Fonte: Correa & Tani (2004)

- 2) Dois computadores, sendo um para o controle da tarefa de *timing* coincidente e armazenamento dos dados, e um para controlar a filmagem para posterior análise e processamento.
- 3) Sistema *Qualisys Motion Capture*. Seu *hardware* foi composto por 7 câmeras ProReflex MCU240 (Figura 4a) na taxa de captura de informações de 100Hz (CARVALHO *et al.*, 2018), kit de calibração, composto por uma baqueta de 60cm e um esquadro de calibração (Figura 4b). O *software Qualisys Track Manager* permite a extração de dados cinemáticos de posição no tempo (Figura 4c).

Figura 4 - Câmera usada no experimento; B - kit de calibração; C - exemplo de saída visual do Qualisys Track Manager.



Fonte: Elaboração própria

- 4) Implemento esférico (8cm de diâmetro) e 19 marcadores refletivos, sendo 1 posicionado no ponto distal do terceiro metacarpo direito, e 18 posicionados da mesa de respostas da canaleta (Figura 5), a fim de delimitar o perímetro das caixas sensores.

Figura 5 - Mão com marcador e mesa de resposta



Fonte: Elaboração própria

A tarefa usada foi uma Tarefa Complexa de *Timing* Coincidente (Figura 3), já foi usada em outros estudos (FONSECA *et al.*, 2012; UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; UGRINOWITSCH *et al.*, 2014), patenteada por Corrêa e Tani (2004). A tarefa consiste

em executar uma sequência específica de toques nas caixas sensores (1-4-3-2-5) com o implemento segurado pela mão direita, enquanto um estímulo visual percorre a cadeia de LEDs. A meta dessa tarefa é, seguindo a sequência dos toques, coincidir o toque na última caixa sensor (nº 5) com o acendimento do último LED. Nesse experimento os sujeitos foram instruídos de que durante a execução de uma tentativa eles não poderiam interromper o movimento antes da chegada ao componente 5, e que eles deveriam tirar o implemento da caixa de início assim que vissem a primeira luz vermelha acender.

4.3. Delineamento

Para testar as hipóteses propostas, o estudo teve dois grupos, sendo um grupo experimental que passou pela Adaptação Estrutural (GA) e Grupo Controle (GC). Os participantes foram divididos aleatoriamente nos dois grupos.

O delineamento contemplou um experimento com três fases. A primeira fase foi denominada Estabilização, na qual os dois grupos praticaram a tarefa supracitada, com a velocidade de acendimento do estímulo luminoso de 117,65 cm/s (velocidade intermediária do estudo) até que alcançassem o desempenho critério: executar três tentativas consecutivas com erro menor ou igual a 30ms (UGRINOWITSCH *et al.*, 2014). O valor da faixa de erro escolhido foi testado no trabalho de Ugrinowitsch (2003), as velocidades do estímulo (UGRINOWITSCH *et al.*, 2010; CORRÊA *et al.*, 2010a) e a sequência de toques (UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; GONÇALVES, SANTOS e CORRÊA, 2010) já foram usados em outros estudos que investigaram o processo adaptativo e se mostraram adequados para promoção de aprendizagem e da análise desse fenômeno.

Depois que alcançassem o desempenho critério, iniciou-se a segunda fase (Adaptação-I) para o GA, na qual foi manipulada a variável independente, adaptação estrutural. Na fase de Adaptação-I, o GA praticou com a inserção de uma perturbação perceptiva, operacionalizada pelo aumento da velocidade do estímulo luminoso para 133,3 cm/s (maior velocidade do estudo). O GC não participou desta fase, que foi a fase de tratamento. Depois de atingirem o desempenho critério, o GA na segunda fase e o GC na primeira, teve início, para ambos, a Adaptação-II. Nesta se praticou com a

inserção de uma nova perturbação perceptiva, operacionalizada pela diminuição da velocidade do estímulo luminoso para 104,9 cm/s (menor velocidade do estudo) até atingir novamente o desempenho critério.

4.5. Procedimentos

Os sujeitos foram recrutados por meio de convites formais em salas de aula da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais, e por meio de divulgação em mídias digitais. No dia e horário combinados com o sujeito eles se dirigiram até uma sala apropriada para realização do experimento, no Laboratório de Análise do Movimento (LAM) localizada na EEFFTO (Figura 6).

Figura 6 - Ambiente de coleta estruturado no LAM-EEFFTO



Fonte: Elaboração própria

Antes de iniciar o experimento, os sujeitos preencheram e assinaram duas vias do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). Foram instruídos em relação à meta da tarefa e como seria fornecido o *feedback* qualitativo com direção e magnitude, seguindo a seguinte lógica:

- Erro da sequencia ou ausência do toque em algum sensor = “Erro de componente”;
- $\text{Erro} \leq |30| \text{ms}$ = “você acertou”;
- $|30| \text{ms} \leq \text{erro} \leq |60| \text{ms}$ = “você está um pouco atrasado/adiantado”;
- $|60| \text{ms} \leq \text{erro} \leq |120| \text{ms}$ = “você está atrasado/adiantado”;

- $|120|ms \leq \text{erro} = \text{“você está muito atrasado/adiantado”}$;

Depois da instrução, o sujeito se sentou de forma confortável de frente para a mesa de resposta. As câmeras QUALYSIS® conectadas ao segundo computador eram ligadas e assim permaneceram até o fim do experimento. A cada trecho de 30 tentativas em uma mesma fase ou a fase completa (caso o sujeito alcançasse o desempenho critério com menos de 30 tentativas) foi salvo em um arquivo do QTM (extensão do arquivo usado para análise de dados pelo *software Qualisys Track Manager*). Esse procedimento foi necessário para evitar o erro: “*Internal buffer overflow*” do sistema *Qualisys Motion Capture* que interrompia a coleta de dados imediatamente. Os sujeitos esperaram cerca de 1 a 2 minutos (tempo necessário para reajustar as configurações dos equipamentos) para reiniciar a tarefa após cada pausa para salvar dos dados do QTM.

4.6. Medidas e Análises

As variáveis analisadas neste estudo foram classificadas como variáveis de desempenho e variáveis da estrutura da habilidade.

4.6.1. Variável independente

Neste estudo se manipulou a adaptação estrutural, uma vez que para o grupo GA houve adaptação estrutural e para o GC, não.

4.6.2. Variáveis dependentes

As variáveis usadas neste estudo que representaram o desempenho foram:

- I. Erro absoluto do toque final: medida de precisão do desempenho. Foi calculada pela diferença do tempo em milissegundos, entre o toque no último sensor e o acendimento do último diodo (UGRINOWITSCH, 2003).

- II. Desvio padrão do erro absoluto do toque final: medida que representa a variabilidade do desempenho. Foi calculada pelo desvio padrão do erro absoluto do toque final (UGRINOWITSCH, 2003).
- III. Erro da execução: medida utilizada para inferir a competência do desempenho, avaliada pelos erros na sequência a ser realizada ou pelo erro espacial resultando em não acionar um sensor específico. Foi quantificada pela identificação das tentativas em que a ordem de toques nos sensores se diferenciava à ordem preestabelecida. As execuções que não foram completadas também foram incluídas na análise (UGRINOWITSCH, 2003).
- IV. Número de tentativas: medida que foi usada para inferir sobre a competência do desempenho a partir da noção de velocidade de adaptação. Assumindo que o menor número de tentativas para se adaptar reflete maior competência em identificar a nova informação, modificar o planejamento e organizar a resposta para que o desempenho se torne estável. Foi quantificada pela quantidade gasta de tentativas na fase de Adaptação-II para se alcançar o desempenho estável.
- V. Distância total percorrida: medida de eficiência do desempenho. Registrou-se a distância, em milímetros, percorrida nos eixos X, Y e Z pelo marcador posicionado na mão do sujeito durante cada execução. Essa medida foi extraída a partir dos dados cinemáticos fornecidos pelo *software Qualisys Track Manager*.
- VI. Magnitude do Jerk: medida de eficiência do desempenho que reflete a fluidez do movimento. Foi calculada como o módulo da terceira derivada da posição/tempo (EAGER, PENDRILL, REISTAD, 2016). Ela reflete a fluência dos movimentos, e quanto menor o seu valor mais fluido o movimento é considerado (EAGER, PENDRILL, REISTAD, 2016). Ou seja, quanto menor o jerk, menor as variações da aceleração na execução de cada componente da tarefa. Essa medida foi extraída e calculada a partir de uma rotina específica criada para este experimento no *software MatLab®* usando dados cinemáticos fornecidos pelo *software Qualisys Track Manager*.

As variáveis usadas neste estudo que refletem a microestrutura do PAHO são:

- VII. Tempo total de movimento: medida da precisão da microestrutura (UGRINOWITSCH, 2003). Registrou-se como o tempo gasto entre o momento que o implemento é retirado da primeira caixa sensor até que alcance a última caixa sensor. Em outras palavras, foi o tempo total de resposta menos o tempo de reação, sendo este último determinado pelo intervalo de tempo entre a apresentação do estímulo e o início do movimento (SCHMIDT; WRISBERG, 2001).

- VIII. Desvio padrão do tempo total de movimento: medida da consistência da microestrutura. (UGRINOWITSCH, 2003). Foi calculada pelo desvio padrão do tempo total de movimento.

As variáveis usadas neste estudo que refletem a macroestrutura do PAHO são:

- IX. Tempo relativo: medida que representa a organização temporal da habilidade (UGRINOWITSCH, 2003). Foi calculada de forma relativa (%) da duração do tempo de movimento entre cada toque dos componentes.

- X. Desvio padrão do tempo relativo: medida da consistência da macroestrutura. (UGRINOWITSCH, 2003). Foi calculada pelo desvio padrão do tempo relativo de cada componente.

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram descritos em blocos de média de 3 tentativas para as variáveis I, II, V, VI, VII, VIII, IX e X. As variáveis III e IV foram descritas por frequência.

Para as análises estatísticas propostas, os dados tiveram que atender aos pressupostos: 1) normalidade, testado pelo teste de Shapiro-Wilk; 2) homogeneidade, testado pelo teste de Levene; 3) esfericidade, testado pelo teste de Mauchly que quando foi violado, foi corrigido via Greenhouse-geisser.

Para testar se os sujeitos do GA (n = 19) se adaptaram estruturalmente, alterando algum dos componentes, foram realizados testes de hipótese para uma média, desconhecendo-se a variância populacional (CALLEGARI-JACQUES, 2003), a partir do seguinte procedimento:

- 1) Calculou-se a diferença do tempo relativo (ΔTR) entre as fases, para cada componente de cada sujeito nas três últimas tentativas. Ex.: sendo “x” a identificação de “qual” componente, “u” o número absoluto da última tentativa, “Estab” a fase de Estabilização e “Adap1” a fase de Adaptação 1, calculou-se:

$$\Delta TR_{x(u-2)} = TR_{x_Estab_{u-2}} - TR_{x_Adap1_{u-2}};$$

$$\Delta TR_{x(u-1)} = TR_{x_Estab_{u-1}} - TR_{x_Adap1_{u-1}};$$

$$\Delta TR_{x(u)} = TR_{x_Estab_u} - TR_{x_Adap1_u}$$

- 2) Calculou-se a média e a variância dos ΔTR :

Para média:

$$\bar{x}\Delta TR_x = \frac{\Delta TR_{x(u-2)} + \Delta TR_{x(u-1)} + \Delta TR_{x(u)}}{3}$$

Para variância:

$$\sigma^2 \Delta TR_x = \frac{(\Delta TR_{x(u-2)} - \bar{x}\Delta TR_x)^2 + (\Delta TR_{x(u-1)} - \bar{x}\Delta TR_x)^2 + (\Delta TR_{x(u)} - \bar{x}\Delta TR_x)^2}{n}$$

- 3) Calculou-se o teste de hipótese para uma média, desconhecendo-se a variância populacional. Este procedimento permitiu identificar se $\bar{x}\Delta TR_x$ é diferente de zero, ou seja, se houve mudança no tempo relativo entre as fases no respectivo componente de determinado sujeito.

- 3.1. Foram estabelecidas as hipóteses estatísticas para o teste:

$$H_0 : \bar{x}\Delta TR_x = \mu_0 = 0$$

$$H_A : \bar{x}\Delta TR_x \neq \mu_0 \neq 0$$

- 3.2. Foi estabelecido o nível de significância:

$$\alpha = 0,05$$

- 3.3. Foi determinado o valor $t_{crítico}$ do teste:

3.3.1. $gl = n-1$; $gl=3-1=2$

3.3.2. Tendo o valor do α e o de gl , consultou-se a tabela de valores críticos da distribuição t de Student. O $t_{crítico}$ para a combinação $\alpha = 0,05$ e $gl = 2$ é $t_{0,05;2} = 4,303$.

3.3.3. Foi calculado o valor do teste por meio da seguinte equação, assumindo a média populacional como 0:

$$t_{calc} = \frac{\bar{x}\Delta TR_x - 0}{\frac{\sigma^2 \Delta TR_x}{\sqrt{n}}}$$

A partir deste procedimento, toda vez que o módulo do valor calculado do teste ($|t_{calc}|$) foi superior que o $t_{crítico}$, rejeitou-se a H_0 . Quando a H_0 foi rejeitada também foi assumida uma diferença do TR do componente específico entre as fases, e, portanto, adaptação estrutural.

Para análise das variáveis dependentes I, II, V, VII e VIII foram realizadas ANOVAs mistas (com fator dentro com 2 níveis: grupos [GA e GC] e fator entre com 3 níveis: momento [final da fase Estabilização; início da fase Adaptação-II; final da fase Adaptação-III]). Para análise das variáveis dependentes VI, IX e X foram realizadas MANOVAs one-way (2 blocos para 5 componentes). Para análise das variáveis dependentes III e IV foram realizadas análises não paramétricas de Mann-Whitney U. Em todas as análises supracitadas foram realizados procedimentos *post-hoc de Bonferroni* quando necessário para se detectar onde se encontrava a diferença indicada.

A tabela abaixo apresenta um resumo das informações supracitadas sobre as variáveis e o procedimento de análise estatística:

Tabela 2: Relação das variáveis dependes e testes estatísticos

| Nº da variável | Nome da variável | Teste estatístico | | Nível de significância |
|----------------|---|-------------------|--------------|------------------------|
| | | Nome | Configuração | |
| I | Erro absoluto do toque final | ANOVA mista | 2x3 | |
| II | Desvio padrão do erro absoluto do toque final | ANOVA mista | 2x3 | $\alpha \leq 0,5$ |
| III | Erro da execução | Mann-Whitney | | |

| | | | |
|------|---|-----------------------|-------------------|
| IV | Número de tentativas | Mann-Whitney | |
| V | Distância total percorrida | ANOVA mista | 2x3 |
| VI | Magnitude do jerk | MANOVA <i>one way</i> | 2 X 5 componentes |
| VII | Tempo total de movimento | ANOVA mista | 2x3 |
| VIII | Desvio padrão do tempo total de movimento | ANOVA mista | 2x3 |
| IX | Tempo relativo | MANOVA <i>one way</i> | 2 X 5 componentes |
| X | Desvio padrão do tempo relativo | MANOVA <i>one way</i> | 2 X 5 componentes |

Fonte: Elaboração própria

5 RESULTADOS

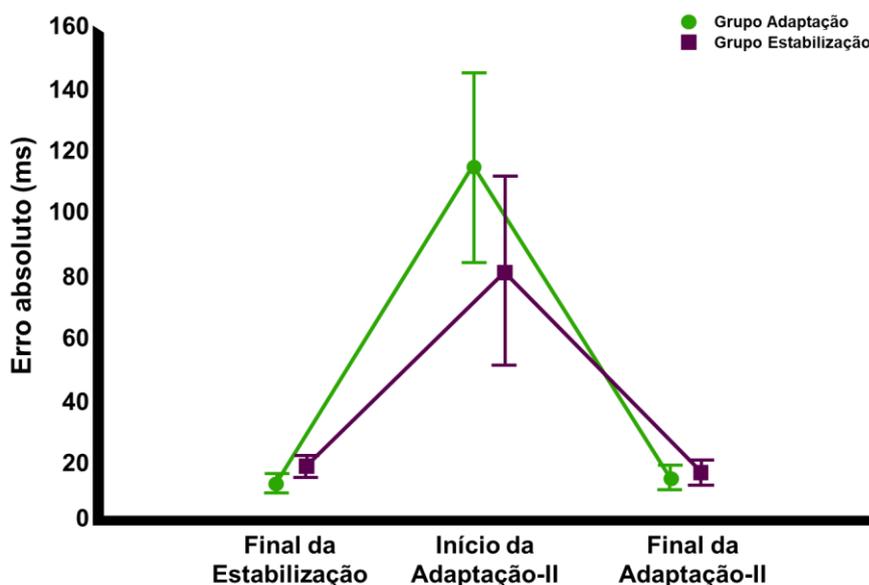
Dado que a adaptação estrutural é a variável independente deste trabalho, foi necessária a verificação se cada sujeito do GA modificou a organização temporal dos componentes da habilidade frente à perturbação da fase de Adaptação-I.

Os testes para identificação dos sujeitos que alteraram a organização temporal de algum componente apontaram que 8 sujeitos não mudaram significativamente a organização temporal de componente algum, assim eles foram excluídos. No total, o GA teve $n = 11$ (APÊNDICE III) que participaram de todas as análises subsequentes (5 homens e 6 mulheres). Para que os grupos se mantivessem com o mesmo número de sujeitos, 9 sujeitos do GC foram aleatoriamente excluídos, sendo que GC possuiu $n = 11$ (4 homens e 7 mulheres). Assim a amostra final foi composta de 22 sujeitos para as análises apresentadas na sequência, sendo primeiro apresentados os resultados das análises referentes às variáveis de desempenho e, depois, os resultados referentes às variáveis que refletem o PAHO.

5.1 Erro Absoluto

A normalidade e homogeneidade foram testadas e assumidas, a esfericidade foi testada e assumida pela correção de Greenhouse-Geisser. A ANOVA two way detectou diferença significativa no fator momento [$F(1,044; 20,87) = 59,872$; $p < 0,01$; $\eta^2 = 0,750$], O *post hoc* de Bonferroni detectou que no bloco final da Estabilização o desempenho foi mais preciso do que no bloco inicial da Adaptação-II ($p < 0,01$). Além disso, o desempenho no bloco inicial da Adaptação-II foi menos preciso do que no bloco final da Adaptação-II ($p < 0,01$).

Não foi identificada diferença significativa no fator grupos [$F(1,20) = 1,648$; $p = 0,21$; $\eta^2 = 0,076$] e nem interação entre os fatores [$F(1,044; 20,87) = 3,046$; $p = 0,09$; $\eta^2 = 0,132$].

Gráfico 1 - Erro Absoluto ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II

Fonte: Elaboração própria

Os resultados não mostraram diferenças entre os grupos, mas a perturbação de redução da velocidade do estímulo piorou a precisão do desempenho de ambos os grupos, similarmente. A prática da fase de Adaptação-II proporcionou a retomada do mesmo nível de desempenho do fim da Estabilização.

5.2 Desvio padrão do erro absoluto

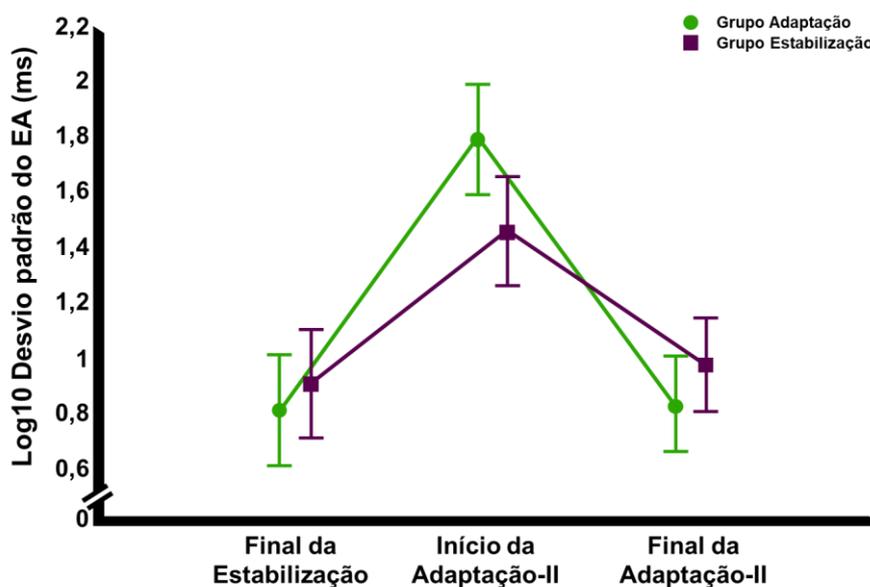
Para esta variável foi necessário fazer uma transformação logarítmica na base 10 para que a normalidade fosse assumida. Depois das transformações a normalidade, homogeneidade e esfericidade foram testadas e puderam ser assumidas.

A ANOVA *two way* identificou interação significativa [$F(2,40) = 4,353$; $p = 0,01$; $\eta^2 = 0,179$], O *post hoc* de Bonferroni detectou que o desempenho do GA foi mais variável do que o do GC no início da Adaptação-II ($p = 0,02$).

O teste também identificou diferença significativa no fator momento [$F(2,40) = 46,605$; $p < 0,01$; $\eta^2 = 0,700$] O *post hoc* de Bonferroni detectou que o desempenho no bloco final da Estabilização foi menos variável do que no bloco inicial da Adaptação-II ($p < 0,01$). Além disso, no bloco inicial da Adaptação-II o desempenho foi mais variável do

que no bloco final da Adaptação-II ($p < 0,01$). Não foi identificada diferença significativa no fator grupos [$F(1,20) = 0,162$; $p = 0,692$; $\eta^2 = 0,008$]

Gráfico 2 – Desvio padrão do erro absoluto ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II

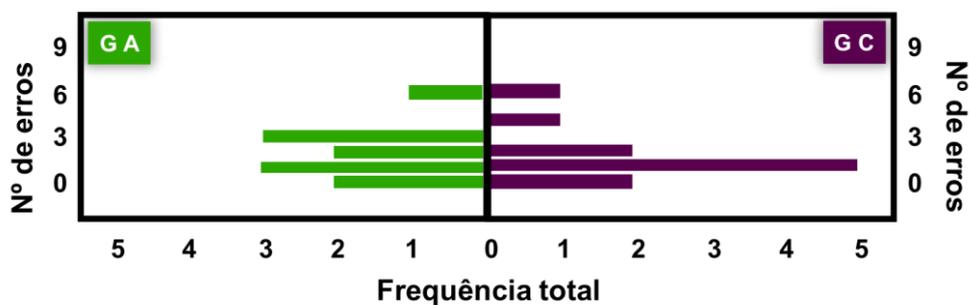


Fonte: Elaboração própria

Ao final da Estabilização os dois grupos apresentaram baixa variabilidade do desempenho sem diferenças entre si. A inserção da perturbação de redução da velocidade levou ao aumento da variabilidade do desempenho, sendo ainda maior do GA. Contudo, ao final da Adaptação-II a variabilidade dos dois grupos diminuiu e se tornou similar entre si e entre variabilidade do fim da Estabilização.

5.3 Erro de execução

O teste não paramétrico de Mann-Whitney U não identificou diferença significativa entre os grupos [$U = 49,0$; $p = 0,478$] na quantidade de erros de execução durante a Adaptação-II.

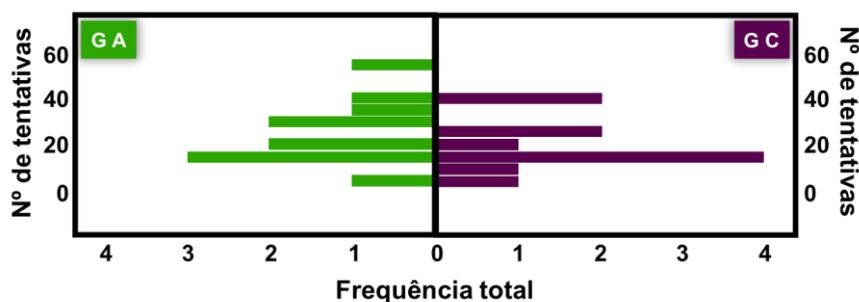
Gráfico 3 - Frequência dos erros de execução por grupo na Adaptação-II

Fonte: Elaboração própria

A inserção da perturbação de redução da velocidade do estímulo levou ambos os grupos a cometerem uma frequência similar de erros de execução durante a fase Adaptação-II.

5.4 Número de tentativas

O teste não paramétrico de Mann-Whitney U não identificou diferença significativa entre os grupos [$U = 52,0$; $p = 0,606$] na quantidade de tentativas gastas para chegar ao desempenho critério durante a Adaptação-II.

Gráfico 4 - Frequência do número de tentativas gastas para alcançar a estabilização do desempenho na Adaptação-II

Fonte: Elaboração própria

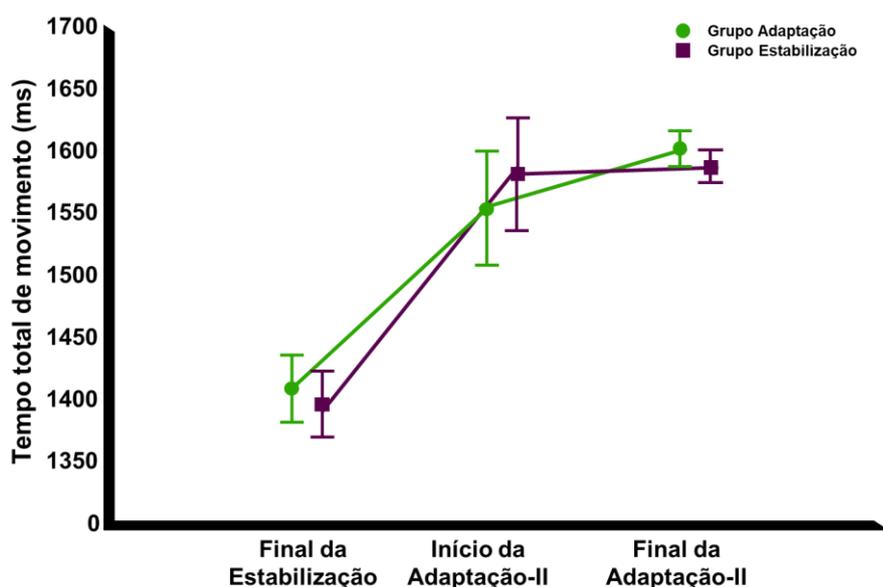
A inserção da perturbação de redução da velocidade do estímulo exigiu que ambos os grupos um número similar de tentativas para estabilizar o desempenho na Adaptação-II.

5.5 Tempo total de movimento

A normalidade e homogeneidade foram testadas e assumidas, a esfericidade foi testada e assumida pela correção de Greenhouse-Geisser. A ANOVA *two way* identificou diferença significativa no fator momento [$F(1,506; 30,122) = 110,854$; $p < 0,01$; $\eta^2 = 0,847$]. O *post hoc* de Bonferroni detectou que no bloco final da Estabilização o tempo total de movimento foi menor do que nos blocos inicial e final da Adaptação-II ($p < 0,01$).

Não foi identificada diferença no fator grupos [$F(1,20) = 0,001$; $p = 0,97$; $\eta^2 = 0,001$] nem na interação entre os fatores [$F(1,506; 30,122) = 1,510$; $p = 0,23$; $\eta^2 = 0,070$].

Gráfico 5 - Tempo total de movimento ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II



Fonte: Elaboração própria

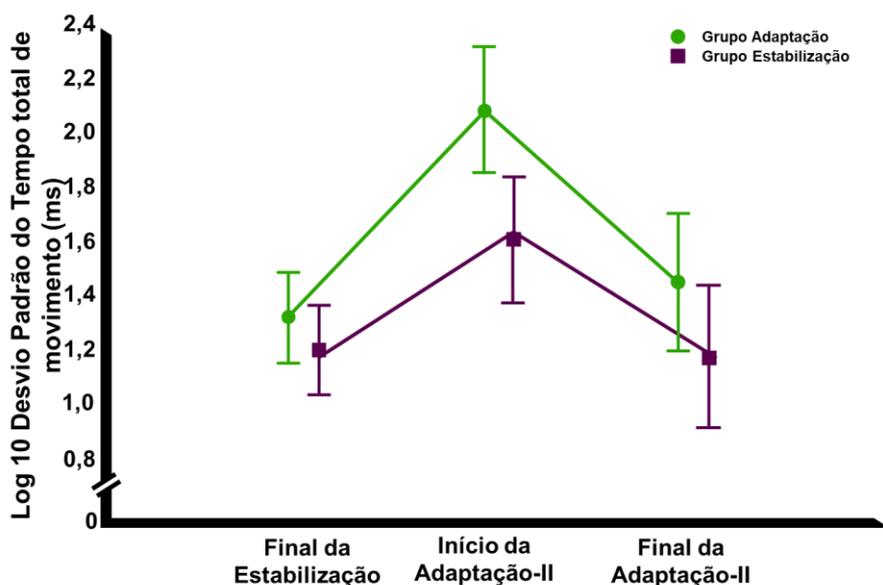
Os resultados indicaram que ambos os grupos foram sensíveis à perturbação de redução da velocidade, uma vez que logo nas três primeiras tentativas iniciais da fase de Adaptação-II conseguiram ajustar os valores do tempo total, que se mantiveram ao fim desta fase.

5.6 Desvio padrão do tempo total de movimento

Para esta variável foi necessário fazer uma transformação logarítmica na base 10 para que a normalidade fosse assumida. Assim, a normalidade, homogeneidade e esfericidade foram testadas e assumidas.

A ANOVA *two way* identificou diferença no fator momento [$F(2; 40) = 19,582$; $p < 0,01$; $\eta^2 = 0,495$]. O *post hoc* de Bonferroni detectou os seguintes resultados: no bloco inicial da Adaptação-II o tempo de movimento apresentou maior variabilidade do que nos blocos início da Estabilização e da final da Adaptação-II ($p < 0,01$). Também foi identificada diferença no fator grupos [$F(2; 40) = 10,207$; $p < 0,01$; $\eta^2 = 0,338$], sendo que o GA apresentou maior variabilidade do tempo total que o GC. Não foi identificada interação entre os fatores [$F(2; 40) = 1,470$; $p = 0,242$; $\eta^2 = 0,068$].

Gráfico 6 - Variabilidade do tempo total de movimento ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II



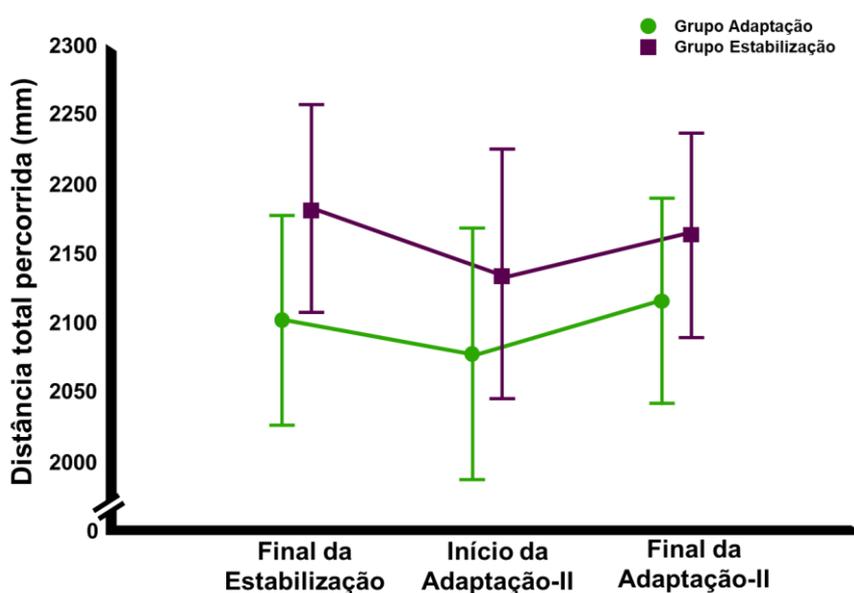
Fonte: Elaboração própria

Ambos os grupos aumentaram a variabilidade do tempo total em resposta à inserção da perturbação, e o GA apresentou – de forma geral – maior variabilidade do tempo total de movimento. Esses resultados indicam que a perturbação perceptiva de redução da velocidade do estímulo exigiu mudanças na microestrutura de ambos os grupos.

5.7 Distância total percorrida

A normalidade, homogeneidade e esfericidade foram testadas e assumidas. A ANOVA *two way* não identificou diferença significativa no fator momento [$F(2; 40) = 1,711$; $p = 0,19$; $\eta^2 = 0,079$], nem no fator grupos [$F(1, 20) = 1,645$; $p = 0,21$; $\eta^2 = 0,076$], nem interação entre os fatores [$F(2; 40) = 0,307$; $p = 0,73$; $\eta^2 = 0,015$].

Gráfico 7 - Distância total percorrida ao fim da Estabilização e ao início e fim da Adaptação-II



Fonte: Elaboração própria

Os resultados indicaram que nenhum dos grupos efetuou alguma mudança nessa variável do fim da Estabilização para o início da Adaptação-II, e desse momento para o fim da mesma fase. Indicando que os valores de distância total percorrida alcançados no fim da estabilização foram suficientes para enfrentar a perturbação de redução da velocidade.

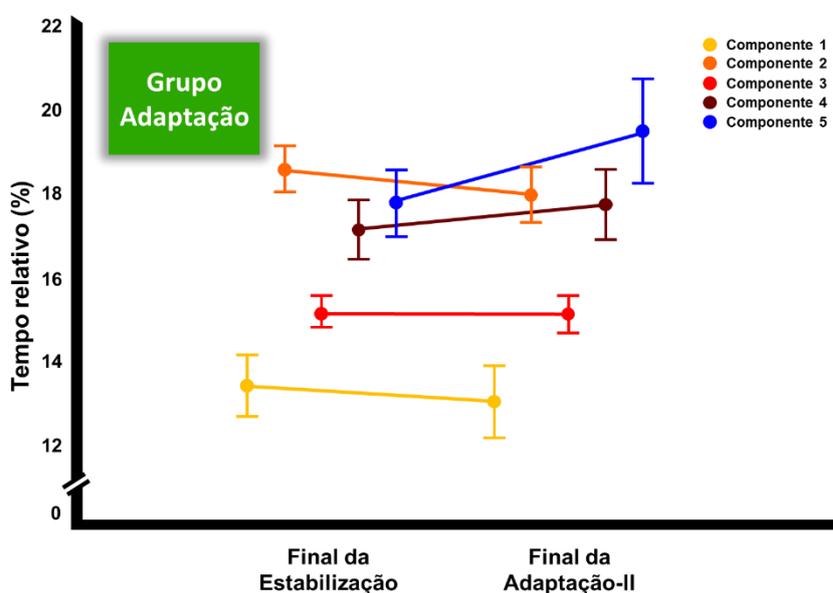
5.8 Tempo relativo

A normalidade e homogeneidade foram testadas e assumidas para ambos os conjuntos de dados dos grupos. Duas MANOVAs *one way*, de medidas repetidas, usando os cinco componentes da habilidade como variáveis desfechos, foram usadas.

Como a limitação da MANOVA é que a quantidade de médias usadas na análise seja menor do que a quantidade de sujeitos, apenas dois momentos puderam ser escolhidos. Assim, foram escolhidos os dois momentos estáveis do desempenho: fim da fase de Estabilização e fim da fase de Adaptação-II, que são os mais apropriados para responder a pergunta deste estudo.

Para o GA, não foi identificada diferença significativa entre a forma de organização temporal dos componentes da habilidade nos momentos em componente algum [Wilks $\lambda = 0,344$; $F(5,6) = 2,279$; $p = 0,17$; $\eta^2 = 0,655$].

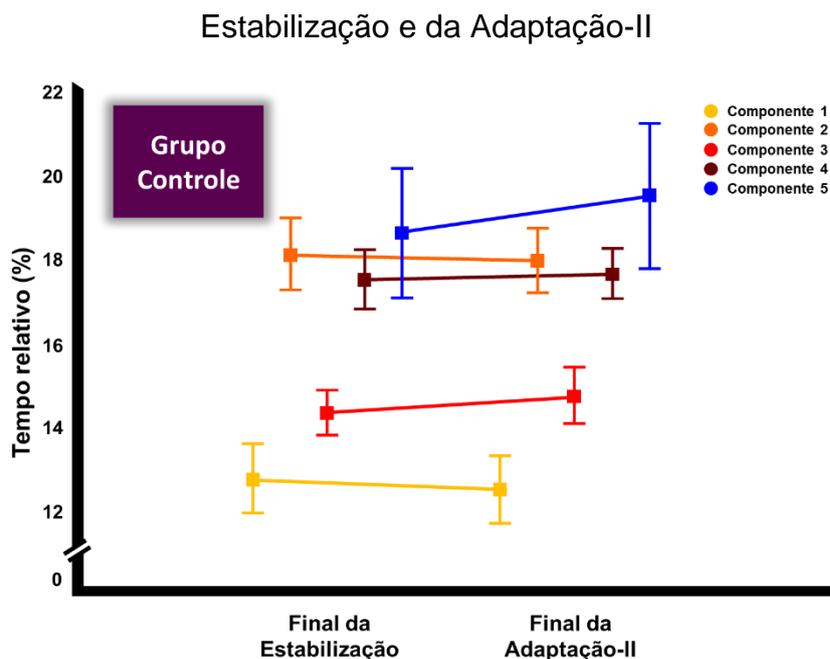
Gráfico 8 - Organização temporal dos componentes da habilidade do GA ao fim da Estabilização e da Adaptação-II



Fonte: Elaboração própria

Para o GC, também não foi identificada significativa entre a organização temporal dos componentes da habilidade nos momentos para componente algum [Wilks $\lambda = 0,428$; $F(5,6) = 1,603$; $p = 0,29$; $\eta^2 = 0,570$].

Gráfico 9 - Organização temporal dos componentes da habilidade do GC ao fim da



Fonte: Elaboração própria

Quando a macroestrutura do GA foi testada entre os momentos (Estabilização_Final e Adaptação-II_Final), nenhuma diferença na sua organização temporal foi identificada. Esse resultado indica que a macroestrutura do GA possuiu flexibilidade suficiente para transitar entre formas de organização temporal, retomando à organização temporal do primeiro momento de estabilidade do desempenho, e se adaptando parametricamente na fase Adaptação-II.

Quando a macroestrutura do GC foi testada, nenhuma diferença na sua organização temporal foi identificada, indicando que a organização temporal estabelecida na Estabilização proporcionou flexibilidade suficiente para enfrentar a perturbação e se adaptar parametricamente.

5.9 Desvio padrão do tempo relativo

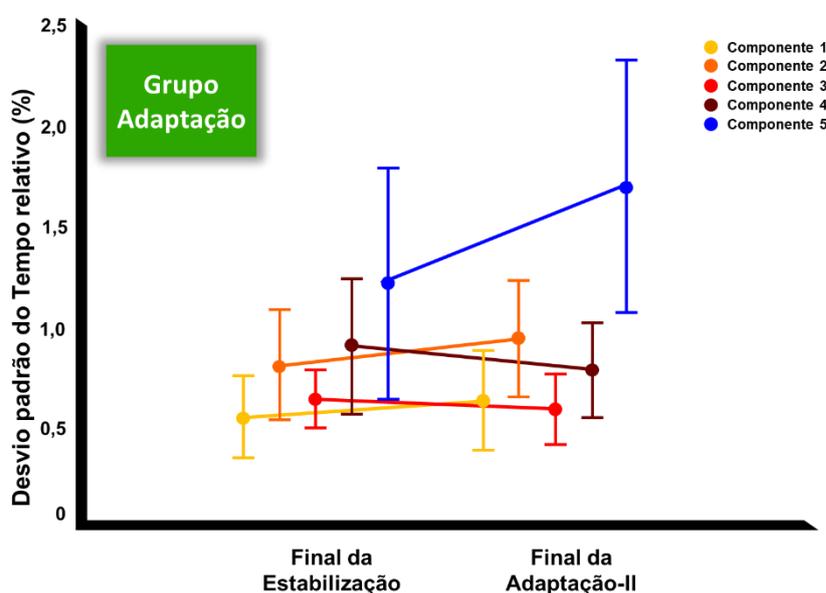
Para esta variável foi necessário fazer uma transformação logarítmica na base 10 para que a normalidade fosse assumida. Assim a normalidade e homogeneidade foram testadas e assumidas.

Duas MANOVAs *one way*, de medidas repetidas usando os cinco componentes da habilidade como variáveis desfechos foram usadas. Pelo mesmo motivo citado em 5.9

sobre a limitação da MANOVA e por serem os mais apropriados para responder a pergunta deste estudo, foram escolhidos os dois momentos estáveis do desempenho: fim da fase de Estabilização e fim da fase de Adaptação-II.

Para o GA, não foi identificada diferença significativa entre a variabilidade da organização temporal dos componentes da habilidade nos momentos em componente algum [Wilks $\lambda = 0,768$; $F(5,6) = 0,361$; $p = 0,858$; $\eta^2 = 0,231$].

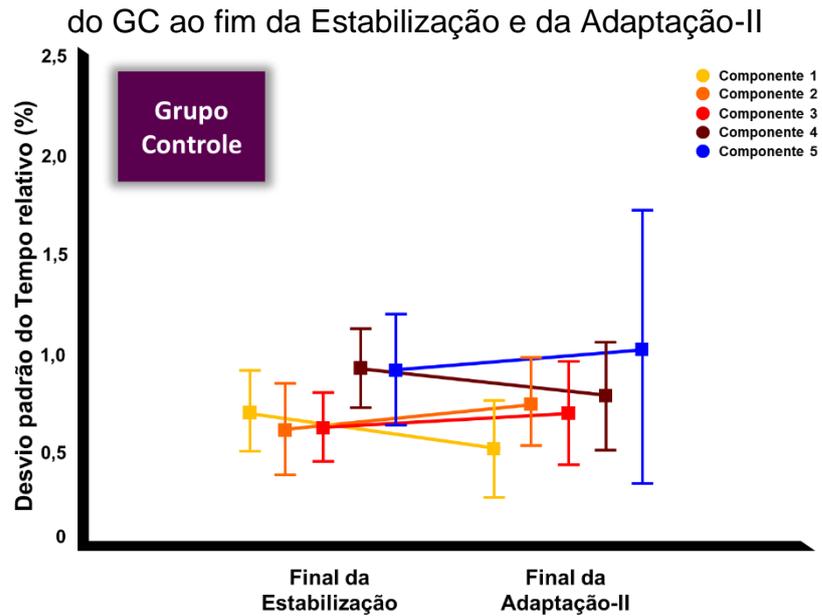
Gráfico 10 - Variabilidade da organização temporal dos componentes da habilidade do GA ao fim da Estabilização e da Adaptação-II



Fonte: Elaboração própria

Para o GC, não foi identificada diferença significativa entre a variabilidade da organização temporal dos componentes da habilidade nos momentos em componente algum [Wilks $\lambda = 0,615$; $F(5,6) = 0,750$; $p = 0,61$; $\eta^2 = 0,384$].

Gráfico 11 - Variabilidade da organização temporal dos componentes da habilidade



Fonte: Elaboração própria

Tanto para GA quanto para GC, a variabilidade da macroestrutura não apresentou diferenças entre os momentos testados. Ambos os grupos chegaram a um desempenho estável com a macroestrutura consistente.

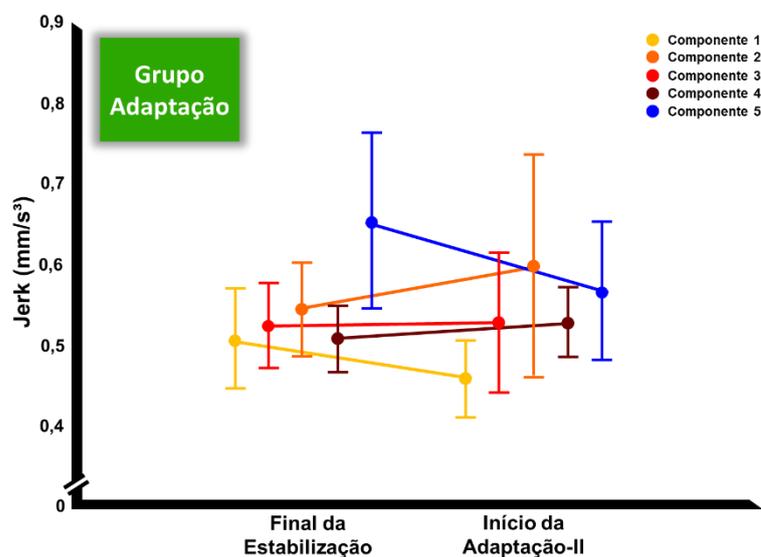
5.10 Magnitude do jerk

Foram usadas duas MANOVAs *one way*, de medidas repetidas usando os cinco componentes da habilidade como variáveis de desfechos. Pelos mesmos motivos citados em 5.8 e 5.9 sobre a limitação da MANOVA, esta análise foi limitada à comparação entre dois momentos. Estes foram o primeiro momento de estabilidade do desempenho (Estabilização_Final) e início da fase de Adaptação-II (Adaptação-II_Início). A mudança nos blocos analisados nesta variável, em comparação ao tempo relativo e desvio padrão do tempo relativo (onde foi comparado Estabilização_Final e Adaptação-II_Final), se deu pelo objetivo de se investigar o efeito da adaptação estrutural (manipulada na fase de Adaptação-I) sem que outro tipo de adaptação acontecesse.

Para o GA, foi identificada diferença significativa na fluidez do movimento entre os momentos [Wilks $\lambda = 0,137$; $F(5,5) = 6,300$; $p = 0,03$; $\eta^2 = 0,863$]. O *post hoc* de Bonferroni detectou que o 5º componente se mostrou mais fluido (menor jerk) no início

da Adaptação-II do que ao final da Estabilização ($p = 0,04$). Para os componentes 1 a 4 ($p = 0,11$; $p = 0,88$; $p = 0,42$; $p = 0,46$ respectivamente) não foram detectadas diferenças significativas.

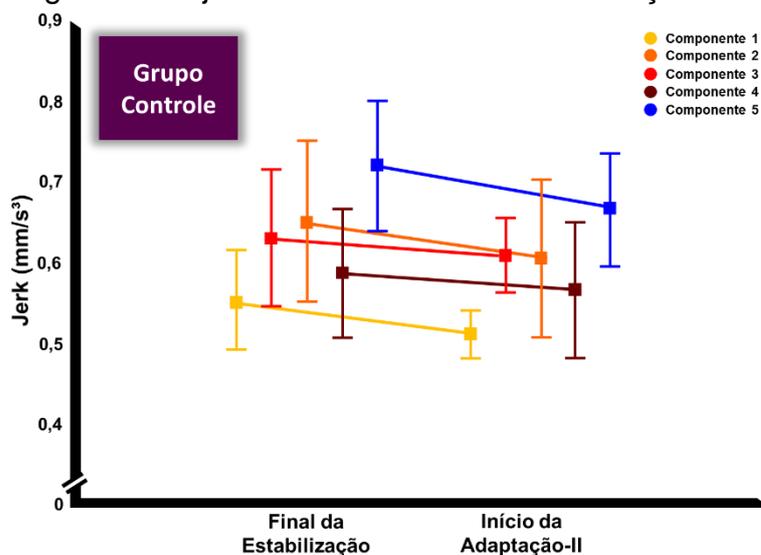
Gráfico 12 - Magnitude do jerk do GA ao fim da Estabilização e da Adaptação-II



Fonte: Elaboração própria

Para o GC, não foi identificada diferença significativa na fluidez do movimento entre os momentos em componente algum [Wilks $\lambda = 0,768$; $F(5,7) = 0,423$; $p = 0,81$; $\eta^2 = 0,232$].

Gráfico 13 - Magnitude do jerk do GC ao fim da Estabilização e da Adaptação-II



Fonte: Elaboração própria

Quando a fluência do movimento foi testada entre os momentos (Estabilização_Final e Adaptação-II_Início), uma melhoria foi identificada apenas para GA, no componente 5. O aumento da fluência do quinto componente ao se deparar com a perturbação indica um melhor controle do movimento, com menos variações da sua aceleração.

6 DISCUSSÃO

O presente trabalho teve como objetivo geral testar o efeito da adaptação estrutural no aumento da competência do desempenho. Para alcançar o objetivo dois grupos iniciaram a fase de Estabilização e praticaram a tarefa complexa de *timing* coincidente até o desempenho se tornar estável (acertar três tentativas consecutivamente). Em seguida foi iniciada a fase Adaptação-I apenas para o grupo experimental. Nesta fase foi inserida uma perturbação perceptiva e a prática seguiu até o desempenho se tornar estável novamente. Por último, os dois grupos iniciaram a terceira fase, Adaptação-II, e ambos os grupos praticaram com uma nova perturbação perceptiva até o desempenho se tornar estável mais uma vez. Os resultados identificaram efeito positivo da adaptação estrutural no jerk, medida que mede a fluência da sequência de movimentos, apesar de não identificar nas outras variáveis que refletem a competência do desempenho (número de tentativas e distância total percorrida). Como a mudança de apenas um componente do tempo relativo tem sido interpretada como uma nova organização da estrutura (UGRINOWITSCH *et al.*, 2011; CORRÊA *et al.*, 2010b), este resultado permite assumir que a hipótese 3 foi confirmada.

Esta sessão discutirá os resultados na ordem do delineamento. A primeira fase do experimento foi a Estabilização, na qual os dois grupos praticaram até o desempenho atingir o desempenho critério, uma vez que é pré-requisito que a estrutura de controle da habilidade motora esteja formada para poder se modificar/adaptar (TANI *et al.*, 2014; UGRINOWITSCH *et al.*, 2016a). Ao fim da Estabilização, os dois grupos apresentaram similaridade nas medidas de erro absoluto e desvio padrão do erro absoluto, resultado já esperado pelo uso do desempenho critério (UGRINOWITSCH, 2003). Os grupos também apresentaram tempos totais similares, bem como uma baixa variabilidade do tempo total. Esse último resultado aponta para um PAHO formado que restringe as alternativas da microestrutura (TANI, 2008b; CORRÊA *et al.*, 2015). Além disso, os grupos também apresentaram eficiência do desempenho similar – avaliada pela distância total percorrida. De forma geral, os grupos não se diferiram em medida alguma ao final da Estabilização, o que era esperado uma vez que o desempenho critério permite que os sujeitos alcancem a estabilização do desempenho em similar nível de aprendizagem (COCA-UGRINOWITSCH *et al.*, 2014).

Sedo a adaptação estrutural a variável independente do estudo, apenas o GA participou da Adaptação-I. Tal fase objetivou levar os sujeitos do GA à adaptação estrutural enfrentando uma perturbação de aumento da velocidade do estímulo visual. Assumindo que as experiências motoras passadas de cada sujeito influenciam tanto na quantidade necessária de tentativas para estabilizar o desempenho, quanto na competência da estrutura formada para poder lidar com a perturbação (UGRINOWITSCH, 2003), foi necessário identificar individualmente quais os sujeitos do GA se adaptaram estruturalmente (apresentaram modificação na macroestrutura). Para essa avaliação foram feitos os testes de hipótese para uma média, explicados no item 4.6.3 deste trabalho. Dos 19 sujeitos do GA, 11 modificaram ao menos um dos seus componentes entre o fim da Estabilização e o fim da Adaptação-I. Apenas os dados dos 11 que se adaptaram estruturalmente seguiram nas próximas análises.

No início da Adaptação-II, a inserção da perturbação (diminuição da velocidade do estímulo) levou a um aumento similar do erro absoluto de ambos os grupos. Este resultado indica que não houve efeito da adaptação estrutural na precisão do desempenho frente à nova perturbação. Um resultado próximo é o de Ugrinowitsch *et al.* (2014), no qual usando da mesma tarefa, nas primeiras tentativas frente uma perturbação perceptiva o grupo mais avançado na aprendizagem obteve uma precisão similar ao grupo que apenas tinha estabilizado o desempenho. Ainda no início da Adaptação-II foi identificado um aumento do desvio padrão do erro absoluto para ambos os grupos, e o GA foi mais variável que o GC. Tal aumento para ambos os grupos pode ser devido ao processo de reconhecer a nova velocidade do estímulo visual e buscar um novo conjunto de alternativas corretas para realizar a tarefa. Em princípio como ambos os grupos apresentaram precisão similarmente afastada do aceitável, pode-se entender que a maior variabilidade do GA no início da Adaptação-II indica disponibilidade de mais alternativas para buscar a solução da perturbação inserida, a tarefa com a nova demanda temporal.

Em nível de microestrutura, o tempo total aumentou para ambos os grupos, de forma coerente com a redução da velocidade do estímulo, já no início da Adaptação-II. Entretanto a variabilidade da microestrutura aumentou, sendo a variabilidade do GA superior à do GC. Ao se relacionar os resultados sobre a microestrutura com os resultados de precisão e consistência, parece que a perturbação inserida levou o desempenho a um novo estado instável, cuja microestrutura do GA se apresentou

mais variável. Dois caminhos explicativos foram propostos para tal resultado: um pela diminuição da consistência da macroestrutura do GA, e outro pela diferença da velocidade utilizada na perturbação durante a Adaptação-II.

O primeiro caminho é relativo à variabilidade da macroestrutura. Para isso é assumido que, ao finalizar a fase de Adaptação-I, o GA possuía duas formas de organização dos componentes do PAHO. A primeira organizada ao final da fase de Estabilização e a segunda ao final da fase de Adaptação-I. Seguindo esta linha, ao ser perturbado na Adaptação-II pode ter havido dificuldade de selecionar a macroestrutura mais apropriada para vencer a perturbação, o que aumentou a variabilidade da macroestrutura do PAHO do GA. Este conflito pode ter diminuído a consistência da macroestrutura, levando a um aumento dos graus de liberdade da microestrutura (TANI, 2008b).

O segundo caminho é relativo à diferença da velocidade utilizada na Adaptação-II e a velocidade anteriormente praticada. O GC praticou na fase anterior com velocidade de 117,6cm/s (Estabilização), e o GA praticou na velocidade de 133,3cm/s na fase anterior (Adaptação-II). Conseqüentemente, a inserção da perturbação, i.e., velocidade de 104,9cm/s no início da Adaptação-II, foi sentida como uma perturbação maior para o GA do que para o GC. A magnitude objetiva da perturbação se refere à diferença absoluta entre a velocidade praticada na fase em questão e a fase imediatamente anterior (CATTUZZO, 2007). Neste caso, a perturbação para o GC foi de 12,7cm/s, que equivalem a aproximadamente 200ms de diferença no tempo total de deslocamento do estímulo visual. Já para o GA a perturbação foi de 28,4cm/s, que equivalem a aproximadamente 400ms de diferença na velocidade do estímulo visual, representando uma perturbação 100% maior para o GA do que para o GC.

Duas variáveis não se modificaram entre o início e o final da Adaptação-II: distância total percorrida e o tempo total. O resultado da primeira corrobora a explicação já apresentada de que desde a Estabilização o PAHO conseguiu encontrar alternativas eficientes não desafiadas pelas perturbações. Além disso, dão suporte de que a tarefa não permita grandes mudanças na trajetória do movimento ao longo do processo de aprendizagem. Já a manutenção do tempo total indica que ambos os grupos conseguiram se ajustar corretamente à perturbação logo nas primeiras tentativas da fase. Além desses resultados, o tempo total se apresentou mais consistente (para

ambos os grupos), indicando uma redução os graus de liberdade da microestrutura, proporcionada por uma macroestrutura mais consistente— geralmente (TANI, 2008b; CORRÊA *et al.*, 2015).

O resultado da variabilidade dos tempos relativos mostrou que a macroestrutura apresentada ao fim da Adaptação-II possuiu consistência similar à macroestrutura apresentada ao fim da Estabilização, para ambos os grupos. Ademais, os dois grupos também mostraram similaridade nos tempos relativos no fim da Estabilização e no fim da Adaptação-II. A manutenção das relações temporais dos componentes entre as fases aponta que a interação estabelecida durante a Estabilização foi suficiente para superar a perturbação inserida na Adaptação-II e que proporcionou a liberdade para que a microestrutura apresentasse diferentes valores entre esses momentos, configurando uma adaptação paramétrica para ambos os grupos.

Sobre as medidas que indicariam o aumento de competência, no início da Adaptação-II, a distância total percorrida não apresentou diferença alguma. Esse resultado indica que a adaptação estrutural não levou a uma menor distância percorrida e tampouco a perturbação inserida na Adaptação-II. Apesar de ser uma tarefa com 5 componentes bem distintos, que requer deslocamentos do braço em diferentes direções, pode ser que a habilidade ainda seja simples para que esta medida seja sensível para mostrar alguma diferença.

Já a análise do jerk se apresentou como o resultado mais importante deste estudo. Foi possível identificar que a adaptação estrutural proporcionou um aumento da competência do desempenho, observado no aumento da fluidez do movimento. Não foi observada mudança no jerk do GC entre o fim da Estabilização e início da Adaptação II, enquanto para o GA foi identificado o aumento da fluência do movimento, indicando o efeito da adaptação estrutural (NELSON, 1983; SEIFERT *et al.*, 2014; GANZEVLES *et al.*, 2019). A medida de jerk pode ser a melhor para mostrar o aumento de competência devido às características da tarefa utilizada neste estudo. A sequência de toque nos cinco componentes exige acelerações e desacelerações do membro que realiza a tarefa, e a menor mudança é uma característica que demonstra maior competência na tarefa.

A maior fluência do movimento é uma característica marcante do desempenho em estágios mais avançados da aprendizagem (KIELY *et al.*, 2019), o que tem suporte

em alguns estudos. No estudo de Hreljac (2000), atletas corredores apresentaram movimentos mais fluentes que não corredores. No estudo de GANZEVLES *et al.* (2019), a fluência do movimento foi uma variável capaz de distinguir nadadores de elite de nadadores intermediários durante o nado crawl, assim como golfistas de elite apresentaram movimentos mais fluentes do que golfistas intermediários (CHOI *et al.*, 2014). Estes resultados dão suporte à ideia de que a fluência do movimento indica maior competência do desempenho, observada nos estágios mais avançados da aprendizagem (CHOI *et al.*, 2014; GANZEVLES *et al.*, 2019; KIELY *et al.*, 2019).

A maior fluência do GA é resultante da nova organização temporal da habilidade alcançada na Adaptação-I. A realização da tarefa com a nova velocidade na Adaptação-I permitiu o PAHO ter mais informações sobre a tarefa e as possibilidades de execução que o GC. Consequentemente, apesar de ambos os grupos terem a mesma organização dos componentes na Adaptação-II, o GA tinha mais informações que o GC que resultaram em uma execução mais fluida. Um movimento mais fluido reflete uma maior eficiência do movimento (SEIFERT *et al.*, 2014; GANZEVLES *et al.*, 2019) alcançado pela melhor interação entre os componentes da habilidade. Os resultados indicam que passar pela adaptação estrutural aumenta a competência do desempenho. A melhora da fluidez do GA explicada como efeito da adaptação estrutural, confirma a proposta do modelo do processo adaptativo em que a aprendizagem é contínua e que a adaptação estrutural é um mecanismo dessa continuidade (TANI *et al.*, 2014; CORRÊA *et al.*, 2015; BARROS *et al.*, 2017).

Também era esperado observar os efeitos da adaptação estrutural no aumento da competência do desempenho refletido em menos tentativas necessárias para se adaptar. Isso refletiria uma maior competência do PAHO em perceber a nova informação do contexto, organizar e executar as ações a fim encontrar um conjunto de respostas certas com menos tentativas. O menor número de tentativas do GA na Adaptação-II era esperado baseado em outros estudos (BASSO, 2010; CARVALHO, 2017; AMBRÓSIO, 2019). Em Basso (2010), os grupos que finalizaram a fase de estabilização em um estado mais avançado da aprendizagem (com uma ou duas sequências de respostas antecipatórias), gastaram menos tentativas para se adaptar. Em Carvalho (2017) o grupo que superestabilizou (representando o grupo em estado mais avançado da aprendizagem) precisou de menos tentativas para se adaptar do que o grupo que apenas estabilizou. Em Ambrósio (2019), o grupo de

superestabilização apresentou uma maior frequência de respostas antecipatórias no primeiro bloco frente à perturbação do que o grupo de estabilização, indicando que o grupo mais avançado na aprendizagem apresentou respostas qualitativamente melhores mais rapidamente.

Apesar dos estados mais avançados da aprendizagem proporcionarem uma maior velocidade de adaptação, no presente estudo, a adaptação estrutural não foi capaz de proporcionar maior velocidade de adaptação. Esse resultado pode indicar que o processo de adaptação estrutural e a superestabilização levam a aprendizagem para estados mais avançados por caminhos distintos.

Uma possível explicação perpassa pela ideia de que a adaptação estrutural pode ter um efeito relacionado com a especificidade da demanda da tarefa. Os trabalhos de Ugrinowitsch *et al.* (2008), Ugrinowitsch *et al.* (2010), Corrêa *et al.* (2010a) e Corrêa *et al.* (2010b) foram usaram perturbação previsível perceptiva contínua (estímulo não muda de velocidade ao longo da execução), forneceram 100% de conhecimento de resultados na adaptação, apresentaram medidas de macro e microestrutura e utilizaram a tarefa complexa de *timing* coincidente.

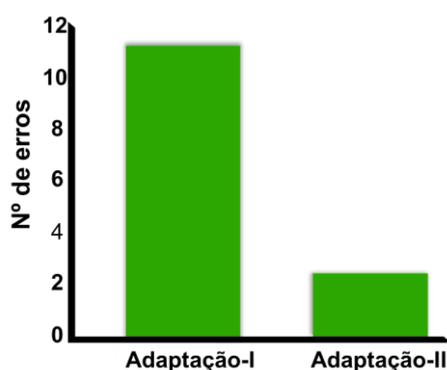
Os delineamentos dos estudos de Ugrinowitsch *et al.* (2008) e Ugrinowitsch *et al.* (2010) usaram a velocidade de 117,6 cm/s na fase de Estabilização (assim como o presente estudo), e inseriram perturbação perceptiva de aumento da velocidade (133,3 cm/s), similar à do presente estudo na fase de Adaptação-I. Em ambos os estudos, os grupos de estabilização se adaptaram estruturalmente frente esta perturbação. O mesmo ocorreu no presente estudo com o GA.

Contudo, a perturbação usada nos estudos de Corrêa *et al.* (2010a – primeiro experimento) e Corrêa *et al.* (2010b), de redução da velocidade do estímulo (104,9 cm/s), levou à adaptação paramétrica. No primeiro experimento de Corrêa *et al.* (2010a), o grupo de prática constante se adaptou parametricamente frente à perturbação. Em Corrêa *et al.* (2010b), os autores testaram a quantidade de prática constante antes de iniciar a prática variada, dessa forma não houve um grupo de apenas prática constante na estabilização. Entretanto, o grupo que estabilizou o desempenho em prática constante e em seguida fez a prática variada se adaptou parametricamente. No presente estudo, ambos os grupos se adaptaram

parametricamente na Adaptação-II (momento cuja velocidade do estímulo foi similar aos estudos acima citados).

Em conjunto parece que, na tarefa complexa de *timing* coincidente, a perturbação perceptiva com aumento da velocidade pode conduzir à adaptação estrutural e a perturbação com redução da velocidade à adaptação paramétrica. Apesar de o aumento da velocidade do estímulo diminuir o tempo disponível para execução do movimento, movimentos mais rápidos tendem ser mais precisos temporalmente (SCHMIDT e LEE, 2016), mas menos precisos espacialmente (TRESILIAN e LONERGAN, 2001). A tarefa complexa de *timing* coincidente exige tanto a precisão temporal – coincidência com a chegada do estímulo, quanto a precisão espacial – acertar as caixas-sensores dos componentes em uma sequência específica. Neste caso, a perturbação com aumento da velocidade enfrentada pelo GA causou um problema para o ajuste da coincidência temporal com estímulo, além de diminuir o tempo para manter a precisão espacial para tocar nos sensores. Esta diminuição de tempo pode ter impactado na relação de *trade off* velocidade-precisão (TRESILIAN e LONERGAN, 2001). Uma vez estabelecido tal *trade off*, é possível esperar um aumento na quantidade de erros de execução (erros no toque do sensor) na fase que se enfrentou a perturbação com aumento da velocidade. Para testar esta proposta foi feita uma análise *ad hoc* comparando a quantidade de erros de execução do GA na fase de Adaptação-I (fase com o estímulo mais rápido) e fase de Adaptação-II (fase com estímulo mais lento), via teste não paramétrico de Wilcoxon. De fato, o GA apresentou mais erros de execução na fase de Adaptação I que na Adaptação II ($p < 0,01$) (Gráfico - 14).

Gráfico 14 - Medianas dos erros de execução cometidos na Adaptação-I e Adaptação-II pelo GA



Este resultado corrobora com a explicação de que o aumento da velocidade do estímulo levou à diminuição do tempo de movimento, que, por sua vez, reduziu a precisão espacial dos toques nas caixas sensores. Para superar essa demanda, o GA precisou reorganizar a estrutura temporal da habilidade para que fosse possível ter tempo suficiente para tocar em todos os componentes e coincidir o toque do último com a chegada do estímulo. A adaptação estrutural pareceu acontecer para superar especificamente a exigência de precisão espacial imposta pela redução do tempo disponível.

Barros, Tani e Corrêa (2017) também encontraram efeitos da demanda temporal e de força da tarefa (associada à estrutura de prática), quando foi observado o comportamento do PAHO na adaptação. O grupo de prática constante se adaptou estruturalmente quando a tarefa teve demanda temporal, e se adaptou parametricamente quando a tarefa teve demanda de força. Em paralelo com o presente estudo, a nova organização adquirida pela adaptação estrutural foi específica para o problema espacial e não contribuiu o suficiente para solucionar a nova demanda temporal exigida na Adaptação-II. Essa explicação aponta para efeitos de especificidade da adaptação em função da demanda da tarefa.

Em resumo o presente trabalho testou o efeito da adaptação estrutural na competência do desempenho, frente uma perturbação perceptiva. Três hipóteses foram criadas, sendo que duas delas não foram confirmadas (H1 e H2), e H3 foi confirmada. Apesar de duas hipóteses não terem sido confirmadas (por não diferença entre os grupos) a confirmação da H3 indica efeito da adaptação estrutural no desempenho. Esperava-se que o GA apresentasse uma menor distância total percorrida, o que indicaria uma maior eficiência do movimento em distinguir e evitar movimentos desnecessários. Isso não aconteceu e tal variável não sofreu efeito das perturbações nem adaptações, indicando que passar pela Adaptação-I não afetou tal eficiência. Esperava-se também que o GA apresentasse uma menor quantidade de tentativas para se adaptar, comportamento identificado em estados mais avançados de aprendizagem. Isso não aconteceu e dois pontos foram levantados: 1) a adaptação estrutural e a superestabilização são processos que levam ao avanço da aprendizagem, mas por caminhos distintos que, conseqüentemente, levam a efeitos distintos; 2) a adaptação estrutural parece ter um efeito relacionado com a especificidade da demanda da tarefa. Por fim o jerk, apontou uma melhora da fluidez

do movimento do GA depois de ter passado Adaptação-I, o que não aconteceu com o GC. Esse resultado indica que o aumento da competência do desempenho ocorreu pelo alcance de um movimento mais eficiente. Tal aumento se deve à nova organização temporal dos componentes alcançada pela adaptação estrutural, que levou ao controle mais eficiente do PAHO. Esta variável fornece informações sobre a qualidade do movimento realizado, sendo apropriada para analisar a competência do controle do movimento realizado. Entretanto, este trabalho não possui variáveis que acessaram diretamente a competência do PAHO, sendo esta uma sugestão para estudos futuros. Outra sugestão para estudos futuros é investigar as variáveis: tempo relativo, variabilidade do tempo relativo e magnitude do jerk com maior número de sujeitos, para que se possa entender melhor seu comportamento no processo adaptativo.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo investigou o efeito da adaptação estrutural no aumento da competência do desempenho. O jerk mostrou aumento da competência no desempenho da habilidade praticada. Partindo do princípio que a competência do desempenho se relaciona também com a eficiência do movimento, que é controlado pelo PAHO, pode-se concluir que a adaptação estrutural aumentou a competência do desempenho por levar ao controle mais eficiente do PAHO.

REFERÊNCIAS

AMBRÓSIO, N. F. A. **Processo adaptativo em aprendizagem motora**: um estudo centrado nas diferenças individuais do desempenho da fase de estabilização e adaptação. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

AMBRÓSIO, N. F. A. **Estado de organização do sistema e o Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora**. 2019. 87 f. Tese de doutorado (Doutorado em Ciências do Esporte) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

BASSO, L.: **Efeitos dos níveis de estabilização e canis de desempenho. Orientador**. 2010. 164 f. Tese de doutorado (Doutorado em Educação Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BARROS, J. A. C.; TANI, G.; CORRÊA, U. C. Effects of practice schedule and task specificity on the adaptive process of motor learning. **Human Movement Science**, v. 55, p. 196–210, 2017.

BENDA, R. N. **Variabilidade e Processo Adaptativo na aquisição de habilidades motoras**. 2001. 352 f. Tese de doutorado (Doutorado em Educação Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BENDA, R.N.; CORRÊA, U.C.; OLIVEIRA, D.L.; UGRINOWITSCH, H.; TANI, G. Variabilidade e processo adaptativo na aprendizagem de uma tarefa de posicionamento linear com reversão. **Revista Brasileira Ciência e Movimento**, v.13, n.1, p. 7–12, 2005.

BENDA, R. N.; CORRÊA, U. C.; UGRINOWITSCH, H.; AMBRÓSIO, N. F. A.; TANI, G. Variabilidade e Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora. In: TANI, GO (Org.). **Comportamento Motor** : Conceitos, Estudos e Aplicações. 1a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 33–39, 2016.

BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**: Fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 8. ed. Petrópolis: Vozes, 2015.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Distribuição t. *In*: CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: Princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CARVALHO, M. F. S. P. **Efeitos do nível de estabilização do desempenho no aumento de complexidade no processo adaptativo em aprendizagem motora**. 2017. 81 f. Tese de doutorado (Doutorado em Ciências do Esporte) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

CARVALHO R.; GERALDO G. F.; OKAI-NÓBREGA L. A.; SANTOS T. R. T.. **Guia Prático do Oqus – QTM: Qualisys Track Manager**. 2018. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

CATTUZZO, M. T **O ciclo instabilidade-estabilidade-instabilidade no processo adaptativo em aprendizagem motora**. 2007. 263 f. Tese de doutorado (Doutorado em Educação Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CATTUZZO, M. T.; TANI, G. Ciclos de instabilidade-estabilidade e Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora. In: TANI, GO (Org.). **Comportamento Motor: Conceitos, Estudos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 55–61. 2016.

CHOI A, JOO SB, OH E, MUN JH. Kinematic evaluation of movement smoothness in golf: relationship between the normalized jerk cost of body joints and the clubhead. **Biomed Eng Online**, v.13, n.1, p. 13–20, 2014.

COCA-UGRINOWITSCH, A. A.; BENDA, R. N.; ABURACHID, A. M.; ANDRADE, A. G. P.; GRECO, P. J.; MENZEL, H. J. K.; UGRINOWITSCH, H. Bandwidth Knowledge of Results on the Learning of the Saloon Dart Throwing Task. **Perceptual and Motor Skills**, v. 118, n. 2, p. 1–13, 2014

CORRÊA, U. C.; BENDA, R. N.; OLIVEIRA, D. L.; UGRINOWITSCH, H.; FREUDENHEIM, A. M.; TANI, G. Different faces of variability in the adaptive process of motor skill learning. **Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences**, v. 19, n. 4, p. 465–487, 2015.

CORRÊA, U. C.; TANI, G. Aparelho de timing coincidente em tarefas complexas. **Revista da Propriedade Industrial**, n.1763, p.178, 2004.

CORRÊA, U. C.; UGRINOWITSCH, H.; BENDA, R. N.; TANI, G. Effects of practice schedule on the adaptive process of motor learning. **Portuguese Journal of Sport Sciences**, n. 10, p. 158–171, 2010a.

CORRÊA U.C., MASSIGLI M., BARROS J.A., GONÇALVES L.A., OLIVEIRA J.A., TANI G. Constant-random practice and the adaptive process in motor learning with varying amounts of constant practice. **Perceptual and Motor Skills**, v. 110, n. 2, p. 442–452, 2010b.

CORRÊA, U., BARROS, J., MASSIGLI, M., GONÇALVES, L., & TANI, G. A prática constante-aleatória e o processo adaptativo de aprendizagem motora: efeitos da quantidade de prática constante. **Revista Brasileira De Educação Física E Esporte**, v.21, n. 4, p. 301–314, 2007.

CORRÊA, U. C., WALTER, C., TORRIANI-PASIN, C., BARROS, J. e TANI, G.. Effects of the amount and schedule of varied practice after constant practice on the adaptive process of motor learning. **Motricidade**, v. 10, n. 4, p. 35–46, 2014.

CORRÊA U. C., GONÇALVES L. A., BARROS J. A. C. E MASSIGLI M.. Prática constante-aleatória e aprendizagem motora: Efeitos da quantidade de prática constante e da manipulação de exigências motoras da tarefa. **Brazilian Journal of Motor Behavior**, v. 1, n. 1, p. 41–52, 2006.

COUTO, C. R. **Efeitos do nível de estabilização do desempenho na adaptação a perturbações imprevisíveis inseridas após o início do movimento**. 2012. 110 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciências do Esporte) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

dos SANTOS, S. P.; BENDA, R. N; COUTO, C. R.; 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. 12, n. 10, p. 1–14 2017.

EAGER, D.; PENDRILL, A. M.; REISTAD, N. Beyond velocity and acceleration: jerk, snap and higher derivatives. **European Journal of Physics**, v. 37, n. 6, p. 1–11, 2016.

FREUDENHEIM, A. M. **Organização hierárquica de um programa de ação e a estabilização de habilidades motoras**. 1999. 270 f. Tese de doutorado (Doutorado em Educação Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

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, n. 2, p. 123–127, 2012.

GANZEVLES SPM, BEEK PJ, DAANEN HAM, COOLEN BMA, TRUIJENS MJ. Differences in swimming smoothness between elite and non-elite swimmers. **Sports Biomechanics**, p.1-14. 2019.

GONCALVES, L. A., SANTOS, S., CORREA, U. C. Estrutura de prática e idade no processo adaptativo da aprendizagem de uma tarefa de "timing" coincidente. **Rev. bras. educ. fís. esporte**, v. 24, n. 4, p. 433–443, 2010.

GREVEN, A., KELLER, G. and WARNECKE, G. **Entropy**. v.47. Princeton: Princeton University Press, 2003.

HRELJAC A. Stride smoothness evaluation of runners and other athletes. **Gait Posture**; v.11, n.3, p.199–206, 2000.

KIELY, J., PICKERING, C. e COLLINS, D.J. Smoothness: an Unexplored Window into Coordinated Running Proficiency. **Sports Medicine – Open**, n. 43, v.5, p. 2–9, 2019.

LASZLO, E. **The systems view of the world**: a holistic vision for our time. Cresskill: Hampton Press, 2002.

MAGILL, R. A. Os estágios de aprendizagem. In: MAGILL, Richard A. (Org.). **Aprendizagem e controle motor** : Conceitos e Aplicações. 8a ed. São Paulo: Phorte, p. 313–342. 2011.

MEIRA JÚNIOR, C. M., MAIA, J. A. R., TANI, G. Frequency and precision of feedback and the adaptive process of learning a dual motor task. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 26, n. 3, p. 455–462, 2012.

NELSON, W. L. Physical principles for economies of skilled movements. **Biological cybernetics**, v.46. n2, p.135–147, 1983

PINHEIRO, J. P.; CORREA, U. C. Estrutura de prática na aquisição de uma tarefa de timing coincidente com desaceleração do estímulo visual. **Revista Portuguesa de Ciência do Desporto**, v. 7, n. 3, p. 336–346, 2007.

PINHEIRO, J. P.; MARQUES, P. G.; TANI, G.; CORRÊA, U. C. Diversification of motor skills rely upon an optimal amount of variability of perceptive and motor task demands. **Adaptive Behavior**, v. 23, n. 2, p. 83–96, 2015.

RICHTER S., MASCHKE M., TIMMANN D., KONCZAK J., KALENSCHER T., ILLENBERGER A. R., KALVERAM K. T. Adaptive motor behavior of cerebellar patients during exposure to unfamiliar external forces. **Journal of Motor Behavior**, v. 36, n. 1, p. 28 – 38, 2004.

SEIFERT, L., ORTH, D., BOULANGER, J., DOVGALECS, V., HÉRAULT, R., & DAVIDS, K. Climbing skill and complexity of climbing wall design: assessment of jerk as a novel indicator of performance fluency. **Journal of applied biomechanics**, v. 30, n. 5, p. 619–625, 2014.

SCHMIDT, R. A., LEE, T. D. Princípios de velocidade, precisão e coordenação: movimentos de controle e organização temporal. In: SCHMIDT, Richard. A., LEE, Timothy. D. (Org.). **Aprendizagem e performance motora**: dos princípios à aplicação. 5a ed. Porto Alegre: Artmed, p. 123–148. 2016.

SCHNEIDER, K., e ZERNICKE, R. F. Jerk-cost modulations during the practice of rapid arm movements. **Biological Cybernetics**, v. 60, n. 3, p. 221–230, 1989.

SOUZA, T. O.; CORRÊA, U. C. Practice schedules and hierarchical organization in the adaptive process of motor learning. **European Journal of Human Movement**, v. 44, p.1–21, 2020.

TANI, G.; CORRÊA, U. C.; BASSO, L.; BENDA, R. N.; UGRINOWITSCH, H.; CHOSHI, K. An adaptive process model of motor learning: Insights for the teaching of motor skills. **Nonlinear Dynamics Psychology and Life Sciences**, v. 18, p. 47–65, 2014.

TANI, G.; BASTOS, F. C., CASTRO, I. J., JESUS, J. F., SACAY, R. C., PASSOS, S. C. E.. Variabilidade de resposta e processo adaptativo em aprendizagem motora. **Revista Paulista de Educação Física**, v. 6, n. 1, p. 16–25, 1992.

TANI, G. **Organização hierárquica do comportamento motor humano**. 1995. 169 f. Relatório de pós-doutorado. University of Sheffield, 1995.

TANI, G. Processo Adaptativo: uma concepção de aprendizagem motora além da estabilização. In: TANI, GO (Org.). **Comportamento Motor** - Aprendizagem e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 60–70, 2008.

TANI, G. Programação Motora: organização hierárquica, ordem e desordem. In: TANI, GO (Org.). **Comportamento Motor** - Aprendizagem e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 82–105. 2008b.

TANI, G. Processo Adaptativo | Uma concepção de aprendizagem motora além da Estabilização. In: TANI, GO (Org.). **Comportamento Motor** – Conceitos, estudos e aplicações. 1ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 11–16, 2016.

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.

UGRINOWITSCH, H. **Efeito do nível de estabilização do desempenho e do tipo de perturbação no processo adaptativo em aprendizagem motora**. 2003. 397 f. Tese de doutorado (Doutorado em Educação Física) -Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

UGRINOWITSCH, H.; BASSO, L.; AMBRÓSIO, N. F. A.; TANI, G. Níveis de Estabilização e Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora. In: TANI, G. (Org.). **Comportamento Motor** : Conceitos, Estudos e Aplicações. 1a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 47–54. 2016a.

UGRINOWITSCH, H. BENDA, R. N.; CORRÊA, U. C.; TANI, G. Extensive practice improves adaptation to predictable perturbations in a sequential coincident timing task. **American Journal of Life Sciences**, v. 2, n. 2, p. 90–95, 2014.

UGRINOWITSCH, H.; BENDA, R. N.; CORRÊA, U. C.; TANI, G. Tipos de perturbação e Processo Adaptativo. In: TANI, G. (Org.). **Comportamento Motor** : Conceitos, Estudos e Aplicações. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 41–46. 2016b.

UGRINOWITSCH, H. CORRÊA, U. C, TANI, G. Perturbação perceptiva e processo adaptativo na aprendizagem de uma tarefa de timing coincidente. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 277–284, 2005.

UGRINOWITSCH, H., FIALHO, J. V. A. P., FONSECA, E., PROFETA, V., ALBUQUERQUE, M. e BENDA, R. Effects of perceptive perturbation and level of stabilization in motor learning adaptability. **International Journal of Sport Psychology**, v. 41, p. 112–114, 2010.

UGRINOWITSCH, H.; FIALHO, J. V. A. P.; FONSECA, F. S.; MARINHO, N. F. S.; GOMES, T. V. B.; ALBUQUERQUE, M. R.; BENDA, R. N. Adaptação e aumento de complexidade no sistema motor. 2008, Porto Alegre: Congresso **Ciência do Desporto e Educação Física dos Países de Língua Portuguesa**, p. 1–7. 2008.

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 Psychological and Behavioral Sciences**, v. 5, n. 5, p. 709–713, 2011.

UGRINOWITSCH, H.; TANI, G. Efeitos do tipo de perturbação e do nível de estabilização no Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora. In: TANI, G. (Org.). **Comportamento Motor - Aprendizagem e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 162–172. 2008.

UGRINOWITSCH, H. TERTULIANO, I. W., COCA, A. A., PEREIRA, F. A. S., GIMENEZ, R. Frequência de *feedback* como um fator de incerteza no processo adaptativo em aprendizagem motora. **Revista brasileira Ciência e Movimento**, v. 11, n. 2, p. 41–47, 2003.

APÊNDICE I - Instrução Padronizada

Nesse experimento estão sendo utilizados dois grupos de aparelhos. Este primeiro são câmeras que filmam infravermelho, rastreando a movimentação de todos esses marcadores reflexivos. O segundo é composto por: uma canaleta com 97 diodos que acendem e apagam em sequência, e a mesa com os seis recipientes com sensores.

Os diodos acenderão e apagarão em sequência, de forma a simular um objeto em deslocamento em sua direção. Quando isso acontecer, segurando o implemento com sua mão direita, você deverá tocar os cinco sensores alvos nessa sequência (1-4-3-2-5), de forma a coincidir o toque no último sensor com o acendimento do último diodo sem interromper seu movimento.

Você deverá tocar todos os sensores na ordem estabelecida, sem repetir o toque em qualquer sensor.

A cada tentativa eu lhe fornecerei *feedback*. Caso você erre a sequência de toques, erre um dos componentes ou se caso um dos sensores não acuse seu o toque, lhe direi: “erro de componente”. Não lhe fornecerei informação sobre “qual” componente foi errado. Caso a sequência e os toques forem certos lhe fornecerei informação sobre o seu erro temporal de coincidência com o estímulo. Poderei falar ‘muito atrasado’, ‘atrasado’, ‘pouco atrasado’, ‘acertou’, ‘pouco adiantado’, ‘adiantado’ ou ‘muito adiantado’. Quando o *feedback* for ‘muito atrasado’, significa que o estímulo passou e só depois de 90ms você tocou no último componente. Já quando foi ‘muito adiantado’, significa que você tocou o último componente 90ms ou mais antes do estímulo chegar.

O experimento finaliza quando você atingir uma quantidade já estipulada de acertos consecutivos. Logo, duração depende de do seu desempenho. Mas você pode pedir para pará-lo e desistir se assim for de sua vontade. O experimento será pausado em alguns momentos para o armazenamento dos dados das câmeras.

Você tem alguma dúvida?

APÊNDICE II - Termo De Consentimento Livre e Esclarecido

Pesquisa: EFEITO DA ADAPTAÇÃO ESTRUTURAL NO AUMENTO DE COMPETÊNCIA DO PROGRAMA DE AÇÃO HIERARQUICAMENTE ORGANIZADO

(Via do voluntário)

Termo De Consentimento Livre e Esclarecido

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Olá, 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, na Universidade Federal de Minas Gerais, sob a coordenação do Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch e pelo mestrando Arthur Moreira Ferreira. O objetivo do presente trabalho é testar se a adaptação estrutural aumenta a competência do Programa de Ação Hierarquicamente Organizado.

A coleta de dados consiste na prática de uma habilidade motora em que você executará uma sequência de toques em cinco recipientes de uma mesa de resposta, enquanto um estímulo luminoso percorre uma canaleta de LEDs. Você deverá ser executar os cinco toques, em uma ordem pré-estabelecida, buscando coincidir o último toque com o acendimento do último LED. Para alcançar o objetivo proposto por este trabalho será necessária a filmagem de todas as tentativas executadas por você por câmeras infravermelho posicionadas ao seu redor.

A coleta de dados será realizada em um momento no LAM (Laboratório do Movimento/EEFFTO/UFMG) e você será sempre acompanhado por um dos responsáveis pela pesquisa.

O estudo é dividido em três fases, acontecendo todas no mesmo dia. A definição do tempo gasto em cada um dos dias da coleta é variável, dependendo do seu desempenho na tarefa (quanto melhor o desempenho, menor o tempo de coleta).

É importante dizer que as filmagens serão armazenadas em um computador sob responsabilidade dos pesquisadores acima citados por 5 anos, e após este tempo estes dados serão destruídos.

No período da coleta, os riscos relacionados à prática são mínimos, como por exemplo, a colisão da sua mão com a mesa de resposta. Entretanto você executará a tarefa segurando um implemento que aumentará a distância entre sua mão e a mesa de resposta, buscando assim, evitar possíveis choques. Além disso, você estará sentado de forma confortável em uma cadeira de altura regulável.

Rubrica do voluntário

Rubrica do pesquisador

Ao participar desta pesquisa você terá tanto a oportunidade de melhorar a sua capacidade de “timing coincidente” responsável pelo sucesso em tarefas de interceptação

no dia a dia (como agarrar um objeto em voo) quanto a oportunidade de aprender mais uma habilidade motora, o que enriquecerá seu repertório motor. Ainda, você estará contribuindo para o estudo de uma questão que, futuramente, poderá refletir em informações importantes para a intervenção no ensino-treinamento-reabilitação de habilidades motoras.

Ressalta-se que sua participação é voluntária e, dessa forma você tem todo direito de recusar a participar e pode retirar seu consentimento em qualquer parte da pesquisa sem penalidade alguma e sem prejuízo a sua pessoa. Além disso, você não terá nenhuma forma de remuneração financeira em qualquer fase da pesquisa.

Todos os dados coletados e sua identidade serão mantidos em sigilo, não sendo revelados publicamente em qualquer hipótese. Somente os pesquisadores responsáveis e equipe envolvida neste estudo terão acesso a estas informações que serão usadas apenas para fins de pesquisa.

Em qualquer momento da pesquisa, você terá total liberdade para esclarecer qualquer dúvida tanto com o professor Dr. Herbert Ugrinowitsch quanto com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG) pelos seguintes contatos:

- Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch: telefone: (0xx31) 3409-2393;
- COEP-UFMG: telefone: (0xx31) 3409-4592, e-mail: coep@prpq.ufmg.br, endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II – 2º andar – sala 2005 – CEP: 31270-901, Belo Horizonte/MG.

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

Belo Horizonte, de _____ de 2019.

Assinatura do voluntário

Assinatura do pesquisador

**APÊNDICE III – Valores da análise individual para determinação da
adaptação estrutural**

| Voluntário | TT | Estabilização_Final | | | | | Adaptação-I_Final | | | | | t_{calc} das diferenças | | | | | |
|------------|------------|---------------------|------|------|------|------|-------------------|------|------|------|------|---------------------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--|
| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | |
| 1 | tt_{u-2} | 13,8 | 17,5 | 16,2 | 16,8 | 18,9 | 14 | 17,8 | 16,2 | 16,6 | 17 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 12,5 | 18 | 15,8 | 17,1 | 20,1 | 13,4 | 18,4 | 16 | 16,3 | 18,8 | 1,53 | 6,21* | 1,65 | 1,11 | 3,85 | |
| | tt_u | 12,7 | 17 | 16,6 | 16,4 | 20,2 | 12,9 | 17,7 | 16 | 16,4 | 19,2 | | | | | | |
| 2 | tt_{u-2} | 13,4 | 19,9 | 14 | 18,3 | 17,4 | 17 | 19,8 | 14,4 | 16,2 | 15,4 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 13,4 | 17,9 | 15 | 17,5 | 18,5 | 17,7 | 17,6 | 14,3 | 16,5 | 15,3 | 1,02 | 0,21 | 0,21 | 2,92 | 0,42 | |
| | tt_u | 12,9 | 16,8 | 16,2 | 16,3 | 17,1 | 14,6 | 20,3 | 11,8 | 17,8 | 17 | | | | | | |
| 3 | tt_{u-2} | 11,4 | 20,6 | 15,5 | 17 | 16,3 | 10 | 20,3 | 16 | 17,3 | 15,3 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 12,6 | 21,2 | 15,3 | 17,8 | 16,4 | 9,8 | 21,7 | 14,7 | 17,9 | 16,9 | 0,78 | 0,62 | 4,10 | 0,33 | 0,47 | |
| | tt_u | 14 | 18,5 | 15,2 | 15,7 | 20,1 | 9,7 | 20,5 | 16,3 | 18,1 | 17 | | | | | | |
| 4 | tt_{u-2} | 11,8 | 17,5 | 15 | 19,3 | 19,7 | 13,2 | 18,1 | 14 | 16,2 | 19,3 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 12,2 | 17,9 | 15,8 | 18,7 | 17,8 | 15,1 | 17,9 | 12,6 | 15,8 | 18,6 | 1,12 | 0,96 | 0,44 | 17,52* | 0,80 | |
| | tt_u | 12,3 | 17,9 | 16 | 18,2 | 17,7 | 13,4 | 16,7 | 15,5 | 15,7 | 19,8 | | | | | | |
| 5 | tt_{u-2} | 14,3 | 19,7 | 14,9 | 16,8 | 14,9 | 11,8 | 19,9 | 16,1 | 16,3 | 18,5 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 14,5 | 18,4 | 14,9 | 14,8 | 14,2 | 13,1 | 17,8 | 15,6 | 17 | 17,4 | 1,38 | 1,65 | 2,35 | 1,11 | 2,44 | |
| | tt_u | 12,9 | 18,7 | 13,8 | 18,1 | 17,8 | 12 | 18,7 | 15,6 | 16,4 | 19,8 | | | | | | |
| 6 | tt_{u-2} | 13,4 | 18,9 | 16,6 | 18,3 | 16,8 | 13,8 | 20,6 | 16,1 | 16,7 | 18,8 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 11,5 | 17,6 | 14,9 | 15,3 | 15,1 | 11,9 | 17,8 | 16 | 17,2 | 17,2 | 21,94* | 0,99 | 3,76 | 2,07 | 121,24* | |
| | tt_u | 11,7 | 19,9 | 15,6 | 17,2 | 17,5 | 11,3 | 18,9 | 14,4 | 17,9 | 19,7 | | | | | | |
| 7 | tt_{u-2} | 11,7 | 19,3 | 15,4 | 15,8 | 20,3 | 11,9 | 19,9 | 16,2 | 14,5 | 20,3 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 12,9 | 17,8 | 14,3 | 16,7 | 20,1 | 11,5 | 19,6 | 17,2 | 14,5 | 19,3 | 1,34 | 0,95 | 0,44 | 2,13 | 0,91 | |
| | tt_u | 12,7 | 18,7 | 15,1 | 19,2 | 16,8 | 11,7 | 21,3 | 14,7 | 16,4 | 16,7 | | | | | | |
| 8 | tt_{u-2} | 15,3 | 19,7 | 15,9 | 16,8 | 17,5 | 17,7 | 19 | 14,5 | 15,7 | 15,7 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 15 | 20,3 | 16,3 | 16,1 | 15,7 | 14,8 | 17,4 | 16,3 | 15,8 | 15,7 | 0,53 | 0,59 | 0,65 | 2,06 | 0,62 | |
| | tt_u | 15,5 | 18,6 | 16,8 | 15,8 | 16,3 | 14,6 | 17,7 | 14,9 | 17 | 15,5 | | | | | | |
| 9 | tt_{u-2} | 14,7 | 18 | 13,8 | 17,5 | 19,6 | 14,1 | 17,8 | 13,9 | 17,9 | 19,5 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 15,2 | 17,4 | 14,9 | 17,7 | 19,1 | 14 | 18,9 | 14,6 | 16,7 | 17,8 | 3,02 | 1,14 | 10,10* | 2,47 | 0,66 | |
| | tt_u | 12,3 | 19,6 | 15,7 | 17,3 | 19,3 | 13,8 | 18,8 | 16 | 16 | 17,2 | | | | | | |
| 10 | tt_{u-2} | 13,2 | 18,5 | 13,8 | 19,3 | 18,8 | 15 | 19,2 | 15,2 | 16,7 | 19,7 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 14,5 | 17,8 | 15,5 | 16,6 | 17,1 | 15,2 | 21,7 | 14,1 | 18,2 | 16,8 | 0,70 | 0,27 | 63,50* | 2,28 | 0,26 | |
| | tt_u | 13 | 18,4 | 14,4 | 17,6 | 19,5 | 16,2 | 17,9 | 16 | 16,3 | 15,6 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|------|---------------|--------------|---------------|--|
| 11 | tt_{u-2} | 12,9 | 17,7 | 15,7 | 15 | 18,2 | 11,5 | 19,3 | 15,3 | 15 | 17,7 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 13 | 17,4 | 15,3 | 15,6 | 20,2 | 12,9 | 17,2 | 16,3 | 15,5 | 16,2 | 0,99 | 0,89 | 1,06 | 0,79 | 0,19 | |
| | tt_u | 12,7 | 17,4 | 14,9 | 15,5 | 19,1 | 11,3 | 16,8 | 14,9 | 16,4 | 19,2 | | | | | | |
| 12 | tt_{u-2} | 12,6 | 18,8 | 14,5 | 16,7 | 18,6 | 13,5 | 17,6 | 14,2 | 17,4 | 18 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 12,8 | 17,7 | 14,5 | 16,6 | 18,2 | 13,2 | 16,8 | 14,9 | 16,2 | 17,2 | 5,77* | 4,06 | 6,21* | 8,43* | 1,61 | |
| | tt_u | 13,5 | 18,5 | 14,3 | 16,4 | 17,7 | 12,7 | 18 | 15 | 17,2 | 17,8 | | | | | | |
| 13 | tt_{u-2} | 14,1 | 20,2 | 15,6 | 15,1 | 16,9 | 15,2 | 20,4 | 15,8 | 14,8 | 17,4 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 14,7 | 19,6 | 14,8 | 15,5 | 18,6 | 15,9 | 19,2 | 14,6 | 13,7 | 17,9 | 26,39* | 0,35 | 0,72 | 0,49 | 7,21* | |
| | tt_u | 15,3 | 20,9 | 15,7 | 15,3 | 17,6 | 14,4 | 18,3 | 15,9 | 15,2 | 17,3 | | | | | | |
| 14 | tt_{u-2} | 15 | 18,2 | 15,6 | 19 | 14,3 | 15,1 | 17,9 | 15,6 | 17,8 | 16,4 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 13,2 | 17,4 | 16,7 | 17,7 | 18,8 | 12,7 | 18,4 | 15,6 | 16,7 | 17,6 | 3,55 | 0,79 | 0,83 | 2,89 | 1,36 | |
| | tt_u | 12,7 | 16,8 | 16 | 17,7 | 20,1 | 12,9 | 18,9 | 15,7 | 18,1 | 17 | | | | | | |
| 15 | tt_{u-2} | 14,9 | 18,5 | 16,5 | 18 | 16,2 | 16,8 | 16,7 | 15,5 | 16,8 | 16,2 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 16,1 | 17,7 | 15 | 16,9 | 15,7 | 14,4 | 18,7 | 14,3 | 16,3 | 18,7 | 0,85 | 0,77 | 10,21* | 5,77* | 0,38 | |
| | tt_u | 14,4 | 18,2 | 15,5 | 17,2 | 17,4 | 14,6 | 18,1 | 14,9 | 18,1 | 16 | | | | | | |
| 16 | tt_{u-2} | 10,9 | 18,2 | 15,4 | 18,5 | 18,7 | 10,9 | 17 | 15,8 | 17,9 | 18,3 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 11,9 | 16,7 | 14,3 | 17,2 | 19,2 | 19,2 | 19,9 | 14 | 20,2 | 19,8 | 0,08 | 0,41 | 1,09 | 0,56 | 0,63 | |
| | tt_u | 11,3 | 16,6 | 13,7 | 16,5 | 21,8 | 11,1 | 16,9 | 15,1 | 17,6 | 19,6 | | | | | | |
| 17 | tt_{u-2} | 11,6 | 18,9 | 14,7 | 17,3 | 18,2 | 11,3 | 18,2 | 15,3 | 18 | 17,3 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 13 | 18,7 | 15 | 16,9 | 17,1 | 11,5 | 17,2 | 15,5 | 17,7 | 18,5 | 0,74 | 1,29 | 15,67* | 1,52 | 3,88 | |
| | tt_u | 11,7 | 18,9 | 14,3 | 16,9 | 19,2 | 11,5 | 18,6 | 15,1 | 16,9 | 17,4 | | | | | | |
| 18 | tt_{u-2} | 14,3 | 19,5 | 15,5 | 18,4 | 16,1 | 14,6 | 19,3 | 13,9 | 18 | 16,5 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 14,7 | 20,6 | 14,2 | 18,3 | 16,9 | 14,3 | 17,7 | 14,7 | 17,7 | 17,3 | 3,11 | 0,30 | 1,24 | 0,58 | 63,50* | |
| | tt_u | 14,5 | 19,1 | 14,7 | 19,5 | 17,9 | 14,5 | 18,7 | 14,2 | 17,2 | 17,6 | | | | | | |
| 19 | tt_{u-2} | 13,5 | 20,4 | 15,7 | 16,7 | 16,1 | 13,6 | 17,9 | 14,9 | 16,8 | 17,5 | | | | | | |
| | tt_{u-1} | 14 | 18,7 | 15,7 | 15,5 | 16,3 | 13,4 | 18,2 | 14,7 | 17,1 | 14,6 | 2,61 | 0,84 | 9,41* | 0,68 | 1,45 | |
| | tt_u | 14,6 | 17,7 | 15 | 16,3 | 16,2 | 13,9 | 19,1 | 13,7 | 18,4 | 16,6 | | | | | | |

Legenda - C1: Componente 1; C2: Componente 2; C3: Componente 3; C4: Componente 4; C5: Componente 5; t_{calc} : valor do teste (maiores detalhes na sessão 4.6.3); TT: tentativa; tt_u : última tentativa; tt_{u-1} : penúltima tentativa; tt_{u-2} : antepenúltima tentativa; itens demarcados com "*" indicam diferença significativa no teste.

Fonte: Própria autoria.