



---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO HUMANO E  
TECNOLOGIAS  
(Tecnologias e Desempenho Humano)**

---

**RELAÇÃO ENTRE A FADIGA MUSCULAR E A MUDANÇA DA TÉCNICA DE  
NADO DURANTE UM EXERCÍCIO EXAUSTIVO NO NADO CRAWL**

**NATÁLIA DE MENEZES BASSAN**

Dissertação apresentada ao  
Instituto de Biociências do Câmpus  
de Rio Claro, Universidade  
Estadual Paulista, como parte dos  
requisitos para obtenção do título  
de Mestre em Desenvolvimento  
Humano e Tecnologias.

**Abril - 2014**

**NATÁLIA DE MENEZES BASSAN**

**RELAÇÃO ENTRE A FADIGA MUSCULAR E A MUDANÇA DA TÉCNICA DE  
NADO DURANTE UM EXERCÍCIO EXAUSTIVO NO NADO CRAWL**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Tecnologias e Desempenho Humano).

**Orientador: Camila Coelho Grecco**

**Rio Claro  
2014**

797.21 Bassan, Natália de Menezes  
B317e Relação entre a fadiga muscular e a mudança da técnica  
de nado durante um exercício exaustivo no nado crawl /  
Natália de Menezes Bassan. - Rio Claro, 2014  
75 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Biociências de Rio Claro  
Orientador: Camila Coelho Greco

1. Natação. 2. Habilidade de nado. 3. Força muscular. I.  
Título.

**NATÁLIA DE MENEZES BASSAN**

**RELAÇÃO ENTRE A FADIGA MUSCULAR E A MUDANÇA DA TÉCNICA DE  
NADO DURANTE UM EXERCÍCIO EXAUSTIVO NO NADO CRAWL**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Humano e Tecnologias (Tecnologias e Desempenho Humano).

**Comissão Examinadora**

Profa. Dra. Camila Coelho Greco

Prof. Dr. Sérgio Camarda

Prof. Dr. Mauro Gonçalves

Rio Claro, 22 de Abril de 2014

Rio Claro, 22 de abril de 2014.  
**APOIO FINANCEIRO**



**Fundação de Amparo à Pesquisa**  
**do Estado de São Paulo**

**PROCESSO Nº: 2012/15078-2**

*Dedico este trabalho aos meus pais*

*Por todo apoio, dedicação e amor incondicional*

*E dedico a minha irmã e ao meu sobrinho*

*Pela amizade, companheirismo e risadas nos momentos mais difíceis*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e pelas oportunidades de crescimento. Agradeço a minha orientadora Camila Coelho Greco, pela imensa dedicação, paciência e insistência com o trabalho e para que eu construísse uma grande base de conhecimento, também por ter tido a oportunidade de construir uma grande amizade.

Agradeço ao Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai, pelo Laboratório e por estar sempre disposto a ajudar.

Aos nadadores voluntários disponibilizarem um pouco do seu tempo para as coletas de dados e a realização da pesquisa.

Ao meu primo Felipe e ao meu cunhado Muca pelas risadas, conselhos e serem os irmãos que eu não tive.

Aos membros do Laboratório de Avaliação da Performance Humana, Renata, Bola, Bíbi, Léo, Claudião e Felipe pela amizade, risadas e paciência em transmitir seus conhecimentos. Em especial ao Thadeu, pela ajuda em todas as coletas e análise de dados, além da sua grande amizade e companheirismo durante esses 4 anos de convivência.

As minhas amigas de república, Cacau, Lívia e Emília pelo companheirismo, amizade, conversas, risadas e abraços.

As amigas que permaneceram mesmo com a distância, Lethycia e Juliana, que sempre me incentivaram mesmo de longe.

A Sarai e a Camila pela amizade e paciência comigo nos momentos mais difíceis.

Obrigada a todas as pessoas que estiveram me apoiando e me guiando para um caminho melhor

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figura 1.</b> Esquematização da sequência da realização do protocolo de força.....                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 36   |
| <b>Figura 2.</b> Valores médios $\pm$ DP do pico de torque isométrico (PTI), pico de torque concêntrico a $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ (PTC60) e pico de torque concêntrico a $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ (PTC180) dos músculos flexores do cotovelo (FC) (painel A) e extensores do cotovelo (EC) (painel B) obtidos antes (Pré) e após (Pós) o exercício exaustivo..... | 42   |
| <b>Figura 3.</b> Valores médios $\pm$ DP da TDF dos músculos flexores do cotovelo (FC) e extensores do cotovelo (EC) obtidos antes (Pré) e após (Pós) o exercício exaustivo.....                                                                                                                                                                                      | 43   |
| <b>Figura 4.</b> Resposta dos índices técnicos durante o exercício exaustivo, para um voluntário representativo. FB - frequência de braçada e CB - comprimento de braçada.....                                                                                                                                                                                        | 44   |
| <b>Figura 5.</b> Resposta das fases da braçada não propulsivas (A e D) e propulsivas (B e C) durante o exercício exaustivo, para um voluntário representativo.....                                                                                                                                                                                                    | 46   |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Tabela 1.</b> Valores médios $\pm$ DP das características antropométricas.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 40   |
| <b>Tabela 2.</b> Valores médios $\pm$ DP do pico de torque isométrico (PTI), pico de torque concêntrico nas velocidades $60^{\circ}\text{s}^{-1}$ (PTC60) e $180^{\circ}\text{s}^{-1}$ (PTC180) e da taxa de desenvolvimento de força pico (TDF) dos músculos flexores (FC) e extensores do cotovelo (EC) dos testes de força realizados nos testes 1 (T1) e 2 (T2).....                                                 | 41   |
| <b>Tabela 3.</b> Correlação intraclasse (ICC), intervalo de confiança (IC95%) e erro típico (ET) do pico de torque isométrico (PTI), pico de torque concêntrico nas velocidades $60^{\circ}\text{s}^{-1}$ (PTC60) e $180^{\circ}\text{s}^{-1}$ (PTC180) e taxa de desenvolvimento de força (TDF) dos músculos flexores (FC) e extensores do cotovelo (EC) dos testes de força realizados nos testes 1 (T1) e 2 (T2)..... | 41   |
| <b>Tabela 4.</b> Valores médios $\pm$ DP da frequência de braçada (FB) e do comprimento de braçada (CB) no início e no final do teste exaustivo.....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 44   |
| <b>Tabela 5.</b> Valores médios $\pm$ DP e variação percentual ( $\Delta\%$ ) das fases da braçada expressas em valor absoluto (s) no início e no final do teste realizado na velocidade constante.....                                                                                                                                                                                                                  | 45   |
| <b>Tabela 6.</b> Valores médios $\pm$ DP e variação percentual ( $\Delta\%$ ) das fases da braçada expressas em valor relativo (% da duração total da braçada) no início e no final do teste realizado na velocidade constante.....                                                                                                                                                                                      | 46   |
| <b>Tabela 7.</b> Correlações das variações do pico de torque isométrico (PTI) e da taxa de desenvolvimento de força (TDF) dos músculos flexores do cotovelo (FC) e extensores do cotovelo (EC) com a variação dos índices técnicos frequência de braçada (FB) e comprimento de braçada (CB).....                                                                                                                         | 47   |
| <b>Tabela 8.</b> Correlações das variações do pico de torque isométrico (PTI) e da taxa de desenvolvimento de força (TDF) dos músculos flexores do cotovelo (FC) e extensores do cotovelo (EC) com a variação das fases A, B, C e D e o índice de coordenação (IdC).....                                                                                                                                                 | 48   |

## LISTA DE ABREVIATURAS

- CB – comprimento de braçada
- EC – músculos extensores do cotovelo
- EMG – eletromiografia
- Fase A – entrada e agarre da mão na água
- Fase B – puxada
- Fase C – empurre
- Fase D – recuperação
- FB – frequência de braçada
- FC – flexores do cotovelo
- IB – índice de braçada
- IdC – índice de coordenação da ação dos braços
- LT1 – intervalos de tempo entre o começo da propulsão (Fase B) do braço direito e o final da
- LT2 – intervalos de tempo entre o começo da propulsão (Fase B) do segundo movimento do
- MLSS – máxima fase estável de lactato sanguíneo
- MP3 – leitor de mídia portátil
- PTC180 - pico de torque isocinético na velocidade de  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$
- PTC60 – pico de torque isocinético na velocidade de  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$
- PTI – pico de torque isométrico
- T5B – tempo de 5 braçadas
- TDF – taxa de desenvolvimento de força
- TDFpico - pico da taxa de desenvolvimento de força
- V400 – velocidade média dos 400 m
- VO<sub>2</sub>pico - consumo de oxigênio pico
- T1- teste de força antes o nado exaustivo no primeiro dia
- T2 – teste de força antes o nado exaustivo no segundo dia

## Resumo

A força muscular é um importante fator da avaliação e do treinamento em busca de um melhor desempenho esportivo. Na natação, o comprometimento da técnica, do alinhamento do corpo e o aumento do arrasto nas competições têm sido relacionados ao desenvolvimento da fadiga, que corresponde à reduzida capacidade de produzir força. Os objetivos deste estudo foram: 1) Analisar a reprodutibilidade do pico de torque isométrico (PTI), pico do torque concêntrico nas velocidades de  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  e  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  (PTC60 e PTC180, respectivamente) e da taxa de desenvolvimento de força (TDF) dos músculos flexores do cotovelo (FC) e extensores do cotovelo (EC); 2) Analisar o efeito do exercício exaustivo nas variáveis de força, potência e técnica de nado (frequência de braçada - FB e comprimento de braçada - CB, fases da braçada - A, B, C e D e índice de coordenação - IdC), e; 3) Analisar a relação entre a resposta dos parâmetros neuromusculares, dos índices técnicos e das fases da braçada, em um exercício exaustivo realizado no nado crawl. Participaram deste estudo, 15 nadadores treinados, os quais foram submetidos aos seguintes protocolos: 1) Inicialmente foram obtidas as medidas antropométricas e logo em seguida foi feita a familiarização ao dinamômetro, os atletas também realizaram performance máxima na distância de 400 m, em uma piscina de 25 m para determinar a performance aeróbia (V400); 2) Testes de força no dinamômetro isocinético, para a determinação do PTI, PTC60, PTC180 e TDF, realizados imediatamente antes e após um teste na natação em velocidade constante até a exaustão a 100%V400 (T1); 3) Foram realizados os mesmos testes e na mesma ordem dos feitos no segundo dia (T2). A velocidade média ( $1,34 \pm 0,09 \text{ m} \cdot s^{-1}$  e  $1,35 \pm 0,15 \text{ m} \cdot s^{-1}$ , respectivamente) nas condições T1 e T2 foi similar ( $p > 0,05$ ). Para os músculos FC não houve diferença no PTI, PTC60 e PTC180 e na TDF, nas condições T1 e T2, respectivamente ( $p > 0,05$ ). Da mesma forma, para os músculos EC não houve diferença no PTI, PTC60, PTC180 e TDF nas condições T1 e T2 ( $p > 0,05$ ). Houve correlação significativa entre as condições T1 e T2 para o PTI, PTC60, PTC180, e TDF dos músculos FC ( $r = 0,79$  a  $0,98$ ) e EC ( $r = 0,79$  a  $0,98$ ) ( $p < 0,01$ ). Houve redução significativa do PTI dos músculos FC ( $79,9 \pm 19,4 \text{ N} \cdot \text{m}$  e  $66,7 \pm 20,0 \text{ N} \cdot \text{m}$ ) e EC ( $95,1 \pm 28,0 \text{ N} \cdot \text{m}$  e  $85,8 \pm 30,5 \text{ N} \cdot \text{m}$ ) após a realização do teste exaustivo ( $p < 0,05$ ). Da mesma forma, houve redução significativa da TDF dos músculos FC ( $521,8 \pm 198,6 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot s^{-1}$  e  $426,0 \pm 229,9 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot s^{-1}$ ) e EC ( $420,6 \pm 168,2 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot s^{-1}$  e  $384,0 \pm 143,5 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot s^{-1}$ ) ( $p < 0,05$ ), após a realização do teste

exaustivo. O CB diminuiu entre o início e o final do teste exaustivo ( $1,96 \pm 0,22$  m.ciclo<sup>-1</sup> e  $1,68 \pm 0,29$  m.ciclo<sup>-1</sup>), enquanto a FB aumentou ( $37,2 \pm 3,14$  ciclos.min<sup>-1</sup> e  $41,3 \pm 5,32$  ciclos.min<sup>-1</sup>) ( $p < 0,05$ ). Em valores absolutos, as fases propulsivas B (12%) e C (7%) aumentaram e as fases não-propulsivas A (61%) e D (28%) diminuíram entre o início e o final do teste ( $p < 0,05$ ). Da mesma forma, em valores relativos, as fases propulsivas B e C aumentaram e as fases não-propulsivas A e D diminuíram do início ao final do teste ( $p < 0,05$ ). O IdC também apresentou aumento ( $p < 0,05$ ). Houve correlação significativa entre a modificação do PTI dos músculos FC e a variação dos índices técnicos FB e CB e a fase D ( $p < 0,05$ ). Para os músculos EC, houve correlação significativa entre a variação do PTI com as modificações das fases A e fases A+D ( $p < 0,05$ ). Houve correlação significativa da variação da TDF com a modificação das fases B e D, nos músculos FC ( $p < 0,05$ ). Portanto, nas condições do presente estudo, é possível concluir que o pico de torque isométrico e isocinético a  $60^\circ.s^{-1}$  e  $180^\circ.s^{-1}$ , como também a taxa de desenvolvimento de força de músculos do membro superior apresentam alta reprodutibilidade em nadadores treinados. O exercício exaustivo aeróbio de alta intensidade gerou redução na força muscular isométrica e na potência muscular. Além disso, houve modificações importantes da técnica de nado do início para o final do exercício exaustivo e estas de maneira geral foram relacionadas com as mudanças de força e potência muscular. Portanto, é possível sugerir que a modificação da técnica de nado em exercícios exaustivos aeróbios e de alta intensidade é, pelo menos em parte, ocasionada pela fadiga muscular.

**Palavras-Chave:** Habilidade de nado, natação, força muscular.

## Abstract

Muscle strength is an important factor of the evaluation and training aiming a better sport performance. In swimming, the impairment of technique, body alignment and the increase of drag during races have been related to the development of fatigue, which corresponds to the reduced capacity to produce force. The objectives of this study were: 1) To analyze the reliability of the isometric peak torque (IPT), concentric peak torque at  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  and  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  (CPT60 and CPT180, respectively) and the rate of force development (RFD) of elbow flexors (EF) and elbow extensors (EE); 2) To analyze the effect of an exhaustive exercise on the strength and power variables, and swim technique (stroke frequency - SF and stroke length - SL, stroke phases - A, B, C and D and the coordination index - IdC), and; 3) To analyze the relationship between the responses of neuromuscular parameters, technical indexes and stroke phases, in an exhaustive exercise performed in front crawl. Fifteen trained swimmers participated of this study, and were submitted to the following protocols: 1) Initially, the anthropometric measurements were obtained and afterward the familiarization to the dynamometer was performed and maximal 400-m trial, in a 25-m swimming pool to determine the aerobic performance (V400); 2) Strength tests in an isokinetic dynamometer, to determine the IPT, CPT60, CPT180 and RFD, performed immediately before and after a constant-speed test to exhaustion at 100%V400 (T1); 3) The same tests at the same sequence of the second day (T2). The mean speed ( $1.34 \pm 0.09 \text{ m} \cdot s^{-1}$  and  $1.35 \pm 0.15 \text{ m} \cdot s^{-1}$ , respectively) at T1 and T2 conditions was similar ( $p > 0.05$ ). There was no significant difference on IPT, CPT60, CPT180 and RFD at T1 and T2 conditions for EF ( $p > 0.05$ ). In the same way, there was no significant difference on IPT, CPT60, CPT180 and RFD at T1 and T2 conditions for EE ( $p > 0.05$ ). There was significant correlation between T1 and T2 conditions for IPT, CPT60, CPT180 and RFD of EF ( $r = 0.91$  to  $0.98$ ) and EE ( $r = 0.79$  to  $0.98$ ) ( $p < 0.01$ ). There was reduction of IPT of EF ( $79.9 \pm 19.4 \text{ N} \cdot \text{m}$  and  $66.7 \pm 20.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ ) and EE ( $95.1 \pm 28.0 \text{ N} \cdot \text{m}$  and  $85.8 \pm 30.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ ) after the exhaustive test ( $p < 0.05$ ). Similarly, there was reduction of RFD of EF ( $521.8 \pm 198.6 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot s^{-1}$  and  $426.0 \pm 229.9 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot s^{-1}$ ) and for EE ( $420.6 \pm 168.2 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot s^{-1}$  and  $384.0 \pm 143.5 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot s^{-1}$ ) ( $p < 0.05$ ), after the exhaustive test. The SL reduced between the beginning and the end of the exhaustive test ( $1.96 \pm 0.22 \text{ m} \cdot \text{cycle} \cdot s^{-1}$  and  $1.68 \pm 0.29 \text{ m} \cdot \text{cycle} \cdot s^{-1}$ ), while the SR increased ( $37.2 \pm 3.14 \text{ cycles} \cdot \text{min} \cdot s^{-1}$  and  $41.3 \pm 4.32 \text{ cycles} \cdot \text{min} \cdot s^{-1}$ ) ( $p < 0.05$ ). In absolute values, the propulsive phases B (12%) and C (7%) increased while the non-propulsive phases A

(61%) and D (28%) reduced from the beginning to the end of the test ( $p < 0.05$ ). In relative values, the propulsive phases B and C increased and the non-propulsive phases A and D reduced from the beginning to the end of the test ( $p < 0.05$ ). The IdC also presented increase ( $p < 0.05$ ). There was significant correlation of the modification of IPT of FC with the changes on technical indexes SR and SL and phase D ( $p < 0.05$ ). For EC, there was significant correlation of IPT and the changes in phases A and A + D ( $p < 0.05$ ). There was significant correlation of the variation of RFD and the changes on phases B and D, for EF ( $p < 0.05$ ). Thus, at the conditions of our study, it is possible to conclude that the peak isometric torque and concentric peak torque at  $60$  and  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ , as well as the rate of force development of upper limb muscles present high reliability in trained swimmers. The high-intensity aerobic exhaustive exercise generated reduction in isometric muscular force and power. Moreover, there were important modifications in swim technique from the beginning to the end of the exhaustive exercise and, in general, these changes were related to the force and power changes. Therefore, it is possible to suggest that the modification of the swim technique in high-intensity aerobic exercises performed to exhaustion is, at least in part, occasioned by muscular fatigue.

**Keywords:** Swim ability, swimming, muscular strength.

## SUMÁRIO

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                   | 15 |
| 2. OBJETIVOS .....                                                                    | 18 |
| 2.1. Geral .....                                                                      | 18 |
| 2.2. Específicos.....                                                                 | 18 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA .....                                                        | 19 |
| 3.1. Parâmetros de avaliação neuromuscular .....                                      | 19 |
| 3.2. Índices Técnicos .....                                                           | 22 |
| 3.3. Efeito de exercícios exaustivos de nado na força muscular.....                   | 23 |
| 3.4. Efeito de exercícios exaustivos na técnica de nado .....                         | 27 |
| 4. JUSTIFICATIVA .....                                                                | 29 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS .....                                                           | 30 |
| 5.1. Delineamento experimental.....                                                   | 30 |
| 5.2. Sujeitos .....                                                                   | 30 |
| 5.3. Avaliação antropométrica.....                                                    | 30 |
| 5.4. Determinação do PT e da TDF .....                                                | 31 |
| 5.5. Testes máximos na natação .....                                                  | 32 |
| 5.6. Determinação dos índices técnicos.....                                           | 33 |
| 5.7. Análise estatística .....                                                        | 34 |
| 6. Resultados .....                                                                   | 35 |
| 6.1. Avaliação antropométrica e da performance .....                                  | 35 |
| 6.2. Reprodutibilidade do pico de torque e da taxa de desenvolvimento de torque ..... | 35 |
| 6.3. Efeito do exercício exaustivo nos parâmetros neuromusculares .....               | 38 |

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.4. Resposta dos índices técnicos durante o exercício exaustivo .....                                                              | 39 |
| 6.5. Parâmetros neuromusculares x Índices técnicos .....                                                                            | 43 |
| 7. Discussão.....                                                                                                                   | 45 |
| 7.1. Reprodutibilidade dos parâmetros de força e potência muscular.....                                                             | 45 |
| 7.2. Efeito do exercício exaustivo nos parâmetros de força e potência muscular ....                                                 | 46 |
| 7.3. Resposta da técnica de nado durante o exercício exaustivo .....                                                                | 49 |
| 7.4. Relação entre as modificações nos parâmetros neuromusculares e da técnica de nado com a realização do exercício exaustivo..... | 51 |
| 8. CONCLUSÕES .....                                                                                                                 | 53 |
| 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                 | 54 |

## 1. INTRODUÇÃO

Na natação, a força muscular é um importante aspecto da avaliação e do treinamento em busca de um melhor desempenho esportivo. Em função das particularidades desta modalidade, o aumento da força propulsiva (TOUSSAINT e BEEK, 1992), que promove deslocamento, torna-se um aspecto fundamental para gerar maiores velocidades de nado. Alguns estudos que analisaram a força muscular fora d'água, verificaram que esta pode estar associada com a performance dentro d'água e que um treinamento com pesos pode contribuir para a melhora da velocidade nesta modalidade (HAWLEY et al., 1992; STRASS, 1988). Dessa forma, a mensuração e o treinamento para a melhora da força muscular podem ser considerados importantes fatores na preparação dos atletas.

A fadiga é definida como a perda de força muscular e de capacidade de realizar trabalho (GREEN, 1990; HULTMAN et al., 1990; FITTS, 1996; GANDEVIA, 2001). Estudos sugerem que a fadiga pode provocar importantes modificações no padrão de movimento em modalidades cíclicas (ELLIOTT e ROBERTS, 1980; LEPERS et al., 2000; VERCRUYSEN et al., 2002). Em situações de fadiga ocorre a diminuição da velocidade máxima do movimento, redução do pico de torque isométrico (PTI) e incapacidade de manter os níveis de força em velocidades submáximas (DUARTE et al., 1991). Assim, o indivíduo tende a escolher estratégias de movimentos com a finalidade de sustentar a intensidade do exercício. Os principais fatores que podem ajudar a explicar a modificação dos movimentos são alteração no recrutamento das unidades motoras, modificação na perfusão muscular, fadiga neuromuscular e fadiga muscular (VERCRUYSEN et al., 1997; LEPERS et al., 2000).

Estudos realizados na natação, em condições tanto de velocidade constante, (DEKERLE et al., 2005; ALBERTY et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2012) quanto em provas reais ou simuladas (CRAIG et al., 1985; SCHNITZLER et al., 2007; ALBERTY et al., 2009), têm verificado modificações significantes nos parâmetros da técnica de nado como o aumento da frequência de braçada (FB) e a queda do comprimento de braçada (CB). De maneira geral, essas alterações têm sido atribuídas à redução da capacidade de gerar força para vencer a resistência da água (CRAIG et al., 1985).

Na natação, os músculos bíceps braquial e o tríceps braquial são determinantes no movimento cíclico complexo da braçada (ROUARD e CLARYS,

1995) devido a importância destes na estabilização da articulação do cotovelo na transmissão das forças da mão e do antebraço para o corpo (MADSEN e FLUGSRUD, 2008). Segundo Lauer et al. (2012) os nadadores, utilizam-se destes músculos para estabilizar a articulação do cotovelo e assim superar o arrasto na fase aquática, e estes agem como um “freio” no final da recuperação para substituir o braço na próxima braçada.

Em um exercício máximo de curta duração (~1 min), Toussaint et al. (2006) verificaram relação entre a redução da força e da velocidade de nado, e observaram também que a redução da FB foi relacionada à queda da velocidade. Em outro estudo, Aujouannet et al. (2006) observaram redução significativa da força isométrica dos flexores do cotovelo (13%) medida fora d'água, e uma redução da FB da velocidade de nado do ao longo do exercício exaustivo (14%).

Além da modificação na FB e no CB, estudos mostraram que, em condições de exercícios de velocidade constante, mantidos ou não até a exaustão, a contribuição das fases propulsivas da braçada pode aumentar para manter a velocidade do nado (ALBERTY et al., 2009; PELARIGO et al., 2011). De fato, Sanders (2002) verificou que nestas condições de velocidade constante, quando a fadiga se desenvolve, o nadador aumenta o tempo relativo da braçada, no qual as forças de propulsão são aplicadas, para gerar o impulso necessário para manter a velocidade de nado. Segundo Alberty et al. (2005) o aumento na duração das fases propulsivas significa que o nadador gasta mais tempo nestas fases na condição de fadiga, pois a capacidade de gerar força propulsiva foi comprometida. Portanto, a redução da capacidade de produzir força parece ser um aspecto importante para as modificações da técnica de nado.

Estudos que analisaram a atividade muscular durante o nado, sugerem que alguns dos principais músculos utilizados na braçada, como o bíceps braquial e o tríceps braquial, diminuem sua atividade eletromiográfica em testes máximos de curta distância (100-200 m), sugerindo o aparecimento da fadiga muscular (AUJOUANNET et al., 2006; STIRN et al., 2011; IKUTA et al., 2012).

Para analisar a resposta da força muscular em condições controladas (velocidade, posição corporal) tem sido muito utilizado o dinamômetro isocinético. Este equipamento, além da força isométrica, permite que a força muscular seja medida de forma concêntrica e excêntrica (SEGER et al., 1988), como também em diferentes velocidades de contração e ângulos articulares (SVENSSON e DRUST,

2005), e para diferentes articulações e membros (IOSSIFIDOU e BALTZOPOULOS, 1998). Assim, a dinamometria isocinética tem sido considerada o método padrão ouro para a avaliação quantitativa da força muscular (DVIR, 2002).

Portanto, a análise da resposta da força muscular parece ser de fundamental importância para a compreensão da resposta da técnica de nado em diferentes condições de exercício. Apesar de muitos estudos terem analisado a resposta de técnica de nado ao longo de exercícios exaustivos e as modificações desta terem sido em parte atribuídas à fadiga, informações a respeito da relação entre fadiga e alteração da técnica de nado são escassas. Além disso, nenhum estudo analisou a relação entre a fadiga e as alterações nos parâmetros FB, CB e IB em testes de velocidade constante. Dessa forma, apesar da diferença do padrão de velocidade de provas competitivas, a análise dos atletas em velocidade constante é uma forma de verificar como estes modificam os padrões de braçada para manter o impulso e a velocidade requerida.

Neste estudo, as hipóteses testadas são: 1) Haverá redução significativa da força muscular imediatamente após um exercício realizado até a exaustão na natação; 2) Haverá modificação significativa dos parâmetros da técnica de nado do início ao final de um exercício realizado até a exaustão na natação; 3) Haverá uma relação entre as modificações na força muscular e nos parâmetros da técnica de nado. Estas análises serão de fundamental importância para a compreensão da relação entre fadiga e habilidade de nado em condições exaustivas, o que pode ter importantes implicações para a avaliação e a prescrição do treinamento na natação, particularmente nestas condições.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

- Analisar a reprodutibilidade de variáveis de força e potência muscular dos músculos flexores e extensores do cotovelo e a relação entre a fadiga muscular e a mudança da técnica de nado em um exercício exaustivo realizado no nado crawl.

### **2.2. Específicos**

- Avaliar a reprodutibilidade do pico de torque isométrico (PTI) e concêntrico na velocidade  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  e  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  (PTC60 e PTC180, respectivamente) dos músculos flexores do cotovelo (FC) e extensores do cotovelo (EC);
- Analisar a reprodutibilidade da taxa de desenvolvimento de força (TDF) dos músculos FC e EC;
- Analisar o efeito de um exercício exaustivo nos parâmetros neuromusculares PTI, PTC60, PTC180 e TDF dos músculos FC e EC;
- Analisar o efeito de um exercício exaustivo nos parâmetros da técnica de nado frequência de braçada (FB), comprimento de braçada (CB), fases da braçada (A, B, C e D) e índice de coordenação (IdC);
- Analisar a relação entre a resposta dos parâmetros neuromusculares e parâmetros da técnica de nado, em um exercício exaustivo realizado no nado crawl.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Parâmetros de avaliação neuromuscular

A força muscular é um importante componente da aptidão, sendo considerada uma capacidade física fundamental no aspecto da avaliação e do treinamento em busca de um melhor desempenho esportivo. A força muscular pode ser definida como a capacidade máxima de produção de força que o músculo ou grupo muscular pode produzir (KOMI, 2006). Esta também pode designar a tensão máxima que um músculo ou grupamento muscular pode gerar em um padrão de movimento específico realizado em uma velocidade determinada (KNUTTGEN, 1987).

Na natação, devido às particularidades desta modalidade (i.e., deslocamento no meio líquido), a força muscular do atleta torna-se um aspecto fundamental para gerar maiores velocidades de nado. Alguns estudos que analisaram a força muscular fora d'água em nadadores, verificaram que esta pode estar associada com a performance e que um treinamento com pesos pode contribuir para a melhora da velocidade nesta modalidade. Hawley et al. (1992) verificaram uma correlação moderada da potência média dos braços, com o desempenho de 50 m ( $r = 0,63$ ). Em estudo realizado por Strass (1988) foi verificado melhora de 0,04 a 0,08 m.s<sup>-1</sup> na velocidade média de nadadores adultos, em uma distância de 50 m, após o treinamento de resistência com pesos. Pesquisadores também observaram grande importância da capacidade de força no incremento da velocidade para a modalidade em questão (TOUSSAINT e BEEK, 1992). Dessa forma, o treinamento de força e sua mensuração podem ser importantes para a melhora de resultados no âmbito da natação competitiva.

Um dos parâmetros de análise da força muscular é o pico de torque, o qual pode ser definido como o produto da massa, da aceleração e do tamanho do braço de alavanca (POTULSKI et al., 2011). A partir disto se obtém o torque máximo produzido na amplitude do movimento. Uma vez que o trabalho leva em consideração a distância de deslocamento, a análise desta variável reflete a habilidade do indivíduo de produzir torque durante toda a amplitude de movimento (BROWN e WEIR, 2001).

O torque pode ser produzido de maneira concêntrica, excêntrica e isométrica. O primeiro acontece quando a tensão muscular provoca um torque maior que o torque das cargas resistivas, encurtando o músculo. O segundo ocorre quando o comprimento do músculo permanece inalterado e não ocorre movimento em torno da

articulação. Em condição de fadiga, o pico de torque tende a diminuir nos músculos extensores de joelho após um exercício prolongado no ciclismo, ocorrendo queda de 20 a 30% (BOOTH et al., 1997; PRESLAND et al., 2005; SAHLIN e SEGER, 1995).

O equipamento responsável pela mensuração do torque é o dinamômetro isocinético (DVIR, 2002; PERRIN, 1993). A determinação do pico de torque por meio do dinamômetro isocinético é considerado o padrão ouro para a avaliação quantitativa da força muscular (DVIR, 2002).

Estudos na literatura analisaram a reprodutibilidade das medidas de pico de torque de membros superiores. Em nadadores, as informações sobre a reprodutibilidade destas medidas ainda é escassa. Em pesquisa realizada por Drouin et al. (2004) foi analisado a validade, e a confiabilidade da posição angular, velocidade e torque isométrico e isocinético concêntrico de um dinamômetro isocinético. Para a realização da medida do pico de torque isométrico o dinamômetro foi posicionado a 90° da posição anatômica do braço. Houve uma correlação intraclasse alta (ICC = 0,99) e baixo coeficiente de variação (CV = 1%) entre os dois dias de testes.

Na natação, os músculos bíceps e tríceps braquial, que realizam a flexão do cotovelo e a extensão do cotovelo, respectivamente, são essenciais no movimento cíclico complexo da braçada (ROUARD e CLARYS, 1995). Estes músculos atuam também na estabilização da articulação do cotovelo na transmissão das forças da mão e do antebraço para o corpo (MADSEN e FLUGSRUD, 2008). Segundo Lauer et al. (2013) os nadadores utilizam-se destes músculos para estabilizar a articulação do cotovelo e assim superar o arrasto na fase aquática. Estes agem como um “freio” no final da recuperação para substituir o braço na próxima braçada.

Gerald et al. (2007) realizaram um estudo com nadadores de elite e verificaram que após 12 semanas de diferentes tipos de treinamento de força, houve o aumento de pico de torque nestes músculos e melhora da performance nos 50 m crawl. O grupo que realizou o treino de força fora d'água (musculação - 80 a 90% de uma repetição máxima) apresentou melhora significativa no PTI dos músculos extensores do cotovelo (4,5%) e flexores do cotovelo (39,5%). No treino realizado dentro d'água (*sprints* resistidos e assistidos), a melhora da força foi verificada na força isométrica dos músculos flexores do cotovelo (7,6%). Houve melhora de performance para os dois grupos que realizaram treino de força, sendo de 2,8% para os nadadores que treinaram fora d'água e 2,3% para aqueles que realizaram o treino dentro d'água.

Sadowski et al (2012) também verificaram melhora da força muscular em nadadores jovens após o treinamento de força fora d'água combinado com o treino na piscina. Estes apresentaram aumento do PTI dos flexores do ombro (5,34%), no CB (5,98%), queda na FB (4,30%) e melhora da força no nado atado (9,64%). Neste estudo, não foi possível afirmar se somente o treinamento de força permitiu melhora no desempenho destes atletas.

Com base nestes estudos, é possível verificar a importância do pico de torque na avaliação neuromuscular visando analisar a eficiência dos diferentes tipos de treinamento de força na melhora da performance na natação. Além de permitir identificar os músculos essenciais para melhor desempenho na braçada.

Outra variável de extrema importância na avaliação neuromuscular é a TDF, a qual é uma medida de força explosiva. A TDF mede a taxa de aumento de torque que pode ser gerada na fase inicial da contração muscular (AAGAARD et al., 2002). Esta é obtida através da razão entre a variação da força (N.m) e a variação do tempo (s) ( $\Delta\text{força}/\Delta\text{tempo}$ ).

A TDF sofre influências de diversos fatores, entre eles pode-se citar as propriedades do músculo como tamanho, quantidade das fibras de contração rápida, composição da isoforma da miosina de cadeia pesada (HARRIDGE et al., 1996) e distribuição das fibras musculares (AAGAARD e ANDERSEN, 1998). Esta variável também é influenciada pelos fatores neurais como magnitude de produção dos impulsos eferentes pelos motoneurônios na fase inicial da contração, pela frequência de disparos e recrutamento dos motoneurônios (AAGAARD et al., 2002; SALE, 1988; THORSTENSSON et al., 1976; VAN CUTSEM et al., 1998).

Andersen et al. (2010) analisaram as alterações na TDF em diferentes momentos da contração muscular após 12 semanas de treinamento de resistência de alta intensidade, para os membros inferiores. Após o treinamento de força foi mensurado a força muscular máxima e a TDF durante a contração isométrica voluntária máxima dos músculos extensores do joelho. Os autores verificaram a elevação da TDF na fase tardia da contração muscular ( $> 100$  ms), em resposta ao treino de resistência. A TDF na fase inicial da contração ( $< 100$  ms) não foi modificada, enquanto a fase inicial da TDF relativa diminuiu.

Em situação de fadiga a TDF também tende a diminuir, como foi verificado em testes realizados antes e após situações simuladas da prática de esportes como o futebol (7 a 8%), ciclismo (~15 a 26%) e handebol (16 a 21%) (GIRARD et al., 2012;

THORLUND et al., 2008, 2009). Dessa forma, analisar esta variável em diferentes condições exaustivas na natação, pode contribuir para o entendimento das modificações na potência muscular, e contribuir no treinamento de atletas de alto rendimento.

### 3.2. Índices Técnicos

Na natação, para cada estilo de nado existe uma combinação entre as pernadas e as braçadas para gerar a propulsão. Em geral, a propulsão realizada pelos braços tem sido vista como a principal no deslocamento do nado crawl, visto que, esta é responsável por até 90% da propulsão do nadador (BROOKS et al., 2000; DESCHODT; 1999). Logo, a coordenação entre os braços está relacionada com a velocidade de nado, a qual muda de acordo com a respiração, flutuabilidade (forças externas) e alinhamento corporal (CHOLLET et al., 2000; SEIFERT et al., 2010; YANAI, 2003). Os estudos que investigaram os efeitos de exercícios exaustivos na força muscular e na técnica utilizaram a ação dos braços (ALBERTY et al., 2005; AUJOUANNET et al., 2006; SEIFERT, et al., 2005).

Entre as variáveis que expressam a capacidade técnica de um nadador, está a FB, a qual representa o número ou ciclos de braçadas realizados em uma unidade de tempo. O CB representa a distância que o nadador se desloca em cada ciclo de braçada, enquanto que, o índice de braçada (IB) corresponde ao produto da velocidade com o CB. Como em outras atividades cíclicas, os nadadores precisam encontrar o ajuste ideal entre a FB e CB para alcançar e manter a velocidade máxima durante uma prova (ALBERTY et al., 2005).

A movimentação e a coordenação da ação dos braços no nado crawl são feitos de forma alternada, no qual cada braço realiza quatro fases, puxada e empurre (fases propulsivas), entrada da mão e encaixe e recuperação (fases não-propulsivas), e ainda, os ciclos de braçada são coordenados com padrões de pernadas que variam entre duas, quatro ou seis pernadas por ciclo de braçada (MAGLISCHO, 1999).

As quatro fases de braçada são organizadas de maneiras diferentes pelo nadador, e a duração de cada uma destas fases varia dependendo da velocidade de nado, da duração do exercício e do nível do atleta. O Índice de Coordenação (IdC), assim caracteriza o padrão de coordenação da braçada em curto e longo tempo, indicando também a habilidade do nadador. Este índice expressa o tempo que separa o começo da fase propulsiva de um braço e o final da fase propulsiva do outro braço. Essa organização pode ser

explicada por três formas: oposição, quando não ocorre intervalo de tempo entre as propulsões, sendo que o início da propulsão equivale com o final da propulsão do outro braço, ( $IdC = 0\%$ ); alcançar, quando tem um intervalo de tempo entre as propulsões dos dois braços, ( $IdC < 0\%$ ); sobreposição, acontece quando há uma sobreposição das propulsões dos dois braços, ( $IdC > 0\%$ ) (CHOLLET, 2000),

Os atletas podem variar o modelo de coordenação, de acordo com a mudança em suas velocidades de nado. O  $IdC$  se altera proporcionalmente a velocidade de nado e FB. Essas mudanças foram relacionadas com a duração das fases propulsivas da braçada, pois com o aumento da velocidade os nadadores reduziram a duração das fases não propulsivas e aumentaram a duração das fases propulsivas. Com estas modificações, o nadador pode aplicar força propulsiva por um período maior de tempo, e deste modo gerar mais potência (CHATARD 1990). Este aumento das fases propulsivas se dá principalmente na fase de empurre, enquanto a puxada é compensada por um aumento na velocidade de deslocamento da mão, que permite uma melhor ação propulsiva (COUNSILMAN, 1981; ROUARD e BILLAT, 1990).

### **3.3. Efeito de exercícios exaustivos de nado na força muscular**

O sistema neuromuscular é caracterizado pela sua capacidade adaptativa crônica. Este consegue adaptar-se a alterações agudas, tais como as associadas ao exercício prolongado ou intenso, sendo uma das mais conhecidas o fenômeno habitualmente referido como fadiga muscular (ENOKA e STUART, 1992). Sendo assim, o conceito de fadiga neuromuscular relaciona-se à incapacidade do músculo de gerar elevados níveis de força (ENOKA e STUART, 1992; GREEN, 1995, 1997) e pode contribuir para a reduzida capacidade de manter uma determinada intensidade do exercício.

A fadiga resulta em alterações no processo excitação-contração-relaxamento, e conforme essa relação pode ser central e periférica. A fadiga central representa a falha do mecanismo do motoneurônio proximal, o que resulta na queda da habilidade de enviar o sinal para a junção neuromuscular (LEPERS et al., 2002; TODD et al., 2003), traduzindo-se em uma falha voluntária ou involuntária na condução do impulso. Esta falha resulta na redução do número de unidades motoras ativas e diminuição da frequência de disparo dos neurônios motores (STACKHOUSE et al., 2000; STIENEN et al., 1999). A fadiga periférica pode ser descrita como aquela que ocorre devido aos mecanismos originários nas próprias fibras musculares (LEPERS et al., 2002; TODD

et al., 2003). Esta ocorre devido a uma falha ou redução de um ou mais processos na unidade motora, ou seja, nos motoneurônios, nervos periféricos, nas ligações neuromusculares ou fibras musculares (EDWARDS, 1981).

O processo de fadiga é gradual e inclui importantes mudanças fisiológicas que ocorrem antes e durante a falha mecânica (HOFFMAN et al., 2009). Nessas situações, os atletas optam por estratégias de movimentos com o objetivo de manter a intensidade do exercício (THEUREL et al., 2012). Em modalidades como o ciclismo e a corrida, geralmente a fadiga está relacionada à queda na frequência dos movimentos. Dessa forma, há alteração no recrutamento das unidades motoras e perfusão muscular. Fadiga neuromuscular e muscular são os principais fatores que podem explicar a redução na frequência de movimentos nestas modalidades (VERCRUYSEN et al., 1997; LEPERS et al., 2000).

Mais precisamente, a fadiga pode induzir uma redistribuição do nível de atividade muscular entre os músculos e/ou alterações no perfil da mesma, ou seja, modifica a forma de atividade muscular durante o movimento. Estudos realizados por Kouzaki e Shinohara, (2006) e Kouzaki et al. (2002) relataram a alternância dos níveis de atividade muscular entre os músculos sinergistas durante exercícios isométricos submáximos.

Em esportes que utilizam movimentos cíclicos como o ciclismo, as variáveis neuromusculares tendem a diminuir em condição de fadiga, como já foi constatado por McIntyre et al. (2012). Estes verificaram que após quatro estágios de 20 minutos a 70% do consumo de oxigênio pico ( $VO_{2pico}$ ) o pico de torque isométrico concêntrico dos extensores de joelho diminuiu 14%. Resultados semelhantes foram encontrados por Girard et al. (2012) ao analisar a TDF, a qual teve queda de ~ 15 a 26% nos músculos extensores do joelho, após realizar um protocolo de 10 x 6 s de *sprints* seguida pela recuperação passiva e por último foi realizado mais 5 x 6 s *sprints*.

Na natação, estes mecanismos ainda não foram completamente definidos, mas sabe-se que os aspectos biomecânicos podem ficar bastante comprometidos por mecanismos fisiológicos associados à fadiga. Conforme há o aumento da fadiga há uma modificação do alinhamento corporal, o qual é importante para minimizar o arrasto (TOUSSAINT et al., 2006).

No estudo de Toussaint et al. (2006), os autores compararam as mudanças da produção de potência mecânica em um teste máximo de 100 m realizado somente com os braços (~58 s) no MAD System, que é um equipamento que fornece informações sobre a produção de potência do nadador, com a performance de 100 m

no nado crawl completo (~63 s). No MAD System, do primeiro 25 m para o quarto 25 m houve uma redução significativa da produção de potência mecânica, 13% na velocidade, 14,8% no trabalho por braçada e 3% na FB. O CB não foi modificado, já que neste equipamento esta variável não muda. Na performance do nado completo, do primeiro 25 m para o quarto 25 m houve uma redução de 12,4% na velocidade e de 10,5% na FB. A eficiência propulsiva apresentou uma redução de 81% para 76%. Portanto, as reduções de velocidade, FB e produção de potência foram similares. Os autores sugeriram que quando há a queda de produção de potência, a velocidade e a FB também caem.

Em um outro estudo, Stirn et al. (2011) analisaram as respostas de parâmetros da eletromiografia de músculos do tronco e dos braços em um esforço máximo de 100 m (~63 s). A velocidade, o CB e a FB apresentaram redução de 15%, 6% e 7%, respectivamente. Houve aumento significativo da atividade dos músculos tríceps braquial e grande dorsal e redução da frequência mediana. Os autores concluíram que houve fadiga muscular nos 100 m nado crawl.

Figueiredo et al. (2012) analisaram os parâmetros de braçada e a velocidade angular durante uma prova de 200 m. Os autores verificaram que os nadadores mostraram queda significativa na FB (5,1%) porém, do penúltimo para o último esforço houve aumento desta variável técnica (4,92%). Para o CB (6,9%), velocidade (13,8%) e velocidade angular (13,3%) houve uma diminuição gradativa ao longo das 4 voltas, concomitante com um aumento no lactato sanguíneo (11,12 mM) sugerindo o aparecimento da fadiga (BONIFAZI et al., 1993; FIGUEIREDO et al., 2011; PELAYO et al., 1996)

Em pesquisa realizada por Figueiredo et al. (2013a) foi analisado a atividade elétrica muscular dos músculos flexor radial do carpo, bíceps braquial, tríceps braquial, peitoral maior e trapézio (fibras superiores), além dos índices técnicos FB e CB em uma prova de 200 m. Os dados mostraram aumento da ativação dos músculos em suas fases específicas, queda no CB e manutenção da FB. Esses resultados sugerem a ocorrência da fadiga, caracterizado pelas mudanças nos parâmetros de braçada já explicadas anteriormente e as mudanças seletivas na ativação dos músculos dos membros superiores de acordo com a ação muscular. Para determinar a contribuição relativa de fatores biomecânicos, energéticos, musculares e de coordenação nos 200 m nado crawl, os nadadores realizaram um teste máximo de 200 m crawl, e posteriormente realizaram as distâncias de 50, 100, e 150 m no ritmo médio do teste de 200 m. Para cada volta, as contribuições para os 200 m desempenho foram de 17,6, 21,1, 18,4 e 7,6% para o

CB; 16,1, 18,7, 32,1 e 3,2% para FB; 17,8, 10,5, 2,0 e 6,4% para eficiência propulsiva; 4,5, 5,8, 10,9 e 23,7% para o gasto energético total; 10,1, 5,1, 8,3 e 23,7% para a coordenação entre os braços; 9,0, 6,2, 8,5 e 5,5% em relação à amplitude da atividade muscular; e de 3,9, 11,9, 11,8 e 18,7% para a frequência mediana dos músculos. As contribuições da frequência mediana dos músculos e do índice de coordenação foram altas e sugerem a fadiga dos músculos e o comprometimento da técnica de nado (FIGUEIREDO et al., 2013b).

Ikuta et al. (2012) analisaram a atividade elétrica dos músculos flexor ulnar do carpo, bíceps braquial, tríceps braquial, peitoral maior, grande dorsal, deltóide anterior e posterior em um esforço máximo de 200 m, realizado em 4 x 50 m. Foi verificado a queda significativa de atividade do flexor ulnar do carpo, bíceps braquial e tríceps braquial, e aumento significativo na atividade do peitoral maior. Houve correlação entre a variação da atividade elétrica muscular do flexor ulnar do carpo ( $r = 0,72$ ), grande dorsal ( $r = 0,695$ ) e bíceps braquial ( $r = 0,557$ ) com a variação da velocidade da braçada. Portanto, os dados sugerem que a queda da velocidade de nado está relacionada com a diminuição da atividade elétrica muscular, e que ocorre a estratégia de compensação entre o peitoral maior e outros músculos nos últimos 50 m.

Para analisar as alterações dos índices técnicos em condição de fadiga, Aujouannet et al. (2006) investigaram os efeitos de um esforço máximo de 200 m de alta intensidade em nadadores de alto nível sobre os parâmetros espaciais e temporais, musculares e fisiológicos. Assim os atletas nadaram 4 x 50 m em intensidade máxima e a força isométrica de flexão do braço, com o cotovelo fletido a 90° antes e após o teste de nado. Os sinais de EMG dos músculos bíceps e tríceps braquial do lado direito, concentrações de lactato sanguíneo foram registrados antes e após os tiros os 200 m. Foi verificado que após o teste de natação, a força dos músculos flexores do cotovelo e extensores do cotovelo e a frequência mediana de potência da EMG diminuíram significativamente enquanto que a concentração de lactato no sangue aumentou significativamente. Os autores sugeriram que o aumento da FB e da velocidade de braçada podem estar relacionados com a fadiga muscular.

Em condição de fadiga, o nadador apresenta capacidade reduzida de produzir força, e consequentemente o tempo relativo das fases propulsivas é maior (ALBERTY et al., 2008). Portanto, muitos estudos sugerem que a queda nos parâmetros técnicos na braçada, em diferentes distâncias de deslocamento, ocorre em parte devido à fadiga (ALBERTY et al., 2005, 2009; WELLS, DUFFIN e PLYLEY, 2001; DEKERLE et al., 2005; CRAIG et al., 1985; PELARIGO et al., 2010; SCHNITZLER et al., 2011; LAFFITE et al., 2004). Desse modo, há o aumento considerável da concentração de

lactato, a queda do CB, da FB e do IB, o aumento da atividade muscular dos principais músculos utilizados na braçada, e a mudança na ativação dos músculos dos membros superiores de acordo com ação muscular durante a braçada.

### **3.4. Efeito de exercícios exaustivos na técnica de nado**

Estudos na literatura que analisaram as respostas dos parâmetros da técnica de nado ao longo de provas competitivas reais ou simuladas (CRAIG et al., 1985; ALBERTY et al., 2008), nas quais há a variação da velocidade, como também em testes de velocidade constante (DEKERLE et al., 2005; ALBERTY et al., 2009; PELARIGO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2012), nos quais o impulso é mantido, há uma modificação da técnica de nado ao longo do exercício, para se tentar manter a velocidade de nado. No entanto, na primeira condição (competições), de maneira geral, há uma redução da FB e do CB, enquanto que na segunda condição (velocidade constante), há um aumento da FB e uma redução do CB. A redução do CB particularmente, representa a redução no trabalho por braçada e a eficiência propulsiva (TOUSSAINT e BEEK, 1992). No entanto, apesar da alteração dos parâmetros da técnica de nado terem sido associadas à fadiga, poucos estudos analisaram a força muscular nestas condições.

Em trabalho realizado por Alberty et al. (2005) em que foi analisado as variações de velocidade e da técnica de nado durante um esforço máximo de 200 m de crawl, com duração média de 2 min e 9 s, os autores verificaram que valores médios do CB foram significativamente maiores nos primeiros 50 m quando comparado com as demais parciais de 50 m. Houve uma redução de 7,9% no CB entre o primeiro e o quarto 50 m. Para os valores médios da FB foi observado queda significativa de 5,2% no quarto 50 m, em relação ao primeiro. A velocidade apresentou redução de 12,6% e o índice de coordenação (IdC), o qual expressa o tempo que separa o começo da fase propulsiva de um braço e o final da fase propulsiva do outro braço, apresentou um aumento de 3,79%, do primeiro para o quarto 50 m. Segundo esses autores, essas modificações da braçada durante o nado crawl podem estar relacionadas à resistência muscular limitada, que é importante para a manutenção de velocidade alta. Outra possível explicação para os resultados obtidos é o efeito da fadiga metabólica nos índices técnicos, a qual pode estar relacionada com a queda de habilidade do nado sendo assim representada pela queda do CB e o aumento da FB.

Dekerle et al. (2005) observaram que o CB e a FB correspondentes à MLSS (88% da velocidade máxima de 400 m - V400), foram similares ao obtido na maior velocidade que o nadador conseguiu realizar mantendo o seu máximo CB. Acima dessa velocidade (MLSS<sub>+5%</sub>), houve queda significativa no CB e um aumento relevante na FB. Em estudo semelhante Pelarigo et al. (2010) ao analisarem o comportamento das variáveis técnicas e das fases da braçada na condição de 100%MLSS e 102,5%MLSS, em nadadores de longa distância, verificaram que o CB e a FB correspondentes à MLSS não se alteraram do 10<sup>o</sup> para o 30<sup>o</sup> min. O mesmo aconteceu para a duração das fases da braçada, as quais se mantiveram semelhantes durante todo teste. Acima da MLSS a FB aumentou (30,9 e 32,2 ciclos.min.<sup>-1</sup>) e o CB diminuiu (2,47 e 2,38 m.ciclo<sup>-1</sup>) significativamente entre 10<sup>o</sup> para o 30<sup>o</sup> min. Com isso autores sugeriram que pode haver uma possível relação entre a fadiga metabólica e a queda na habilidade de nado, representada pela queda do CB e o aumento da FB, já que em intensidades acima da MLSS houve queda no CB.

Em estudo realizado por Alberty et al. (2009) foi verificado aumento progressivo da FB, o qual foi associada com uma queda no CB ao longo do tempo em testes de velocidade constante, a 95%, 100% e 110%V400. Foi analisado também o IdC, o qual expressa o tempo que separa o começo da fase propulsiva de um braço e o final da fase propulsiva do outro braço, e que apresentou aumento gradual, 4,6%, 2,8% e 2% nas respectivas intensidades. Demonstrando que em situação de fadiga, além das alterações dos índices técnicos há também o aumento na duração das fases propulsivas e queda nas fases de recuperação.

Portanto, os estudos sugerem que pode haver uma relação entre os parâmetros fisiológicos e os parâmetros de técnica de nado (ALBERTY et al., 2005, 2009; WELLS, DUFFIN e PLYLEY, 2001; DEKERLE et al., 2005; CRAIG et al., 1985). Porém pouco se sabe sobre a relação desta com os parâmetros neuromusculares em diferentes condições exaustivas.

#### **4. JUSTIFICATIVA**

Tendo em vista que as competições mundiais estão exigindo cada vez mais dos atletas, milésimos de segundo estão sendo o diferencial dos nadadores na quebra de recordes. Estudos têm demonstrado que a queda na performance está relacionada ao desenvolvimento da fadiga. Esta modifica os parâmetros fisiológicos (ALBERTY et al., 2005, 2009; WELLS, DUFFIN e PLYLEY, 2001; DEKERLE et al., 2005; CRAIG et al., 1985) e neuromusculares (AUJOUANNET et al., 2006; IKUTA et al., 2012; STIRN et al., 2011; FIGUEIREDO et al., 2013a), influenciando as variáveis técnicas de nado e o alinhamento corporal.

Sendo assim, analisar o comprometimento da técnica associado com a perda de força muscular em testes de diferentes intensidades no nado crawl, poderá contribuir para o entendimento dos fatores importantes para a performance na natação. São poucos os estudos a respeito da relação entre fadiga e alteração da técnica de nado. Assim os resultados deste estudo serão de fundamental importância para a compreensão da relação entre fadiga e habilidade de nado em condições exaustivas, o que pode ter importantes implicações para a avaliação e a prescrição do treinamento na natação.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. Delineamento experimental**

Os indivíduos foram submetidos aos seguintes protocolos, em dias diferentes: 1) Inicialmente foram obtidas as medidas antropométricas e logo em seguida foi feita a familiarização ao dinamômetro, os atletas também realizaram performance máxima na distância de 400 m, em uma piscina de 25 m para determinar a performance aeróbia (V400) 2) Testes de força no dinamômetro isocinético, para a determinação do PTI, PTC60, PTC180 e TDF, realizados imediatamente antes e após um teste na natação em velocidade constante até a exaustão a 100%V400; 3) Foram realizados os mesmos testes e na mesma ordem dos feitos no segundo dia.

Os indivíduos compareceram ao local do teste, com um intervalo entre os testes de no mínimo 48 h, e foram instruídos a não treinarem exaustivamente no dia anterior à avaliação e a comparecerem alimentados e hidratados no dia do teste. Todos os testes foram executados no mesmo horário do dia. O protocolo do teste de força foi o mesmo para os dois membros, que foram testados de forma aleatória.

### **5.2. Sujeitos**

Participaram deste estudo, 15 nadadores meio fundistas e fundistas do gênero masculino com idades entre 18 e 28 anos e que participavam regularmente de competições de nível regional a nacional. Os mesmos tinham pelo menos 3 anos de experiência na modalidade e 12 horas semanais de treinamento. Os indivíduos eram considerados saudáveis, não eram fumantes e que não faziam uso regular de qualquer tipo de medicamento. Todos foram informados sobre os procedimentos do experimento e suas implicações, e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido para participar deste estudo. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição.

### **5.3. Avaliação antropométrica**

Foram mensuradas as seguintes variáveis antropométricas: massa corporal (kg), estatura (cm), envergadura (distância entre os dedos médios, o indivíduo em pé, braços estendidos e ombros em abdução de 90°), dobras cutâneas (tríceps braquial, suprailíaca e subescapular) e percentual de gordura corporal (GUEDES e GUEDES, 1988; SIRI, 1961).

#### 5.4. Determinação do PT e da TDF

Para determinar o PTI e a TDF os atletas foram colocados na posição sentada em um dinamômetro (Biodex System 3, Biodex Medical Systems, Shirley, NY, EUA). Cada voluntário foi estabilizado na cadeira com dois cintos cruzados a 30°, e cada cinto foi colocado a partir do ombro e fixado ao lado da cintura oposta. O voluntário deveria permanecer em contato com a cadeira durante todo o teste para evitar movimentos do tronco.

Na mensuração de força isométrica, os ângulos adotados foram baseados em estudos onde o PTI foi semelhante aos do presente estudo. Assim, para os músculos FC os sujeitos permaneceram sentados com o cotovelo apoiado em uma almofada, com flexão do cotovelo de 90° e a mão na posição supinada. Para os músculos EC, a posição foi semelhante, somente a posição da mão foi diferente, que foi pronada (GIROLD et al., 2007). Todos os testes foram realizados com o membro dominante, de forma randômica com o primeiro voluntário, e sendo os grupos musculares alternados nos próximos sujeitos. Contudo, no mesmo voluntário, os testes foram feitos na mesma sequência antes e após o teste exaustivo na natação.

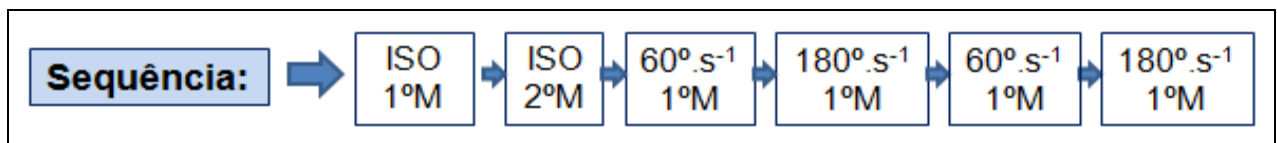
Para a determinação do PTI, foram realizadas duas contrações isométricas voluntárias máximas, sendo que cada contração foi realizada por um período de 3 s, com descanso de 2 minutos entre cada contração. A instrução dada aos voluntários foi que comesçassem a contração o mais rápido e forte possível, mantendo o esforço até o fim dos 3 s. Foi utilizada para análise do PTI e TDF a contração com maior pico de torque. Para a análise da TDF um módulo de aquisição de sinais biológicos (ADS 1000, LYNX) foi sincronizado ao dinamômetro com frequência de sinal de 1000 Hz. Os dados de torque obtidos de todas as contrações dos testes foram filtrados (filtro Butterworth, quarta ordem) e analisados no *software* MatLab 6.5. Para a determinação da TDF, foi estipulado como sendo o início da contração o momento em que o valor de torque for maior que 7,5 N.m (AAGAARD et al., 2002). A TDF foi considerada como sendo o maior valor da inclinação da curva momento-tempo a cada intervalo de 1 ms relativo ao início da contração.

Para a determinação do PTC60 e PTC180 o posicionamento dos voluntários foi similar ao descrito para as contrações isométricas. No entanto, para as contrações isocinéticas do músculo tríceps braquial, a posição inicial foi quando o cotovelo estivesse flexionado em 90°, e a final em 180° (extensão total) sendo a amplitude de movimento de 90° (JURIMAE e ABERNETHY, 1996). Para o músculo bíceps braquial

a posição foi semelhante, somente o antebraço mudou, pois ficou na posição supinada, sendo a posição inicial quando o braço estivesse em extensão total e a final com o cotovelo flexionado a  $120^\circ$  (amplitude de movimento de  $120^\circ$ ) (GAUTHIER et al., 2001).

Para determinar o PTC60 e o PTC180 foram realizadas 5 contrações isocinéticas máximas concêntricas. Este procedimento foi executado nas velocidades de  $60^\circ.s^{-1}$  e  $180^\circ.s^{-1}$ . Para a determinação do PTC60 e o PTC180 foi considerado o maior valor atingido nas contrações, nas respectivas velocidades.

Os testes foram realizados na seguinte sequência de contração: 1) Isométrico concêntrico para os dois músculos; 2) Isocinético concêntrico na velocidade  $60^\circ.s^{-1}$  e  $180^\circ.s^{-1}$ , a ordem dos músculos foi a mesma da contração isométrica; para o primeiro voluntário foi realizado um sorteio para verificar com qual músculo ele iniciaria a contração, assim os seguintes sujeitos alternavam o músculo que começaria a sequência (Figura1). Contudo, estes foram feitos na mesma sequência nos dois dias, antes e após o teste exaustivo na natação (Figura 1).



**Figura 1.** Esquematização da sequência da realização do protocolo de força.

### 5.5. Testes máximos na natação

Para determinar a *performance* aeróbia foi realizado um teste de performance máxima na distância de 400 m (V400) com saída de dentro da piscina. Anteriormente ao teste foi realizado um aquecimento de 10 min, com exercícios em intensidade baixa. O tempo do teste foi registrado por meio de um cronômetro manual.

Após a determinação da V400, foram realizados mais um teste em velocidade constante até a exaustão, a 100%V400. Para o controle da velocidade no teste exaustivo a 100%V400, foram colocadas marcações no fundo da piscina a cada 5 m. O ritmo foi determinado por meio de bipes gravados em um aparelho MP3 (Acqua Player, Mormaii, Garopaba, Brasil) que tocaram em intervalos constantes, na velocidade determinada. Assim, o nadador deveria estar passando em cima de uma das marcas ou estar virando ao ouvir o sinal sonoro. O teste foi realizado até a

exaustão ou quando o voluntário não conseguisse manter a velocidade, mesmo com estímulos verbais e visuais.

### 5.6. Determinação dos índices técnicos

Os testes de velocidade constante foram filmados, por meio de uma filmadora com frequência de amostragem de 60 Hz (Samsung, Brasil). Os índices técnicos FB e CB foram determinados em todos os testes. Foi considerado o percurso de 12,5 m compreendido entre os 10 m e os 22,5 m da piscina. A última piscina considerada foi a que precedeu duas piscinas consecutivas com velocidade menor do que 97,5% da requerida (SEIFERT et al., 2004). Para as análises do efeito do exercício nos parâmetros técnicos foram considerados a média dos valores obtidos na primeira piscina e na última piscina completa nadada (25 m). A FB foi calculada utilizando o tempo necessário para se realizar cinco ciclos completos de braçadas, e expressa em  $\text{ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$ . O CB foi calculado dividindo-se a velocidade pela FB e expresso como  $\text{m} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ .

As equações para a determinação da FB, do CB e do IB foram:

$$\text{FB} = 5/\text{T5B}$$

$$\text{CB} = v/\text{FB}$$

(v = velocidade, T5B = tempo de cinco braçadas em segundos)

O IdC foi determinado através da análise de duas braçadas com o braço esquerdo e uma com o braço direito, totalizando três braçadas (CHOLLET et al., 2000). O movimento de cada braço foi dividido em quatro fases, com suas respectivas durações:

Fase A - Entrada e agarre da mão na água – da entrada da mão na água ao início de seu movimento para trás.

Fase B – Puxada - do início do movimento da mão para trás até que a mão esteja em uma posição perpendicular ao ombro, abaixo do mesmo. Primeira fase propulsiva.

Fase C - Empurre – inicia com a mão na posição perpendicular ao ombro até a saída da água. Segunda fase propulsiva.

Fase D - Recuperação - da saída da mão até a sua entrada novamente na água.

A duração das fases da braçada foi determinada com a precisão de 0,02 s e expressa como a porcentagem da duração de uma braçada completa. A duração das

fases propulsivas foi a soma das fases B e C e das fases não-propulsivas a soma das fases A e D. Além das fases da braçada, foram determinados os intervalos de tempo entre o começo da propulsão (fase B) do braço direito e o final da propulsão (fase C) do braço esquerdo (LT1), e entre o começo da propulsão (fase B) do segundo movimento do braço esquerdo e o final da propulsão (fase C) do braço direito (LT2). O LT1 e LT2 foram expressos como uma porcentagem da duração média de um ciclo de braçada e o IdC correspondeu à média dos dois valores.

De acordo com o valor de IdC, o modelo de ação dos braços foi classificado em: a) Oposição - nesse modelo um braço inicia a primeira fase propulsiva (puxada) quando o outro termina a segunda fase propulsiva (empurre). Nesse caso o IdC é igual a zero; b) Alcançar - nesse modelo há um breve intervalo de tempo entre o início da primeira fase propulsiva (puxada) de um braço e o final da segunda fase propulsiva (empurre) do outro braço. Nesse caso o IdC é menor do que zero (negativo), e; c) Sobreposição - nesse modelo há uma sobreposição de parte da primeira fase propulsiva (puxada) de um braço e do final da segunda fase propulsiva (empurre) do outro braço. Nesse caso o IdC é maior do que zero (positivo).

### **5.7. Análise estatística**

Os valores foram expressos como média  $\pm$  DP. A existência da normalidade foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk. Para a análise da reprodutibilidade das variáveis de força foi utilizado o teste *t* Student. Foram calculados o coeficiente de correlação intraclass (ICC), o erro típico (ET) e o intervalo de confiança (IC95%) das medidas. O efeito do exercício exaustivo na força, potência e técnica de nado foi analisado pelo teste *t* Student para dados pareados. O efeito do exercício exaustivo no índice de coordenação foi analisado pelo teste de Wilcoxon. A relação entre a resposta dos parâmetros da força e potência muscular (PTI e TDF, respectivamente) com os parâmetros da técnica de nado (FB, CB, IB e fases da braçada) foi realizada por meio do teste de correlação de Spearman. O nível de significância adotado foi de  $p < 0,05$ .

## 6. Resultados

### 6.1. Avaliação antropométrica e da performance

Os valores médios  $\pm$  DP das características antropométricas (idade, massa corporal, estatura, envergadura e porcentagem de gordura) dos nadadores estão apresentados na tabela 1. A velocidade média mantida pelos nadadores nas condições T1 e T2 foi similar ( $1,34 \pm 0,09 \text{ m.s}^{-1}$  e  $1,35 \pm 0,15 \text{ m.s}^{-1}$ ) ( $p > 0,05$ ). Da mesma forma, a duração dos testes exaustivos nas condições T1 e T2 foi similar ( $227,7 \pm 30,3 \text{ s}$  e  $217,0 \pm 35,2 \text{ m}$ , respectivamente).

**Tabela 1.** Valores médios  $\pm$  DP das características antropométricas. N = 15

|                                      | <b>Estatura<br/>(m)</b> | <b>Massa corporal<br/>(Kg)</b> | <b>Envergadura<br/>(m)</b> | <b>% de<br/>Gordura</b> | <b>Idade<br/>(anos)</b> |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Média <math>\pm</math><br/>DP</b> | $1,77 \pm 0,06$         | $74,37 \pm 9,09$               | $1,83 \pm 0,08$            | $14,2 \pm 4,56$         | $24 \pm 5$              |

### 6.2. Reprodutibilidade do pico de torque e da taxa de desenvolvimento de torque

Os resultados obtidos nos testes 1 (T1) e 2 (T2), para os músculos FC e EC em relação às variáveis PTI, PTC60, PTC180 e TDF não revelou diferença significativa entre os valores obtidos nos testes T1 e T2 ( $p > 0,05$ ) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Valores médios  $\pm$  DP do pico de torque isométrico (PTI), pico de torque concêntrico nas velocidades  $60^\circ\text{s}^{-1}$  (PTC60) e  $180^\circ\text{s}^{-1}$  (PTC180) e da taxa de desenvolvimento de força pico (TDF) dos músculos flexores (FC) e extensores do cotovelo (EC) dos testes de força realizados nos testes 1 (T1) e 2 (T2). N = 15

|                                 | <b>FC</b>       |                   | <b>EC</b>         |                   |
|---------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                 | <b>T1</b>       | <b>T2</b>         | <b>T1</b>         | <b>T2</b>         |
| <b>PTI (N.m)</b>                | $79,9 \pm 19,4$ | $79,2 \pm 19,0$   | $95,1 \pm 28,0$   | $98,8 \pm 30,3$   |
| <b>PTC60 (N.m)</b>              | $48,9 \pm 12,0$ | $50,3 \pm 14,0$   | $70,4 \pm 14,8$   | $73,8 \pm 16,7$   |
| <b>PTC180 (N.m)</b>             | $44,0 \pm 9,70$ | $44,0 \pm 8,81$   | $60,3 \pm 12,2$   | $63,2 \pm 12,3$   |
| <b>TDF (N.m.s<sup>-1</sup>)</b> | $531,1 \pm 206$ | $458,4 \pm 195,2$ | $414,9 \pm 188,6$ | $431,6 \pm 139,3$ |

Nas condições T1 e T2, houve correlação significativa para o PTI ( $p < 0,001$ ), PTC60 ( $p < 0,001$ ), PTC180 ( $p < 0,001$ ), e TDF ( $p < 0,001$ ) dos músculos FC. Da mesma forma, houve correlação significativa entre T1 e T2 para o PTI ( $p < 0,001$ ), PTC60 ( $p < 0,01$ ), PTC180 ( $p < 0,001$ ), e TDF ( $p < 0,01$ ) dos músculos EC (Tabela 3).

**Tabela 3.** Correlação intraclass (ICC), intervalo de confiança (IC95%) e erro típico (ET) do pico de torque isométrico (PTI), pico de torque concêntrico nas velocidades  $60^\circ.s^{-1}$  (PTC60) e  $180^\circ.s^{-1}$  (PTC180) e taxa de desenvolvimento de força (TDF) dos músculos flexores (FC) e extensores do cotovelo (EC) dos testes de força realizados nos testes 1 (T1) e 2 (T2). N = 15

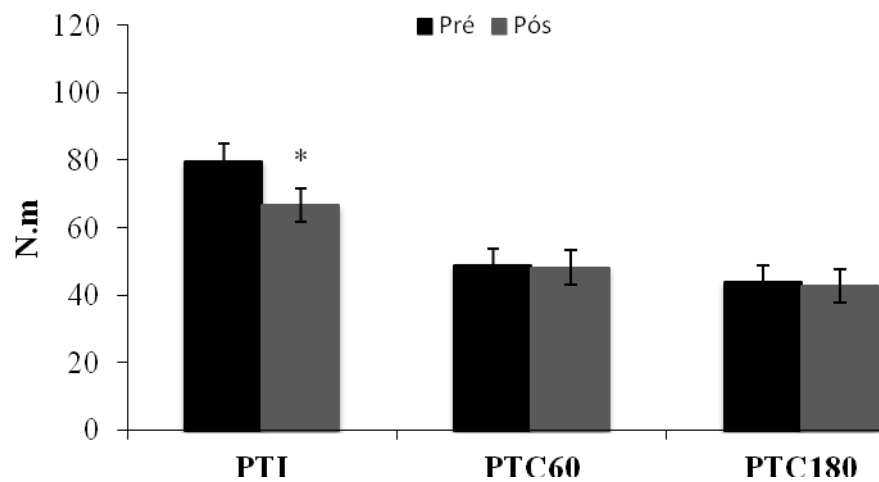
|               | FC    |           |        | EC    |           |        |
|---------------|-------|-----------|--------|-------|-----------|--------|
|               | ICC   | IC 95%    | ET (%) | ICC   | IC95%     | ET (%) |
| <b>PTI</b>    | 0,98* | 0,95-0,99 | 4,53   | 0,98* | 0,94-0,99 | 6,14   |
| <b>PTC60</b>  | 0,95* | 0,84-0,98 | 8,32   | 0,88* | 0,65-0,96 | 11,7   |
| <b>PTC180</b> | 0,91* | 0,73-0,97 | 8,66   | 0,83* | 0,50-0,94 | 9,1    |
| <b>TDF</b>    | 0,91* | 0,74-0,97 | 15     | 0,79* | 0,37-0,93 | 11,7   |

\*Correlação significativa entre o teste 1 e teste 2 ( $p < 0,05$ ).

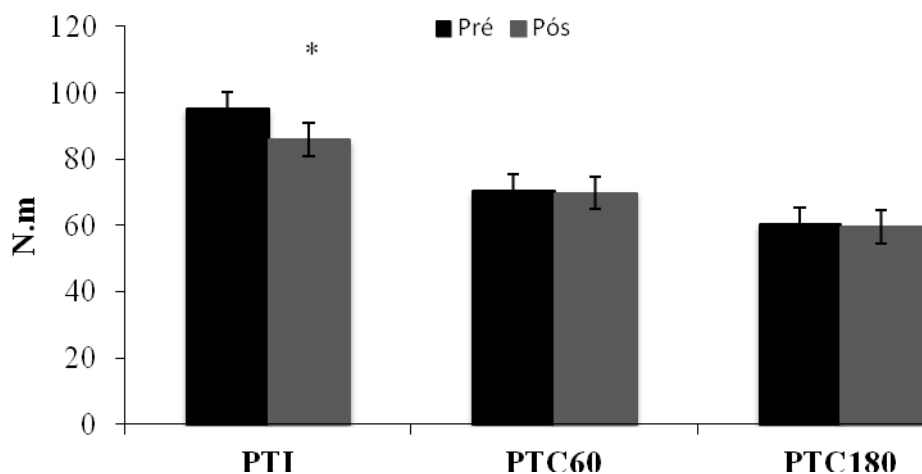
### 6.3. Efeito do exercício exaustivo nos parâmetros neuromusculares

Nos músculos FC foi observado diferença significativa para o PTI nos dados obtidos antes (Pré) e após (Pós) o exercício exaustivo ( $p < 0,05$ ), já para o PTC60 e PTC180 os valores se mantiveram inalterados (Painel A) ( $p > 0,05$ ). Os EC também apresentaram redução significativa do PTI ( $p < 0,05$ ). Porém, para o PTC60 e PTC180 não houve modificação significativa ( $p > 0,05$ ) (Figura 2).

**A**

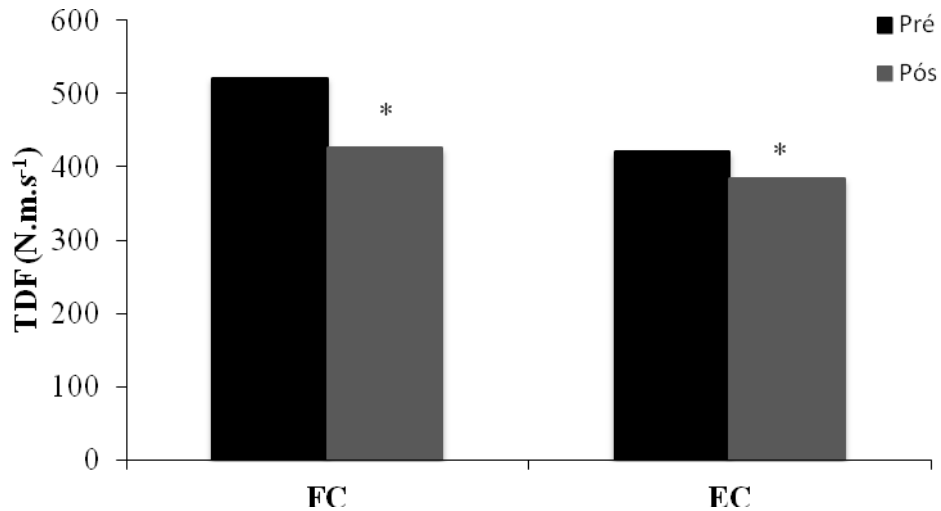


**B**



**Figura 2.** Valores médios  $\pm$  DP do pico de torque isométrico (PTI), pico de torque concêntrico a  $60^\circ.s^{-1}$  (PTC60) e pico de torque concêntrico a  $180^\circ.s^{-1}$  (PTC180) dos músculos flexores do cotovelo (FC) (painel A) e extensores do cotovelo (EC) (painel B) obtidos antes (Pré) e após (Pós) o exercício exaustivo. \*  $p < 0,05$  em relação ao pré. N = 15

Na variável de potência muscular (TDF) os valores médios  $\pm$  DP dos músculos FC e EC demonstraram redução significativa nos dados obtidos antes (Pré) e após (Pós) o exercício exaustivo ( $p < 0,05$ ) (Figura 3).



**Figura 3.** Valores médios  $\pm$  DP da TDF dos músculos flexores do cotovelo (FC) e extensores do cotovelo (EC) obtidos antes (Pré) e após (Pós) o exercício exaustivo. N = 15

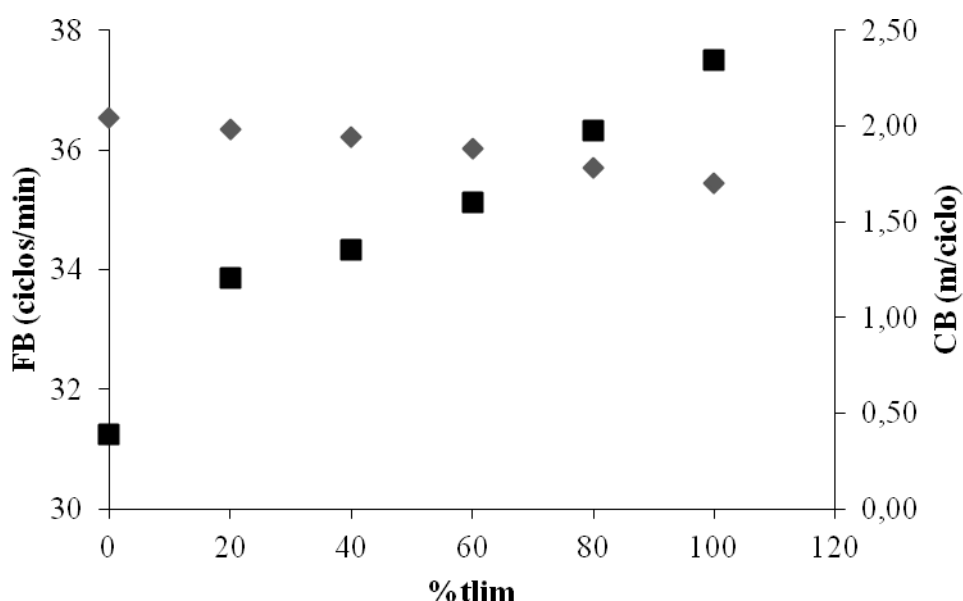
#### 6.4. Resposta dos índices técnicos durante o exercício exaustivo

Os nadadores apresentaram alterações significantes para a FB e o CB no início e no final do teste realizado na velocidade constante. O CB diminuiu significantemente, enquanto a FB apresentou aumento significante ( $p < 0,05$ ). A FB e o CB variaram  $11 \pm 8\%$  e  $15 \pm 7\%$ , respectivamente (Tabela 4). O comportamento das variáveis técnicas ao longo do nado foi representado por apenas um voluntário (Figura 4).

**Tabela 4.** Valores médios  $\pm$  DP da frequência de braçada (FB) e do comprimento de braçada (CB) no início e no final do teste exaustivo. N = 15

|                                     | Início          | Final            | Significância |
|-------------------------------------|-----------------|------------------|---------------|
| <b>FB (ciclos.min<sup>-1</sup>)</b> | 37,2 $\pm$ 3,14 | 41,3 $\pm$ 5,32* | p < 0,001     |
| <b>CB (m.ciclo<sup>-1</sup>)</b>    | 1,96 $\pm$ 0,22 | 1,68 $\pm$ 0,29* | p < 0,001     |

\*Diferença significativa em relação ao início do nado constante (p < 0,05).



**Figura 4.** Resposta dos índices técnicos durante o exercício exaustivo, para um voluntário representativo. FB - frequência de braçada e CB - comprimento de braçada.

A duração das fases da braçada expressa em valor absoluto apresentaram modificações significantes entre o início e o final do teste exaustivo. As fases propulsivas B (12%) e C (7%) aumentaram significantemente entre o início e o final do teste na velocidade constante, à medida que as fases não propulsivas A (61%) e D (28%) demonstraram queda significante (p < 0,05) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Valores médios  $\pm$  DP das fases da braçada absoluta no início e no final do teste realizado na velocidade constante. N = 15

|                   | <b>Início</b>   | <b>Final</b>     | <b>Significância</b> |
|-------------------|-----------------|------------------|----------------------|
| <b>Fase A (s)</b> | 0,55 $\pm$ 0,21 | 0,40 $\pm$ 0,25* | p < 0,001            |
| <b>Fase B (s)</b> | 0,52 $\pm$ 0,09 | 0,61 $\pm$ 0,13* | p = 0,02             |
| <b>Fase C (s)</b> | 0,42 $\pm$ 0,07 | 0,45 $\pm$ 0,07* | p = 0,03             |
| <b>Fase D (s)</b> | 0,49 $\pm$ 0,05 | 0,38 $\pm$ 0,04* | p < 0,001            |

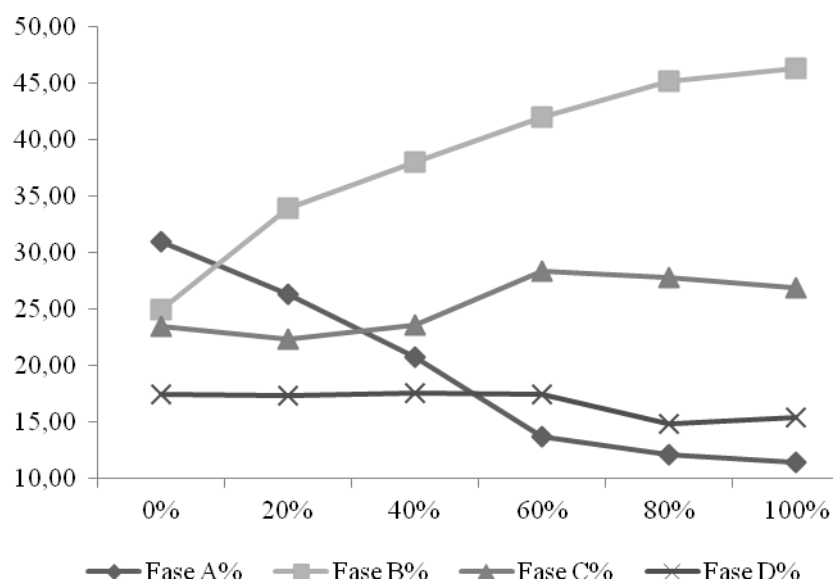
\*Diferença significativa em relação ao início do nado constante (p < 0,05).

As fases da braçada expressas em valor relativo também apresentaram modificações significantes entre o início e o final do teste exaustivo. Assim como na duração das fases da braçada absoluta, as fases propulsivas B e C também aumentaram significativamente entre o início e o final do teste na velocidade constante, à medida que as fases não propulsivas A e D também demonstraram queda relevante (p < 0,05). O IdC também apresentou aumento significativo em relação ao início do teste de exaustão (p < 0,05) (Tabela 6). Para verificar as modificações das fases da braçada ao longo do teste exaustivo, as fases não propulsivas (A e D) e propulsivas (B e C) foram representadas por um voluntário (Figura 5).

**Tabela 6.** Valores médios  $\pm$  DP das fases da braçada relativa no início e final do teste realizado na velocidade constante. N = 15

|                   | <b>Início</b>    | <b>Final</b>     |
|-------------------|------------------|------------------|
| <b>Fase A (%)</b> | 27,2 $\pm$ 8,73  | 20,8 $\pm$ 11,6* |
| <b>Fase B (%)</b> | 26,5 $\pm$ 4,07  | 33,3 $\pm$ 7,03* |
| <b>Fase C (%)</b> | 21,1 $\pm$ 3,73  | 24,9 $\pm$ 4,84* |
| <b>Fase D (%)</b> | 25,0 $\pm$ 3,68  | 20,1 $\pm$ 3,20* |
| <b>IdC (%)</b>    | -3,17 $\pm$ 13,7 | 8,48 $\pm$ 15,4* |

\*Diferença significativa em relação ao início do nado constante ( $p < 0,05$ ).



**Figura 5.** Resposta das fases da braçada não propulsivas (A e D) e propulsivas (B e C) durante o exercício exaustivo, para um voluntário representativo.

### 6.5. Parâmetros neuromusculares x Índices técnicos

A modificação do PTI dos músculos FC demonstrou correlação significativa com a variação dos índices técnicos FB e CB ( $p < 0,05$ ). Já para a TDF dos FC não houve correlação significativa com as alterações das variáveis técnicas ( $p < 0,05$ ). Os músculos EC não apresentaram correlação significativa entre variação do PTI e da TDF com os índices técnicos FB e CB ( $p > 0,05$ ) (Tabela 7).

**Tabela 7.** Correlações das variações do pico de torque isométrico (PTI) e da taxa de desenvolvimento de força (TDF) dos músculos flexores do cotovelo (FC) e extensores do cotovelo (EC) com a variação dos índices técnicos frequência de braçada (FB) e comprimento de braçada (CB). N = 15

| FC                         |                             |                                |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|                            | CB (m.ciclo <sup>-1</sup> ) | FB (ciclos.min <sup>-1</sup> ) |
| PTI (N.m)                  | $r = 0,69^*$<br>$p = 0,02$  | $r = -0,54^*$<br>$p = 0,02$    |
| TDF (N.m.s <sup>-1</sup> ) | $r = 0,31$<br>$p = 0,13$    | $r = -0,16$<br>$p = 0,29$      |
| EC                         |                             |                                |
|                            | CB (m.ciclo <sup>-1</sup> ) | FB (ciclos.min <sup>-1</sup> ) |
| PTI (N.m)                  | $r = 0,41$<br>$p = 0,06$    | $r = -0,39$<br>$p = 0,08$      |
| TDF (N.m.s <sup>-1</sup> ) | $r = -0,21$<br>$p = 0,22$   | $r = 0,22$<br>$p = 0,21$       |

\*Correlação significativa entre as alterações das variáveis neuromusculares (PTI e TDF) com o comprimento de braçada (CB) e frequência de braçada (FB).

Em relação às modificação das fases da braçada e ao IdC somente a fase D apresentou correlação significativa com a alteração no PTI dos FC ( $p < 0,05$ ). Já para a TDF houve correlação significativa com a variação da fase B e D ( $p < 0,05$ ). Nos músculos EC houve correlação significativa entre a variação do PTI com as modificações das fases A e fases A+D ( $p < 0,05$ ). A TDF não demonstrou correlação significativa com o IdC e também nenhuma das fases ( $p > 0,05$ ) (Tabela 8).

**Tabela 8.** Correlações das variações do pico de torque isométrico (PTI) e da taxa de desenvolvimento de força (TDF) dos músculos flexores do cotovelo (FC) e extensores

do cotovelo (EC) com a variação das fases A, B, C e D e o índice de coordenação (IdC). N = 15

| FC                              |                        |                        |                        |                       |                        |                        |                       |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
|                                 | Fase A                 | Fase B                 | Fase C                 | Fase D                | Fases A+D              | Fases B+C              | IdC                   |
| <b>PTI (N.m)</b>                | r = 0,34<br>p = 0,11   | r = -0,21<br>p = 0,23  | r = -0,26<br>p = 0,17  | r = 0,52*<br>p = 0,02 | r = 0,38<br>p = 0,08   | r = -0,31<br>p = 0,13  | r = -0,08<br>p = 0,39 |
| <b>TDF (N.m.s<sup>-1</sup>)</b> | r = 0,18<br>p = 0,64   | r = -0,48*<br>p = 0,04 | r = -0,37<br>p = -0,09 | r = 0,46*<br>p = 0,04 | r = 0,27<br>p = 0,17   | r = -0,26<br>p = 0,18  | r = -0,23<br>p = 0,21 |
| EC                              |                        |                        |                        |                       |                        |                        |                       |
|                                 | Fase A                 | Fase B                 | Fase C                 | Fase D                | Fases A+D              | Fases B+C              | IdC                   |
| <b>PTI (N.m)</b>                | r = 0,70*<br>p = 0,002 | r = -0,27<br>p = 0,16  | r = -0,23<br>p = 0,21  | r = -0,13<br>p = 0,48 | r = 0,64*<br>p = 0,005 | r = -0,54*<br>p = 0,02 | r = 0,01<br>p = 0,49  |
| <b>TDF (N.m.s<sup>-1</sup>)</b> | r = -0,25<br>p = 0,19  | r = -0,17<br>p = 0,28  | r = 0,14<br>p = 0,31   | r = -0,09<br>p = 0,38 | r = -0,18<br>p = 0,26  | r = 0,18<br>p = 0,25   | r = 0,23<br>p = 0,20  |

\*Correlação significativa entre as alterações das variáveis neuromusculares (PTI e TDF) com as modificações nas fases da braçada (A, B, C, D), fases propulsivas (B+C), fases não propulsivas (A+D) e índice de coordenação (IdC) ( $P < 0,05$ )

## **7. Discussão**

Os principais achados deste estudo foram a alta reprodutibilidade do PT, mensurado de forma isométrica e concêntrica em diferentes velocidades e da TDF em músculos do membro superior. Além disso, observou-se que o exercício exaustivo aeróbio de alta intensidade tende a gerar alterações tanto na técnica de nado como na força e potência muscular. De maneira geral, as alterações da força máxima isométrica e potência muscular foram relacionadas com as modificações da técnica de nado. Dessa forma, é possível sugerir que a modificação da técnica de nado em exercícios exaustivos aeróbios e de alta intensidade é, pelo menos em parte, ocasionada pela fadiga muscular. Os resultados confirmam estudos da literatura, os quais sugerem que a fadiga é um dos fatores que podem contribuir para a redução da capacidade de gerar força propulsiva e da modificação da técnica de nado, ao longo de exercícios exaustivos. Portanto, estratégias que reduzam o nível de fadiga gerado pelo exercício podem ter implicações importantes no comprometimento da técnica de nado nestas condições.

### **7.1. Reprodutibilidade dos parâmetros de força e potência muscular**

Os valores médios obtidos para as variáveis de força e potência nos FC e EC foram semelhantes entre o T1 e T2. Ao se analisar a correlação entre T1 e T2 foi verificada alta reprodutibilidade e confiabilidade do PTI, PTC60, PTC180 e TDF para os ambos os músculos, uma vez que os valores de ICC obtidos foram maiores que 0,75. De acordo com Hopkins (2000), quanto menor for o ET e mais próximo o valor de ICC de 1, maior é a reprodutibilidade das medidas. Os dados são considerados altamente reprodutíveis quando os ICCs obtidos forem maiores do que 0,75 (FLEISS et al., 2003)

Os valores de pico de torque apresentaram maior variabilidade na contração isocinética de alta velocidade. Segundo Vasconcelos et al. (2009), as contrações concêntricas isocinéticas apresentam maior variabilidade nas medidas de teste e reteste em relação às isométricas. Aparentemente há uma menor reprodutibilidade do pico de torque em condições de contração de alta velocidade. Este fato pode estar relacionado a curta duração de movimentos de alta velocidade e a menor reprodutibilidade dos ergômetros nestas condições. Segundo Hopkins et al. (2001) o

coeficiente de variação aumenta de acordo com a velocidade de contração isocinética.

Resultados semelhantes foram encontrados ao se analisar a reprodutibilidade dos músculos flexores de joelho, nas contrações isométricas e isocinética a 60 e 180°s<sup>-1</sup> (ICC = 0,97, 0,96 e 0,90, respectivamente) (MAFFIULETTI et al., 2007; KESKULA et al., 1995). Em estudo no qual foi analisado a confiabilidade das medidas do Biodex em velocidade isocinética a 60°s<sup>-1</sup> nos músculos FC e EC, foram encontrados elevados valores de ICC entre o teste e o re-teste, de 0,97 e 0,93, respectivamente (LUND et al., 2005). Entretanto, Griffin (1987) encontrou valores de ICC um pouco menores ao analisar a reprodutibilidade do pico de torque concêntrico a 30°s<sup>-1</sup> para os FC (ICC = 0,83) e a 120°s<sup>-1</sup> para a contração excêntrica dos FC (ICC = 0,73).

Em relação a TDF, poucos estudos analisaram a reprodutibilidade desta variável. No presente trabalho, a TDF também não apresentou valores estatisticamente diferentes entre os dias de avaliação, demonstrando ser reprodutível. Com relação aos valores observados, esse estudo parece ser o primeiro que quantificou esta variável nos FC e EC, em nadadores treinados. Kilduff (2002) e Pryor et al. (1994) analisaram a TDF em homens treinados no banco de supino reto, com os ombros flexionados a 90°, realizando força isométrica, e verificaram reprodutibilidade (ICC = 0,82) das medidas. Porém, ao considerar as respostas no ângulo a 120° não foi verificado confiabilidade nos dados de TDF (ICC = 0,47) (MURPHY, 1995).

Portanto, este trabalho sugere que o PTI, PTC60, PTC180 e a TDF dos músculos FC e EC se apresentaram como variáveis altamente confiáveis e reprodutíveis, para avaliação de força e potência na natação.

## **7.2. Efeito do exercício exaustivo nos parâmetros de força e potência muscular**

De maneira geral, os estudos que verificaram mudanças na resposta da técnica de nado, tanto em situações que simulassem provas competitivas (CRAIG et al., 1985; SCHNITZLER et al., 2007; LAFFITE et al., 2004) quanto testes de velocidade constante (DEKERLE et al., 2005, PELARIGO et al., 2011; ALBERTY et al., 2009) sugerem que a redução da capacidade de gerar força propulsiva poderia estar comprometida. Dessa forma, neste estudo, foi analisado parâmetros de força

(PTI, PTC60 e PTC180) e potência (TDF) muscular antes e após um exercício exaustivo de alta intensidade, realizado em velocidade constante.

Os resultados obtidos demonstraram queda significativa do PTI nas medidas pré e pós exercício exaustivo, para os dois grupos musculares analisados, sugerindo o aparecimento da fadiga. Estudos verificaram que o pico de torque tende a diminuir de 20 a 30% nos músculos extensores de joelho após um exercício prolongado no ciclismo (BOOTH et al., 1997; PRESLAND et al., 2005; SAHLIN e SEGER, 1995).

Estudos na natação que utilizaram a resposta da atividade eletromiográfica (iEMG) para a análise da fadiga interpretaram o aumento da amplitude da iEMG como um sinal de fadiga neuromuscular devido à diminuição da velocidade de propagação da fibra muscular, ao aumento da taxa de disparo das unidades motoras e maior recrutamento e sincronização das unidades motoras. Estas respostas têm sido consideradas indicadores de fadiga (GANDEVIA, 2001; LOWERY e O'MALLEY, 2003).

Na natação, os trabalhos tem observado o aumento da iEMG (%) para diferentes músculos, como os rotadores externos e internos do ombro durante um teste de 400 m (MONTEIL et al., 1993), para o deltóide, nadando na velocidade de 1,3 e 1,4 m.s<sup>-1</sup> até a exaustão (WAKAYOSHI et al., 1994), para o flexor ulnar do carpo e o tríceps braquial em protocolo de 4 × 100 m a 85% do melhor desempenho de 100 m (ROUARD et al., 1997), e para os músculos tríceps braquial e grande dorsal, durante um teste máximo de 100 m no nado crawl (STIRN et al., 2011). Resultados semelhantes foram encontrados em outras atividades esportivas, no ciclismo, nos músculos vasto lateral, vasto medial, adutor magno e longo (HOUSH et al., 2000; WATANABE et al., 2009) e corrida, no músculos vasto lateral (KELLIS e LIASSOU, 2009; PATRAS et al., 2009).

Em relação ao PTI, resultados semelhantes aos do presente estudo foram encontrados por Aujounnet et al. (2006), ao analisarem a força máxima isométrica antes e após um teste intermitente máximo de 200 m, em uma posição da braçada que simulava a posição do nadador no nado crawl. Especificamente, com o nadador deitado em um banco de nadar, com um palmar na mão, o qual estava ligado a um medidor de tensão, permitindo que o nadador gerasse sua maior força com o antebraço em posição pronada. Neste estudo, houve uma queda de 14% na força muscular, similar aos níveis de redução do PTI verificados no presente trabalho.

Ao analisar o PTC nas contrações isocinéticas não foi observado modificação desta variável, para os dois grupos musculares analisados. Ao comparar a contração isométrica com as realizadas na forma dinâmica, tem sido considerado que a contração isométrica reduz a influência de variáveis externas, como a estabilização da articulação e a atividade sinergista (WILLIAMS e RATEL, 2009). Isto permite a ativação voluntária completa, uma vez que esta tende a recrutar maior quantidade de unidades motoras (NEWHAM et al., 1991). Além disso, tem sido sugerido que há diferenças nos padrões de recrutamento das unidades motoras durante as contrações (KOMI e TESH, 1979).

Os resultados encontrados concordam, em parte, com os resultados relatados por Newham et al. (1991). Neste estudo, os autores analisaram a ativação voluntária dos músculos do quadríceps, com e sem fadiga, durante contrações isométricas voluntárias e isocinéticas em  $20^\circ \cdot s^{-1}$  e  $150^\circ \cdot s^{-1}$ , em jovens. Os músculos foram analisados antes e após um protocolo de 4 min de extensões máximas de joelho, em uma velocidade angular de  $85^\circ \cdot s^{-1}$ . A ativação voluntária foi determinada pela razão entre a alteração da força adicional gerada pela estimulação elétrica e a força gerada por estimulação do músculo em repouso no mesmo ângulo da articulação e da velocidade angular. Nas contrações isométricas e isocinética a  $20^\circ \cdot s^{-1}$  houve redução da atividade (36,4 e 28,8% respectivamente), já na contração isocinética a  $150^\circ \cdot s^{-1}$  não foi encontrado diferença significativa.

Segundo estudos que analisaram as fibras musculares utilizadas em testes isométricos e isocinéticos, foi possível verificar o predomínio de fibras do tipo I em testes isométricos e de velocidade lenta ( $20^\circ$ ), e o aumento do recrutamento de fibras do tipo II com o aumento da velocidade de contração (WENDT e GIBBS, 1973; PERRY-RANA et al., 2002). No presente trabalho o exercício utilizado foi predominantemente aeróbio. Logo, a manutenção nos valores das contrações isocinéticas pode estar relacionada aos diferentes tipos de recrutamento das unidades motoras em contrações isométricas e dinâmicas (GASTIN, 2001). Além disso, pode ocorrer a participação dos músculos sinergistas nesta última. As diferenças nas condições de posição do membro, amplitude de movimento e velocidade de contração entre as condições do exercício exaustivo e do teste de força também podem ser fatores que ajudam a explicar as diferentes respostas encontradas.

Com relação à potência muscular, a TDF apresentou redução significativa após o exercício exaustivo apenas nos FC. Os estudos que analisaram a resposta desta

variável em condições de fadiga em outros esportes, verificaram redução da TDF de músculos do membro inferior após diferentes protocolos realizados no futebol (7 a 8%) (THORLUND et al., 2009) ciclismo (~15 a 26%) (GIRARD et al., 2012), e handebol (16 a 21%) (THORLUND et al., 2008).

Neste trabalho, a queda da TDF nos FC e nos EC pode estar relacionada com a diminuição da velocidade angular do braço e a grande participação desses músculos nas fases propulsivas e de estabilização da articulação do cotovelo durante todo ciclo. Segundo Ikuta et al. (2012) a queda da velocidade angular do braço apresentou correlação significativa com a diminuição do valor médio da amplitude da resposta eletromiográfica do bíceps braquial e tríceps braquial. No estudo de Rouard e Clarys (1995), os autores analisaram a contribuição dos músculos bíceps braquial, tríceps braquial e braquiorradial por meio da eletromiografia, no ciclo de braçada, que foi dividido em quatro partes com as respectivas colaborações de cada músculo: 1) Fase inicial, a partir da entrada de mão para a posição máxima externa da mão (21, 20 e 18%, respectivamente); 2) Varredura para dentro, a partir da posição de máxima externo para o posição interna máxima da mão (51, 40 e 55%, respectivamente) 3) Varredura para fora, a partir da posição interna máxima da mão para a saída de mão (10, 38, 15%, respectivamente) e por fim a recuperação, conhecida como fase aérea (25, 13 18%, respectivamente). Os autores relataram valores próximos de iEMG% de cada músculo, durante o esforço máximo de 4 x 100 m com descanso de 45 s entre cada 100 m.

Os músculos FC e EC parecem ter grande importância na braçada do nado crawl, assim como já foi verificado em outros estudos que analisaram a atividade eletromiográfica destes durante o nado (CLARYS e ROUARD, 1995; IKUTA et al., 2012; FIGUEIREDO et al., 2013b). Além disso, os músculos bíceps braquial e braquiorradial são fundamentais no movimento rápido e repetitivo do ciclo da braçada (CLARYS e ROUARD, 1995; IKUTA et al., 2012). Estes dados ajudam a compreender os resultados obtidos neste trabalho a respeito das respostas neuromusculares antes e após um exercício exaustivo na natação.

### **7.3. Resposta da técnica de nado durante o exercício exaustivo**

Todas as variáveis da técnica de nado apresentaram alterações significantes entre o início e o final do nado exaustivo. O CB apresentou queda, enquanto que a FB

e IdC aumentaram durante o nado. Em relação às fases da braçada, houve diferença entre o início e final do teste, sendo que se verificou aumento da duração das fases propulsivas e redução das não-propulsivas. Estas alterações demonstraram que em condição de exercícios exaustivos de alta intensidade, ocorrem alterações dos índices técnicos, aumento na duração das fases propulsivas e queda nas fases de recuperação (ALBERTY et al., 2009). Alguns estudos sugerem que exercícios realizados na e acima do limiar anaeróbio podem gerar diminuição do CB. Entre os fatores que possivelmente poderiam auxiliar a explicar esta resposta, estão o acúmulo de lactato sanguíneo, alterações no recrutamento das unidades motoras e perfusão muscular e fadiga neuromuscular, poderiam reduzir a capacidade muscular de gerar força e, desta forma, explicar a alteração do CB ao longo do nado (TOUSSAINT e BERG, 1992; WELLS, DUFFIN e PLYLEY, 2001; WAKAYOSHI et al., 1996; VERCRUYSEN et al., 2002; LEPERS et al., 2000).

As alterações na FB têm sido propostas como uma forma de compensar a redução do CB. Foi encontrada correlação significativa entre a variação na FB a 95, 100 e 110% da V400, com a diminuição no tempo de duração das fases A ( $-0,97 < r < -0,80$ ) e D ( $-0,81 < r < -0,77$ ). Portanto, o aumento da FB acontece principalmente através da diminuição significativa nas fases não propulsivas do ciclo de braçada. A queda na duração das fases não propulsivas e o aumento das fases propulsivas fazem com que ocorra a diminuição do tempo entre as fases propulsivas, fazendo com que o IdC aumente e que estas fases até se sobreponham (ALBERTY et al., 2009).

Trabalho que analisou as alterações nos parâmetros da técnica ao longo dos testes exaustivos realizados em velocidade constante, a 95%, 100% e 110%V400, verificaram aumento progressivo da FB (10,5, 8,7 e 2,7%, respectivamente), a qual foi associada com uma queda nos valores CB (-9,7, -7,7 e -4,0%, respectivamente). O IdC apresentou aumento gradual de 4,6%, 2,8% e 2% nas respectivas intensidades (ALBERTY et al., 2009). Outros trabalhos que analisaram as respostas das variáveis técnicas em velocidade constante e em intensidade acima da máxima fase estável de lactato sanguíneo, logo, sem estabilidade metabólica, verificaram resultados semelhantes com o do presente estudo, ou seja, queda do CB e aumento da FB (DEKERLE et al., 2005; PELARIGO et al., 2010).

A redução do CB faz com que os nadadores aumentem a FB para manter a velocidade de nado, consequentemente aumentando o IdC. Dessa forma, em

condições de fadiga os nadadores adotam estratégias para conseguirem manter a velocidade. (ALBERTY et al., 2004, 2005, 2009; WELLS, DUFFIN e PLYLEY, 2001; DEKERLE et al., 2005; CRAIG et al., 1985; PELARIGO et al., 2011).

#### **7.4. Relação entre as modificações nos parâmetros neuromusculares e da técnica de nado com a realização do exercício exaustivo**

A variação do PTI dos FC apresentou correlação significativa com as alterações nos índices técnicos (CB e FB), entre o início e o final do nado. A queda no PTI levou a diminuição do CB e aumento da FB. Sendo assim, a perda de força demonstra influenciar na queda do CB e aumento da FB. Trabalhos têm proposto que a fadiga pode ser um fator importante para explicar as modificações da técnica de nado ao longo de exercícios exaustivos (CRAIG et al., 1985; DEKERLE et al., 2005; PELARIGO et al., 2011; ALBERTY et al., 2009).

Estudos anteriores mostraram que em testes de 200 m há queda na força isométrica (AUJOUANNET et al., 2006), no valor médio da amplitude do sinal eletromiográfico dos músculos bíceps braquial e tríceps braquial (IKUTA et al., 2012), diminuição na velocidade da mão e na eficiência propulsiva da braçada (FIGUEIREDO et al., 2011). Estas condições podem gerar queda no CB e aumento na FB para manter a velocidade durante os 200 m (ALBERTY et al., 2005; CRAIG et al., 1985; PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008).

Em relação às fases da braçada e ao IdC, houve correlação significativa entre as alterações do PTI dos FC com a variação da fase D, e dos EC com a variação das fases A e a soma das fases não propulsivas. A queda na duração da fase D verificada no presente estudo pode estar relacionada com as alterações no PTI dos FC, devido à sua maior ativação durante essa fase. Em relação à fase A, esta diminuiu devido às modificações no PTI do EC, pois o tríceps braquial aumenta sua atividade excêntrica ao longo do nado nessa fase.

Em estudo realizado por Alberty et al. (2009), onde foi analisado a resposta dos índices técnicos e das fases da braçada em velocidade constate a 100%V400, foi verificado queda significativa no tempo de duração das fases A e D, porém não houve aumento significativo das fases propulsivas (B e C). Com isso os autores analisaram que, em condição de fadiga ocorre o aumento da FB, a qual está relacionada com a

queda das fases não propulsivas, sugerindo que as fases A e D são mais sensíveis ao desenvolvimento da fadiga.

Foi verificado por Rouard et al. (1997) em testes de 4 x 100 m, que o bíceps braquial, grande dorsal e flexor ulnar do carpo têm maior iEMG (%) na fase de recuperação em relação ao tríceps braquial, pois, o cotovelo do nadador flexiona durante sua ação aérea. Na fase de varredura para baixo (da fase A para B), durante os primeiros 100 m o iEMG(%) do bíceps braquial é maior em relação ao tríceps braquial, porém a partir dos 200 m essa relação se inverte, uma vez que o tríceps braquial atua de maneira excêntrica, além da ação do grande dorsal, flexor ulnar do carpo e deltóide anterior..

Foi demonstrado maior utilização do bíceps braquial em relação ao tríceps braquial em três (varredura para baixo, dentro e recuperação) das quatro fases do ciclo da braçada (ROUARD e CLARYS, 1996). Em teste de 4 x 50 m foi verificado, que o bíceps braquial apresenta queda no valor médio da amplitude nas quatro repetições, enquanto que o tríceps braquial apresenta queda somente entre a primeira e a segunda repetição mantendo-se estável até a quarta (IKUTA et al., 2012). Portanto, a participação em diferentes fases da braçada pode ter contribuído para as relações das variações do PTI com as variações no CB e na FB, como também na fase D.

Ao se analisar as correlações da variação da TDF com os índices técnicos, as fases da braçada e o IdC, houve correlação significativa dos músculos FC somente com a variação da fase B e D. Na fase submersa, o tríceps braquial apresentou queda somente entre a primeira e a segunda repetição (IKUTA et al., 2012). Em estudo que analisou a força antes e após um teste máximo de 200 m, na posição similar ao início da fase C, foi verificado queda maior na frequência mediana do bíceps braquial em relação ao tríceps braquial (AUJOUANNET et al., 2006).

Como aparentemente a participação do tríceps braquial é proporcionalmente menor na braçada, este pode ter sido um fator que contribuiu para as correlações significantes terem ocorrido somente entre a variação de PTI e a das fases A e D. Portanto, os dados do presente estudo confirmam que a queda de força e potência muscular pode contribuir para a modificação da técnica de nado, conforme o hipotetizado em outros estudos realizados em outras modalidades.

## 8. CONCLUSÕES

- O pico de torque isométrico, o pico de torque concêntrico nas velocidades de  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  e  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  e a taxa de desenvolvimento de força dos músculos extensores e flexores do cotovelo, apresentam excelente reprodutibilidade em nadadores treinados, podendo ser utilizadas na avaliação neuromuscular destes atletas;
- O exercício aeróbio de alta intensidade, realizado com velocidade constante até a exaustão, gera redução na capacidade de produção de força (pico de torque) e potência muscular (i.e., taxa de desenvolvimento de força) e mudanças em parâmetros da técnica de nado, que, em parte, caracterizam uma dificuldade em manter o nível de habilidade de nado do início do exercício.
- Em condição de fadiga, há uma redução da capacidade do nadador de gerar força propulsiva, logo, para manter a velocidade de nado, há um aumento da frequência de braçada.
- Com o desenvolvimento da fadiga ao longo do nado há redução da contribuição das fases não-propulsivas da braçada, levando os nadadores a aumentar a frequência de movimentos e o aproveitamento das fases propulsivas, para tentar manter a velocidade de nado.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, P.; ANDERSEN, J.L. Correlation between contractile strength and myosin heavy chain isoform composition in human skeletal muscle. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.30, p. 1217–1222, 1998.

AAGAARD, P.; SIMONSEN, E.B.; ANDERSEN, J.L.; MAGNUSSON, P.; DYHREPOULSEN, P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v.93, p.1318–1326, 2002.

ABERNETHY P.J.; JURIMAE J. Cross-sectional and longitudinal uses of isoinertial, isometric, and isokinetic dynamometry. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 28, p. 1180-1187, 1996.

ALBERTY, M. et al. Strokking Characteristics during Time to Exhaustion Tests. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 41, p. 637-644, 2009.

ALBERTY, M.; POTDEVIN, F.; DEKERLE, J.; PELAYO, P.; GORCE, P.; SIDNEY, M. Swimming technique changes during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rate. **Journal of Sports Sciences**, Londres, v. 26, p. 1191-1200, 2008.

ALBERTY, M.; SIDNEY, M.; HUOT-MARCHAND, F. et al. Strokking parameters in exhaustion in swimming. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.26, p. 471–475, 2005.

ALBERTY, M.R.; POTDEVIN, F.P.; DEKERLE, J.; PELAYO, P.P.; SIDNEY, M.C. Effect of stroke rate reduction on swimming technique during paced exercise. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 25, p. 392-397, 2011.

ANDERSEN, L.L.; ANDERSEN, J. L.; ZEBIS, M. K.; AAGAARD, P. Early and late rate of development: differential adaptive responses to resistance training? **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, Copenhagen, v. 20, p. 162-169, 2010.

AUJOUANNET, Y. A.; BONIFAZI, M.; HINTZY, F.; VUILLERME, N.; ROUARD, A.H. Effects of a high-intensity swim test on kinematic parameters in high-level athletes. **Applied Physiology Nutrition and Metabolism**, Ottawa, v. 31, p. 150-158, 2006.

BELLUMORI, M.; JARIC, S.; KNIGHT, C.A. The rate of force development scaling factor (RFD-SF): protocol, reliability, and muscle comparisons. **Experimental brain research**, Berlin, v. 212, p. 359-369, 2011.

BONIFAZI, M.; MARTELLI, G.; MARUGO, L.; SARDELLA, F.; CARLI, G. Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, v. 33, p. 13–18, 1993.

BOOTH, J.; MCKENNA, M.; RUELL, P.A.; GWINN, T.H.; DAVIS, G.M.; THOMPSON, M.W.; HARMER, A.R.; HUNTER, S.K.; SUTTON, J.R. Impaired calcium pump function does not slow relaxation in human skeletal muscle after prolonged exercise. **Journal of applied physiology**, Washington, v. 83, p. 511–521, 1997.

BROOKS, G.A.; FAHEY, T.D.; WHITE, T.P.; BALDWIN, K.M. **Exercise physiology: human bioenergetics and its applications**. Mountain View, Mayfield, 2000.

BROWN L. E.; WEIR J.P. ASEP - Procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. **Journal of Exercise Physiology**, Duluth, v. 4, p. 1-21, 2001.

CHOLLET, D.; CHALIES, S.; CHATARD, J. C. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 21, p. 54–59, 2000.

CRAIG, A.; SKEHAN, P.; PAWELCZYK, J.; BOOMER, W. Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 17, p. 625–634, 1985.

DEKERLE, J.; PELAYO, P.; CLIPET, B. et al. Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 26, p. 524-530, 2005.

DESCHODT, V. J; ARSAC, L. M; ROUARD, A. H. Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 80, p. 192-199, 1999.

DOTAN, R.; MITCHELL, C.; COHEN, R.; GABRIEL, D.; KLENTROU, P.; FALK, B.. Explosive sport training and torque kinetics in children. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**, Ottawa, v. 38, p. 740-745, 2013.

DROUIN, J. M., VALOVICH-MCLEOD, T. C., SHULTZ, S. J., GANSNEDER, B. M. & PERRIN, D. H.. Reliability and validity of the biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 91, p. 22–29, 2004.

DUARTE, J.; SOARES, J. Etiologia da Fadiga Muscular. Alguns factores condicionantes. **Revista Portuguesa de Medicina Desportiva**, Porto, v. 9, p. 165-174, 1991.

DVIR, Z. **Isocinética: avaliações musculares, interpretações e aplicações clínicas**. São Paulo: Manole, 2002.

EDWARDS, R.H.T. Human muscle function and fatigue. In. **Human Muscle Fatigue: Physiological Mechanisms, Ciba Foundation Symposium** No. 82, ed. Porter, J. & Whelan, Pitman Medical: Londres, p. 1-18, 1981.

ELLIOTT, B.; ROBERTS, A. A biomechanical evaluation of the role of fatigue in middle-distance running. **Canadian Journal of Applied Sport Sciences**, Vanier City, v. 55, p. 203-207, 1980.

ENOKA, R.; STUART, D. Neurobiology of muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 72, p. 1631-1648, 1992.

FIGUEIREDO, P.; ZAMPARO, P.; SOUSA, A.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J. An energy balance of the 200 m front crawl race. . **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 111, p. 767–777, 2011.

FIGUEIREDO, P.; SEIFERT, L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J.. Individual profiles of spatio-temporal coordination in high intensity swimming. **Human Movement Science, Amsterdam**, v. 31, p. 1200–1212, 2012.

FIGUEIREDO, P.; SANDERS, R.; GORSKI, T.; BILAS-BOAS, J.; FERNANDES, R. Kinematic and electromyographic changes during 200m front crawl at a race pace. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 34, p. 49-55, 2013a.

FIGUEIREDO, P.; PENDERGAST, D.R.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J.; Interplay of Biomechanical, Energetic, Coordinative, and Muscular factors in a 200 m front crawl swim. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, ahead of print, 2013b.

FITTS, R. H. Cellular, molecular, and metabolic basis of muscle fatigue. In: FITTS RH. **Handbook of Physiology**. Oxford: Oxford University Press, p. 1150-1183, 1996.

FLEISS, J.L.; LEVIN, B.; PAIK, M.C. **Statistical methods for rates and proportions** Hoboken, New Jersey: Wiley, 2003.

GANDEVIA, S.C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiological Reviews**, [Massachusetts](#), v. 81, p. 1727-1789, 2001.

GASTIN, P.B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. **Sports Medicine**, Auckland, v. 31, p. 725-741, 2001.

GAUTHIER, A.; DAVENNE, D.; MARTIN, A.; VAN HOECKE, J. Time of day effect on isometric and isokinetic torque developed during elbow flexion in humans. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.84, p. 249–252, 2001.

GIRARD, O.; BISHOP, D.J.; RACINAIS, S. Hot conditions improve power output during repeated cycling sprints without modifying neuromuscular fatigue characteristics. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 113, p. 359-369, 2013.

GIROLD, S.; CALMELS, P.; MAURIN, D.; MILHAU, N.; CHATARD, J.C. Assisted and resisted sprint training in swimming. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln; v. 20, p. 547–554, 2006.

GIROLD, S.; JALAB, C.; BERNARD, O.; CARETTE, P.; KEMOUN, G.; DUGUÉ, B. Dry-land strength training vs. electrical stimulation in sprint swimming performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 26, p. 497-505, 2012.

GIROLD, S.; MAURIN, D.; DUGUE, B.; CHATARD, J.C.; MILLET, G. Effects of dry-land vs. Resisted- and assisted-sprint exercises on swimming sprint performances. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Lincoln, v. 21, p. 599-605, 2007.

GREEN, H. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. **Journal of sports sciences**, Londres, v. 15, p. 247-256, 1997.

GREEN, H. Metabolic determinants of activity induced muscular fatigue. In: M Hargreaves, **Exercise Metabolism**. Human Kinetics: Champaign, p. 221-256, 1995.

GREEN, H.J. Manifestation and sites of neuromuscular fatigue. In: TAYLOR, A.W.; GOLLNICK, P.D.; GREEN, H.J.; IANUZZO, C. D.; NOBLE, E. G.; METIVER, G.; SUTTON, J.R. (Eds). **Biochemistry of Exercise, VII International Series on Sports Science**, Champaign: Human Kinetics, v. 21, p. 13-35, 1990.

GRIFFIN, J.W. Differences in elbow flexion torque measured concentrically, eccentrically, and isometrically. **Physical Therapy**, New York, v. 67, p. 1205-1208, 1987.

GUEDES, D.P.; GUEDES, J.E.R.P. **Controle do peso corporal: composição corporal, atividade física e nutrição**. Londrina, PR: Midiograf, 1998.

HARRIDGE, S.D.; BOTTINELLI, R.; CANEPARI, M.; PELLEGRINO, M. A.; REGGIANI, C.; ESBJÖRNSSON, M.; SALTIN, B. Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. **Pflugers archiv - European journal of physiology**, Berlin, v. 432, p. 913-920, 1996.

HAWLEY, J.A.; VICKOVIC, M.M.; HANDCOCK, P.J. Muscle power predicts freestyle swimming performance. **British Journal Sports Medicine**, Londres, v. 26, p. 151-155, 1992.

HOFFMAN, B.W.; OYA, T.; CARROLL, T.J.; CRESSWELL, A.G. Increases in corticospinal responsiveness during a sustained submaximal plantar flexion **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 107, p. 112-120, 2009.

HOPKINS, W.G. Measures of reliability in sport medicine science. **Sports Medicine**, v. 30, p. 1-15, 2000.

HOPKINS, W.G.; SCHABORT, E.J.; HAWLEY, J.A. Reliability of power in physical performance tests. **Sports Medicine**, Auckland, v. 31, p. 211-234, 2001.

HOUSH, D.J.; HOUSH, T.J. The effects of unilateral velocity-specific concentric strength training. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, Washington v. 17, p. 252-256, 1993.

HOUSH, T.J.; PERRY, S.R.; BULL, A.J.; JOHNSON, G.O.; EBERSOLE, K.T.; HOUSH, D.J. Mechanomyographic and electromyographic responses during submaximal cycle ergometry. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 83, p. 381–387, 2000.

HOWATSON, G.; GLAISTER, M.; BROUNER, J.; VAN SOMEREN, K.A. The reliability of electromechanical delay and torque during isometric and concentric isokinetic contractions. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, Nova York, v. 19, p. 975-979, 2009.

HULTMAN, E.; BERGSTROM, M.; SPRIET, L.L.; SODERLUND, K.: Energy Metabolism and Fatigue. In: PHILIP D. GOLLNICK, H. J.; GREEN, C.; TANUZZO, D.; NOBLE, G. E.; MÉTIVIER, G.; SUTTON, J. R.; (eds.), **Biochemistry of Exercise VII**, Human Kinetics: Champaign, p. 73-92, 1990.

HUNTER, S.K; BUTLER, J.E; TODD, G.; GANDEVIA, S.C; TAYLOR, J.L. Supraspinal fatigue does not explain the sex difference in muscle fatigue of maximal contractions. **Journal of Applied Physiology**, Washington; v. 101, p. 1036–1044, 2006.

IKUTA, Y.; MATSUDA, Y.; YAMADA, Y.; KIDA, N. ODA, S; MORITANI, T. Relationship between decreased swimming velocity and muscle activity during 200-m front crawl. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 112, p. 3417-3429, 2012.

IOSSIFIDOU, A.N.; BALTZOPOULOS, V. Inertial effects on the assessment of performance in isokinetic dynamometry. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 19, p. 567–573, 1998.

JURIMAE, J.; ABERNETHY, P. J.; BLAKE, K.; MCENIERY, M.T. Changes in the myosin heavy chain isoform profile of the triceps brachii muscle following 12 weeks of resistance training. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 74, p. 287-292, 1996.

KELLIS, E.; LIASSOU, C. The effect of selective muscle fatigue on sagittal lower limb kinematics and muscle activity during level running. **Journal of orthopaedic and sports physical therapy**, Washington, v. 39, p. 210–220, 2009.

KESKULA, D.R.; DOWLING, J.S.; DAVIS, V.L. Interrater Reliability of Isokinetic Measures of Knee Flexion and Extension. **Journal of Athletic Training**, Dallas, v. 30, p. 167-170, 1995.

KILDUFF, L.P.; VIDA KOVIC, P; COONEY ,G; TWYCROSS-LEWIS, R.; AMUNA, P.; PARKER, M.; PAUL, L.; PITSILADIS Y.P. Effects of creatine on isometric bench-press performance in resistance-trained humans. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 34, p. 1176-1183, 2002.

KNUTTGEN, H.G.; KRAEMER, W.J. Terminology and measurement in exercise performance. **Journal of Applied Sports Science Research**, Lincoln, v. 1, p. 1-10, 1987.

KOMI, P. V.; P. TESCH. EMG frequency spectrum, muscle structure and fatigue during dynamic contractions in man. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, Berlin, v. 42, p. 41-50, 1979.

KOMI; P.V. **Força e Potência no Esporte**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

KOUZAKI, M.; SHINOHARA, M. The frequency of alternate muscle activity is associated with the attenuation in muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 101, p. 715-720, 2006.

KOUZAKI, M.; SHINOHARA, M.; MASANI, K.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Alternate muscle activity observed between knee extensor synergists during low level sustained contractions **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 93, p. 675-684, 2002.

LAFFITE, L.; VILAS-BOAS, J.P.; DEMARLE, A.; SILVA, J.; FERNANDES, R.; BILLAT, V.. Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. **Canadian Journal of Applied Physiology**, Champaign, v. 229, p. 17-31, 2004.

LAUER, J.; FIGUEIREDO, P.; VILAS-BOAS, J.P.; FERNANDES, R. J.; ROUARD, A.H. Phase-dependence of elbow muscle coactivation in front crawl swimming. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, Nova York, v. 23, p. 820-825, 2013.

LEPERS, R.; HAUSSWIRTH, C.; MAFFIULETTI, N. Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 32, p. 1880-1886, 2000.

LEPERS, R.; MAFFIULETTI, N.A.; ROCHETTE, L.; BRUGNIAUX, J.; MILLET, G.Y. Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 92, p. 1487-1493, 2002.

LOWERY, M.M.; O'MALLEY, M.J. Analysis and simulation of changes in EMG amplitude during high-level fatiguing contractions. **IEEE transactions on biomedical engineering**, New York, v. 50, p. 1052–1062, 2003.

LUND, H.; SONDERGAARD, K.; ZACHARIASSEN, T.; CHRISTENSEN, R.; BULLOW, P.; HENRIKSEN, M. Learning effect of isokinetic measurements in healthy subjects, and reability and comparability of Biodex and Lido dynamometers. **Clinical physiology and functional imaging**, Oxford, v. 25, p. 75-82, 2005.

MADSEN, J.E.; FLUGSRUD, G. Radial head fractures: indications and technique for primary arthroplasty. **European Journal of Trauma and Emergency Surgery**, Monique, v. 34, p. 105–112, 2008.

MAFFIULETTI, N.A.; BIZZINI, M.; DESBROSSES, K.; BABAULT, N.; MUNZINGER, U. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex

isokinetic dynamometer. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, Oxford, v. 27, p. 346–353, 2007.

MCINTYRE, J.P.R.; MAWSTON, G.A.; SIMEON, P.C. Changes of whole-body power, muscle function, and jump performance with prolonged cycling to exhaustion. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, Champaign, v. 7, p. 332-339, 2012.

MONTEIL, K.M.; ROUARD, A.H.; DUFOUR, A.B.; TROUP, J.P. EMG of the shoulder muscles during an exhaustive front crawl test realised in a flume. **In XIV I.S.B. Congress**. p. 896–897, 1993.

NEWHAM, D.J.; MCCARTHY, T.; TURNER, J. Voluntary activation of human quadriceps during and after isokinetic exercise. **Journal of Applied Physiology**, Washington, n.71, p. 2122-2126, 1991.

OLIVEIRA, M.F.; CAPUTO, F.; DEKERLE, J.; DENADAI, B.S.; GRECO, C.C. Stroking parameters during continuous and intermittent exercise in regional-level competitive swimmers. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 9, p. 696-701, 2012.

PATRAS, K.; ZIOGAS, G.; RISTANIS, S.; TSEPIS, E.; STERGIU, N.; GEORGOULIS, A.D. HIGH intensity running results in an impaired neuromuscular response in ACL reconstructed individuals. **Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy**, Heidelberg, v. 17, p. 977–984, 2009.

PELARIGO, J.G.; DENADAI, B.S.; GRECO, C.C. Stroke phases responses around maximal lactate steady state in front crawl. **Journal of Science and Medicine in Sport**, Belconnen, v. 14, p. 168–168, 2011.

PELAYO, P.; SIDNEY, M.; KHERIF, T.; CHOLLET, D.; TOURNY, C. Stroking characteristics in freestyle swimming and relationships with anthropometric characteristics. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v. 12, p. 197–206, 1996.

PERRIN, D.H. **Isokinetic: Exercise and Assessment**, Champaign, Human Kinetics, 1993.

PERRY-RANA, S.R.; HOUSH, T.J.; JOHNSON, G.O.; BULL, A.J.; BERNING, J.M.; CRAMER, J.T. MMG and EMG responses during fatiguing isokinetic muscle contractions at different velocities, **Muscle and Nerve**, Boston, v. 26, p. 367–373; 2002.

POTULSKI, A.P. Pico de torque muscular de flexores e extensores de joelho de uma população geriátrica. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, São Caetano do Sul, v. 9, p. 25-30, 2011.

PRESLAND, J.D.; DOWSON, M.N.; CAIRNS, S.P. Changes of motor drive, cortical arousal and perceived exertion following prolonged cycling to exhaustion. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 95, p. 42–51, 2005.

PRYOR, J.F.; WILSON, G.J; MURPHY, A.J. The effectiveness of eccentric, concentric and isometric rate of force development tests. **Journal of Human Movement Studies**, London, v. 27, p. 153-172, 1994.

PSYCHARAKIS, S.G.; SANDERS, R.H. Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison; v. 40, p. 2129–2136, 2008.

ROUARD, A.H.; BILLAT, R.P.; DESCHODT, V.; CLARYS, J.P. Muscular activations during repetitions of sculling movements up to exhaustion in swimming. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, New York, v. 105, p. 655–662, 1997.

ROUARD, A.H.; CLARYS, J.P. Cocontraction in the elbow and shoulder muscles during rapid cyclic movements in an aquatic environment. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, Nova York, v. 5, p. 177-183, 1995.

SADOWSKI, J.; MASTALERZ, A.; GROMISZ, W.; NIŹNIKOWSKI, T. Effectiveness of the power dry-land training programmes in youth swimmers. **Journal of Human Kinetics**, Katowice, v. 32, p. 77-86, 2012.

SAHLIN, K.; SEGER, J.Y. Effects of prolonged exercise on the contractile properties of human quadriceps muscle. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 71, p. 180-186, 1995.

SALE, D.G. Neural adaptation to resistance training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 20, S135-145, 1988.

SANDERS, R.H. 'New analysis procedure for giving feedback to swimming coaches and swimmers'. In K.E. GIANIKELIS, B.R. MASON, H.M. TOUSSAINT, R. ARELLANO, AND R.H. SANDERS (Eds.) - Swimming- XXth International Symposium of Biomechanics in Sports Proceeding, Caceres, **International Society of Biomechanics in Sports**, p. 1-14, 2002.

SCHNITZLER, C.; BRAZIER, T.; BUTTON, C.; SEIFERT, L.; CHOLLET, D. Effect of velocity and added resistance on selected coordination and force parameters in front crawl. **Journal of strength and conditioning research**, Lincoln, v. 25, n. 10, p. 2681–2690, 2011.

SCHNITZLER, C.; ERNWEIN, V.; SEIFERT, L.; CHOLLET, D. Comparison of spatio-temporal, metabolic, and psychometric responses in recreational and highly trained swimmers during and after a 400-m freestyle swim. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 228, p. 164-171, 2007.

SEGER, J.Y.; WESTING, S.H.; HANSSON, M.; KARLSSON, E.; EKBLOM, B. A new dynamometer measuring concentric and eccentric muscle strength in accelerated, decelerated, or isokinetic movements. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 57, p. 526–530, 1988.

SEIFERT, L.; BOULESTEIX, L.; CHOLLET, D. Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 25, p. 217-223, 2004.

SEIFERT, L.; CHOLLET, D.; ALLARD, P. Arm coordination symmetry and effect of breathing in front crawl. **Human Movement Science**, Amsterdam, v. 24, p. 234–256, 2005.

SEIFERT, L.; LEBLANC, H.; CHOLLET, D.; DELIGNIÈRES, D. Inter-limb coordination in swimming: Effect of speed and skill level. **Human Movement Science**, Amsterdam, v. 29, p. 103–113, 2010.

SIRI, W.E. Body composition from fluid and density: analysis of methods. In: BROZEK, J.; HERSCHEL, A. **Techniques for Measuring Body Composition**, (Eds.) Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, p. 233-244, 1961.

STACKHOUSE. S.; DEAN. J.; LEE, S.; BINDER-MACLOAD, S. Measurement of central activation failure of the quadriceps femoris in healthy adults. **Muscle and Nerve**, Boston, v. 23, p. 1706-1712, 2000.

STIENEN, G.; PAPP, Z.; ZAREMBA, R. Influence of inorganic phosphate and pH on sarcoplasmic reticular ATPase in skinned muscle fibers of *Xenopus laevis*. **Journal of Physiology**, Londres, v. 518, p. 735-744, 1999.

STIRN, I.; JARM, T.; KAPUS, V.; STROJNIK, V. Evaluation of muscle fatigue during 100-m front crawl. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 111, p. 101-113, 2011.

STRASS D. Effects of maximal strength training on sprint performance of competitive swimmers. In: Ungerechts BE, Wilke K, Reischle K. (eds.) **Swimming Science V**. Human Kinetics: Champaign, p. 149-156, 1988.

SVENSSON, M.; DRUST, B. Testing soccer players. **Journal of Sports Sciences**, Londres, v. 23, p. 601–618, 2005.

THEUREL, J.; CREPIN, M.; FOISSAC, M.; TEMPRADO, J.J. Effects of different pedalling techniques on muscle fatigue and mechanical efficiency during prolonged cycling. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, Copenhagen, v. 22, p. 714–721, 2012.

THORLUND, J.B.; AAGAARD, P.; MADSEN, K. Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v. 30, p. 273–278, 2009.

THORLUND, J.B.; MICHALSIK, L.B.; MADSEN, K.; AAGAARD, P. Acute fatigue-induced changes in muscle mechanical properties and neuromuscular activity in elite handball players following a handball match. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, Copenhagen, v. 18, p. 462-472, 2008.

THORSTENSSON, A.; KARLSSON, J.; VIITASALO, H.T.; LUHTANEN, P.; KOMI, P.V. Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle. **Acta Physiological Scandinavia**, Uppsala, v. 98, p. 232–236, 1976.

TODD, G.; TAYLOR, J.L.; GANDEVIA, S.C. Measurement of voluntary activation of fresh and fatigued human muscles using transcranial magnetic stimulation. **Journal of Physiology**, Londres, v. 551, p. 661–671, 2003.

TOUSSAINT, H.M.; BEEK, C. Biomechanics of competitive front crawl swimming. **Sports Medicine**, Auckland, v. 13, p. 8-24, 1992

TOUSSAINT, H.M.; CAROL, A.; KRANENBORG, H.; TRUIJENS, M.J. Effect of fatigue on stroking characteristics in arm-only 100-m front-crawl race. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 38, p. 1635-1642, 2006.

VAN CUTSEM, M.; DUCHATEAU, J.; HAINAUT, K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. **The Journal of Physiology**, Londres, v. 513, p. 295-305, 1998.

VASCONCELOS, R.A.; BEVILAQUA-GROSSI, D.; SHIMANO, A.C.; PACCOLA, C.J.; SALVINI, T.F.; PRADO, C.L.; JUNIOR, W.A.M. Confiabilidade e validade de um dinamômetro isométrico modificado na avaliação do desempenho muscular em indivíduos com reconstrução do ligamento cruzado anterior. **Revista Brasileira de Ortopedia**, Rio de Janeiro, v. 44, p. 214-224, 2009.

VERCRUYSEN, F.; BRISSWALTER, J.; HAUSSWIRT, C.; BERNARD, T.; BERNARD, O.; VALLIER, J.M. Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 34, p. 530-536, 1997.

VERCRUYSEN, F.; BRISSWALTER, J.; HAUSSWIRTH, C.; BERNARD, T.; BERNARD, O.; VALLIER, J.M. Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v. 34, p. 530–536, 2002.

WAKAYOSHI, K.; MORITANI, T.; MUTOH, Y.; MIYASHITA, M. Electromyographic evidence of selective muscle fatigue during competitive swimming. In: **Medicine and Sports Science**. Eds: Miyashita, M., Mutoh, Y. and Richardson, v. 39, p. 16–23, 1994.

WATANABE, K.; KATAYAMA, K.; ISHIDA, K.; AKIMA, H. Electromyographic analysis of hip adductor muscles during incremental fatiguing pedaling exercise. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 106, p. 815–825, 2009.

WELLS, G.; DUFFIN, J.; PLYLEY, M. A model of swimming economy during incremental exercise. In: BLACKWELL, J.R.; SANDERS, R.H. (eds) **Abstracts Book of the XIXth International Symposium of Biomechanics in Sports**. San Francisco: Exercise and Sport Science Department, University of San Francisco, p. 127-130, 2001.

WENDT, I.R.; GIBBS, C.L. Energy production of rat extensor digitorum longus muscle. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 224, p. 1081-1086, 1973.

WILLIAMS, C.; RATEL, S. **Human Muscle Fatigue**. 1. Ed. London ; New York : Routledge, 2009.

YANAI, T. Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non propulsive directions. **Journal of Biomechanics**, Elmsford, v. 38, p. 53-62, 2003.

## ANEXO I

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - (TCLE)

(Conselho Nacional de Saúde, Resolução 196/96)

Meu nome é Natália de Menezes Bassan, sou a pesquisadora responsável pelo estudo: *Relação entre a fadiga muscular e a mudança da técnica de nado durante um exercício exaustivo no nado crawl*, e sou membro do Laboratório de Estudos de Esportes de Endurance (LEESPE) onde por meio deste termo de

consentimento te convido a participar, como voluntário, desta pesquisa. Após ser esclarecido sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de dúvida você pode procurar o Laboratório de Estudos de Esportes de Endurance no telefone (19) 3526-4338 ou com o Pesquisador Responsável onde responderemos atenciosamente a quaisquer dúvidas sobre os procedimentos desta pesquisa.

Esta pesquisa tem como objetivo analisar a reprodutibilidade da força medida em diferentes tipos de contração muscular dos músculos do ombro e do braço, e também analisar a relação entre a força e a mudança da técnica de nado, em um exercício exaustivo realizado no nado crawl. O que se espera com a realização deste estudo é poder contribuir na elaboração de testes para avaliar nadadores, como também auxiliar na prescrição de treinamento de força destes atletas.

Este estudo terá a duração total 4 dias, sendo o intervalo entre os dias de testes de 48 horas, a 1ª visita ao laboratório para realização de medidas de massa corporal (kg), percentual de gordura corporal (%), massa corporal magra (kg) e massa de gordura (kg) e a realização de alguns movimentos de braços no aparelho que mede a força muscular. Na 2ª visita, para a realização de um teste de esforço máximo nadando 400m crawl, as 2 próximas visitas serão destinadas aos testes para medir a força muscular no mesmo aparelho do primeiro dia de avaliação, imediatamente antes e após um teste, na velocidade média do teste realizado no segundo dia, até não conseguir mais executar o nado crawl.

Para avaliar as dimensões corporais do nadador, serão medidas a massa corporal, estatura e a envergadura (distância entre os dedos médios, com o indivíduo em pé e com os braços elevados ao lado do corpo). A quantidade de massa gorda e massa magra serão também determinadas através das medidas de algumas dobras cutâneas e o percentual de gordura corporal. Para mensurar a força muscular, o voluntário fará alguns testes em um aparelho que mede a força em determinadas articulações do seu corpo. Este aparelho será apresentado para o sujeito pela pesquisadora, assim como o detalhamento de todas as posições que serão feitos os testes. Será observado a sua capacidade de estender o cotovelo (músculos do braço)

e rodar o ombro (músculos do ombro). A força será medida com contração muscular sem movimento e com movimento do ombro e do braço.

Os testes aquáticos serão realizados em uma piscina de 25m, assim para obter a velocidade média do nadador o voluntário irá nadar 400m crawl, sem pausas, na maior intensidade que conseguir, enquanto será filmado. Para a realização do teste exaustivo na piscina o voluntário irá nadar na sua velocidade média, e para manter o ritmo realizará o teste com um tocador de mp3, o qual conterá bipes que irão lhe informar a velocidade adequada.

No caso de não comparecer em duas sessões consecutivas ou não repor estas sessões, você será retirado do estudo, no entanto você não receberá qualquer tipo de punição ao ser retirado do estudo. Antes de você começar os testes, terá que responder a um questionário sobre sua condição geral de saúde, que será aplicado pelo pesquisador responsável, e passará por uma avaliação sobre o estado de saúde, que será feita pelo pesquisador. Caso você tenha resultados negativos em alguma das avaliações, não poderá participar deste estudo.

De um modo geral todo ato no qual envolva algum tipo de atividade física pode apresentar riscos a saúde, no entanto os testes a serem utilizados neste estudo, oferecem um risco mínimo aos voluntários, já que os mesmos são treinados e habituados com contrações musculares de alta intensidade nos movimentos a serem utilizados no estudo, e também são nadadores especialistas no nado crawl de longa distancia. Os movimentos a serem realizados no estudo (contrações musculares envolvendo os braços) podem ocasionalmente provocar alguma dor nos braços. Porém, esta é pequena e ocorre com pouca frequência e retorna a normalidade após alguns dias, raramente necessitando de procedimento médico específico para revertê-la. Além da baixa frequência com que estes eventos possam ocorrerem, os riscos tendem a ser minimizados pelas condições de pronto-atendimento em caso de acidente, que envolve o chamado da Unidade de Resgate do Corpo de Bombeiros, com equipamentos médicos e motorista, auxiliar e encarregado, para a realização dos primeiros socorros. Caso necessário, o voluntário será transportado por esta equipe para um hospital.

Os benefícios esperados desse tipo de teste são inicialmente a obtenção de medidas que representam a força muscular, nos dois braços, e o auxílio na elaboração de protocolos de treinamento para nadadores.

Você terá acesso a todos aos seus dados, assim como aos resultados finais e também a garantia de esclarecimentos, antes e durante o curso da pesquisa. Nenhum resultado será divulgado ou levado ao conhecimento de pessoas estranhas ao Laboratório de Estudos de Esportes de Endurance, sem a sua autorização expressa. Todo participante poderá abandonar os testes a qualquer momento, sem prestar qualquer tipo de esclarecimento, mas devendo comunicar sua decisão ao pesquisador responsável o quanto antes.

Os resultados dos testes poderão ser utilizados para pesquisa, sendo assegurado o anonimato do sujeito, desde que autorizado expressamente neste termo de consentimento. Se você estiver suficientemente esclarecido, convido-o a assinar este Termo, elaborado em duas vias, sendo que uma via ficará com o pesquisador e outra com você. Informo que não haverá pagamento ao sujeito da pesquisa, da mesma forma que o sujeito não terá nenhum gasto para participar da mesma.

## **INFORMAÇÕES DO VOLUNTÁRIO**

**Nome:**

**Sexo:** M( ☐ ) F( ☐ ) **Data de Nascimento:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Endereço:**

**Telefone para contato:**

**Data:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

**Assinatura do Voluntário**

**INFORMAÇÕES DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL**

Pesquisador Responsável: Natália de Menezes Bassan

Cargo/função: Mestranda em Desenvolvimento Humano e Tecnologias

Instituição: Universidade Estadual Paulista

Endereço: Av. 24 a, 1515, Bela Vista, Rio Claro, SP

Dados para Contato: fone (19) 3557-3536 e-mail: [natalia@rc.unesp.br](mailto:natalia@rc.unesp.br)

---

Assinatura do Pesquisador Responsável