

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO
MOVIMENTO HUMANO – MESTRADO E DOUTORADO**

Dissertação de mestrado

**PARÂMETROS ANTROPOMÉTRICOS, FISIOLÓGICOS E BIOMECÂNICOS DE
NADADORES EM TESTE DE 400 M NADO CRAWL: COMPARAÇÕES E
CORRELAÇÕES**

Ricardo de Assis Correia

Porto Alegre, agosto de 2016

**PARÂMETROS ANTROPOMÉTRICOS, FISIOLÓGICOS E BIOMECÂNICOS DE
NADADORES EM TESTE DE 400 M NADO CRAWL: COMPARAÇÕES E
CORRELAÇÕES**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob orientação do Prof. Dr. Flávio Antônio de Souza Castro.

Porto Alegre, agosto de 2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelas bênçãos e graças alcançadas;

À minha família: meu pai Carlos, mãe Antonia (em memória), irmã Bruna, cunhado Rodrigo, tio Elismar e tia Tânia (segundo pais para mim) e todos meus parentes pelo apoio e força desde o início dos estudos na graduação;

Aos amigos: Ellen Lirani, Rodrigo Vitória e Alexandre Prado (em especial, melhores amigos), Alberito Rodrigo, Luísa Gallo e Eduardo Onzi que sempre me deram força antes e desde o início dessa jornada;

Aos amigos de pós-graduação: em especial ao Francesco (pela ajuda nas coletas análises de sangue), além de: Natália Baghatini, Thaís Reich, Débora Finger pelas conversas e trabalhos realizados juntos durante o mestrado. Pessoal da sala 212 do LAPEX, em especial: Mathias, Fábio Lanferdini e Jean;

Aos meus ex-alunos e colegas da cidade de Rio Claro-SP e UNESP (onde morei por longos anos) por todo o apoio e incentivo;

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Esportes Aquáticos (GPEA) pela ajuda e força a todo o momento desde início das coletas e, principalmente, na reta final. Sem o apoio de todos, essa pesquisa não aconteceria. Agradeço em especial aos amigos Wellington Feitosa, Lucas Beal, Luísa Trevisan, Marcos Franken e Cristiano Matos;

Ao meu prof. orientador Dr. Flávio Antônio de Souza Castro pela confiança e ensinamentos;

As professoras Dra. Lara Elena Gomes (UNIVASF) e Dra. Kelly de Jesus (UFAM) e Cíntia Sholer pelo auxílio nas análises de dados. Ao Dr. Ross Sanders por ceder as rotinas em *MATLAB* do método *ezone*;

Aos funcionários da UFRGS (em especial aos do Centro Natatório) que ajudaram na construção da estrutura para o ergoespirômetro;

Ao PPGCMH-UFRGS e a CAPES por todo o fomento ao longo dessa jornada.

Por fim, aos técnicos em especial: Felipe Moré (Caixeiros Viajantes) e Cristiano Klaser (Grêmio Náutico União) e aos nadadores participantes desse estudo.

Muito obrigado!

“Quem acredita sempre alcança...” (RENATO RUSSO)

RESUMO

Introdução e Objetivos: considerando a complexidade da natação, o objetivo geral desta dissertação foi investigar o desempenho em 400 m nado crawl (T400), a partir de parâmetros antropométricos, biomecânicos e fisiológicos. **Materiais e Métodos:** O estudo foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS. Participaram 14 nadadores competitivos ($21,2 \pm 4,15$ anos de idade) de nível regional e nacional, que foram avaliados em relação à: (i) antropometria e somatotipo; (ii) parâmetros biomecânicos (frequência média de ciclos de braçadas - FB, distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas - DB, velocidade média de nado - VN; variação intracíclica da velocidade do centro de massa nos três eixos - VIV_x , VIV_y , VIV_z , índice de coordenação - IdC, duração das fases propulsivas e não propulsivas - F_{prop} e F_{nprop} , e tempo propulsivo - T_{prop}); e (iii) parâmetros fisiológicos (consumo de oxigênio - VO_2 , concentração sanguínea de lactato - [LA], e percepção subjetiva de esforço - PSE). Dados foram obtidos antes, durante (M1, M2, M3 e M4) e após o T400. Parâmetros biomecânicos de nado foram obtidos por cinemetria 3D e método *e-zone* para cálculo da localização do centro de massa. VO_2 foi mensurado respiração por respiração utilizando o ergoespirômetro K5 e esnorquel Aquatrainer (ambos Cosmed). Foi utilizada estatística descritiva e inferencial (comparativa e correlacional). **Resultados:** (i) nadadores de 400 m possuem somatotipo meso-ectomórfico; (ii) não houve mudanças nos parâmetros biomecânicos ao longo do teste (exceto maior FB no M4); (iii) o VO_2 do M1 foi o menor em comparação a M2, M3 e M4, sendo que o maior valor de VO_2 (pico: $67,6 \pm 8,9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) foi identificado nos últimos trechos do T400; após o término do teste a [LA] foi de $9,03 \pm 0,04 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ e PSE de $17,6 \pm 1,2$ pontos. Entre as variáveis fisiológicas, a [LA] correlacionou-se inversamente com o desempenho ($r = -0,61$). **Conclusão:** Nadadores incrementam a FB ao fim do teste, buscando, pelo menos, incrementar a VN. Mesmo que a VN tenha se mantido constante, os maiores valores foram encontrados ao final do teste. Ao mesmo tempo, o consumo de oxigênio incrementou no último quarto do teste, possivelmente de acordo com o aumento da FB.

Palavras-chaves: natação, avaliação, consumo de oxigênio, desempenho.

ABSTRACT

Introduction and Objectives: considering the swimming complexity, the general objective of this study was to investigate the performance in 400 m front crawl (T400) with anthropometric, biochemical and physiological parameters. **Materials and Methods:** the Ethics Committee of the UFRGS approved the study. Fourteen competitive swimmers (21.2 ± 4.15 years old) of regional and national level were assessed in relation to: (i) anthropometry and somatotype; (ii) biomechanical parameters (mean rate of stroke cycles - SR, mean stroke length - SL, mean swimming speed - SS; center of mass intracyclic velocity variation in the three axes - VIV_x , VIV_y , VIV_z ; index of coordination - IdC, duration of the propulsive and non-propulsive phases - F_{prop} and F_{nprop} ; and propulsive time - T_{prop}); and (iii) physiological parameters (oxygen consumption - VO_2 , blood lactate concentration - [LA], and perceived exertion - PE). Data were obtained before, during (M1, M2, M3 and M4) and after T400. Biomechanical parameters of swimming were obtained by kinematics and 3D method e-zone for calculating the center of mass location. VO_2 was breath-by-breath measured using the K5 ergospirometer and snorkels Aquatrainer (both Cosmed). It used descriptive and inferential statistics (comparative and correlational). **Results:** (i) 400 m swimmers are meso-ectomorphic somatotype; (ii) no changes in biomechanical parameters during the test (except increased SR in the M4); (iii) VO_2 in the M1 was lower when compared to M2, M3 and M4, and the largest VO_2 value (peak: $67.6 \pm 8.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) was identified in the last T400 part; after the end of the test the [LA] was $9.03 \pm 0.04 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ and PE was 17.6 ± 1.2 points. Among the physiological variables, [LA] correlated inversely with performance ($r = -0.61$). **Conclusion:** Swimmers increase SR in the end of the test, seeking, at least, to increase the SS. Even the VN has remained constant, the highest values were found at the end of testing. At the same time, the increased VO_2 in the last in the T400's final part possibly is in accordance with the SR increased.

Keywords: swimming, evaluation, oxygen consumption, performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Volume de calibração utilizado para as análises 3D similar ao descrito por Psycharakis <i>et al.</i> (2005).....	44
Figura 2 - Marcações anatômica para o processo de digitalização e método <i>e-zone</i>	47
Figura 3 - Visão frontal (a) e sagital direita (b) da calibração utilizada para o método <i>e-zone</i>	48
Figura 4 - Vistas lateral (a) e frontal (b) de um participante na posição para os registros das imagens do método <i>e-zone</i>	48
Figura 5 - Desenho esquemático do posicionamento das câmeras para as análises 3D. Em cinza, o posicionamento das seis câmeras (quatro subaquáticas e duas fora da água). ..	49
Figura 6 - Sincronizador luminoso utilizado para a sincronização das câmeras.	49
Figura 7 - Esnorquel <i>Aquatrainner</i> e ergoespirômetro K5 (<i>Cosmed</i>).	50
Figura 8 – Nadador executando o T400 com o esnorquel e o ergoespirômetro.....	51
Figura 9 - Escala de 15 pontos de PSE (adaptado de Borg, 1982).....	51
Figura 10 - Somatocarta para a análise do somatotipo corporal desenvolvida por Heath & Carter (1990).....	54
Figura 11 - Vista frontal (a) e sagital direita (b) dos contornos segmentais corporais realizados pelo método <i>e-zone</i>	55
Figura 12 - Caracterização do somatotipo médio (n=14) pela somatocarta desenvolvida por Heath & Carter (1990).	64
Figura 13 - VN ao longo do ciclo de braçada em todos os eixos de um nadador representativo da amostra.....	66
Figura 14 - Consumo de oxigênio (VO ₂) ao longo do T400 de um nadador representativo da amostra.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização da amostra em média \pm desvio padrão e limites inferior e superior do intervalo de confiança da média (95%). EXP: experiência no esporte; DES: melhor tempo em prova; DES FINA: melhor tempo em prova convertido em pontos. .	63
Tabela 2 – Características antropométricas da amostra em média \pm desvio padrão e limites inferior e superior do intervalo de confiança da média (95%). MC: massa corporal total; EST: estatura; IMC: índice de massa corporal; ENV: envergadura; CB: comprimento do braço; CP: comprimento de perna.	63
Tabela 3 - Média \pm desvio padrão e limites inferior e superior do intervalo de confiança da média (95%) de cada componente do somatotipo corporal.....	64
Tabela 4 - Média \pm desvio padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) e resultados estatísticos relativos à comparação dos parâmetros biomecânicos cinemáticos nos quatro momentos do T400.	65
Tabela 5 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) e resultados estatísticos relativos à comparação das variáveis de coordenação (IdC, F_{prop} , F_{nprop} , todos em % da duração de um ciclo de braçadas) e T_{prop} (s) nos 4 momentos do T400.	66
Tabela 6 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) e resultados estatísticos do VO_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) entre os momentos do T400.	67
Tabela 7 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) do VO_{2pico} e do tVO_{2pico} durante o T400.....	67
Tabela 8 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) da [LA] e PSE nos momentos PRÉ e PÓS do T400.....	68
Tabela 9 - Média \pm desvio-padrão e limites do intervalo de confiança da média (95%) do Des400 e o T400.	69
Tabela 10 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) dos parâmetros médios do T400.	70
Tabela 11 - Correlação de <i>Pearson</i> entre os valores médios dos parâmetros biomecânicos e fisiológicos do T400.....	70
Tabela 12 - Correlação de <i>Pearson</i> do desempenho com os parâmetros fisiológicos....	71

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	25
Equação 2	25
Equação 3	25
Equação 4	52
Equação 5	52
Equação 6	52
Equação 7	52
Equação 8	53
Equação 9	53
Equação 10	53
Equação 11	53
Equação 12	57
Equação 13	57
Equação 14	57
Equação 15	57
Equação 16	58
Equação 17	58
Equação 18	77

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

ATP	Tri-fosfato de adenosina
[LA]	Concentração sanguínea de lactato
[LAPÓS]	Concentração sanguínea de lactato pós teste
3D	Tridimensional
Af	Arrasto de forma
Ao	Arrasto de onda
Ap	Arrasto de pressão
Ast	Área de secção transversa
AVI	Formato de arquivo de vídeo
C2	Segunda vértebra cervical
C7	Sétima vértebra cervical
Ca	Coefficiente de forma
CB	Comprimento de braço
CM	Centro de massa corporal
CO ₂	Dióxido de carbono
CP	Comprimento de perna
d de Cohen	Estatística para tamanho de efeito
DB	Distância média percorrida pelo corpo do nadador a cada ciclo de braçadas
ρ	Densidade da água
DES	Melhor tempo em prova de 400 m
DES FINA	Desempenho transformado em unidades pontuais da Federação Internacional de Natação
DF	Diâmetro do fêmur
DLT	<i>Direct Linear Transform</i> (transformação linear direta)
DU	Diâmetro de úmero
ECT	Ectomórfico
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
END	Endomórfico
ENV	Envergadura dos braços
EST	Estatura

EXP	Experiência
F	Teste exato de Fischer
FC	Frequência cardíaca
F_{nprop}	Duração das fases não propulsivas
F_{prop}	Duração das fases propulsivas
gr	Aceleração da gravidade
Hz	Hertz
IdC	Índice de coordenação
IMC	Índice de massa corporal
IP	Índice ponderal
JPEG	Formato de arquivo de imagem
kg	Quilograma
L	Área corporal total
LED	<i>Light emitting diode</i> (diodo emissor de luz)
m	Metro
M1 a M4	Momentos 1 a 4
m^3	Metro cúbico
MC	Massa corporal total
Mes	Mesomórfico
MFB	Média da frequência média de ciclos de braçadas
MF_{nprop}	Média da duração das fases não propulsivas
MF_{prop}	Média da duração das fases propulsivas
MIdC	Média do índice de coordenação
min	Minuto
$ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	Mililitro por quilograma por minuto
$mmol \cdot l^{-1}$	Milimol por litro
MT_{prop}	Média de tempo propulsivo
$MVIV_x$	Média da variação intracíclica da velocidade em x
$MVIV_y$	Média da variação intracíclica da velocidade em y
$MVIV_z$	Média da variação da velocidade em z
$MV_{máx}$	Média da velocidade máxima
$MV_{mín}$	Média da velocidade mínima
nm	Nanômetro

O ₂	Dioxigênio
°C	Graus Célsius
P	Perna
p	Nível de significância calculado
PB	Perímetro de braço
PBC	Perímetro de braço corrigido
PC	Perímetro de perna
PPC	Perímetro de perna corrigido
PSE	Percepção subjetiva de esforço
RMS	<i>Root mean square</i> (raiz quadrada da média dos valores elevados ao quadrado)
S	Segundos
SE	Dobra cutânea subescapular
\sum dob	Somatório de dobras cutâneas
\sum dobcor	Somatório de dobras cutâneas corrigido
T400	Teste de 400 m em nado <i>crawl</i> e máxima intensidade
tCB	Tempo médio de um ciclo de braçadas
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
T _{prop}	Tempo propulsivo
tVO _{2pico}	Tempo para atingir o consumo de oxigênio de pico
TR	Dobra cutânea tricipital
V	Velocidade
η	Viscosidade da água
η ²	Estatística <i>eta</i> ao quadrado
VIV _x	Varição intracíclica da velocidade em x
VIV _y	Varição intracíclica da velocidade em y
VIV _z	Varição intracíclica da velocidade em z
V _{máx}	Velocidade máxima
V _{mín}	Velocidade mínima
VN	Velocidade média de nado
VO ₂	Consumo de oxigênio
VO _{2máx}	Consumo máximo de oxigênio
VO _{2pico}	Consumo de oxigênio de pico

x	Eixo longitudinal
y	Eixo vertical
z	Eixo médio-lateral

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
3 OBJETIVOS	21
3.1 Objetivo geral	21
3.2 Objetivos específicos	21
4 JUSTIFICATIVA.....	22
5 REVISÃO DE LITERATURA.....	24
5.1 Parâmetros antropométricos	24
5.2 Parâmetros biomecânicos e a técnica do nado <i>crawl</i>	26
5.2.1 Variáveis espaço temporais.....	27
5.2.2 Picos de velocidade e variação intracíclica de velocidade (VIV)	29
5.2.4 Variáveis de coordenação	30
5.3 Parâmetros Fisiológicos	33
5.3.1 Consumo de oxigênio (VO ₂).....	33
5.3.2 Concentração de lactato [LA]	35
5.3.3 Percepção subjetiva de esforço (PSE)	36
5.4 O desempenho em provas de meia distância de natação.....	37
5.5 Análise crítica da literatura.....	38
6 HIPÓTESES	40
7 MATERIAIS E MÉTODOS	41
7.1 Participantes	41
7.2 Aspectos Éticos.....	41
7.3 Caracterização e variáveis do estudo	42
7.4 Desenho do Estudo	42
7.5 Materiais e equipamentos utilizados	43
7.5.1 Antropometria, somatotipo, marcações anatômicas e determinação de parâmetros inerciais corporais	43

7.5.2 Parâmetros biomecânicos	43
7.5.3 Parâmetros fisiológicos.....	44
7.6 Protocolos para obtenção das variáveis.....	45
7.6.1 Antropometria	45
7.6.2 Somatotipo	46
7.6.3 Marcações anatômicas	46
7.6.4 Parâmetros inerciais corporais	47
7.6.5 Parâmetros biomecânicos	48
7.6.5 Parâmetros fisiológicos.....	50
7.7 Processamentos das variáveis.....	52
7.7.2 Parâmetros inerciais corporais	54
7.7.3 Parâmetros biomecânicos	55
7.7.4 Parâmetros fisiológicos.....	58
7.8 Análise estatística	59
7.9 Estudo piloto.....	60
7.10 Procedimentos relativos à qualidade da calibração tridimensional e dos dados do método e-zone	60
7.10.1 Erro RMS da digitalização do volume de calibração	61
7.10.2 Qualidade dos dados obtidos pelo método e-zone	61
8 RESULTADOS.....	63
8.1 Caracterização da amostra.....	63
8.2 Somatotipo Corporal.....	63
8.3 Parâmetros Biomecânicos	64
8.4 Parâmetros Fisiológicos	67
8.5 Desempenho	68
8.6 Correlações.....	70
9 DISCUSSÃO	72

9.1 Parâmetros antropométricos e somatotipo	72
9.2. Variáveis espaço temporais	73
9.3 Parâmetros coordenativos	76
9.4 Parâmetros fisiológicos	78
9.5 Desempenho	79
9.6 Correlações	81
10 CONCLUSÕES.....	83
11 LIMITAÇÕES, PERSPECTIVAS E POSSÍVEIS APLICAÇÕES	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXO 1	90
ANEXO 2	93
ANEXO 3	93
ANEXO 3	93
ANEXO 4	96

INTRODUÇÃO

O desempenho na natação competitiva pode ser representado pelo tempo que o nadador leva para completar a distância prevista sob as regras estabelecidas. Pesquisas na área descrevem e relacionam o desempenho principalmente com parâmetros biomecânicos (CRAIG & PENDERGAST, 1979; ALBERTY *et al.*, 2009) e fisiológicos (PELAYO *et al.*, 2007; HOLFELDER *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2014). Atualmente, pesquisas (BARBOSA *et al.*, 2010; FIGUEIREDO *et al.*, 2013) indicam que esses parâmetros estariam interligados, fornecendo respostas que explicam o desempenho em diferentes provas competitivas. Além disso, as características antropométricas de um nadador, devido as suas relações com o arrasto e a propulsão, parecem ser, também, importantes determinantes do desempenho (TOUSSAINT & BEEK, 1992).

Na natação competitiva, as provas de nado livre (nas quais, devido a questões de velocidade e economia, executa-se normalmente o nado *crawl*) são em maior número. Dentre elas, em piscina, as provas de 50 e 100 m são consideradas de curta distância; as de meia distância, representadas pelos 200 e 400 m; e, por fim, as longas, 800 e 1500 m. Análises biomecânicas, principalmente cinemáticas (COSTILL *et al.*, 1985; LAFFITE *et al.*, 2004), coordenativas (ALBERTY *et al.*, 2009; SCHNITZLER *et al.*, 2011) e antropométricas (ACKLAND *et al.*, 2009) têm sido realizadas sobre os 400 m nado *crawl* (cabe diferenciar o evento competitivo, 400 m nado livre, das situações fora de competição, 400 m nado *crawl*). Já dentre as análises fisiológicas se destacam as avaliações do consumo de oxigênio e contribuições dos sistemas energéticos (RODRIGUEZ, 2000; ZACCA *et al.*, 2016).

Dentre as variáveis cinemáticas do nado, a velocidade média de nado (VN), é o produto entre a frequência média de ciclo de braçadas (FB) e a distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas (DB) (CRAIG & PENDERGAST, 1979). Assim, FB e DB são importantes indicadores de desempenho. Porém, outros parâmetros podem ser utilizados para avaliar o nado. Dentre eles, o Índice de Coordenação (IdC), valor que indica a coordenação entre as ações dos membros superiores (CHOLLET *et al.*, 2000) em modelos de captura, oposição e sobreposição. Ainda, visando compreender o desempenho em seus detalhes, é possível estimar o tempo despendido nas ações propulsivas dos membros superiores (T_{prop}) (ALBERTY *et al.*, 2009) e identificar a variação intracíclica da velocidade do corpo do nadador (VIV). Entre as variáveis antropométricas é possível avaliar, por exemplo, o somatotipo do nadador, a fim de se determinar as características

corporais específicas que levam os atletas a obterem o melhor desempenho em determinadas provas (CARTER & HEATH, 1990).

Parâmetros fisiológicos também são responsáveis pelo desempenho do nadador, pois respondem às demandas energéticas relacionados ao esforço. Consumo de oxigênio (VO_2), seja máximo ($VO_{2máx}$) ou pico (VO_{2pico}) (COSTILL *et al.*, 1985; REIS *et al.*, 2010), concentração sanguínea de lactato ([LA]) (HOLFELDER *et al.*, 2013) e percepção subjetiva de esforço (PSE) (SUZUKI *et al.*, 2007; FRANKEN *et al.*, 2011), dentre outros parâmetros relacionados às diferentes intensidades, permitem traçar um panorama de processos fisiológicos relacionados ao esforço e ao desempenho.

Todos esses parâmetros indicados (antropométricos, biomecânicos e fisiológicos) parecem estar relacionados e interligados uns com os outros e com o desempenho propriamente dito. No que se diz respeito à prova de 400 m nado livre, Costill *et al.* (1985) encontraram elevada correlação entre a DB e o desempenho, e entre o VO_{2max} e o desempenho. Esses achados demonstraram a importância de se analisar esses parâmetros em conjunto, pois apresentam relações importantes que podem explicar o desempenho em provas de meia distância. Mais recentemente, Laffite *et al.* (2004) também analisaram respostas fisiológicas e biomecânicas ao longo dos 400 m. Os autores identificaram que o VO_2 estabilizou e a DB diminuiu ao longo da prova. Porém, em relação aos 400 m nado *crawl*, não foram encontradas avaliações mais estruturadas considerando parâmetros biomecânicos. Por exemplo, indicadores do modelo de coordenação, tempo despendido na propulsão, variação da velocidade do centro de massa, e avaliação dos parâmetros cinemáticos por cinemetria tridimensional em uma única análise.

Avaliações do consumo de oxigênio por meio de telemetria portátil e contribuição dos níveis dos sistemas energéticos durante os 400 m, ambas associadas, são necessárias para avaliar o desempenho nessa prova. Dentre as pesquisas recentes, analisando as associações entre os parâmetros cinemáticos, coordenativos e fisiológicos em provas de natação, Figueiredo *et al.* (2013) investigaram relações biofísicas ao longo de 200 m nado *crawl* e identificaram que os parâmetros biomecânicos, nas mais altas velocidades de nado, são os principais responsáveis pelo desempenho nesta distância. Porém a contribuição energética, principalmente nos metros finais de prova, pode ser fator primordial para o desempenho na distância de 200 m. Por isso, analisar esses parâmetros e suas possíveis relações, e comparar com os estudos já realizados sobre os 400 m nado *crawl* pode fornecer informações e contribuições importantes, além das já conhecidas,

para melhor entender o desempenho nesta prova, possibilitar processos de treinamento mais específicos e, por fim, melhorar o próprio desempenho.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

A partir do conhecimento atual a respeito da antropometria, da biomecânica e da fisiologia aplicadas à natação competitiva estabeleceu-se o seguinte problema de pesquisa: **em 400 m nado crawl, como se comportam os parâmetros cinemáticos e fisiológicos e como são suas relações com o desempenho?**

3 OBJETIVOS

Foram estabelecidos objetivo geral e específicos para a presente pesquisa:

3.1 Objetivo geral

Investigar o desempenho em teste de 400 m nado *crawl* (T400), a partir de parâmetros antropométricos, biomecânicos e fisiológicos.

3.2 Objetivos específicos

- I. Identificar o perfil somatotípico de nadadores especialistas em provas de meia-distância;

Ao longo do T400 (M1, M2, M3 e M4) comparar:

- II. Frequência média de ciclos de braçadas (FB), distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas (DB) e velocidade média de nado (VN);
- III. A variação intracíclica da velocidade do centro de massa nos três eixos (VIV_x , VIV_y , VIV_z);
- IV. Os valores dos parâmetros coordenativos: índice de coordenação (IdC), duração de fases propulsivas e não propulsivas (F_{prop} e F_{nprop}) e tempo propulsivo (T_{prop});
- V. O comportamento do consumo de oxigênio (VO_2) e identificar o maior valor (VO_{2pico});

Pré e pós T400:

- VI. Comparar o desempenho real (DES) e o desempenho no T400;
- VII. Comparar valores de concentração sanguínea de lactato ($[La]$);
- VIII. Comparar valores de percepção subjetiva de esforço (PSE);

Verificar as correlações entre:

- IX. Parâmetros antropométricos, biomecânicos e fisiológicos;
- X. Parâmetros antropométricos e o desempenho;
- XI. Parâmetros biomecânicos e o desempenho;
- XII. Parâmetros fisiológicos e o desempenho.

4 JUSTIFICATIVA

Na natação competitiva, para compreender os mecanismos que estão envolvidos no desempenho, exige-se conhecimento científico, principalmente, pelos técnicos de natação a fim de propor novas estratégias na execução do nado ao longo das provas, corretos planejamento e execução dos treinamentos e melhores avaliações dos parâmetros biomecânicos e fisiológicos.

Em provas de meia distância, já se sabe que o nadador deve ritmar a FB e a DB para que não haja variação demasiada da VN ao longo da prova que possa prejudicar o desempenho. Por exemplo, estudos que avaliaram o comportamento dos parâmetros biomecânicos e coordenativos, no nado *crawl*, identificaram que os nadadores não são capazes de manter a DB e, assim, aumentam a FB nas últimas parciais para manter a VN tanto na prova de 200 m (FIGUEIREDO *et al.*, 2013), quanto na prova de 400 m (LAFFITE *et al.*, 2004). Desse modo, esses autores afirmam que mudanças desses parâmetros podem influenciar ou determinar o desempenho nessas provas (SCHNITZLER *et al.*, 2008; MCCABE, 2008).

Ao se estabelecer tais relações e as diferenças entre essas variáveis ao longo da prova, treinadores, nadadores e pesquisadores poderão compreender com clareza as condições técnicas de execução do nado e possíveis soluções de aperfeiçoamento e estratégias adequadas a serem adotadas ao longo de 400 m nado *crawl*. Ao simular essa prova, realizando análises biomecânicas e fisiológicas em associações, poderão ser obtidos resultados quantitativos para serem prescritos, por exemplo, durante o treinamento específico para essa prova ou até mesmo para prescrever os modelos coordenativos e velocidade de nado. Além do mais, a velocidade média em 400 m nado *crawl* parece ser similar e correspondente à velocidade de nado relativa ao $VO_{2máx}$, podendo ser utilizada como um parâmetro de controle da intensidade do treinamento.

Embora análises biomecânicas sejam fundamentais para compreender o desempenho na natação, apenas esses parâmetros podem não ser suficientes para o total conhecimento do desempenho. Fatores fisiológicos também influenciam o rendimento do nadador. O conhecimento da real condição física, de variáveis relacionadas aos componentes bioenergéticos (consumo de oxigênio, lactato, contribuição energética), é ferramenta fundamental para explicar de forma conjunta com a biomecânica as suas influências no desempenho. Tal conhecimento é proveniente de avaliações fisiológicas adequadas aos nadadores e as suas especificidades. Na distância de 400 m nado *crawl*, as

avaliações do VO_2 por método direto e respiração a respiração, fornecem informações relativas do comportamento do consumo de oxigênio (atingindo valores máximos ou de pico), pois é uma prova que requer grande demanda aeróbia (COSTILL *et al.*, 1985; FERNANDES & VILAS-BOAS, 2012).

Pesquisas (REIS *et al.*, 2010; ZACCA *et al.*, 2016) utilizam o desempenho dos 400 m para encontrar a velocidade de nado requerida para se atingir o $VO_{2\text{ pico}}$ ou máximo para, após, manipular a velocidade em outras distâncias ou protocolos. Desse modo, investigar essas variáveis durante simulação da prova dos 400 m pode resultar em um teste mais específico e com mais informações, determinando a velocidade média atingida pelo nadador durante a realização dos 400 m. Além disso, Laffite *et al.* (2004) e Souza *et al.* (2014) identificaram, também, grande contribuição anaeróbia relacionada ao desempenho em provas de meia distância.

Desse modo, se julga necessário analisar as respostas biomecânicas, fisiológicas e suas inter-relações, ao longo dos 400 m nado *crawl* para fornecer melhores respostas às estratégias de ritmo a serem adotadas por esses nadadores, aperfeiçoar os tipos de treinamento com aplicação de avaliações e testes (o próprio 400 m, sob condições específicas) que podem surgir com a realização da presente pesquisa. Até então, foram realizados poucos estudos analisando esses parâmetros associados em provas de meia distância. Por exemplo, Costill *et al.* (1985) e Laffite *et al.* (2004) não utilizaram instrumentos de avaliações mais modernos, característicos das atuais pesquisas em natação que permitem explorar as análises de VIV, cinemática tridimensional para avaliar as variáveis cinemáticas e os modelos coordenativos do nado *crawl*.

Ainda, nos 400 m, medidas diretas de VO_2 , durante a execução do nado em situação de prova, mais a análise em conjunto dos parâmetros biomecânicos, parecem que ainda não foram realizadas de modo mais sistemático. Portanto, ao realizar essas associações entre os parâmetros na prova de 400 m, busca-se avançar no conhecimento relativo aos 400 m nado *crawl*.

5 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordadas os conceitos e estudos sobre parâmetros responsáveis pelo desempenho nos 400 m: antropométricos (somatotipo corporal), biomecânicos (espaço temporais e coordenativos) e fisiológicos, desempenho em 400 m nado *crawl* e, por fim, é realizada a análise crítica da literatura.

5.1 Parâmetros antropométricos

Algumas modalidades esportivas requerem morfologias corporais padronizadas que podem contribuir com o desempenho. Parâmetros como estatura, massa corporal, dobras cutâneas, envergadura, entre outros, podem caracterizar o atleta em um biotipo específico para determinada modalidade esportiva ou determinar, na modalidade esportiva, qual prova ou fundamento esse atleta terá maior rendimento. Deste modo, avaliações antropométricas começaram a ser realizadas e investigadas em atletas, verificando as relações com o desempenho das modalidades esportivas (KJENDLIE & STALLMAN, 2002).

Na natação e nos esportes aquáticos em geral, os atletas se caracterizam por baixa adiposidade, massa muscular robusta e elevada. Ao considerar que nas competições existem diferentes estilos de nado, mesmo assim, os atletas se caracterizam homogeneamente (ACKLAND *et al.*, 2009).

Carter & Ackland (1990) descrevem o somatotipo corporal como medida antropométrica representada por três algarismos, indicando o quanto o atleta é endomorfo (grau de desenvolvimento de adiposidade), mesomorfo (desenvolvimento da massa muscular esquelética em relação à altura) ou ectomorfo (linearidade ou desenvolvimento em comprimento). Contudo, os mesmos autores apontam haver algumas diferenças no somatotipo dos nadadores para as diferentes provas da natação competitiva.

Kjendlie & Stallman (2009), após levantamento de vários estudos sobre a morfologia de nadadores, chegaram à conclusão que esses atletas apresentam características ectomórficas, ou seja, são altos, com massa muscular bem definida e baixa adiposidade. Além disso, nadadores especialistas em provas de meia distância possuem comprimento de coxas e capacidade vital maiores que os nadadores de provas rápidas. Carter & Ackland (1994) avaliaram nadadores de alto nível competitivo, especialistas em provas de meia distância, e identificaram que esses atletas possuem faixa etária mais elevada, são mais altos, apresentam maior massa corporal e, por fim, apresentam maior

perímetro de braço e perna quando comparados a atletas especialistas em diferentes provas.

Strzala *et al.* (2007) analisaram nadadores especialistas de provas de 400 m. Na caracterização da amostra os autores identificaram o somatotipo corporal de 26 nadadores. Desses atletas, quinze foram classificados como mesomórficos e onze em ectomórficos. Esses dados contrariam os achados de Kjendlie & Stallman (2009), demonstrando a necessidade de mais investigações sobre características morfológicas ou somatotipo de nadadores.

Características antropométricas de um nadador podem ser determinantes em relação ao desempenho, ao passo que influenciam as forças de arrasto e as forças propulsivas. De modo específico, características como a área de secção transversa, a área corporal e a estatura do nadador são componentes das três equações descritas por Toussaint & Beek (1992) para o arrasto (pressão, forma ou superfície e onda):

$$A_p = 0.5 \cdot (\rho \cdot A_{st} \cdot v^2 \cdot C_a)$$

Equação 1

Onde A_p indica o arrasto de pressão, que é dependente da densidade do meio (ρ), da área de secção transversa do corpo (A_{st}), da velocidade de nado (V) e do coeficiente de forma (C_a).

$$A_f = \frac{v \cdot L \cdot \rho}{\eta}$$

Equação 2

Onde A_f indica o arrasto de forma ou superfície, que é dependente da velocidade de nado (V), da área corporal total (L), da densidade do meio (ρ) e da viscosidade do meio (η).

$$A_o = \frac{v}{\sqrt{g_r \cdot EST}}$$

Equação 3

Onde A_o indica o arrasto de onda, dependente da velocidade de nado (v), da gravidade (g_r) e da estatura corporal (EST).

Ou seja, ao passo que o arrasto é determinante do desempenho, as características antropométricas passam a ser, também, importantes para desempenho.

5.2 Parâmetros biomecânicos e a técnica do nado *crawl*

O estudo da biomecânica permite compreender os movimentos a partir de conceitos em conjunto da física, da biologia e da matemática. As análises englobam quatro grandes áreas de investigação: cinemática, cinética, eletromiografia e antropometria (AMADIO & SERRÃO, 2011). Os parâmetros cinemáticos estudados no presente estudo são: frequência média de ciclos de braçadas (FB), distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas (DB), velocidade média de nado (VN), variação intracíclica de velocidade (VIV nos eixos x, y, z), índice de coordenação (IdC), duração relativa das fases propulsivas e não propulsivas (F_{prop} e F_{nprop}) e tempo propulsivo (T_{prop}).

Nas provas de nado livre normalmente se executa o nado *crawl*, devido as suas características de velocidade e economia (BARBOSA *et al.*, 2006b). Este nado é caracterizado por realizar movimentos com braços (ciclo de braçada) e pernas alternadamente. Esses movimentos exigem que o corpo esteja em decúbito ventral, com movimentos de rolamento do corpo ao longo do eixo longitudinal, em resposta à alternância dos movimentos dos membros superiores e permitindo movimento para respirar integrado aos movimentos de membros superiores. O rolamento facilita o deslocamento horizontal e a respiração, diminuindo o arrasto provocado pelo nadador. A respiração é realizada de acordo com a sincronização do ciclo de braçadas, sendo executada de modo a não alterar o alinhamento corporal, para não influenciar, sobremaneira, o arrasto, o custo energético e o desempenho (COUTO *et al.*, 2015).

Nesse contexto, a ação dos movimentos dos membros superiores pode ser dividida em ações propulsivas e não propulsivas. Segundo Chollet *et al.* (2000), o movimento de uma braçada pode ser dividido em quatro fases:

- a) entrada da mão na água e apoio;
- b) puxada;
- c) empurrada;
- d) recuperação

As fases “a” e “d” são consideradas não propulsivas (as durações somadas dessas fases são expressas em F_{nprop}) e “b” e “c” são consideradas fases propulsivas (as durações somadas dessas fases são expressas em F_{prop}). Já em relação à ação dos membros inferiores, os nadadores podem executar os movimentos alternados em vários ritmos: duas, quatro ou seis batidas para cada ciclo de braçada de acordo com a demanda da prova ou escolha individualizada do nadador (MAGLISCHO, 2010). O tronco, na sua posição horizontal e hidrodinâmica, por meio das ações conjuntas dos membros superiores e inferiores rola ao longo do eixo longitudinal, o que auxilia a respiração do nadador. Pelas ações propulsivas, realizadas ao longo de um ciclo de braçadas (uma braçada completa com cada membro superior), a velocidade atingida pelo corpo do nadador pode variar, ou seja, há uma variação intracíclica de velocidade (VIV) que tem sido identificada de modo sistemático pela variação de velocidade do centro de massa do corpo do nadador ou pelo quadril (FIGUEIREDO *et al.*, 2012b).

5.2.1 Variáveis espaço temporais

A cinemática estuda o movimento a partir da posição, do tempo e suas derivadas: velocidade e aceleração. Por meio de imagens registradas por câmeras são possíveis de descrever e quantificar os movimentos realizados ao longo do nado. Entre as variáveis principais investigadas estão a FB e a DB. O produto dessas duas variáveis determina a VN do nadador (CRAIG & PENDERGAST, 1979).

A FB está relacionada com o número de ciclos de braçadas realizado pelo nadador em cada unidade de tempo (HAY *et al.*, 1983). Essa variável pode ser expressa em ciclos por minuto ou em Hz. Já a DB é influenciada pelas forças aplicadas sobre e pelo nadador na água e definida como a distância percorrida pelo corpo do nadador ao longo de cada ciclo de braçadas. Essa variável pode ser estimada por meio do quociente entre VN e FB ou pelo deslocamento do CM ao longo de um ciclo.

A FB e a DB apresentam relações inversas que influenciam as variações da VN. Essas relações podem ser explicadas por diferentes estratégias de um nadador, pelo aparecimento da fadiga (CRAIG & PENDERGAST, 1979) ou também pelas influências do arrasto (MAGLISCHO, 2010). Geralmente, quando há incremento de FB, há redução de DB. Para se incrementar a VN de modo agudo, ocorre maior aumento de FB em comparação à redução da DB (YANAI, 2003). Porém, de modo crônico, em resposta ao treinamento, pode haver incremento de VN também por incremento de DB (WAKAYOSHI *et al.*, 1993). Logo as relações entre DB e FB podem apresentar

modificações ao longo da prova por adoção de estratégia e ritmo para obter o melhor desempenho. Segundo Maglischo (2010), nadadores de provas rápidas mantêm FB em média de 56 a 67 ciclos·min⁻¹ e DB de 1,88 a 2,16 m, valores que diferem daqueles encontrados em provas de meia distância, nas quais a FB tende a ser entre 38 e 46 ciclos·min⁻¹ e a DB de 2,20 a 2,60 m.

Nesse contexto, Craig *et al.* (1985) analisaram parâmetros espaço temporais em diferentes estilos e provas para investigar as relações entre a FB, DB e VN. Para a prova de 400 m nado livre os autores verificaram que os nadadores de elite mantêm a velocidade sem muitas variações dos 100 aos 300 m, porém, nos últimos 100 m de prova, os nadadores conseguem aumentar a velocidade por consequência do aumento da FB sem que ocorra a diminuição da DB.

Em outro estudo que apresentou relação inversa entre FB e DB, Wakayoshi *et al.* (1993) avaliaram nadadores competitivos, durante seis meses de treinamento aeróbio em testes de 400 m. As variáveis espaço temporais foram mensuradas por meio de 10 ciclos de braçada de cada trecho de 50 m. As médias encontradas de VN, DB e FB para pré e pós treinamento foram, respectivamente, de $1,43 \pm 0,028 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $1,47 \pm 0,021 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $2,18 \pm 0,04 \text{ m}$ e $2,22 \pm 0,03 \text{ m}$; $0,66 \pm 0,01$ e $0,66 \pm 0,01 \text{ Hz}$ - em média 36 ciclos·min⁻¹). Ainda, ao longo dos 400 m, a VN aumentou devido ao aumento na DB nos últimos 100 m. Os autores concluíram que os resultados obtidos no teste foram consequências do treinamento aeróbio que resultou em maior economia de movimento possibilitando aos nadadores aumentar a DB, o que se refletiu no aumento da VN.

Laffite *et al.* (2004), estudando especialistas em 400 m nado *crawl*, mostraram que as variáveis espaço-temporais diminuem depois dos 100 m iniciais e se mantêm constantes até o fim dos 300 m. Porém, nos últimos 100 m, os nadadores voltam a aumentar a FB para manter a VN. Os resultados de VN encontrados foram de $1,67 \pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (100 m); $1,60 \pm 0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (200 m); $1,57 \pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (300 m) e $1,56 \pm 0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (400 m). Os autores concluíram que os nadadores de meia distância não são capazes de manter a DB estável ao longo dos 400 m. Com relação à VN, os nadadores, para mantê-la estável, aumentam a FB nos últimos 100 m, tendo, como consequência, a diminuição da DB. Este estudo (LAFFITE *et al.*, 2004) já utilizou medida direta de consumo de oxigênio durante os testes.

Schnitzler *et al.* (2007) avaliaram parâmetros cinemáticos e compararam dois grupos de nadadores (elite e recreacionais). Os resultados indicaram que os nadadores de elite produzem FB, DB e VN (respectivamente, $34,82 \pm 2$, 32 ciclos·min⁻¹; $2,54 \pm 0,27$

m; e $1,45 \pm 0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) superiores aos de nadadores recreacionais (respectivamente, $33,83 \pm 4,90 \text{ ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$; $2,4 \pm 0,26 \text{ m}$ e $1,21 \pm 0,06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Os autores concluíram que os nadadores de elite variaram menos a velocidade de nado ao longo dos 400 m em comparação aos nadadores recreacionais.

Já Albery *et al.* (2009) tiveram como objetivo explicar as mudanças de DB e FB durante teste cuja velocidade média era manipulada a 95,100 e 110% da velocidade média obtida nos 400 m em situação de prova. Os achados revelaram aumento da FB e diminuição da DB em todas as intensidades, apresentando relações inversas também em velocidades submáximas. Os autores concluíram que aumento da FB e diminuição da DB em diferentes velocidades é consequente do processo da fadiga muscular corroborando as informações de Maglischo (2010).

5.2.2 Picos de velocidade e variação intracíclica de velocidade (VIV)

Durante o ciclo de braçadas realizado pelo nadador, sua velocidade pode variar devido às forças de propulsão e de arrasto. Desse modo, a velocidade de nado sofre variações ao passo que ambos, propulsão e arrasto, não são estáveis (FERREIRA *et al.*, 2002; BARBOSA *et al.*, 2006). Além disso, fatores fisiológicos (por exemplo, o gasto energético) também estariam relacionados a essas variações de velocidade (VILAS-BOAS *et al.*, 2010). Assim, a VIV (representada pelo coeficiente de variação da VN dentro de um ciclo) se torna uma medida adicional para determinar a eficiência de nado. Mouroço *et al.* (2015) afirmam que menores VIV são encontradas em maiores VN. Além do mais, quanto menores essas variações, menor o custo de nado (ALVES *et al.*, 1994; BARBOSA *et al.*, 2006; SCHNITZLER *et al.*, 2008), sendo determinantes para o desempenho quando este estiver relacionado à economia de nado.

Dada à importância dessas variações, estudos recentes indicam que a melhor representação da VIV do corpo do nadador é por meio do deslocamento do centro de massa corporal. Este tem sido utilizado como parâmetro de avaliação, cuja variação de velocidade, nos três eixos (vertical, horizontal e médio-lateral), indica a VIV do corpo de modo tridimensional (FIGUEIREDO *et al.*, 2012b).

Para 400 m nado *crawl*, ao longo do eixo horizontal (mesmo do deslocamento do nadador), foi reportado valor de VIV de $0,14 \pm 0,03$ (SCHNITZLER *et al.*, 2008). Esse estudo avaliou a VIV entre 50 e 3000 m de nado *crawl*, porém não encontrou efeito das distâncias de 200 a 3000 m sobre a VIV. Psycharakis *et al.* (2010) avaliaram a magnitude das mudanças da VIV como também as relações com a velocidade máxima do corpo (V_{\max}) e e velocidade mínima do corpo (V_{\min}) ao longo de um ciclo de braçadas, por meio

do deslocamento do centro de massa em 200 m nado *crawl*. Os autores não encontraram diferenças nas VIV nos eixos x, y, e z ao longo dos 200 m. Os valores de VIVx foram, aproximadamente, de 0,22). Figueiredo *et al.* (2012b) também investigaram o comportamento das VIV na mesma distância. Os resultados encontrados foram semelhantes aos descritos no estudo anterior em relação à VIVx (média de 0,22).

São necessárias mais avaliações dessas medidas nas diferentes distâncias em análises tridimensionais que possam explicar melhor essas variações, principalmente na prova de 400 m nado livre, suas relações com as variáveis biomecânicas e fisiológicas e suas influências no desempenho.

5.2.4 Variáveis de coordenação

O índice de coordenação (IdC) busca quantificar a coordenação de nado a partir das ações propulsivas em nados alternados (ALBERTY *et al.*, 2005; SCHNITZLER *et al.*, 2011). Essa medida é calculada por meio do tempo de atraso (diferença) do início da ação propulsiva de uma braçada e o fim da ação propulsiva da outra braçada (CHOLLET *et al.*, 2000).

O resultado da análise se expressa em termos percentuais da duração de um ciclo de braçadas (CHOLLET *et al.*, 2000). Por meio de análises cinemáticas, a partir do plano sagital do nadador, são identificados quatro momentos durante o ciclo. Estes momentos são relacionados ao início e término das distintas fases das braçadas:

- a) Entrada da mão na água e apoio: tempo decorrido entre a entrada da mão na água até o início do movimento da mão para trás;
- b) Puxada: tempo entre o início do movimento da mão para trás até que esta esteja na mesma linha vertical do ombro do nadador;
- c) Empurrada: tempo decorrido entre o momento em que a mão ultrapassa o plano vertical, na mesma linha do ombro e o momento em que a mão rompe a superfície da água;
- d) Recuperação: tempo decorrido entre a saída da mão da água e a entrada da mesma mão na água a frente do corpo do nadador.

Somente as fases de puxada e empurrada são consideradas propulsivas, as demais são não propulsivas. Três modelos diferentes podem caracterizar a coordenação do nado *crawl* (CHOLLET *et al.*, 2000):

- a) Captura: quando há um período sem que haja produção de propulsão de ambos os membros superiores: um membro superior inicia a fase de puxada depois que o outro membro já finalizou a empurrada. O valor do IdC é negativo;
- b) Oposição: sempre há produção de propulsão, um membro inicia a puxada exatamente quando o outro membro termina a empurrada. O valor do IdC é nulo;
- c) Sobreposição: um membro superior inicia a fase de puxada antes de o outro membro finalizar a empurrada. O valor do IdC é positivo;

Por meio da identificação dos pontos-chaves é possível, também, identificar as durações das fases propulsivas e não propulsivas (F_{prop} e F_{nprop}). Essas durações são calculadas por meio da soma das durações das fases de puxada e empurrada (F_{prop}) e de entrada e apoio e recuperação (F_{nprop}). Essa diferenciação facilita compreender as classificações obtidas dos resultados do IdC, ou seja, os modelos coordenativos adotados pelos nadadores. F_{nprop} superior à F_{prop} é característico do modelo de captura. Já quando a F_{prop} é superior, o modelo adotado é o de sobreposição, característico de distâncias mais curtas (50 e 100 m).

Strzata *et al.* (2007) analisaram o IdC em 400 m nado *crawl* e verificaram que, ao longo da distância, esse índice não apresentou diferenças (100 m: $-6,6 \pm 7,0\%$; 200 m: $-5,9 \pm 6,9\%$; 300 m: $-6,3 \pm 7,3\%$ e 400 m: $-5,0 \pm 6,3\%$). Porém, por meio dos resultados obtidos, é possível verificar aumento do IdC ao longo da prova por consequência do aumento da FB e oscilações da VN. Esse comportamento pode ser explicado pela baixa correlação significativa do IdC com a VN encontrada pelos autores ($r = 0,50$), porém não influenciou na coordenação de nado ao longo dos 400 m.

Alberty *et al.* (2008) observaram que incremento de FB e redução de DB reduzem a duração das fases não propulsivas da braçada. Ainda os autores reforçam que essa mudança estaria associada particularmente à FB. Os resultados encontrados foram que a soma das fases não propulsivas foi diferente e declinou ao longo dos 400 m, em protocolo de exaustão em velocidades submáximas relativas a VN de T400 (95, 100 e 110% da VN do T400). Já a soma das fases propulsivas apresentou relação inversa, ou seja, aumentou de acordo com a intensidade do protocolo. Já em relação ao IdC, os resultados indicaram que o modelo de captura foi adotado por todos os nadadores, porém, ao passo que a velocidade de nado era incrementada, o IdC aumentava, reduzindo a captura.

Schnitzler *et al.* (2009) examinaram a variabilidade dos parâmetros coordenativos em ambos os sexos durante os 400 m. Para isso doze nadadores (6 homens e 6 mulheres) realizaram 400 m em ritmo máximo (T400), além de três tentativas de 100, 200 e 300 m. O principal resultado mostra que os parâmetros de coordenação de captura (média de -14%) manteve-se estável, apesar de indicadores fisiológicos, como concentração de lactato, frequência cardíaca e parâmetros perceptivos indicarem fadiga ao término do T400. Os autores indicam a investigação desses parâmetros em distâncias mais curtas para se verificar as mesmas observações encontradas no T400.

Schnitzler *et al.* (2011), em mais uma investigação do comportamento dos parâmetros coordenativos ao longo de T400, analisaram se o IdC e as ações propulsivas influenciam no desempenho durante a realização de T400 m em esforço máximo. Para isso, dois grupos de níveis de desempenho diferentes (nadadores de elite e nadadores recreacionais) realizaram o T400. Foi verificado que o grupo dos nadadores de elite obteve maiores valores nas variáveis espaço temporais (FB: $34,8 \pm 3,3$ ciclos·min⁻¹; DB; $2,48 \pm 0,30$ m para os nadadores de elite; FB: $33,9 \pm 4,5$ ciclos·min⁻¹; DB de $2,04 \pm 0,23$ m para nadadores recreacionais); maiores VN ($1,42 \pm 0,09$ ms⁻¹ para elite e $1,14 \pm 0,12$ m·s⁻¹ para recreacionais). Porém, esperava-se que os nadadores de elite apresentassem IdC mais próximo de zero, fato que não ocorreu ($-14,1 \pm 3,8\%$ grupo elite e $-10,9 \pm 3,6\%$ grupo recreacional). Desse modo, não houve diferenças de coordenação entre os grupos. Os achados sugerem que ao associar grande DB e IdC negativo, que caracteriza o modelo de coordenação em captura, pode ser eficiente como forma de se adaptar às condições limitantes das forças hidrodinâmicas de arrasto. Portanto parece ser estratégia adaptativa de coordenação para os nadadores de meia distância.

Ainda Alberty *et al.* (2009) propuseram identificar somente as ações propulsivas de nado pelo tempo ao considerar qualquer trecho a ser quantificado, pelo número de ciclos analisados, denominada de tempo propulsivo (T_{prop}). Segundo os autores, fadiga gera aumento na FB para a manutenção da VN o que leva ao aumento também da duração das ações propulsivas e, conseqüentemente, eleva o T_{prop}. Desse modo, Alberty *et al.* (2009) avaliaram o nado *crawl* em intensidades máximas com velocidade constante (95, 100 e 110% da velocidade média de T400 em máxima intensidade). Além das variáveis espaço temporais e IdC, o T_{prop} foi identificado a fim de quantificar o tempo de propulsão em uma determinada distância de nado. Os achados indicaram incremento do T_{prop} ao longo de cada percentual da VN até a exaustão e maiores valores de T_{prop} no percentual de 95%.

5.3 Parâmetros Fisiológicos

Diversos mecanismos enzimáticos permitem a ressíntese de ATP em velocidades adequadas aos esforços característicos da realização dos diferentes exercícios. Assim, no início do exercício, os primeiros mecanismos energéticos não necessitam de oxigênio extra para atender a sua demanda (metabolismo anaeróbio). Esse sistema pode ser dividido em alático e lático. O sistema alático se refere à quebra da creatina fosfato (CP) e o sistema lático se refere à quebra das moléculas de glicose ou glicogênio. A combustão dessas duas moléculas gera o ácido lático que é rapidamente convertido em lactato e levado à corrente sanguínea (CAPUTO *et al.*, 2009). Já, com o decorrer do exercício, o metabolismo aeróbio (utilização do oxigênio como receptor de íons hidrogênio), que ocorre nas mitocôndrias musculares, começa a metabolizar os substratos para geração de energia (MAUGHAN *et al.*, 2000). O metabolismo aeróbio utiliza a quebra da glicose formando ácido pirúvico que é metabolizado na mitocôndria (Ciclo de Krebs). Na mitocôndria, a glicose libera água e CO₂ por meio da fosforilação e necessita de O₂ para ressintetizar ATP.

Para que o nadador possa reduzir as forças resistivas da água sobre ele e, simultaneamente, gerar propulsão, além da técnica adequada de nado, é necessário suprir certa demanda energética. Assim, o consumo de oxigênio (VO₂) pode identificar a contribuição dos diferentes metabolismos energéticos (aeróbio, anaeróbio alático e lático) dos diferentes estilos de nados, velocidade e distâncias diferentes da natação competitiva (SHARP, 2003). Além disso, as respostas do VO₂ podem definir diferentes domínios de intensidades: moderado, pesado e severo (CARITA *et al.*, 2014), assim como as respostas do lactato sanguíneo ou até mesmo métodos indiretos como a percepção subjetiva de esforço (PSE) podem contribuir para essas respostas.

5.3.1 Consumo de oxigênio (VO₂)

A capacidade do ser humano em realizar exercícios de média e longa duração depende, principalmente, do metabolismo aeróbio (DENADAI, 1995). Segundo Caputo *et al.* (2008) esportes como o atletismo (800 m rasos) e na natação (200 m em diante) já teriam um predomínio do metabolismo aeróbio como fonte de energia principal para suprir a demanda energética. Desse modo, a capacidade aeróbia, capacidade de manter determinado percentual de VO_{2max} por um longo período de tempo, é um dos principais

determinantes do desempenho (DI PRAMPERO *et al.*, 2011; ZACCA & CASTRO, 2012).

Na natação, em provas de meia distância, no caso específico dos 400 m nado livre, o nadador pode atingir a zona de potência máxima aeróbia, quando os valores de VO_2 chegam aos níveis máximos (RODRIGUEZ, 2000). Esse resultado é consequência do tempo em que se realiza a prova, quando grande parte da energia necessária deriva das rotas metabólicas aeróbias.

Ribeiro *et al.* (1990) para avaliar a capacidade de diferentes índices metabólicos em prever o desempenho em nadadores de meia distância (especificamente na distância de 400 m) utilizaram os valores de VO_2 da recuperação para identificar o VO_{2max} . Os resultados obtidos foram que o VO_{2max} predito dos nadadores foi de $56 \pm 6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. O estudo ainda tentou encontrar correlações com a velocidade, o que não aconteceu. Porém, a velocidade atingida referente a 85% do VO_{2max} se correlacionou com a máxima velocidade ($r = 0,90$). Assim, os autores concluíram que os nadadores podem obter bom desempenho nadando em velocidades altas, mas sem atingir o VO_{2max} .

Já Nomura *et al.* (1992) analisaram o desempenho dos 400 m nado livre relacionando os níveis de contribuição energética com a velocidade ao longo da prova. Os resultados indicaram que no início da prova ocorre em alta velocidade, a qual estaria relacionada à maior contribuição anaeróbia. Após os trechos iniciais, inicia-se a redução da velocidade inicial, devida ao aparecimento da fadiga. Logo, os nadadores devem controlar a velocidade no início de prova, recrutando menos as reservas anaeróbias. Ao manter a velocidade constante durante a primeira metade de prova, a contribuição aeróbia torna-se predominante até o fim de prova.

Em estudo recente, Zacca *et al.* (2016) verificaram a respostas de VO_2 e de outras variáveis fisiológicas por meio dos parâmetros obtidos de um protocolo de estimativa da velocidade crítica. Os autores hipotetizaram que a distância dos 400 m poderia ser um teste válido para estimar o VO_{2max} dos nadadores. Os resultados encontrados, avaliando-se nadadores juvenis de ambos os sexos, após coleta por retroextrapolação ao final do T400 foram: VO_2 de $64,5 \pm 8,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ na VN de $1,4 \pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Os autores indicaram que, analisando também os parâmetros fisiológicos secundários (frequência cardíaca, PSE e concentração lactato), como sugerido por Howley *et al.* (1995), o valor de VO_2 atingido poderia ser aceito como máximo.

A fim de se obter valores de consumo diretamente durante o nado, ergospiômetros portáteis e válvulas específicas passaram a ser mais utilizadas

(KESKINEN *et al.*, 2003). Até o momento, poucos são os estudos que avaliaram com esse método os 400 m em condições de esforço máximo. Rodriguez *et al.* (2003) por meio de método direto, registraram o VO_2 , respiração por respiração, ao longo dos 400 m. Os resultados obtidos foram que os nadadores atingiram um pico de VO_2 de $53,3 \pm 3,3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Assim as considerações práticas dos autores é que o T400 pode ser válido para identificar os parâmetros metabólicos máximos. Sendo, então, uma possibilidade de avaliação da capacidade máxima aeróbia dos nadadores.

Laffite *et al.* (2004), com a utilização do esnórquel *Aquatrainer* (Cosmed) e analisador de gás portátil, analisaram os 400 m em intensidades máximas e em distancias fracionadas de 100, 200 e 300 m. Os autores observaram que o VO_2 foi maior na condição dos 400 m ($67,2 \pm 5,6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) em comparação às distâncias menores (100, 200 e 300 m). Por fim os autores concluíram que nos primeiros 100 m o metabolismo anaeróbio tem maior contribuição. Por fim os autores indicam o T400 como medida válida de avaliação da potência máxima aeróbia.

5.3.2 Concentração de lactato [LA]

Durante o exercício físico, dependendo de sua intensidade, os processos metabólicos aeróbios nem sempre são suficientes, exigindo do organismo outras rotas metabólicas para suprir a demanda energética. Essa energia é derivada do metabolismo da glicose até piruvato. Este processo está associado à produção de ácido láctico, quando há sobrecarga mitocondrial, que é rapidamente convertido em lactato e liberado na corrente sanguínea. Assim, a [LA] no sangue pode indicar: (i) intensidade de esforço e (ii) contribuição energética anaeróbia. Por outro lado, quando da conversão de ácido láctico em lactato, íons de hidrogênio se acumulam, causando acidose que pode estar relacionada à fadiga (MATOS & CASTRO, 2013).

Na natação competitiva, o diagnóstico das [LA] em resposta à velocidade de nado é um instrumento importante para testar a capacidade de resistência (HOLFELDER *et al.*, 2013). Nesse contexto, as avaliações relacionadas ao desempenho na natação esportiva têm nas medidas de [LA] um padrão ouro em se estimar o nível metabólico utilizado referente ao esforço realizado. As avaliações de [LA] são muito utilizadas pelos pesquisadores e técnicos de natação pela praticidade e rápida resposta. Atualmente, ela é utilizada para se estimar o nível de contribuição energética derivada do sistema anaeróbio, juntamente a da cinética da produção de lactato.

Em provas de meia distância, especificamente nos 400 m, estudos (NOMURA *et al.*, 1992; LAFFITE *et al.*, 2004) revelam grande componente aeróbio responsável pelo desempenho. Contudo reforçam que há, também, grande contribuição anaeróbia, principalmente nos primeiros trechos quando o nadador inicia o nado em um ritmo mais forte comparado aos demais trechos ao longo da prova.

Petibois & Deleris (2003) descreveram as mudanças metabólicas por meio de análises sanguíneas de [LA] durante T400 realizado por sete nadadores. As medidas referentes à [LA] imediatamente ao término do teste foram de $11,5 \pm 1,71 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Já Laffite *et al.* (2004) analisaram as [LA] 2 min após realização de T400 em situação de prova e registraram também altos valores de [LA] ($10,4 \pm 1,9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Além disso, essa medida serve para o cálculo de contribuição energética requerida nos 400 m nado livre. Schnitzler *et al.* (2007) afirmam que o pico de [LA] deve assumir valores acima de $8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para se atingir a máxima capacidade aeróbia. As [LA] foram medidas após 1, 3 e 5 min ao término da prova, tendo como resultado uma média de $10,01 \pm 1,9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, sendo que a amostra era composta por nadadores experientes.

Em estudo recente, Zacca *et al.* (2016) também realizaram análise de [LA] após o término do T400 e relataram valores de $10,6 \pm 2,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, acima dos valores relatados por Schnitzler *et al.* (2007), indicando a relação feita com a máxima capacidade aeróbia. Já Suk *et al.* (2016), após comparação de diferentes testes para mensurar a habilidade máxima dos exercícios em nadadores de elite, encontraram, pós T400, valores de $11,74 \pm 2,44 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

5.3.3 Percepção subjetiva de esforço (PSE)

Outro método, não invasivo, de avaliação de esforço e determinação da intensidade do exercício é a escala de 15 pontos proposta por Borg (1982), que permite identificar a percepção subjetiva de esforço (PSE). Essa escala quantitativa busca representar o nível de esforço ou intensidade em que o avaliado se encontra durante o exercício. Sua utilização já é validada e correlacionada com as variáveis fisiológicas em diferentes modalidades esportivas (NAKAMURA *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2011).

Na natação, a PSE também pode ser utilizada para prescrição e controle da intensidade (GREEN *et al.*, 2005) Numa simulação de prova, o esforço percebido informaria em que nível de esforço e/ou intensidade o nadador se encontra após o término da prova. Também a PSE tem sido utilizada em protocolos incrementais de várias séries (DEKERLE *et al.*, 2010) para o controle e manutenção da intensidade.

Com relação às provas de meia distância, a PSE é utilizada como marcador secundário do esforço, principalmente após o término dos testes em natação. Schnitzler *et al.* (2007), especificamente no T400, afirmam que ao se utilizar as escalas de PSE na avaliação, os nadadores devem assumir a interpretação do esforço na escala entre o “difícil” até “muito difícil” (15 a 17 pontos), ou seja, os atletas que atingem a capacidade máxima aeróbia apresentam PSE em valores escalares altos.

Suzuki *et al.* (2007) reportaram valores de esforço percebido acima de 14 pontos em séries de 200 m nado *crawl* na intensidade acima da velocidade crítica. Franken *et al.* (2011) analisaram o esforço percebido juntamente com variáveis cinemáticas e fisiológicas e encontraram valores altos na escala durante repetições de 200 m nado *crawl* acima da velocidade crítica, o que representa uma velocidade próxima das condições reais de prova.

5.4 O desempenho em provas de meia distância de natação

O desempenho na natação pode ser indicado pelo melhor tempo obtido pelo nadador durante a execução de determinada prova competitiva. Dentre as provas de meia distância, as de 400 m são disputadas tanto no feminino quanto no masculino. Os nadadores de elite realizam esta prova no tempo entre 3min50s e 4min20s, aproximadamente. Sendo que o recorde mundial dos 400 m nado livre, em piscina curta (25 m) é de 3min32s obtido em 2008 na cidade de Angers (França) pelo nadador francês Yannick Agnel e que permanece até os dias de hoje.

Dentro desse contexto, já se sabe que o desempenho na natação competitiva não depende exclusivamente de apenas um fator, como as ações temporais que possam explicar o rendimento do nadador. Como já descrito na revisão de literatura do presente estudo, vários são os parâmetros que podem influenciar o rendimento. Dentre os principais e mais estudados na área da natação competitiva, os parâmetros biomecânicos e fisiológicos são os de mais interesse nas investigações.

Nesse contexto, as provas de meia distância vêm sendo foco dessas análises nas últimas décadas (COSTILL *et al.*, 1985; LAFFITE *et al.*, 2004; FIGUEIREDO *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2014; ZACCA *et al.*, 2016). Um dado interessante nas avaliações de desempenho é o resultado nas avaliações, visto que os nadadores não estão em situação real de competição. Esse fator pode interferir nos resultados dos testes aplicados na natação.

Em T400, Laffite *et al.* (2004) avaliaram as relações dos parâmetros biomecânicos e fisiológicos. Nesse estudo, os nadadores utilizaram um esnorquel acoplado ao ergoespirômetro para análises fisiológicas. Os nadadores obtiveram bom desempenho durante o T400 (256 ± 7 s). Albery *et al.* (2008) avaliaram nadadores bem treinados e o desempenho apresentado durante T400 foi de $280,23 \pm 13,73$ s.

Já em estudos mais recentes McCabe *et al.* (2012) avaliaram o desempenho de dois grupos de diferentes especialidades. O grupo formado pelos nadadores de meia-distância apresentou desempenho de $242,59 \pm 7,1$ s. Já o grupo formado por nadadores de velocidade, obtiveram $264,26 \pm 9,1$ s. Zacca *et al.* (2016) avaliaram atletas juvenis de natação e obtiveram durante o T400 média de 278 ± 16 s.

5.5 Análise crítica da literatura

O desempenho na natação é representado pelo tempo em que o nadador leva para percorrer determinada distância seguindo as regras estabelecidas durante as competições. Nesse contexto, o desempenho está relacionado, principalmente, com parâmetros biomecânicos e fisiológicos, por isso o interesse da literatura em entender os comportamentos e relações entre esses parâmetros.

Em relação ao T400, representativo da prova de 400 m nado livre, os poucos estudados encontrados (COSTILL *et al.*, 1985; LAFFITE *et al.*, 2004 e SCHNITZLER *et al.*, 2011) indicam que são necessárias mais pesquisas analisando o desempenho. Com isso, estudos futuros deverão encontrar respostas mais completas sobre o comportamento dos parâmetros biomecânicos e fisiológicos. Por exemplo, realizar avaliações da coordenação de nado e de consumo de oxigênio ao longo da prova fornecem dados relevantes do padrão técnico adotado pelo nadador e capacidade energética em situação real. Desse modo, ficaria mais evidente o processo de se utilizar os 400 m como um teste, principalmente para as avaliações dos componentes energéticos.

Vários fatores estão ligados ao desempenho e ao analisá-lo, se julga necessário que as avaliações desses parâmetros sejam realizadas em conjunto, interligando e associando cada um deles ao longo da execução da tarefa. Na natação, são escassos os estudos com essa temática. Figueiredo *et al.* (2013) analisaram os parâmetros da prova de 200 m. Mas são necessárias investigações como essa em outras provas, como as de velocidade (50 e 100 m) ou em provas longas (800 e 1500 m). Por outro lado, ao passo

que a velocidade média de nado dos 400 m também está associada à velocidade de consumo máximo de oxigênio, esta prova apresenta, ainda, maior interesse de estudo.

6 HIPÓTESES

Foram formuladas as seguintes hipóteses para este estudo:

1. Ao longo das parciais dos 400 m, a FB aumenta e a DB diminui para manter a VN constante;
2. Considerando que o nado *crawl* é o estilo mais econômico, não haverá diferenças nas VIV ao longo dos 400 m;
3. Ao longo das parciais dos 400 m nado *crawl* os nadadores mantêm o mesmo modelo de coordenação (em captura);
4. Existe relação significativa positiva entre as respostas do VO_2 ($VO_{2\text{ pico ou máx}}$) com o desempenho no T400.

7 MATERIAIS E MÉTODOS

São descritos, neste capítulo, todos os materiais e métodos utilizados na presente pesquisa, desde as informações relativas aos participantes, até as análises prévias relativas à qualidade dos dados dos métodos de identificação dos parâmetros inerciais corporais e de calibração tridimensional.

7.1 Participantes

Participaram deste estudo 14 nadadores do sexo masculino, todos especialistas nas provas de 400, 800 e 1500 m nado livre, participantes efetivos dos principais campeonatos estaduais e nacionais. Todos eram vinculados a equipes de natação da cidade de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul. Os critérios exigidos para participar do estudo foram:

- a) possuir no mínimo 17 anos de idade e cinco anos de prática e treinamento na modalidade;
- b) não apresentar lesão que pudesse comprometer o desempenho na prova, nos últimos 6 meses antes ao início das coletas;
- c) apresentar desempenho na prova de 400 m livre em piscina de 25 m inferior ao tempo de 280 s;
- d) mínimo da carga horária de treinamento de doze horas semanais.

7.2 Aspectos Éticos

Este estudo obteve aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (número do parecer: 1.302.268, Anexo 1). Foram seguidas todas as determinações da Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde em relação à pesquisa com seres humanos.

Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido quando maiores de 18 anos (Anexo 2), e um termo de assentimento (Anexo 3) para os menores de 18 anos. Neste caso, os pais ou responsáveis legais tiveram acesso ao termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), que foi apresentando antes do início dos testes, quando os participantes chegavam ao local dos testes. Assim foram esclarecidas todas as dúvidas antes do início dos protocolos.

Os nadadores foram informados sobre todos os procedimentos, riscos (dor e desconforto muscular relativo à realização da prova de 400 m nado crawl; dor e desconforto relativos à coleta de sangue na região antecubital; desconforto ao utilizar o esnorquel para coleta de gases durante o nado) e benefícios (compreensão do desempenho na prova para melhoria do mesmo no futuro) da pesquisa.

7.3 Caracterização e variáveis do estudo

O estudo foi do tipo *ex-post-facto*, de corte transversal, em modelo comparativo e correlacional. Foram definidas como variáveis deste estudo:

- a) De caracterização da amostra: idade, massa corporal, estatura, índice de massa corporal (IMC), dobras cutâneas, somatotipo, envergadura e desempenho (em competição e no teste, em segundos e em pontos);
- b) Independentes: cada momento de análise dos 400 m (M1: dos 75 aos 100 m; M2: dos 175 aos 200 m; M3: dos 275 aos 300 m e M4: 375 aos 400 m); momentos pré e pós teste de 400 m;
- c) Dependentes: Parâmetros biomecânicos (FB, DB, VIV, IdC, T_{prop} e F_{prop} e F_{nprop}); Parâmetros fisiológicos (VO_2 , VO_{2pico} , [LA], PSE);
- d) De controle: horário dos testes (sempre entre 13 e 15h) e temperatura da água da piscina (entre 28 e 30°C).

7.4 Desenho do Estudo

Após as explicações prévias, leitura e assinatura dos termos pelos nadadores e/ou responsáveis, os seguintes passos foram seguidos:

1. Obtenção das medidas antropométricas, colocação das marcações anatômicas e obtenção das imagens para cálculo de parâmetros inerciais;
2. Aquecimento, familiarização com o equipamento, obtenção de parâmetros fisiológicos em repouso ([LA] e PSE);
 - a. O aquecimento consistiu de 800 m de nado; os primeiros 600 m foram similares em intensidade e técnica aos aquecimentos realizados durante as competições e livre escolhido pelo participante. Posteriormente foi realizado mais 200 m focando na familiarização ao esnorquel e às viradas simples, sem fase de nado submerso após cada virada;

3. Teste de 400 m em intensidade mais similar possível a de uma competição na prova de 400 m, com obtenção de parâmetros biomecânicos e fisiológicos;
4. Obtenção de parâmetros fisiológicos pós-esforço;
5. Processamento e análise dos dados.

7.5 Materiais e equipamentos utilizados

São listados, por etapas e por métodos, todos os equipamentos utilizados nesta pesquisa.

7.5.1 Antropometria, somatotipo, marcações anatômicas e determinação de parâmetros inerciais corporais

1. Balança (Filizola, resolução de 0,1 kg);
2. Estadiômetro (Filizola, com resolução de 0,01 m);
3. Fita métrica (Sanny, resolução de 0,01 m);
4. Plicômetro (Cescorf, resolução de 0,1 mm);
5. Paquímetro (Cescorf, resolução de 0,1 mm);
6. Bastão acoplado a uma esponja de esfera de 3 cm de diâmetro imerso numa pasta de maquiagem labial dissolvida em água;
7. Calibrador de escala milimetrada (zonas de 200 mm) de alumínio com eixos vertical e horizontal;
8. Duas máquinas fotográficas digitais de 14 megapixels (Olympus VR-330);
9. Programas utilizados: *Ariel Performance Analyse System (APAS)*; *Matlab R2009b*, *Microsoft Picture Office Manager*, *Microsoft Excel 2007*, *VIDEOPAD editor* e *Virtual Dub*.

7.5.2 Parâmetros biomecânicos

1. Volume de calibração (4,5 m no eixo x – longitudinal; 1,5 m no eixo y – vertical; 1,0 m no eixo z – médio-lateral), com de 6,3 m³ de volume e 88 esferas de isopor de 3 cm de diâmetros cujas coordenadas foram previamente identificadas (Figura 2), similar ao descrito por Psycharakis *et al.* (2005); o calibrador possui oito hastes de alumínio (de aproximadamente 1 m de comprimento, presas as extremidades para fixação do mesmo ao chão da piscina);



Figura 1 - Volume de calibração utilizado para as análises 3D similar ao descrito por Psycharakis *et al.* (2005).

2. Seis câmeras (SONY HDR-CX220) ajustadas em frequência de amostragem de 60 Hz;
3. Seis tripés para fixação das câmeras;
4. Quatro caixas estanque (SONY SPK-hce);
5. Módulo eletrônico de sincronização, flutuante, com duas lâmpadas de LED, uma acima da superfície da água e outra abaixo, disparadas simultaneamente e visíveis pelas seis câmeras também simultaneamente;
6. Três cronômetros digitais (*CR20 Kikos*);
7. Programas *VIDEOPAD editor*, *Virtual Dub 1.10.4*, *Ariel Performance Analyse* (APAS) e *MatLab R2009b*.

7.5.3 Parâmetros fisiológicos

1. Seringas, tubos vacutainer (*Eppendorf*), algodão, álcool, luvas cirúrgicas, caixa de descarte de materiais biológicos;
2. Centrífuga (*Centrifuge ALC modelo PK120R*);
3. Analisador bioquímico automatizado SINOWA modelo SX-140
4. Ergoespirômetro (*K5, COSMED*);
5. Esnorquel (*Aquatrainex, COSMED*);
6. Cabos de aço, mosquetões e cordas;
7. *Tablet* (*Dell*);
8. *Software Omnia*;
9. Escala de Percepção Subjetiva de Esforço de Borg de 15 pontos (1982).

7.6 Protocolos para obtenção das variáveis

7.6.1 Antropometria

Em local reservado, ao lado da piscina, foram mensuradas massa corporal, estatura, envergadura, dobras cutâneas, perímetros corporais e diâmetros ósseos. Para massa corporal, o participante se posicionava sobre a balança, de frente para o indicador da mesma e imóvel, quando estabilizado, a massa era verificada. Para a estatura, o nadador se posicionava, sobre a balança, mas de costas para o estadiômetro, em posição ortostática. Após uma inspiração máxima e uma expiração, a estatura era verificada. A envergadura foi mensurada com a trena, enquanto o participante permanecia deitado em decúbito dorsal com abdução dos ombros em 90° sobre colchonetes rígidos. Foi considerada a distância entre os pontos extremos distais dos dedos médios das duas mãos.

Para a determinação do somatotipo corporal foram aferidas dobras cutâneas, perímetros e diâmetros ósseos corporais de acordo como o protocolo de Heath & Carter (1990). Todas as medidas seguiram os padrões da Sociedade Internacional para o Avanço da Cineantropometria (ISAK, 2006). Cada dobra cutânea, perímetro e diâmetro ósseo foi mensurado três vezes e foi retido o valor intermediário. Se o mesmo valor fosse obtido duas vezes, a terceira medida não era realizada. As dobras, os perímetros e diâmetros e suas respectivas referências anatômicas utilizados no presente estudo foram:

- 1- Dobras cutâneas: subescapular, tricipital, suprailíaca e perna;
 - a) Subescapular: medida oblíqua em relação ao eixo longitudinal, seguindo a orientação dos arcos costais, sendo localizada a 2 cm abaixo do ângulo inferior da escápula
 - b) Tríceps: face posterior do braço direito, paralelo ao eixo longitudinal, no ponto que compreende a distância média entre o acrômio e o processo do olécrano da ulna;
 - c) Suprailíaca: medida oblíqua em relação ao eixo longitudinal na metade da distância entre o último arco costal e a crista ilíaca sobre a linha axilar média. O avaliado afasta o braço para trás para permitir uma boa execução e leitura da medida;
 - d) Perna: ponto medial da perna no maior perímetro da panturrilha. O avaliado deve estar sentado com a articulação do joelho em flexão de 90 graus, o tornozelo em posição anatômica.

2- Perímetros: braço e perna;

- a) Braços: estando o braço direito relaxado no prolongamento do corpo, a fita era posicionada no ponto de maior perímetro aparente.
- b) Perna: realizado no plano transverso, estando o avaliado em pé com as pernas levemente afastadas, o peso uniformemente distribuído dos dois pés, posicionando a fita métrica no ponto de maior perímetro aparente da perna direita.

3- Diâmetros ósseos: úmero e fêmur

- a) Úmero: a medida foi realizada com o avaliado em pé com as articulações do ombro e cotovelo em flexão de 90 graus, no plano sagital. As hastes do paquímetro são introduzidas obliquamente, num ângulo de 45 graus em relação a articulação do cotovelo, tocando as bordas externas dos epicôndilos medial e lateral do úmero direito;
- b) Fêmur: a medida é realizada com o avaliado sentado com a articulação do joelho flexionado a 90 graus e os pés sem tocar o solo. As hastes do paquímetro são introduzidas a 45 graus em relação a articulação do joelho, tocando as bordas externas do côndilo medial e lateral do fêmur

7.6.2 Somatotipo

Com os dados antropométricos foi calculado o somatotipo dos participantes por meio das equações descritas no item 7.7.1. O protocolo utilizado foi o de Heath-Carter (1990).

7.6.3 Marcações anatômicas

Após a coleta das medidas antropométricas, foram pintados, sobre a pele dos nadadores, os marcadores anatômicos de referência a serem digitalizados. Foram pintados 25 marcadores (19 para as digitalizações das imagens de nado e seis adicionais para o método de obtenção dos parâmetros inerciais corporais, método *e-zone*): cabeça, mandíbula e queixo, vértices do ombro, cotovelo, punho, processo xifóide, trocânteres femorais, articulações metafalangianas medial dos dedos da mão e dos pés, joelho, tornozelo, em ambos os lados, direito e esquerdo, do nadador (Figura 2). Essas marcações

foram necessárias para digitalização nas análises cinemáticas, exceto para o método *e-zone* cujas marcações adicionais foram: C2, C7, mandíbula, clavícula, processo xifoide e púbis.



Figura 2 - Marcação anatômica para o processo de digitalização e método *e-zone*.

7.6.4 Parâmetros inerciais corporais

Duas imagens digitais do calibrador (Figura 3), uma do plano sagital esquerdo e outra do plano frontal anterior, foram obtidas simultaneamente, com as câmeras fotográficas. Após, imagens das mesmas posições foram obtidas de cada nadador. A Figura 4 mostra a posição do nadador para as fotografias. Ambas as câmeras estavam a 6 m do marcador e do nadador (DEFFEYES, 2005)

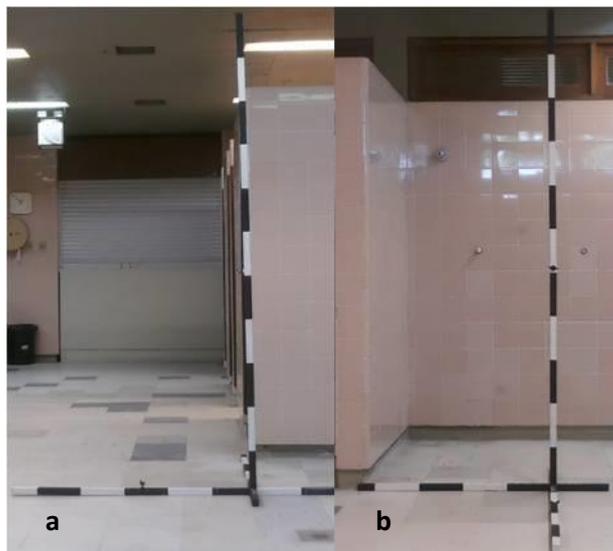


Figura 3 - Visão frontal (a) e sagital direita (b) da calibração utilizada para o método *e-zone*.

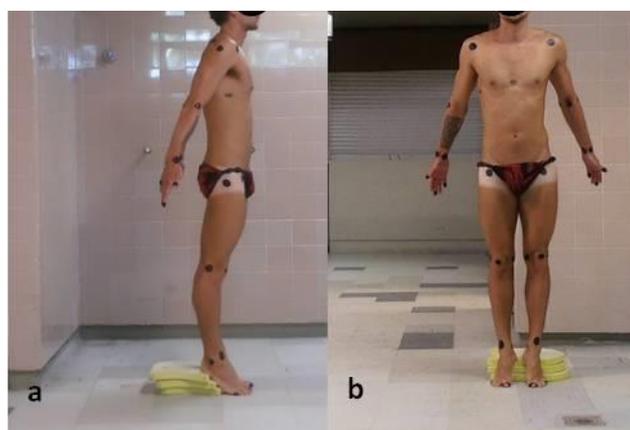


Figura 4 - Vistas lateral (a) e frontal (b) de um participante na posição para os registros das imagens do método *e-zone*.

7.6.5 Parâmetros biomecânicos

Antes do T400, o volume de calibração, colocado exatamente sobre a raia 3, orientado longitudinalmente (eixo x como direção do deslocamento do nadador), equidistante das duas cabeceiras da piscina, foi gravado, a cada coleta de dados, simultaneamente pelas seis câmeras, todas operando a 60 Hz (quatro colocadas abaixo da superfície e duas colocadas acima, de acordo com a Figura 5). Um sinal luminoso (Figura 6), emitido abaixo e acima da superfície da água simultaneamente, para as seis câmeras, indicando o quadro inicial de referência, também era gravado.

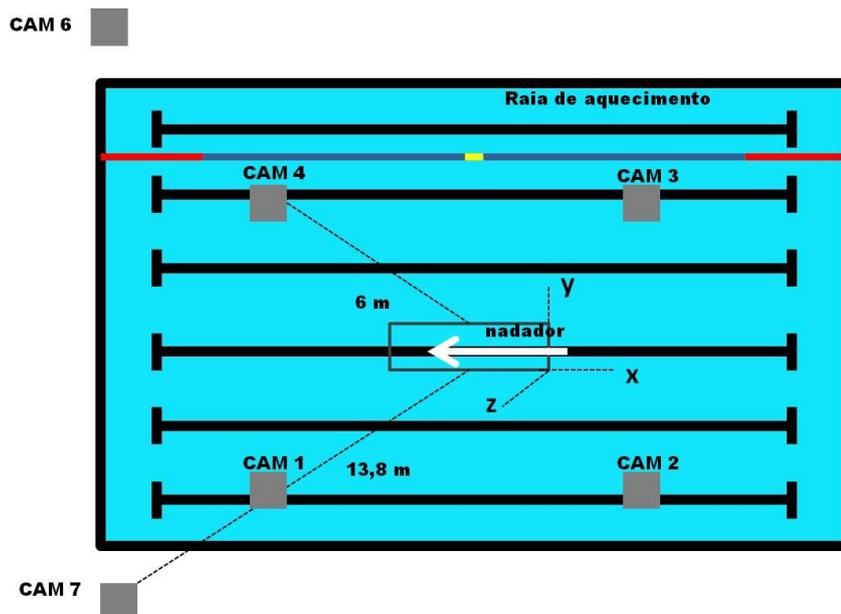


Figura 5 - Desenho esquemático do posicionamento das câmeras para as análises 3D. Em cinza, o posicionamento das seis câmeras (quatro subaquáticas e duas fora da água).



Figura 6 - Sincronizador luminoso utilizado para a sincronização das câmeras.

Todas as seis câmeras utilizadas no estudo foram ajustadas em altura de aproximadamente 1,70 m da superfície do solo. Isto foi possível devido a piscina não apresentar desníveis que pudessem interferir nas medidas. As câmeras subaquáticas ficavam a 6 m e as externas a 13,8 m do centro do calibrador, posicionadas de modo a gravar cada passagem do nadador no espaço calibrado. Essas distâncias foram previamente testadas e foram as mais adequadas para o registro de melhor qualidade das imagens (minimizando possíveis erros de distorção de imagem devido à aproximação das câmeras ao calibrador e ao nadador). O posicionamento das câmeras era tal que todo o espaço calibrado fosse visualizado, ocupando toda a tela.

O tempo para realização do teste (representativo do desempenho no mesmo), de um sinal sonoro para o nadador iniciar o teste até que o mesmo tocasse na borda ao final

dos 400 m, foi cronometrado com cronômetro digital. Das imagens obtidas do teste, especificamente do espaço calibrado, foram identificados as variáveis biomecânicas durante a realização de um ciclo de braçada em quatro momentos (M1, M2, M3 e M4) ao longo do T400: FB, DB, $VIV_{x,y,z}$, IdC, F_{prop} , F_{nprop} e T_{prop}

7.6.5 Parâmetros fisiológicos

Antes de cada coleta, o ergoespirômetro portátil foi calibrado de acordo com as recomendações do fabricante, com a utilização de concentrações previamente conhecidas de gases. Após aquecimento e familiarização, era coletado sangue da região antecubital por um avaliador experiente e o nadador relatava sua PSE. As coletas sanguíneas foram realizadas na região antecubital do braço não dominante dos sujeitos. Para a realização do procedimento foi utilizado material esterilizado e descartável de acordo a legislação vigente. Foram coletados 3 ml de sangue venoso a cada coleta sanguínea utilizando tubos do tipo *vacutainer* contendo ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA). As amostras sanguíneas foram centrifugadas e as alíquotas armazenadas a -80°C para posterior análise.

Após esses procedimentos iniciais, o nadador permanecia no mínimo 5 min em repouso (dentro da água, em pé sobre um redutor de profundidade) já conectado ao esnorquel e este ao ergoespirômetro. O K5 ficava suspenso em um suporte em cabo de aço fixo sobre a raia 3 (Figura 7), onde o nadador executava o aquecimento, a familiarização e o teste. Ao longo do repouso, registravam-se, a cada respiração, os valores de VO_2 e de quociente respiratório. Quando este, após no mínimo 5 min, ficasse abaixo de 0,9, iniciava-se o teste.



Figura 7 - Esnorquel *Aquatrainner* e ergoespirômetro K5 (*Cosmed*).

A fim de sincronizar os momentos do teste (M1 a M4) com os valores de VO_2 obtidos durante o teste, um cronômetro era acionado no instante que se acionava o registro dos dados espirométricos no *tablet*, que se comunicava por sistema de telemetria com o ergoespirômetro.

Dois pesquisadores, um em cada lateral da piscina, acompanhavam o deslocamento do ergoespirômetro, nas mesmas velocidades do nadador, com duas cordas. Os dados ergoespirométricos foram registrados ao longo de todo o teste (Figura 8).



Figura 8 – Nadador executando o T400 com o esnorquel e o ergoespirômetro.

Novas coletas de sangue, imediatamente ao fim do teste, e ao 1, 3, 5 e 7 minutos foram realizadas. A PSE (Figura 9) foi registrada nos momentos antecedentes ao teste e após o término do mesmo, junto com as coletas de sangue.

**ESCALA DE PERCEPÇÃO
DE ESFORÇO**
RPE de Borg (Borg, 2000)

6	SEM NENHUM ESFORÇO
7	EXTREMAMENTE LEVE
8	
9	MUITO LEVE
10	
11	LEVE
12	
13	UM POUCO INTENSO
14	
15	INTENSO (PESADO)
16	
17	MUITO INTENSO
18	
19	EXTREMAMENTE INTENSO
20	MÁXIMO ESFORÇO

Figura 9 - Escala de 15 pontos de PSE

7.7 Processamentos das variáveis

7.7.1 Somatotipo Corporal

O protocolo de Carter & Heath (1990) foi utilizado para determinar a classificação do somatotipo corporal dos participantes. Para o cálculo da endormofia, valores registrados das dobras cutâneas tricipital (TR), subescapular (SE) e suprailíaca (SI) foram somados, corrigidos pelo valor da estatura e aplicados na equação para endormorfia. Assim foram aplicadas as Equações 4, 5 e 6:

$$\sum \text{dob} = \text{TR} + \text{SE} + \text{SI}$$

Equação 4

Onde: $\sum \text{dob}$ é o somatório das dobras TR, SE e SI.

$$\sum \text{dobcor} = \sum \text{dob} * \left(\frac{170,18}{\text{EST}} \right)$$

Equação 5

Onde: $\sum \text{dobcor}$ é o valor corrigido do somatório das dobras e EST é a estatura, em cm.

$$\text{End} = -0,7181 + (0,1451 * \sum \text{dobcor}) - (0,00068 * \sum \text{dobcor}^2) + (0,000014 * \sum \text{dobcor}^3)$$

Equação 6

Onde: End é componente de endormorfia do participante.

Para a determinação da mesomorfia foram utilizados os registros da estatura (E) diâmetro ósseo do úmero (DU) e do fêmur (DF), dobras cutâneas tricipital (TR) e da perna (P) e bem como os perímetros de braço e perna (PB e PP), corrigidos por meio da subtração dos valores obtidos de dobras cutâneas TR e P. Assim foram aplicadas as Equações 7, 8 e 9:

$$\text{PBC} = \text{PB} - \text{TR}$$

Equação 7

Onde: PBC é o perímetro de braço corrigido, PB é o perímetro do braço e TR a dobra tricipital.

$$\mathbf{PPC = PP - P}$$

Equação 8

Onde: PPC é o perímetro de perna corrigido, PP é o perímetro da perna e P a dobra da perna.

$$\mathbf{Mes = (0,858DU) + (0,601DF) + (0,188PBC) + (0,161PPC) - (0,131EST) + 4,5}$$

Equação 9

Onde: Mes é componente de mesomorfia do participante, DU é o diâmetro ósseo do úmero, DF o diâmetro ósseo do fêmur.

Para o componente ectomorfia, o cálculo foi baseado no índice ponderal (IP) que se constitui na razão entre a estatura e a raiz cúbica da massa corporal em kg. Se o resultado do IP for maior ou igual a 40,75 é utilizada a Equação 10. O IP entre 38,25 a 40,75, a Equação 11 é utilizada. Por fim, se o IP for menor e igual a 38,25 o valor adotado a classificação ectomórfica é de 0,1.

$$\mathbf{Ect = (0,732IP) - 28,58}$$

Equação 10

$$\mathbf{Ect = (0,463IP) - 17,63}$$

Equação 11

Onde: Ect é o componente de ectomorfia e IP é o índice ponderal.

Após todos os cálculos, os valores correspondentes a cada morfologia foram analisados na carta de somatotipo desenvolvida por Heath & Carter (1990) (Figura 10).

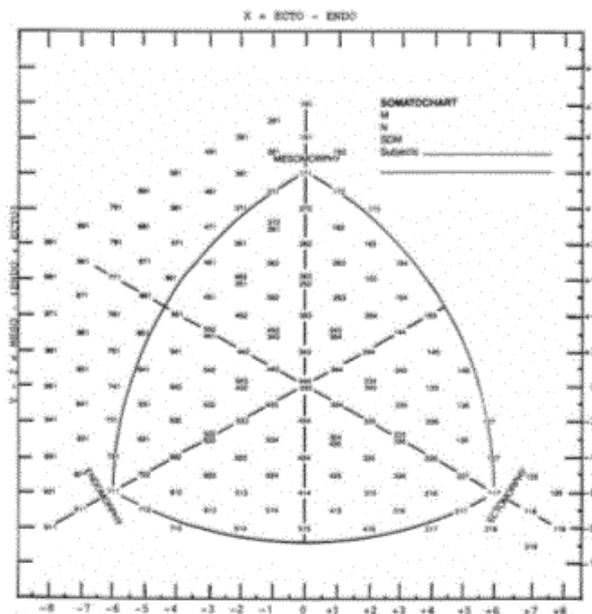


Figura 10 - Somatocarta para a análise do somatotipo corporal desenvolvida por Heath & Carter (1990).

7.7.2 Parâmetros inerciais corporais

O processo utilizado foi o das zonas elípticas, descritos por Deffeyes e Sanders (2005). As imagens do calibrador e dos nadadores, em formato JPEG, foram recortadas e salvas. Após, em rotina específica desenvolvida pelos mesmos autores em ambiente *Matlab*, as imagens foram analisadas:

- 1- Imagens dos nadadores e do calibrador foram transferidas;
- 2- Informou-se a escala da calibração: 200 mm, nos eixos vertical e horizontal, para ambas as imagens (tanto frontal, quanto sagital);
- 3- Marcaram-se, manualmente, por meio de um *mouse* óptico, as referências anatômicas;
- 4- Os perímetros dos segmentos corporais são marcados:
 - a. Cabeça e pescoço;
 - b. Tronco e abdômen;
 - c. Membros inferiores (coxas, panturrilhas e pés);
 - d. Membros superiores (mãos, antebraços e braços);
- 5- Zonas elípticas são geradas;
- 6- De cada segmento são calculados os parâmetros inerciais para posterior cálculo da localização do centro de massa corporal no software *APAS*;

- 7- Os procedimentos de digitalização das imagens em Matlab foram repetidos cinco vezes. A média das cinco vezes foi o valor utilizado;
- 8- A fim de se verificar a acurácia do processo, compararam-se a massa corporal total real e a massa corporal total estimada; além disso, verificou-se a concordância desses valores.

A Figura 11 mostra as zonas elípticas dos segmentos corporais durante o processo de digitalização em ambiente *Matlab*.

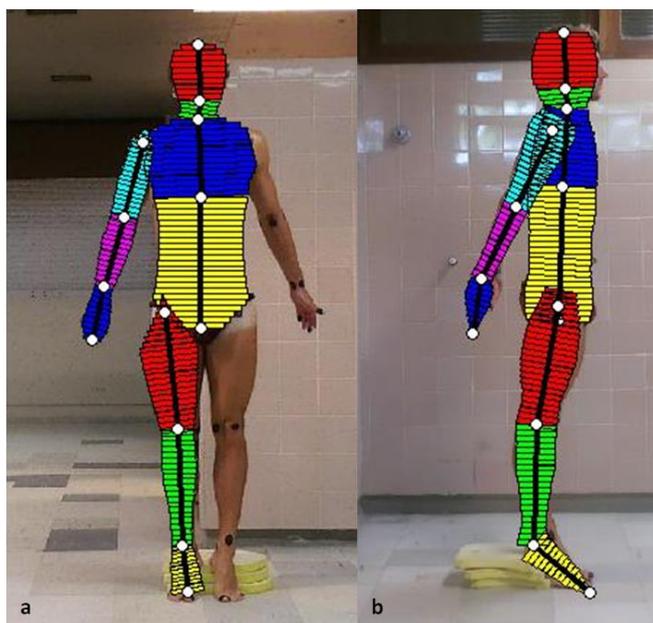


Figura 11 - Vista frontal (a) e sagital direita (b) dos contornos segmentais corporais realizados pelo método *e-zone*.

7.7.3 Parâmetros biomecânicos

Para obtenção dos parâmetros biomecânicos, os seguintes passos foram seguidos:

- 1- As imagens obtidas pelas câmeras de vídeo foram convertidas em formato AVI com resolução de imagem de 1024 x 768 pixels.
- 2- Para o processamento visando a obtenção dos parâmetros biomecânicos as imagens foram recortadas no software *Virtual Dub 1.10.04* em cada trecho do espaço calibrado do percurso do nadador nos referentes momentos (M1, M2, M3 e M4) do T400;
- 3- Após os recortes, as imagens foram transferidas para o software *Ariel Performance Analyse System (APAS)* por meio da função *trimming*, onde foram processadas para obtenção dos parâmetros cinemáticos e

coordenativos de um ciclo de braçada realizado pelo nadador no espaço calibrado.

- 4- Dados de estatura, massa corporal e parâmetros inerciais calculados pelo método *e-zone* eram inseridos no APAS, antes da digitalização das imagens.
- 5- Foram digitalizados, manualmente, a cada quadro, 20 marcadores do corpo do nadador (vértice da cabeça; lado direito e esquerdo de: dedo médio, punho, cotovelo, ombro, quadril, joelho, calcanhar e primeira falange do metatarso) e um marcador fixo, no mesmo local em todos os quadros;
- 6- Ao fim de cada digitalização de cada momento (um ciclo completo), 20 marcadores de controle do volume de calibração eram digitalizados. Este procedimento de digitalização dos pontos de controle foi utilizado para a transformação pelo método DLT (*Direct Linear Transformation*), que reconstruiu as imagens do nadador em coordenadas tridimensionais;
- 7- Por fim, a última função “*display*” revela os resultados de deslocamento de todos os pontos digitalizados para os cálculos das variáveis biomecânicas. Os dados foram suavizados por um filtro *Butterworth* com frequência de corte de 4 Hz passada baixa de segunda ordem. Os resultados foram salvos em planilhas do *Microsoft Excel* e salvos em arquivos no formato *txt* para os cálculos das variáveis relacionadas;

Variáveis espaço temporais

As variáveis cinemáticas FB, DB e VN foram mensuradas por meio das imagens obtidas durante um ciclo de braçada nos diferentes momentos (M1, M2, M3 e M4). A FB foi calculada pelo quociente entre um e a duração do ciclo de braçadas multiplicado por 60 ($\text{ciclos} \cdot \text{min}^{-1}$). A DB foi calculada pelo deslocamento horizontal do CM do nadador durante um ciclo de braçada. A VN ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) foi obtida pelo quociente entre o deslocamento horizontal do centro de massa (eixo x) e o tempo para completar um ciclo de braçada. Também foram identificados o maior e o menor pico ($V_{\text{máx}}$ e $V_{\text{mín}}$) de VN ao longo do ciclo de braçada.

Varição intracíclica da velocidade

O cálculo da VIV foi realizado pelo coeficiente de variação da VN (desvio padrão da VN/média da VN durante o ciclo analisado). Esse procedimento foi realizado nos três eixos (x, y e z).

Parâmetros coordenativos

IdC

Os pontos chaves de cada fase do ciclo de braçada foram identificados: a) fase de entrada e apoio da mão na água; b) fase de puxada; c) fase da empurrada e d) fase de recuperação já descritas anteriormente. Desse modo, o IdC foi calculado pelas Equações 12, 13 e 14:

$$IdC_1 = \frac{(t_{fd1} - t_{ib2}) \cdot 100}{t_{CB}(s)}$$

Equação 12

$$IdC_2 = \frac{(t_{fd2} - t_{ib1}) \cdot 100}{t_{CB}(s)}$$

Equação 13

$$IdC = \frac{IdC_1 + IdC_2}{2}$$

Equação 14

Sendo que o IdC₁ corresponde a ação da primeira braçada e o IdC₂ da segunda braçada; t_{CB} corresponde ao tempo do ciclo de braçada total. A média dos valores resultou no IdC.

F_{prop} e F_{nprop}

Para cálculo das durações das ações não propulsivas e propulsivas, durante o ciclo de braçada, foram realizadas as seguintes somas:

$$F_{nprop}\% = \textit{fase a} + \textit{fase d}$$

Equação 15

$$F_{prop}\% = \textit{fase b} + \textit{fase c}$$

Equação 16

Sendo que as fases *a*, *b*, *c* e *d* correspondem, respectivamente, às durações das fases de entrada e apoio, puxada, empurrada e recuperação, delimitadas pelos já descritos pontos chaves do ciclo de braçada.

Tempo Propulsivo

O T_{prop} foi calculado segundo a equação desenvolvida por Alberty *et al.* (2009):

$$T_{prop} = t_{CB} (100\% + 2IdC)25 \text{ m/DB}$$

Equação 17

Sendo T_{prop} expresso em (s) e t_{CB} corresponde o tempo médio do ciclo de braçada.

*7.7.4 Parâmetros fisiológicos**Consumo de oxigênio*

Os procedimentos das análises do consumo consistiram, primeiramente, em salvar o resultado do teste em planilha do *Microsoft Excel*. O valor do consumo de oxigênio normalizado pela massa corporal ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) foi plotado em função do tempo. Com os dados temporais da sincronização, foram identificados os períodos de repouso e exercício, e os relativos aos ciclos analisados nos momentos M1, M2, M3 e M4. Posteriormente os dados foram suavizados, seguindo os procedimentos para os valores de consumo obtidos respiração por respiração (ÖZYENER *et al.*, 2001; DE JESUS *et al.*, 2014): retirada de respirações irregulares causadas por possíveis deglutições ou tosses; interrupção dos sinais foram retiradas dos dados e foram analisados apenas aqueles valores dentro dos limites de média ± 4 desvios-padrão. Assim foi necessário:

1. Identificação visual das fases rápida e lenta do consumo de oxigênio;
2. Exclusão dos valores altos e baixos (considerando média ± 4 desvios-padrão de cada fase);
3. Aplicação de média móvel com janelamento de 10 s.

Após este processo, os valores médios de cada um dos momentos (M1, M2, M3 e M4) e de pico, foram identificados. Além disso, a localização temporal do VO_{2pico} ao longo do T400 (tVO_{2pico}) foi registrado.

Concentração de lactato[LA]

Os níveis plasmáticos de lactato foram determinados utilizando um analisador bioquímico automatizado com sistema aberto. Para realizar a análise foi utilizado o reagente específico BIOCLIN, Lactato K084. A análise seguiu o método enzimático. A desidrogenase láctica (LDH) catalisa a oxidação do l-lactato a piruvato, com consequente redução do NAD⁺ a NADH. A concentração de l-lactato é medida pelo aumento da absorvância a 340 nm, a partir da formação de NADH. Os resultados obtidos foram convertidos para mmol·l⁻¹ seguindo as indicações de conversão do fabricante e repassados em planilha do *Microsoft Excel*. Utilizaram-se, na análise, os menores valores pré e os maiores valores pós T400.

Percepção Subjetiva de Esforço

Os dados de PSE foram analisados identificando os valores correspondentes ao PRÉ e PÓS T400 para as posteriores comparações e associações com os outros parâmetros.

7.8 Análise estatística

Primeiramente foi realizada análise exploratória dos dados, identificando-se a natureza paramétrica dos mesmos com o teste de *Shapiro-Wilk*. Foi realizada a estatística descritiva, com cálculo de médias, limites dos intervalos de confiança da média (95%) e desvios padrão de todas as variáveis deste estudo, para cada momento e geral do T400, quando fosse o caso.

A comparação entre os momentos (M1, M2, M3 e M4) foi realizada com *ANOVA* para medidas repetidas, com o teste de *Bonferroni* se necessário. A esfericidade dos dados foi testada com o teste de *Mauchly* e, quando necessário, o fator de correção *Epsilon* de *Greenhouse-Geisser* foi aplicado (explicitado pelos graus de liberdade). O tamanho de efeito, neste caso, foi identificado pela estatística η^2 . O teste t de *Student* pareado foi aplicado às medidas de [LA] e PSE pré e pós T400, e desempenho em 400 m nado livre durante competição e desempenho no T400, nesses casos, o tamanho de efeito foi identificado com o cálculo do d de *Cohen*, sendo utilizado, como referência: de 0 a 0,2: trivial; de 0,21 a 0,6: pequeno; de 0,61 a 1,2: moderado; de 1,21 a 2,0: grande e maior que 2,0: muito grande (HOPKINS, 2000).

Teste de Correlação Linear Produto Momento de *Pearson* foi aplicado entre o desempenho no T400 e os parâmetros antropométricos, biomecânicos e fisiológicos, e entre os parâmetros biomecânicos e fisiológicos. Desempenho no T400 e desempenho real em 400 m nado livre foram correlacionados com a aplicação do Coeficiente de Correlação Intraclass. O nível de significância adotado foi considerando o alfa $< 0,05$. O pacote estatístico, SPSS versão 17.0 foi utilizado para todos os cálculos.

7.9 Estudo piloto

Previamente à coleta de dados foram testados todos os protocolos com três nadadores que não participaram da coleta final. Esse procedimento possibilitou determinar:

- Definição da área/local de colocação das câmeras para a obtenção das melhores imagens dos nadadores; para a correta análise dos dados além da escolha da melhor definição de captura das imagens;
- O treinamento dos voluntários que participaram da coleta envolvendo todos os procedimentos:
 1. Antropométricos: medidas antropométricas e marcações anatômicas;
 2. Cinemáticos: configuração das câmeras, cronômetros e posicionamento dos pesquisadores;
 3. Fisiológicos: treinamento para manusear o ergoespirômetro, condução do mesmo pelas cordas, *software Omnia*, e definições relativas aos processos de coleta de sangue e PSE;
 4. Simulação real de coleta a fim de verificar o tempo gasto durante o processo.

7.10 Procedimentos relativos à qualidade da calibração tridimensional e dos dados do método e-zone

A fim de se analisar a qualidade de procedimentos adotados, especialmente em relação aos procedimentos de digitalização e do processamento para obtenção dos parâmetros inerciais corporais, procedeu-se o cálculo dos valores de erro RMS da digitalização do volume de calibração e a análise de dados provenientes do método *e-zone*.

7.10.1 Erro RMS da digitalização do volume de calibração

Para avaliar a acurácia das medidas dos parâmetros biomecânicos foi realizado o cálculo do erro RMS (*Root Mean Square*) dos três eixos (x,y e z), de acordo com Psycharakis (2008). As equações utilizadas para o cálculo foram:

$$X_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_a - X_b)^2}$$

$$Y_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_a - Y_b)^2}$$

$$Z_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_a - Z_b)^2}$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(X_a - X_b)^2 + (Y_a - Y_b)^2 + (Z_a - Z_b)^2]}$$

Por meio das equações foram calculados o erro de reconstrução (*Root Mean Square*) referentes à digitalização de dez quadros, sendo escolhidos dez pontos válidos da calibração que não serviram de pontos controle. Para o eixo x (longitudinal) foi encontrado erro de 7,15 e 5,97 mm; para o eixo y (vertical) 0,82 e 1,83mm; para o eixo z (médio-lateral) 5,31 e 8,38 mm e a resultante dos eixos foram de 13,28 e 16,19 mm para as câmeras subaquáticas e externas respectivamente.

7.10.2 Qualidade dos dados obtidos pelo método e-zone

Como o método *e-zone* é um método que utiliza modelagem matemática para estimativa dos parâmetros inerciais corporais, foi avaliada, primeiramente, o valor de massa corporal total estimada pelo método, tendo, como valor de referência, o valor de massa corporal total real dos nadadores (por comparação – teste t pareado; correlação intraclasse; e análise de concordância – análise gráfica de *Bland-Altman*). Além disso, a

reprodutibilidade dos dados obtidos pelo avaliador também foi avaliada por meio da análise de cinco repetições de digitalizações na rotina. Desse modo, para a utilização posteriores dos valores relativos inerciais corporais para cálculo dos parâmetros biomecânicos foi utilizado a média dos valores das cinco repetições. Estes procedimentos foram apresentados no VII Simpósio de Neuromecânica Aplicada com aceite para publicação na Revista de Educação Física (ANEXO 4).

8 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados de: caracterização da amostra, variáveis antropométricas (somatotipo), variáveis cinemáticas: FB, DB, VN, VIV, IdC, F_{prop} , F_{nprop} , e T_{prop} do T400. Além do mais as variáveis fisiológicas: [LA], PSE pré e pós teste, VO_2 e VO_{2pico} . Por fim, os resultados das correlações dos parâmetros biomecânicos e fisiológicos, entre os mesmos e com o desempenho.

8.1 Caracterização da amostra

Na Tabela 1 e 2 estão apresentadas as variáveis de caracterização e antropométricas dos indivíduos que participaram do presente estudo: idade, massa corporal em kg (MC), índice de massa corporal em kg/m^2 (IMC), anos de experiência (EXP); envergadura m (ENV); estatura em m (EST); comprimento de braço corrigido em cm (CB); comprimento de perna corrigido em cm (CP) e tempo (s) do melhor tempo realizado em prova de 400 m (DES) e pontos da FINA (DES FINA).

Tabela 1 - Caracterização da amostra (n=14) em média \pm desvio padrão e limites inferior e superior do intervalo de confiança da média (95%). EXP: experiência no esporte; DES: melhor tempo em prova; DES FINA: melhor tempo em prova convertido em pontos.

Idade (anos)	EXP (anos)	DES (s)	DES FINA (pontos)
21,2 \pm 4,1	10,73 \pm 4,70	261,4 \pm 19,2	535,53 \pm 117,36
]19,1 ; 23,3[	]8,36 ; 13,11[	]254,3 ; 272,1[	]476,1 ; 594,9[

Tabela 2 – Características antropométricas da amostra (n=14) em média \pm desvio padrão e limites inferior e superior do intervalo de confiança da média (95%). MC: massa corporal total; EST: estatura; IMC: índice de massa corporal; ENV: envergadura; CB: comprimento do braço; CP: comprimento de perna.

MC (kg)	EST (cm)	IMC (kg/m^2)	ENV (cm)	CB (cm)	CP (cm)
72,1 \pm 5,1	176,8 \pm 4,5	22,9 \pm 1,3	183,0 \pm 5,7	32,7 \pm 1,4	35,4 \pm 1,8
]69,5 ; 74,7[	]170; 186[	]22,26;23,58[	]170; 190[	]30,6; 36,3[	]32,0; 38,0[

8.2 Somatotipo Corporal

Na Figura 13 observa-se a média dos valores obtidos (eixos abscissas e ordenadas) para cada caracterização do somatotipo corporal expressas na somatocarta desenvolvida por Carter & Heath (1990).

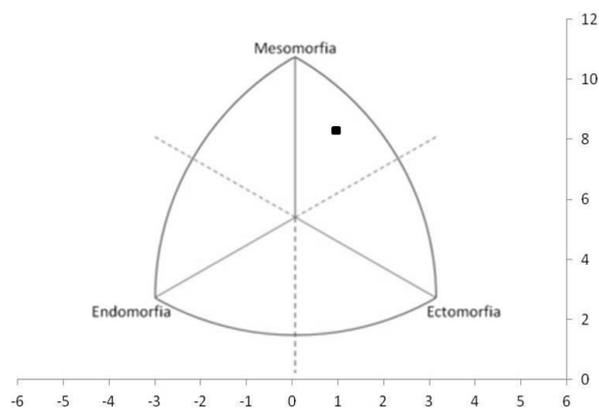


Figura 12 - Caracterização do somatotipo médio (n=14) pela somatocarta desenvolvida por Carter & Heath (1990).

Na Tabela 3 são encontradas os valores de média, desvio padrão e limites inferior e superior dos intervalos de confiança da média dos resultados de cada componente do somatotipo corporal: endomórfico (ENDO), mesomórfico (MES) e ectomórfico (ECTO)

Tabela 3 - Média \pm desvio padrão e limites inferior e superior do intervalo de confiança da média (95%) de cada componente do somatotipo corporal (n=14).

ENDO	MES	ECTO
2,2 \pm 0,5	4,7 \pm 0,8	2,5 \pm 0,7
]1 ; 3[	]2 ; 4[	]2 ; 4[

ENDO: endomorfia/MES: mesomorfia/ECTO: ectomorfia

8.3 Parâmetros Biomecânicos

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados dos parâmetros biomecânicos: FB (ciclos \cdot min⁻¹), DB (m), VN (m \cdot s⁻¹), V_{máx} (m.s⁻¹), V_{min} (m.s⁻¹), VIV_x (coeficiente de variação), VIV_y (coeficiente de variação) e VIV_z (coeficiente de variação) em cada momento (M1, M2, M3 e M4) ao longo do T400, em média, desvio padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 4 - Média \pm desvio padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) e resultados estatísticos relativos à comparação dos parâmetros biomecânicos cinemáticos nos quatro momentos do T400 (n=14).

	M1	M2	M3	M4	ANOVA F e p	η^2
FB (ciclos·min ⁻¹)	34,5 \pm 5,4]31,4;37,7[	34,4 \pm 6,1]30,9;37,9[	34,7 \pm 5,2]31,7;37,8[	37,0 \pm 5,1*]34,1;40,0[	3,49 0,04	0,28
DB (m)	2,51 \pm 0,47]2,24;2,78[	2,47 \pm 0,37]2,25;2,69[	2,48 \pm 0,36]2,27;2,69[	2,46 \pm 0,37]2,24;2,67[	0,94 0,96	0,007
VN (m·s ⁻¹)	1,41 \pm 0,12]1,35;1,56[	1,38 \pm 0,12]1,32;1,44[	1,42 \pm 0,16]1,35;1,50[	1,50 \pm 0,18]1,44;1,61[	2,40 0,11	0,22
V _{máx} (m·s ⁻¹)	1,69 \pm 0,14]1,61;1,80[	1,63 \pm 0,19]1,56;1,76[	1,65 \pm 0,10]1,62;1,77[	1,74 \pm 0,15]1,63;1,85[	1,95 0,16	0,13
V _{mín} (m·s ⁻¹)	0,58 \pm 0,24]0,46;0,77[	0,69 \pm 0,21]0,64;0,83[	0,62 \pm 0,26]0,53;0,84[	0,68 \pm 0,23]0,53;0,87[	1,10 0,36	0,08
VIV _x	0,26 \pm 0,11]0,19;0,32[	0,25 \pm 0,16]0,16;0,34[	0,24 \pm 0,15]0,15;0,32[	0,22 \pm 0,09]0,17;0,28[	0,29 0,76	0,02
VIV _y	0,66 \pm 0,19]0,52;0,87[	0,73 \pm 0,15]0,61;0,88[	0,71 \pm 0,09]0,63;0,77[	0,72 \pm 0,11]0,65;0,86[	0,81 0,10	0,16
VIV _z	0,74 \pm 0,32]0,56;0,93[	0,91 \pm 0,33]0,72;1,10[	0,79 \pm 0,27]0,63;0,95[	1,03 \pm 0,41]0,80;1,27[	2,6 0,72	0,03

* indica diferença significativa entre M1, M2 e M3.

FB: frequência do ciclo de braçada; DB: distância média do corpo durante o ciclo de braçada; VN: velocidade média de nado; V_{máx}: velocidade máxima de nado durante ciclo de braçada; V_{mín}: velocidade mínima de nado durante ciclo de braçada; VIV_x: variação intracíclica da velocidade no eixo x; VIV_y: variação intracíclica da velocidade no eixo y; VIV_z: variação intracíclica da velocidade no eixo z.

Na Figura 13 está representado o comportamento da VN em todos os eixos durante a realização de um ciclo de braçada realizado por um sujeito representativo da amostra.

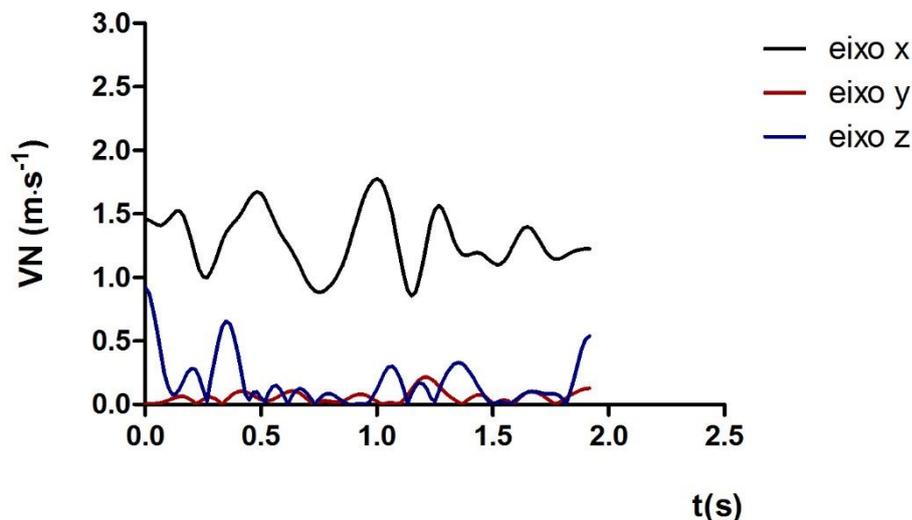


Figura 13 - VN ao longo do ciclo de braçada em todos os eixos de um nadador representativo da amostra.

Na Tabela 5 estão os resultados dos parâmetros coordenativos: IdC (%), T_{prop} (s) F_{prop} (%) e F_{nprop} (%) e resultados estatísticos relativos à comparação entre os momentos (M1, M2, M3 e M4) ao longo do T400, em média, desvio padrão e limites inferior e superior (95%) dos intervalos de confiança da média.

Tabela 5 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) e resultados estatísticos relativos à comparação das variáveis de coordenação (IdC, F_{prop} , F_{nprop} , todos em % da duração de um ciclo de braçadas) e T_{prop} (s) nos 4 momentos do T400, $n = 14$.

	M1	M2	M3	M4	ANOVA F e p	η^2
IdC (%)	$-14,0 \pm 3,9$]-16,3;-11,7[	$-14,2 \pm 3,7$]-16,3;-12,1[	$-14,14 \pm 4,6$]-16,8;-11,5[	$-13,3 \pm 4,3$]-15,8; -10,8[	0,37 0,77	0,02
F_{prop} (%)	$39,1 \pm 4,5$]36,5;41,7[	$37,2 \pm 4,9$]34,4;40,0[	$38,0 \pm 6,3$]34,4;41,7[	$39,7 \pm 5,7$]36,5;43,0[	1,57 0,22	0,10
F_{nprop} (%)	$61,0 \pm 4,5$]58,4; 63,6[	$62,8 \pm 4,8$]60,0; 65,6[	$62,0 \pm 6,3$]58,3; 65,3[	$60,2 \pm 5,7$]57,0; 63,5[	1,53 0,23	0,10
T_{prop} (s)	$15,5 \pm 1,9$]14,3;16,6[	$15,8 \pm 2,6$]14,2; 17,3[	$15,5 \pm 2,2$]14,3; 17,0[	$15,1 \pm 2,5$]13,6; 16,5[	0,46 0,71	0,03

IdC: índice de coordenação de nado; F_{prop} : duração das fases propulsivas de nado; F_{nprop} : duração das fases não propulsivas; T_{prop} : tempo propulsivo.

8.4 Parâmetros Fisiológicos

Na Tabela 6 encontram-se os valores de VO_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) e resultados estatísticos relativos à comparação entre os momentos (M1, M2, M3 e M4) ao longo do T400, em média, desvio padrão e limites inferior e superior dos intervalos de confiança da média.

Tabela 6 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) e resultados estatísticos do VO_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) entre os momentos do T400, $n = 14$.

	M1	M2	M3	M4	ANOVA F e p	η^2
VO_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	$56,3 \pm 9,9^*$]50,5;62,0[	$63,3 \pm 9,4$]57,7; 68,6[	$62,9 \pm 8,9$]57,8; 68,1[	$64,9 \pm 7,7$]60,3; 69,3[	12,44 <0,001	0,40

Na Tabela 7 encontram-se os resultados de VO_{2pico} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) e do tempo (s) do mesmo (tVO_{2pico}).

Tabela 7 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) do VO_{2pico} e do tVO_{2pico} durante o T400, $n = 14$.

	MD \pm DP	IC95%
VO_{2pico} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	$67,5 \pm 8,97$	]46,1; 78,8[
tVO_{2pico} (s)	$287,3 \pm 100,4$	]148; 461[

VO_{2pico} : consumo de oxigênio pico; tVO_{2pico} : tempo para atingir o consumo de oxigênio de pico.

Na Figura 14 observa-se o comportamento do VO_2 ao longo do T400 de um participante representativo da amostra.

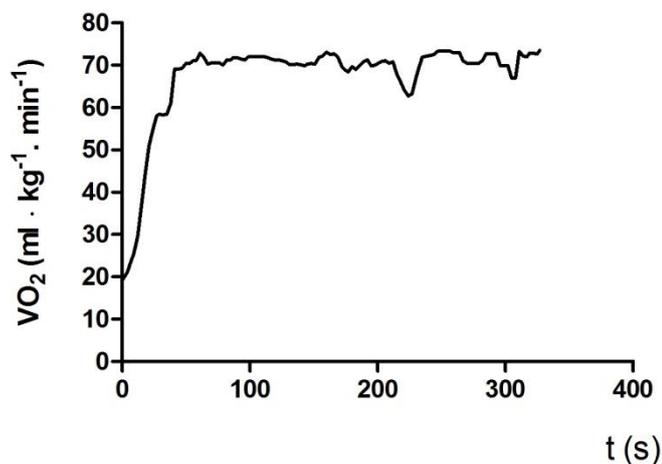


Figura 14 - Consumo de oxigênio (VO_2) ao longo do T400 de um nadador representativo da amostra.

Na Tabela 8 encontram-se os valores de média, desvio padrão e limites inferior e superior dos intervalos de confiança (95%) da média da concentração de lactato [LA] ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) dos valores escalares de PSE (escala de 15 pontos de Borg) em dois momentos (PRÉ e PÓS) do T400.

Tabela 8 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) da [LA] e PSE nos momentos PRÉ e PÓS do T400, $n = 14$.

	PRÉ	PÓS	<i>t de Student</i>	<i>d de Cohen</i>
[LA]	$1,88 \pm 0,16$	$9,03 \pm 0,04^*$	-33,53	2,18
($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)	]1,79; 1,98[	]8,60; 9,45[	<0,001	
PSE	$9,9 \pm 2,2$	$17,6 \pm 1,2^*$	-10,3	4,3
(pontos)	]8,7; 11,2[	]16,9; 18,3[	<0,001	

* indica diferença significativa entre os momentos PRÉ e PÓS
[LA]: concentração sanguínea de lactato; PSE: percepção subjetiva de esforço

8.5 Desempenho

Na Tabela 9 encontram-se os resultados do desempenho dos 400 m nado livre (melhor tempo obtido pelos nadadores em s) e o desempenho no T400 (s).

Tabela 9 - Média \pm desvio-padrão e limites do intervalo de confiança da média (95%) do Des400 e o T400, n = 14.

DES (s)	T400 (s)	t de Student	d de Cohen
261,4 \pm 19,2	315,7 \pm 26,5	-10,4	2,31
]250,3 ; 272,5[	]300,4; 331,1[	<0,001	

DES: melhor tempo em prova de 400 m; T400: teste de 400 m em nado *crawl* em máxima intensidade.

Na Tabela 10 estão apresentados os valores médios dos parâmetros avaliados ao longo dos momentos (M1, M2, M3 e M4) do T400.

Tabela 10 - Média \pm desvio-padrão, limites do intervalo de confiança da média (95%) dos parâmetros biomecânicos e fisiológicos médios do T400 (n=14).

	MD \pm DP	LIMITES
MDB (m)	2,48 \pm 0,32	]2,30; 2,66[
MFB (ciclo·min ⁻¹)	35,18 \pm 5,45	]26,98; 45,05[
MVN (m·s ⁻¹)	1,43 \pm 0,15	]1,3; 1,6[
MVIV _x	0,24 \pm 0,09	]0,14; 0,48[
MVIV _y	0,70 \pm 0,06	]0,53; 0,76[
MVIV _z	0,87 \pm 0,21	]0,47; 1,40[
MV _{max} (m·s ⁻¹)	1,68 \pm 0,15	]1,5; 1,8[
MV _{min} (m·s ⁻¹)	0,65 \pm 0,17	]0,36; 0,91[
MIdC (%)	-13,9 \pm 3,5	] -19,9; -9,0[
MT _{prop} (s)	15,5 \pm 1,9	]11,9; 17,6
MF _{prop} (%)	38,5 \pm 4,5	]46,3; 29,1[
MF _{nprop} (%)	61,5; 4,5	]53,7; 70,9[
MVO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	67,5 \pm 9,0	]46,1; 78,8[

8.6 Correlações

São apresentadas apenas as correlações significativas obtidas entre os valores médios dos parâmetros biomecânicos e fisiológicos. Assim, a Tabela 11 apresenta o coeficiente de correlação de *Pearson* entre a média de todos os parâmetros (biomecânicos e fisiológicos).

Tabela 11 - Correlação de *Pearson* entre os valores médios dos parâmetros biomecânicos e fisiológicos do T400, n = 14.

PARÂMETROS		CORRELAÇÃO
MFB	MDB	r = - 0,86; p < 0,001
MDB	MV _{min}	r = 0,56; p = 0,035
	MVIV _x	r = 0,54; p = 0,035
MT _{prop}	MV _{min}	r = -0,61; p = 0,02
	MVIV _x	r = 0,60; p = 0,02
T400	MV _{max}	r = 0,54; p = 0,04
	MFB	r = -0,77; p = 0,001
MVO ₂	MDB	r = -0,61; p = 0,02

Na Tabela 12 estão apresentadas as correlações do desempenho real e do T400 com o $VO_{2\text{pico}}$ ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

Tabela 12 - Correlação de *Pearson* do desempenho com os parâmetros fisiológicos, $n = 14$.

	$VO_{2\text{pico}}$	[LAPÓS]
DES (s)	$r = -0,68; p = 0,007$	$r = -0,47; p = 0,09$
T400 (s)	$r = -0,35; p = 0,22$	$r = -0,61; p = 0,02$

Entre o DES (s) relatados pelos nadadores e T400 (s) foi calculado o coeficiente de correlação intra classe ($CIC = 0,78, F_{13} = 4,67; p = 0,005$).

9 DISCUSSÃO

O objetivo geral do presente estudo foi investigar o desempenho em teste de 400 m no nado *crawl* a partir de parâmetros antropométricos, biomecânicos e fisiológicos. Deste modo, os resultados obtidos serão discutidos, respectivamente, nesta ordem. Por fim, serão discutidas as correlações encontradas.

9.1 Parâmetros antropométricos e somatotipo

O primeiro objetivo específico do presente estudo foi identificar o somatotipo de nadadores especialistas na prova de 400 m nado livre. Para isso, para compor a amostra do presente estudo, buscaram-se nadadores com experiência competitiva em natação, especialmente em provas de nado livre, de 400 a 1500 m. Exclusivamente especialistas na prova de 400 m nado livre não foram encontrados. Ao passo que a média de experiência encontrada foi de 10,7 anos, entende-se que os participantes apresentavam características gerais mais homogêneas.

Dentro desse contexto, os resultados da avaliação somatotípica dos nadadores (Tabela 3) reforçam essas afirmações. Os valores encontrados corroboram com os resultados de Heath & Carter (1990), os quais avaliaram o somatotipo corporal de vários atletas de suas respectivas modalidades esportivas e denominaram a classificação por meio de uma análise em somatocarta. Especificamente, na natação, o resultado encontrado pelos autores, sem casas decimais foi de 2-5-3, o qual indica que os nadadores apresentam, pela classificação, padrão como características predominantes meso-ectomórficas. Outros estudos, como os de Siders *et al.* (1993) e Zuniga *et al.* (2011) identificaram também resultados semelhantes ($2,3 \pm 0,7$; $3,8 \pm 1,0$; $2,8 \pm 1,1$ e $2,8 \pm 0,9$; $3,91 \pm 1,0$; $3,52 \pm 1,60$, respectivamente) com predominâncias classificatórias meso-ectomórficas. Fernandes *et al.* (2002) apresentaram uma revisão bibliográfica das principais características antropométricas de nadadores e a forma como estas influenciam o desempenho. Os autores encontraram que os nadadores de elite apresentam um somatotipo médio ecto-mesomorfo.

Visto que, no presente estudo, a média de estatura foi $1,77 \pm 5$ m, a massa corporal foi de 72 ± 5 kg, e o somatotipo caracterizado como meso-ectomórfico, é possível afirmar que a amostra do presente estudo foi composta, antropometricamente, por nadadores de meia-distância.

9.2. Variáveis espaço temporais

Os resultados (Tabela 4) demonstraram que apenas a FB no M4 foi maior em comparação aos momentos anteriores e os momentos de análise (M1 a M4) foram capazes de explicar cerca de 28% da variância da FB. Já DB e VN, ao longo dos momentos analisados do T400, mantiveram-se constantes. O comportamento da FB encontrado no presente estudo é característico de provas de 400 m nado *crawl*, nas quais os nadadores aumentam a FB para manter ou tentar aumentar velocidade de nado. Alguns estudos (CRAIG & PENDERGAST, 1985; LAFFITE et al., 2004; SCHNITZLER et al., 2011) que analisaram continuamente os 400 m, encontraram respostas semelhantes ao aumento da FB.

Craig & Pendergast (1985) analisaram as variáveis espaço temporais na prova de 400 m em nadadores finalistas da seletiva olímpica dos Estados Unidos da América para os Jogos de 1984. Pela análise gráfica do comportamento das variáveis ao longo da prova, observou-se manutenção na FB nos primeiros 300 m e nos últimos 100 m os nadadores aumentaram consideravelmente a mesma. O mesmo comportamento foi observado para a VN. Já a DB foi diminuindo ao longo da prova. Schnitzler *et al.* (2011) obtiveram resultados semelhantes aos do presente estudo. Na análise do grupo dos nadadores experientes e recreacionais, respectivamente, identificaram médias de $34,8 \pm 3,3$ ciclos·min⁻¹ e $33,9 \pm 4,5$ ciclos·min⁻¹ para FB; de $2,48 \pm 0,30$ m e $2,04 \pm 0,23$ m para DB, e de $1,42 \pm 0,09$ e $1,14 \pm 0,12$ m·s⁻¹ para VN. Em comparação ao presente estudo, os resultados de FB e VN, relatados por Schnitzler *et al.* (2011) para os nadadores experientes são similares.

Para todos esses estudos apresentados, as análises de FB e DB foram conduzidas com análise bidimensional, seja por cinemetria, seja por coleta manual de tempo para distância e duração de ciclos. Além do mais, os mesmos não envolveram (i) o uso de esnórquel para as análises de VO₂, (ii) resultados ao longo dos 400 m e (iii) análise tridimensional, o que pode incrementar a qualidade das análises. Nessas condições, similar ao presente estudo, Laffite *et al.* (2004) estudaram o T400 em condições com o uso de esnorquel *Aquatrainer*. Ao analisar cada trecho de prova separadamente, a FB foi maior durante os 100 m iniciais em comparação aos trechos de 200 e 300 m posteriores, mas semelhante aos 100 m finais (de $41,6 \pm 4,0$ no início para $41,5 \pm 3,1$ ciclos·min⁻¹ ao final do teste). A DB diminuiu ao longo do teste (de $2,43 \pm 0,23$ m, nos primeiros 100 m,

para $2,25 \pm 0,22$ m, no fim dos 400 m). O presente estudou avaliou os 400 m em condições de esforço máximo e encontrou que os nadadores incrementaram a FB apenas no último trecho. Tal resultado pode estar relacionado à estratégia diferente dos nadadores, possivelmente estes procuraram economizar energia nos três primeiros quartos do teste, para aumentar a velocidade de nado nos trechos finais. Cogita-se que a utilização do esnorquel tenha sido um elemento que, pelo menos, tenha feito os nadadores do presente estudo, administrarem a estratégia de intensidade no início do T400.

Já por meio da análise tridimensional, semelhante à realizada pelo presente estudo, McCabe *et al.* (2012) encontraram valores médios de DB e FB, respectivamente, durante o T400, de $2,19 \pm 0,18$ m e $41,3 \pm 3,7$ ciclos·min⁻¹. A VN média foi $1,50 \pm 0,05$ m·s⁻¹ em nadadores especialistas em provas de meia distância. Os autores realizaram a mesma avaliação em outro grupo de nadadores já menos experientes e obtiveram valores médios de DB $2,24 \pm 0,32$ m, FB de $38,6 \pm 6,0$ ciclos·min⁻¹ e VN $1,41 \pm 0,06$ m·s⁻¹. Ao analisar os valores médios dessas variáveis, os resultados do presente foram mais semelhantes àqueles encontrados no grupo menos experiente do estudo de McCabe *et al.* (2012).

A literatura apresenta que a FB e DB são inversamente proporcionais (CRAIG & PENDERGAST, 1985) e podem variar ao longo dos 400 m (LAFFITE *et al.*, 2004). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato dos nadadores adotarem ritmos e estratégias diferentes para minimizar os efeitos da fadiga (SCHNITZLER *et al.*, 2011) e do gasto energético (BARBOSA *et al.*, 2006; VILAS-BOAS *et al.*, 2011). Porém é característico dos nadadores iniciarem a prova com a FB alta como também aumentarem a FB nos últimos trechos. Por consequência dessas variações, a DB tende a diminuir (com o aumento da FB). No presente estudo esse comportamento não ocorreu porque o aumento da FB no último trecho parece não ter sido suficiente para que os nadadores alterassem a DB de modo significativo. Além disso, mesmo a FB tendo sido incrementada nos últimos 100 m, a VN se manteve constante, assim, como a velocidade de nado é o produto entre FB e DB, o incremento da FB não foi suficiente para incrementar a VN de modo significativo, possivelmente pelas variações de DB.

Dentro desse contexto a hipótese #1 (Ao longo das parciais dos 400 m, a FB aumenta e a DB diminui para manter a velocidade constante) foi parcialmente confirmada: FB aumentou apenas no último trecho, a velocidade se manteve constante, porém a DB não diminuiu.

Com relação às variações e os picos de velocidade durante um ciclo de braçada, os resultados (Tabela 4) demonstraram não haver diferenças entre a VIV em qualquer dos

eixos analisados (x, y, z), assim como nas V_{\min} e V_{\max} ao longo do T400. Esses resultados corroboram resultados de estudos que analisaram a VIV nos 400 m em valores médios (STRZATA *et al.*, 2007; SCHNITZLER *et al.*, 2011). Porém poucos estudos avaliaram esses parâmetros nos 400 m. Schnitzler *et al.* (2008), por meio de um velocímetro acoplado no nadador, na distância de 400 m, obtiveram VIV_x de $0,14 \pm 0,24$ como resultado médio. Esses resultados diferem do presente estudo no qual a VIV_x foi de $0,24 \pm 0,12$. McCabe (2008), em estudo utilizando análise tridimensional para os parâmetros cinemáticos, encontrou, em dois grupos diferentes de nadadores (grupo de nadadores velocistas e grupo de nadadores especialistas em meia distância), VIV no deslocamento horizontal pelo centro de massa de 0,31 (grupo de nadadores velocistas) e $0,36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (grupo de nadadores especialistas), indicando valores na VIV também diferentes do presente estudo ($0,24 \pm 0,12$).

Assim como a VIV_x , a VIV_y e VIV_z não variaram ao longo do T400. Até o momento, não foi encontrado estudo que tivesse avaliado esses parâmetros em T400. Porém, Figueiredo *et al.* (2012) analisaram essas variações e suas diferenças na prova de 200 m e também não encontraram diferenças ao longo da prova. Pela análise gráfica do estudo de Figueiredo *et al.* (2012), observa-se que a VN apresentou valores próximos aos do presente estudo, assim como o comportamento ao longo da prova (exceto nos primeiros 50 na primeira parcial analisada). Com relação à VIV nos diferentes eixos os resultados (valores médios ao longo dos 200 m: $VIV_x 0,22 \pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $VIV_y 0,76 \pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $VIV_z 0,83 \pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) corroboram com os resultados do presente estudo (valores médios ao longo dos 400m: $VIV_x 0,24 \pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $VIV_y 0,71 \pm 0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $VIV_z 0,87 \pm 0,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Esses resultados são similares, também, ao comportamento da VIV em distâncias que variaram de 200 a 3000 m relatados por Schnitzler *et al.* (2008).

Com relação aos resultados de V_{\max} e V_{\min} , assim como as VIV (nos eixos x, y, z), não houve diferença ao longo do T400. Porém, é possível identificar grande amplitude entre V_{\max} e V_{\min} . Em média a V_{\max} obtida foi de $1,68 \pm 0,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e V_{\min} de $0,64 \pm 0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Myashita (1987) citado por Maglischo (2010) indica que, no nado *crawl*, em velocidades baixas, ocorre uma desaceleração ao longo do ciclo, assim a V_{\min} pode variar de $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (valores médios do T400 no presente estudo foi de $0,65 \pm 0,18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Comportamento semelhante foi encontrado no estudo de Figueiredo *et al.* (2012), porém em 200 m nado *crawl*. Analisando-se os resultados apresentados por Figueiredo *et al.* (2012) observa-se que os picos mínimos de velocidade ao longo dos 200 m ficaram abaixo de $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Já McCabe (2008) encontrou picos máximos de $1,67 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para grupo

de nadadores especialistas em prova de meia distância e de $1,56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para o grupo de nadadores velocistas e mínimos de $1,32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para grupo dos nadadores especialistas em provas de meia distância e de $1,32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para o grupo de velocistas. Esses resultados apresentam semelhanças com os do presente estudo apenas no pico da $V_{\text{máx}}$, mas diferem do presente estudo com relação aos picos mínimos de velocidade. Possivelmente os menores valores mínimos de velocidade encontrados no presente estudo sejam explicados pelo modelo de coordenação adotado pelos nadadores, sempre em captura. Além disso, McCabe (2008) não analisou o nado com equipamentos para obtenção do consumo de oxigênio, deixando o nado mais livre. Oliveira *et al.* (2009) indicam que o nado desimpedido pode apresentar maior eficiência do que quando realizado com válvula. A válvula pode causar um constrangimento mecânico, alterando as forças de propulsão e arrasto e suas relações com a energia metabólica.

Os nados alternados apresentam pouca variação de velocidade quando comparados aos nados simultâneos (VILAS-BOAS *et al.*, 2011). Esse comportamento também é observado em diferentes velocidades: aumento da velocidade propicia uma menor variação decorrida, principalmente, do aumento da FB. Logo, baixas VN podem apresentar maior VIV, o que foi encontrado no presente estudo. Os picos de velocidade se concentram nas fases de maior propulsão, que são as fases de puxada e, especialmente, empurrada dos membros superiores. Já os valores mínimos se concentram nas ações menos propulsivas, nas quais há a atuação dos membros inferiores prevalecendo (OLIVEIRA *et al.*, 2009). Além do mais, nos nados alternados, como no nado crawl, estas considerações devem ser analisadas, também, à luz do modelo de coordenação adotado.

Assim, esses resultados permitem confirmar a hipótese #2 do presente estudo: considerando que o nado crawl é o estilo mais econômico, não haverá diferenças nas VIV ao longo dos 400 m nado crawl.

9.3 Parâmetros coordenativos

Em relação à coordenação de nado, o objetivo foi comparar o IdC, o T_{prop} e a duração das fases propulsivas e não propulsivas (F_{prop} e F_{nprop}) ao longo do T400. Os resultados do IdC ($-13,9 \pm 3,5\%$) demonstraram que o modelo de captura ($\text{IdC} < 0$) foi o adotado pelos nadadores. Os valores médios obtidos e o IdC constante ao longo do T400 corroboram com os resultados apontados em estudos que investigaram os parâmetros coordenativos dos 400 m (SCHNITZLER *et al.*, 2008 e 2011). Porém, outros estudos apresentaram IdC maiores, ao longo do T400: IdC $-5,9 \pm 0,7$ relatado por Strzata *et al.*

(2007). Esse fato pode ser explicado devido ao nível técnico superior dos nadadores ou melhores estratégias em superar o arrasto. A VN ao longo do T400, no presente estudo, além de ter se mantido constante, foi baixa e menor do que velocidade estimada de onda, obtida pela equação proposta por Prange & Schmidt- Nielsen (1970) em modelo animal. A velocidade de onda pode ser a velocidade limite para um nadador alterar seu modelo de coordenação de captura para sobreposição (FRANKEN *et al.*, 2016). Segundo Prange & Schmidt-Nielsen (1970) a velocidade de onda pode ser estimada a partir da Equação 18:

$$V_o = \sqrt{\frac{g \cdot EST}{2 \cdot \pi}}$$

Equação 18

Onde V_o é a velocidade de onda, g a aceleração da gravidade, e EST a estatura.

Assim, a velocidade de onda média para os nadadores do presente estudo, considerando a estatura média, seria de $1,66 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Como a MVN ($1,43 \pm 0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) foi inferior a V_o , pode-se afirmar que não havia restrição para os nadadores alterarem o modelo de coordenação. Franken *et al.* (2016), analisando a distância de 200 m em esforço máximo no nado *crawl*, em amostra com características físicas semelhantes aos nadadores do presente estudo, encontraram respostas similares. Deste modo, a hipótese #3 (Ao longo dos 400 m, os nadadores mantêm o mesmo modelo de coordenação – em captura), foi confirmada.

Já com relação ao T_{prop} , os resultados indicaram não haver diferenças entre os momentos. Mesmo assim, houve uma pequena redução no T_{prop} do M4, consequência do aumento da FB, mas sem alteração significativa na DB e na VN. Assim, os resultados do presente estudo parecem ser semelhantes aos apresentados por Franken *et al.* (2016) que utilizaram a estimativa do T_{prop} proposto por Alberty *et al.* (2009) em condições de máxima intensidade, mas na distância de 200 m. Os autores encontraram, ao longo dos 200 m, diferenças apenas no segundo trecho (100 m: $18,8 \pm 1,3 \text{ s}$), no restante o T_{prop} não mudou. O presente estudo não encontrou diferenças ao longo dos momentos. Esse comportamento foi devido às condições de menor velocidade e diferenças das ações propulsivas que o presente estudo apresentou resultando em menor T_{prop} comparado aos achados de Alberty *et al.* (2009) e Franken *et al.* (2016).

9.4 Parâmetros fisiológicos

Em relação aos parâmetros fisiológicos, os objetivos traçados eram de comparar os valores de consumo de oxigênio (VO_2) e identificar os valores picos de consumo de oxigênio ($VO_{2\text{pico}}$) ao longo do T400. Além disso, comparar os valores de [LA] e PSE nos momentos pré e pós T400.

Desse modo, o VO_2 foi menor no M1 quando comparado aos momentos M2, M3 e M4. Cerca de 40% da variância dos valores de VO_2 foram explicadas pelos momentos de análise. Esse resultado corrobora estudos anteriores (COSTILL *et al.*, 1985; RODRIGUEZ *et al.*, 2000; LAFFITE *et al.*, 2004), já que nos primeiros 100 m do teste o consumo de oxigênio está, ainda, em crescimento exponencial, não atingindo estabilidade nem os maiores valores. Esse comportamento pode ser visualizado na Figura 14, que descreve o comportamento do VO_2 de um participante representativo da amostra ao longo dos 400 m. O valor médio de $VO_{2\text{pico}}$ foi de $67,5 \pm 8,97 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ e foi atingindo a $287,3 \pm 100,4 \text{ s}$ ($tVO_{2\text{pico}}$), ou seja, em média entre os 300 e os 400 m do T400. Tanto o menor valor de VO_2 no M1, quanto o pico ter sido atingido entre M3 e M4 suportam também o comportamento já descrito da FB: menores valores em M1 e maior valor em M4. Possivelmente, para incrementar a FB, os nadadores aumentaram o gasto energético, representando pelo incremento de VO_2 ao final do teste.

Laffite *et al.* (2004), com um protocolo semelhante ao do presente estudo, envolvendo a utilização do esnorquel Aquatrainer, analisaram os 400 m em intensidades máximas como o presente estudo e em distâncias fracionadas de 100, 200 e 300 m. Os autores observaram que o VO_2 foi maior na condição dos 400 m ($67,2 \pm 5,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Tanto o maior valor do VO_2 , quanto o tempo até se atingir este valor, foram similares ao $VO_{2\text{pico}}$ e ao tempo até se atingi-lo encontrado no presente estudo.

Em estudo recente, Zacca *et al.* (2016) reforçaram que as diferenças das análises de consumo podem ter interferência das características individuais de cada nadador (por exemplo, idade e sexo) e distância nadada. Além disso, devem ser adotados outros critérios, além da análise apenas do próprio valor de consumo a fim de se avaliar se os nadadores atingiram o $VO_{2\text{máx}}$. De acordo com Howley *et al.* (1995), frequência cardíaca, concentração de lactato e percepção subjetiva de esforço devem ser analisadas em conjunto e indicar a intensidade real do esforço para poder se afirmar que um valor de VO_2 é máximo. O presente estudo apresentou valor de [LA] pós T400 de $9,03 \pm 0,04 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ e PSE de $17,6 \pm 1,2$ pontos. Porém não houve registro da frequência cardíaca.

Como não houve diferenças significativas na VN entre os momentos ao longo do T400 (Tabela 4) e valores de [LA] e PSE reforçam que os atletas chegaram a realizar esforços máximos, possivelmente os valores de $VO_{2\text{pico}}$ são valores caracterizados como de $VO_{2\text{máx}}$, como também reportado por Zacca *et al.* (2016), porém analisando 400 m nado *crawl* em nadadores mais jovens e por retro-extrapolação da curva de recuperação do VO_2 .

A [LA] e a PSE antes e após o T400 foram também analisados. Os momentos pré corresponderam ao estado de repouso e pós-aquecimento a fim de verificar se os nadadores estavam em condições fisiológicas adequadas para a realização do T400. Já o momento pós correspondeu os momentos em que foi coletado sangue e PSE ao término do T400, e 1, 2, 5, e 7 minutos depois do T400. Os resultados (Tabela 8) indicam que o momento pós foi maior comparado ao pré, com tamanho de efeito muito grande. Esses resultados indicam que os nadadores realizaram esforço máximo durante o T400 e atingiram valores compatíveis aos já relatados (LAFFITE *et al.*, 2004; STRZATA *et al.*, 2007; ZACCA *et al.*, 2016).

Os resultados encontrados corroboram com diversos estudos envolvendo o T400 (LAFFITE *et al.*, 2004; STRZATA *et al.*, 2007; ZACCA *et al.*, 2016). Porém o presente estudo apresentou procedimento de análise sanguínea que difere da maioria dos estudos (utilizam lactímetros portáteis). No presente estudo, as amostras sanguíneas foram analisadas por métodos enzimáticos. Não foi encontrado nenhum estudo envolvendo desempenho na natação que realizou procedimentos semelhantes. Desse modo o presente estudo parece ser pioneiro nesse procedimento, considerado referência em análises bioquímicas.

9.5 Desempenho

Os resultados do desempenho do T400 foram inferiores ao desempenho relatado pelos nadadores (Tabela 7). O tamanho de efeito foi muito grande. A explicação para a diferença pode residir nos procedimentos e técnicas adotadas para a obtenção dos parâmetros fisiológicos.

Como o T400 envolveu o uso do esnorquel *Aquatrainner* (COSMED), os nadadores foram impedidos de realizar a virada olímpica e saídas submersas da borda. Esse fator foi essencial para a perda do desempenho comparado ao melhor já realizado e obtido nessa distância. Outro fator considerável é que alguns nadadores não eram acostumados e suficientemente familiarizados com o esnorquel. Mesmo realizando protocolo de

familiarização a esse equipamento, parece que o mesmo não foi suficiente para que alguns nadadores se sentissem mais confortáveis a fim de realizar o T400 próximo ao desempenho real, corroborando com os achados de Oliveira *et al.* (2009). Os resultados de VO_2 , [LA] e PSE reforçam a realização de esforço máximo no T400 que não se concretizou em desempenho similar a uma prova de 400 m nado livre. Além disso, a média de VN ($1,43 \pm 0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), indicada pela velocidade do CM, indicaria um desempenho próximo aos 4min40s, enquanto que o desempenho no T400 foi de, aproximadamente, 5min15s e o melhor desempenho relatado (com saída, viradas olímpicas e nado submerso) de, aproximadamente, 4min21s. Essas aproximações reforçam o efeito do esnorquel/válvula sobre o desempenho em relação às técnicas de saída, viradas e nado submerso, mas não em relação ao próprio nado.

McCabe (2008) analisaram os 400 m a fim de verificar as diferenças entre grupo de nadadores especialistas e por outro grupo de nadadores velocistas. Com relação ao desempenho ambos os grupos nadaram para 250 s (4min10s) aproximadamente, porém o grupo de especialistas foi melhor. Esses resultados não corroboram com o presente estudo devido a simulação dos 400 m com o uso do esnorquel. O acessório limita que os nadadores realizam a virada olímpica na borda e saída submersas, o que afeta sobremaneira o desempenho a cada piscina. Porém ao comparar os resultados da média do melhor desempenho (261 s aproximadamente) da amostra do presente estudo há semelhanças com os resultados apresentados por McCabe (2008). Segundo Barbosa *et al.* (2008) o uso do acessório não restringe a técnica de nado. Laffite *et al.* (2004), em T400, também utilizaram o esnorquel e o desempenho dos nadadores fora de $256 \text{ s} \pm 7\text{s}$. Porém, a amostra continha apenas nadadores de elite da seleção portuguesa nadaram numa FB de $41,5 \pm 3,1 \text{ ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$ e VN de $1,56 \pm 0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, resultados melhores que os do presente estudo. No presente estudo, para um dos nadadores que completou a amostra e que foi um dos que apresentou melhor desempenho no T400 (273 s), a média de FB foi de $44,5 \pm 4,11 \text{ ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$ e de VN de $1,48 \pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Além disso, testes que envolvem simulações de desempenho em provas da natação competitiva são sempre realizados em ambiente e condições desfavoráveis, as quais não apresentam a realidade vivida pelos nadadores em competições (SCHNITZLER *et al.*, 2011). Nesses testes, a motivação do atleta pode ficar reduzida, pois envolvem, por exemplo, diversas coletas de amostras sanguíneas e a realização de marcações anatômicas para as análises cinemáticas. Logo, é necessária mais atenção por parte dos pesquisadores

em criar situações mais perto da realidade para que esses fatores não interfiram nos resultados buscados.

9.6 Correlações

Correlações entre variáveis espaço temporais e coordenativas

Encontrou-se correlação inversa entre o MFB e a MDB ($r = -0,86$) o que era esperado e corrobora com os estudos sobre as provas de 400 m (CRAIG & PENDERGAST, 1979; SCHNITZLER *et al.*, 2011). O MT_{prop} estima o tempo das ações propulsivas durante o nado a uma certa distância. A correlação inversa encontrada entre MT_{prop} e MV_{min} ($r = -0,61$) indica que a propulsão foi afetada por esses momentos de baixa velocidade. Sendo assim, o MT_{prop} apresentou correlação com a VIV_x ($r = 0,60$) confirmando as relações entre o tempo das ações propulsivas e a VIV. O presente estudo apresentou baixos valores de T_{prop} assim como, provavelmente, baixa eficiência de nado (representado pela VIV) o que influenciou no desempenho.

Correlação entre T400 e variáveis espaço temporais

Ao considerar o desempenho, houve correlação entre T400 e $MV_{máx}$ ($r = 0,54$). Essa relação pode ser explicada a partir os momentos em que os nadadores tiveram maiores ações propulsivas. Porém, esses momentos são curtos e não parecem ter influenciado a VN. Assim, parece que o desempenho no T400 dos nadadores do presente estudo, por apresentarem modelo de coordenação em captura, seria melhor explicado pelos picos de velocidade de nado.

Correlação entre T400 e variáveis fisiológicas

Não foi encontrada correlação significativa entre o T400 e o VO_{2pico} . Porém, encontrou-se correlação negativa entre o melhor desempenho em prova, relatado pelos nadadores, e o VO_{2pico} (Tabela 12). Ou seja, os atletas com melhores tempos na prova de 400 m nado livre, tendem a apresentar os maiores valores de VO_2 em T400. Considerando as características metabólicas desta prova, este resultado é explicável. Porém, deve-se considerar que não foi controlado quando o nadador obteve o melhor desempenho na prova de 400 m nado livre. A correlação negativa e significativa entre T400 e [LA] pós esforço indica que os nadadores que realizaram o teste em menor tempo apresentaram maiores valores de lactato. Este resultado está possivelmente relacionado à prontidão para o desempenho: maiores concentrações de lactato estariam relacionadas a maior esforço,

especialmente metabólico e por fibras musculares que realizam mais metabolismo anaeróbio (AVLONITOU, 1996). Logo, a hipótese #4 (Existe relação significativa positiva entre as respostas do VO_2 (VO_2 pico ou máx) com o desempenho no T400) não foi confirmada, embora tenha sido encontrada correlação com o desempenho real em 400 m nado livre.

Correlação dos parâmetros antropométricos, biomecânicos e fisiológicos

Ao passo que os nadadores aumentaram a FB no M4 e houve incremento de VO_2 no mesmo momento, e que houve correlação negativa entre MFB e MDB, encontrou-se correlação negativa e significativa entre MVO_2 e MDB. Ou seja, maiores distâncias percorridas por ciclo de braçada são alcançadas por nadadores com menores valores de consumo de oxigênio, possivelmente os mais eficientes.

10 CONCLUSÕES

O objetivo geral do presente estudo foi investigar o desempenho em 400 m nado *crawl*, a partir de parâmetros antropométricos, biomecânicos e fisiológicos. Os nadadores do presente estudo apresentaram características somatotípicas homogêneas, assim, a partir dos parâmetros estudados realizadas, três parecem ser fundamentais para o desempenho em 400m: a frequência média de ciclos de braçadas, o consumo de oxigênio e a concentração sanguínea de lactato.

Nadadores incrementam a FB ao fim do teste, buscando, pelo menos, incrementar a VN. Mesmo que a VN tenha se mantido constante, os maiores valores foram encontrados ao final do teste. Ao mesmo tempo, o consumo de oxigênio incrementou no último quarto do teste, possivelmente de acordo com o aumento da FB. Nadadores sem grande capacidade aeróbia, não conseguiriam incrementar a FB como apresentado no presente estudo.

Além disso, o modelo de coordenação apresentado, em captura, que assume períodos sem propulsão pelos membros superiores, eleva a VIV e a F_{nprop} . Porém, ao passo que a VN não é suficientemente alta para modificar o IdC, esta parece ser a melhor estratégia coordenativa para nadadores de 400 m.

11 LIMITAÇÕES, PERSPECTIVAS E POSSÍVEIS APLICAÇÕES

Dentre as limitações possíveis de serem identificadas na realização do presente estudo destacam-se: o uso do esnorquel, e a falta de um teste em situação real (sem o uso do esnorquel).

O uso do esnorquel *Aquatrainer* (*COSMED*) influenciou no desempenho dos nadadores, visto a exigência em não se realizar viradas olímpicas e saídas da borda de modo submerso. Portanto devem ser repensadas possibilidades futuras em tentar minimizar essa perda de desempenho a partir desses fatores limitantes. Outro fator que contribuiu com a queda do desempenho de alguns nadadores foi a curta e breve familiarização ao esnorquel durante o aquecimento. Logo melhores protocolos de familiarização devem ser realizados em futuros estudos.

A não realização de um teste adicional simulando a prova real de 400 m nado livre, ou seja, sem o uso do esnorquel foi um fator limitante. Desse modo, seria possível ter parâmetros de comparação com nado livre e desimpedido.

Os achados do presente estudo indicam que o T400 é um teste possível de ser aplicado para se avaliar as reais condições de um nadador, desde que realizado em máxima intensidade. Assim, reforça-se que é uma real possibilidade para avaliação sistemática, principalmente em equipes com muitos nadadores e que não possuam recursos para testes mais sofisticados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKLAND, T. R.; ELLIOTT, B.; BLOOMFIELD, J. *Applied anatomy and biomechanics in sport*. [S.l.]: **Human Kinetics**, 2009.

ALBERTY, M. *et al.* Changes in swimming technique during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rates. **Journal of sports sciences**, 00031, v. 26, n. 11, p. 1191–1200, 2008.

ALBERTY, M. *et al.* Intracyclic velocity variations and arm coordination during exhaustive exercise in front crawl stroke. **International Journal of Sports Medicine**, 00080, v. 26, n. 6, p. 471–475, 2005.

ALBERTY, M. *et al.* Stroking characteristics during time to exhaustion tests. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 00055 PMID: 19204586, v. 41, n. 3, p. 637–644, mar. 2009.

ALVES, F. Analysis of swimming races. **Journal of Biomechanics**, 00005, v. 27, n. 6, p. 653, 1994.

AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C. The biomechanics in physical education and sports. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, 00005, v. 25, n. SPE, p. 15–24, 2011.

AVLONITOU E. Maximal lactate values following competitive performance varying according to age, sex and swimming style. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. Mar;36(1):24-30.1996.

BARBOSA, T. M. *et al.* Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. **Journal of Science and Medicine in Sport**, 00144, v. 13, n. 2, p. 262–269, 2010.

BARBOSA, T. M. *et al.* Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. **International Journal of Sports Medicine**, 00090, v. 27, n. 11, p. 894–899, 2006.

BARBOSA, T. M.; KESKINEN, K. L.; VILAS-BOAS, J. P. Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva. **Motricidade**, p. 201–213, 2006.

CAPUTO, F. *et al.* Exercício aeróbio: Aspectos bioenergéticos, ajustes fisiológicos, fadiga e índices de desempenho. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, 00029, v. 11, n. 1, p. 94–102, 2009.

CARITA, R. A. C. *et al.* Componente lento da cinética do VO₂: determinantes fisiológicos e implicações para o desempenho em exercícios aeróbios. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, 00000, p. 233–246, 2014.

CARTER, J. E. L.; ACKLAND, T. R. **Kinanthropometry in aquatic sport: a study of world class athletes**. [S.l.]: Human Kinetics Publishers, 1994. V. 5.

CARTER, J. L.; HEATH, B. H. **Somatotyping: development and applications**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1990. v. 5.

CASTRO, F. A. DE S. *et al.* Consumo de oxigênio na natação: diferentes metodologias e possibilidades de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 18, n. 3, p. 88–93, 2011.

CHOLLET, D.; CHALIES, S.; CHATARD, J. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. **International Journal of Sports Medicine**, 00255, v. 21, n. 1, p. 54–59, 2000.

COSTILL, D. *et al.* Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. **International Journal of Sports Medicine**, 00444, v. 6, n. 5, p. 266–270, 1985.

COUTO, J. G. M. DO; FRANKEN, M.; CASTRO, F. A. DE S. Influence of different breathing patterns on front crawl kinematics. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, 00000, v. 17, n. 1, p. 82–90, 2015.

CRAIG, A.; PENDERGAST, D. R. Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. **Medicine Science Sports Exercise**, 00381, v. 11, n. 3, p. 278–283, 1979.

CRAIG JR, A. B. *et al.* Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. 00000, 1985.

DE JESUS, K. *et al.* Which are the best VO₂ sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? **International Journal of Sports Medicine**, 00004, v. 35, n. 12, p. 1030–1036, 2014.

DE LEVA, P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. **Journal of biomechanics**, v. 29, n. 9, p. 1223–1230, 1996.

DEFNEYES, J.; SANDERS, R.; WANG, Q. **Proceedings of XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports**. 00002, 2005.

DEKERLE, J. *et al.* Characterising the slope of the distance–time relationship in swimming. **Journal of Science and Medicine in Sport**, 00032, v. 13, n. 3, p. 365–370, 2010.

DENADAI, B. S. Consumo máximo de oxigênio: fatores determinantes e limitantes. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, 00042, v. 1, n. 1, p. 85–94, 1995.

DI PRAMPERO, P.; PENDERGAST, D.; ZAMPARO, P. Swimming economy (energy cost) and efficiency. **World book of swimming: from science to performance/editors, ludovic seifert and didier chollet**, 2011. p. 297–312.

FERNANDES, R.; BARBOSA, T. M.; VILAS-BOAS, J. P. Fatores cineantropométricos determinantes em natação pura desportiva. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano** 00029, 2002.

FERNANDES, R.; VILAS-BOAS, J. Time to exhaustion at the VO₂max velocity in swimming: a review. **Journal of Human Kinetics**, 00016, v. 32, p. 121–134, 2012.

FERREIRA, M. I. *et al.* Analysis of the determinant kinematical parameters for performance in the 200-m freestyle swimming event. **Motriz: revista de educação física**, 2012. v. 18, n. 2, p. 366–377

FIGUEIREDO, P. *et al.* Energy cost and body centre of mass' 3D intracycle velocity variation in swimming. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 9, p. 3319–3326, 2012.

FIGUEIREDO, P. *et al.* Interplay of biomechanical, energetic, coordinative, and muscular factors in a 200 m front crawl swim. **BioMed Research International**, 00013, v. 2013, 2013.

FIGUEIREDO, P. *et al.* Intracycle velocity variation of the body centre of mass in front crawl. **International Journal of Sports Medicine**, 00004 PMID: 22318557, v. 33, n. 4, p. 285–290, abr. 2012.

FRANKEN, M.; ZACCA, R.; CASTRO, F. DE S. Velocidade crítica em natação: fundamentos e aplicação. **Revista Motriz**, 00006, v. 17, n. 1, p. 209–222, 2011.

GREEN, J. *et al.* RPE-lactate dissociation during extended cycling. **European Journal of Applied Physiology**, 00046, v. 94, n. 1–2, p. 145–150, 2005.

HAY, J.; GUIMARAES, A.; GRIMSTON, S. A quantitative look at swimming biomechanics. **Swimming technique**, 00124, v. 20, n. 2, p. 11–17, 1983.

HOLFELDER, B.; BROWN, N.; BUBECK, D. The influence of sex, stroke and distance on the lactate characteristics in high performance swimming. **PloS one**, 00006, v. 8, n. 10, p. e77185, 2013.

HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports medicine**, 2000. v. 30, n. 1, p. 1–15.

HOWLEY, E. T.; BASSETT, D. R.; WELCH, H. G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. **Medicine and science in sports and exercise**, 01107, v. 27, n. 9, p. 1292–1301, 1995.

ISAK. International Society for the Advancement of Kinanthropometry International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK). **International standards for anthropometric assessment**: A manual for teaching materials for accreditation. 2nd. Ed., 2006

JENSEN, R. K. Estimation of the biomechanical properties of three body types using a photogrammetric method. **Journal of biomechanics**, v. 11, n. 8, p. 349–358, 1978.

KJENDLIE, P.-L.; STALLMAN, R. Morphology and swimming performance. **World book of swimming. from science to performance. new york: nova**, 2011. p. 203–222.

KESKINEN, K. L.; RODRÍGUEZ, F. A.; KESKINEN, O. P. Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 00084, v. 13, n. 5, p. 322–329, 2003.

LAFFITE, L. P. *et al.* Changes in Physiological and Stroke Parameters During a Maximal 400-m Free Swimming Test in Elite Swimmers. **Canadian Journal of Applied Physiology**, 00060, v. 29, n. S1, p. S17–S31, 1 jan. 2004.

MAGLISCHO, E. W. **Nadando o mais rápido possível**. [S.l.]: Manole, 2010.

MATOS, C. C. DE; CASTRO, F. A. DE S. Fadiga: alterações fisiológicas e modelos conceituais. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**. São Caetano do Sul, SP. Vol. 11, n. 37 (jul./set. 2013), p. 53-61, 00002, 2013.

MAUGHAN, R.; GLEESON, M.; GREENHAFF, P. L. **Bioquímica do exercício e do treinamento**. [S.l.]: Manole, 2000.

MCCABE, C. **Effects of 50m and 400m race paces on three-dimensional kinematics and linear kinetics of sprint and distance front crawl swimmers**. 00001, 2008.

MCCABE, C. B.; SANDERS, R. H. Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at a distance pace. **Journal of sports sciences**, 2012. v. 30, n. 6, p. 601–608

NAKAMURA, F. Y. *et al.* Utilização do esforço percebido na determinação da velocidade crítica em corrida aquática. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, 2005. v. 11, n. 1, p. 1–5.

NOMURA, T. *et al.* Physiological evaluation of the 400 m freestyle race. In: J.P Troup. AP Hollander. D. Strasse. S.W. Trappe, J.M. Cappaert. and T.A. Trappe (Eds.), **Biomechanics and Medicine in Swimming VII**, pp, 209- 215, 1996.

OLIVEIRA, C.; REIS, A.; SILVA, A.J.; GARRIDO, N.; LOURO, H.; MARINHO, D.A.; GUIDETTI, L.; BARBOSA, TIAGO M. Constrangimento mecânico provocado pela válvula aquatrainer® associada ao sistema de oximetria directa (K4 B2) na cinemática de crol. In **3º Congresso Nacional de Biomecânica**. ISBN 978-989-96100-0-2), 2009.

ÖZYENER, F. *et al.* Influence of exercise intensity on the on-and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **The Journal of Physiology**, 00332, v. 533, n. 3, p. 891–902, 2001.

PELAYO, P. *et al.* Aerobic potential, stroke parameters, and coordination in swimming front-crawl performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 00028, v. 2, n. 4, p. 347–359, 2007.

PEREIRA, G. *et al.* The rating of perceived exertion predicts intermittent vertical jump demand and performance. **Journal of Sports Sciences**, 00005, v. 29, n. 9, p. 927–932, 2011.

PETIBOIS, C.; DELERIS, G. Fourier-transform infrared spectrometry determination of the metabolic changes during a maximal 400-meter swimming test. **International journal of sports medicine**, 2003. v. 24, n. 5, p. 313–319.

PRANGE, H. D.; SCHMIDT-NIELSEN, K. The metabolic cost of swimming in ducks. **Journal of Experimental Biology**, 00140, v. 53, n. 3, p. 763–777, 1970.

PSYCHARAKIS, S. G. *et al.* Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 20, n. 1, p. 128–135, 2010.

REIS, V. *et al.* Examining the accumulated oxygen deficit method in front crawl swimming. **International Journal of Sports Medicine**, 00033, v. 31, n. 6, p. 421–427, 2010.

RIBEIRO, J. *et al.* Metabolic predictors of middle-distance swimming performance. **British Journal of Sports Medicine**, 00070, v. 24, n. 3, p. 196–200, 1990.

RODRIGUEZ, F. Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running and cycling test in competitive swimmers. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 00094, v. 40, n. 2, p. 87, 2000.

RODRIGUEZ, F. *et al.* Oxygen uptake kinetics during free swimming: a pilot study. **IX Biomechanics and Medicine in Swimming**, 00034, p. 379–384, 2003.

SANDERS, R. H.; WILSON, B. D.; JENSEN, R. K. Accuracy of derived ground reaction force curves for a rigid link human body model. **International Journal of Sport Biomechanics**, v. 7, n. 4, 1991.

SCHNITZLER, C. *et al.* Arm coordination adaptations assessment in swimming. **International Journal of Sports Medicine**, 00055, v. 29, n. 6, p. 480–486, 2008.

SCHNITZLER, C. *et al.* 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**, 00026 PMID: 17024620, v. 28, n. 2, p. 164–171, fev. 2007.

SCHNITZLER, C.; SEIFERT, L.; CHOLLET, D. Arm coordination and performance level in the 400-m front crawl. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, 00011 PMID: 21462680, v. 82, n. 1, p. 1–8, mar. 2011.

SCHNITZLER, C.; SEIFERT, L.; CHOLLET, D. Variability of coordination parameters at 400-m front crawl swimming pace. **Journal of Sports Science & Medicine**, 00015 PMID: 24149527 PMID: PMC3761493, v. 8, n. 2, p. 203–210, 2009.

SIDERS, W. A.; LUKASKI, H. C.; BOLONCHUK, W. W. Relationships among swimming performance, body composition and somatotype in competitive collegiate swimmers. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 00103 PMID: 8412052, v. 33, n. 2, p. 166–171, jun. 1993.

SOUSA, A *et al.*, Critical Evaluation of Oxygen-Uptake Assessment in Swimming. **International Journal of Sport Physiology and Performance**, 2012, 9, p. 190-202, 2014

STRZAŁA, M.; TYKA, A.; KREŻAŁEK, P. Physical endurance and swimming technique in 400 meter front crawl race. **Journal Human Kinetics**, 00005, v. 18, p. 73–86, 2007.

SUK, M.-H.; YU, K.-H.; SHIN, Y.-A. Comparison of tests for measuring maximal exercise ability in elite swimmers. **Journal of Exercise Rehabilitation**, 00000 PMID: 27419117PMCID: PMC4934966, v. 12, n. 3, p. 209–215, 30 jun. 2016.

SUZUKI, F. G. *et al.* Esforço percebido durante o treinamento intervalado na natação em intensidades abaixo e acima da velocidade crítica. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, 00005, v. 7, n. 3, p. 299–307, 2007.

TOUSSAINT, H. M.; BEEK, P. J. Biomechanics of competitive front crawl swimming. **Sports medicine**, 00223, v. 13, n. 1, p. 8–24, 1992.

VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J.; BARBOSA, T. M. Intra-cycle velocity variations, swimming economy, performance and training in swimming. **World book of swimming: from Science to Performance**. Nova Science Publishers, Inc., USA, 00028, p. 120–140, 2010.

WAKAYOSHI, K. *et al.* Adaptations to six months of aerobic swim training. Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. **International Journal of Sports Medicine**, 00000 PMID: 8244602, v. 14, n. 7, p. 368–372, out. 1993.

YANAI, T. Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. **Journal of Biomechanics**, v. 36, n. 1, p. 53–62, 2003.

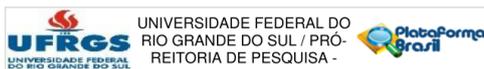
ZACCA, R. *et al.* Swimming Training Assessment: The Critical Velocity and the 400-m Test for Age-Group Swimmers. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 00001, v. 30, n. 5, p. 1365–1372, 2016.

ZACCA, R.; DE SOUZA CASTRO, F. A. **Bioenergetics Applied to Swimming: An Ecological Method to Monitor and Prescribe Training**. [S.l.]: INTECH Open Access Publisher, 2012.

ZAMPARO, P. *et al.* Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. **European Journal of Applied Physiology**, PMID: 15887025, v. 94, n. 5–6, p. 697–704, ago. 2005.

ZUNIGA, J. *et al.* Gender comparisons of anthropometric characteristics of young sprint swimmers. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 00028, v. 25, n. 1, p. 103–108, 2011.

ANEXO 1



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL / PRÓ-REITORIA DE PESQUISA -

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS DE DESEMPENHO DA PROVA DE 400 METROS NADO LIVRE

Pesquisador: Flávio Antônio de Souza Castro

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 49500615.7.0000.5347

Instituição Proponente: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.302.268

Apresentação do Projeto:

Trata-se de projeto de pesquisa associado a uma dissertação de mestrado, apresentada ao PPG em Ciência do Movimento Humano da ESEF que retorna a este Comitê para uma segunda rodada de avaliação.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo geral

Verificar as possíveis associações entre os parâmetros biomecânicos, coordenativos e fisiológicos na prova de 400 m nado livre e relacioná-las com o desempenho.

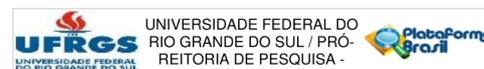
Objetivos específicos

Ao longo do desempenho dos 400 m nado livre:

- Comparar os valores médios dos parâmetros biomecânicos: FB, DC, VN, VIV, IdC, Tprop, RC;
- Comparar os valores dos parâmetros coordenativos: IdC e Tprop
- Comparar os valores de VO2 e identificar o VO2 pico ;
- Comparar os valores médios de FC;

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
Bairro: Farrowilha **CEP:** 90.040-060
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propeqz.ufrgs.br

Página 01 de 04



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL / PRÓ-REITORIA DE PESQUISA -

Continuação do Parecer: 1.302.268

Pré e pós 400 m em máxima intensidade será comparado:

- Valores de [La]
- Valores de PSE;

Dos dados obtidos ao longo dos 400 m nado livre serão verificadas as associações entre:

- Parâmetros biomecânicos e o desempenho;
- Parâmetros fisiológicos e o desempenho;
- Parâmetros biomecânicos e fisiológicos;

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Adequadamente apresentados

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto visa comparar e correlacionados entre si e parâmetros biomecânicos e fisiológicos com o desempenho da prova de 400m livres na natação. A revisão de literatura é pertinente e atual, os objetivos estão claros e a metodologia parece estar de acordo com as metas apresentadas. Entretanto, a viabilidade metodológica é melhor avaliada por um parecerista da área, que conheça os recursos metodológicos disponíveis na unidade onde será desenvolvido o estudo. Neste sentido, a falta de um "parecer consubstanciado" torna o processo de avaliação mais demorado, demandando uma tarefa extra a esta instância de avaliação. Segundo a Resolução 01/2013 da Câmara de Pesquisa, um parecer consubstanciado deve conter, entre outras informações, uma descrição sucinta da justificativa e objetivos do projeto, bem como das metodologias a serem utilizadas. O parecer deve considerar ainda a pertinência e o valor científico do estudo proposto, adequação da metodologia e exequibilidade conforme estrutura disponível. Neste sentido, sugere-se que o pesquisador, em situações futuras, solicite aos pareceristas que incorporem estas informações ao seu parecer. Este tipo de procedimento certamente acelera o processo de avaliação de um projeto que tramita por várias instâncias.

Serão avaliados 15 participantes, número definido por cálculo amostral, em uma única sessão. As avaliações incluem:

Medidas de estatura, massa, envergadura e dobras cutâneas. Também serão demarcados, sobre a pele dos participantes, com a utilização de uma fita adesiva de cor preta, pontos anatômicos de referência para análises cinemáticas tridimensionais, nas quais serão utilizadas 6 câmeras digitais dentro e fora da piscina. Serão coletados 5ml de sangue após aquecimento, quando o participante finalizar a prova de 400m, e mais três situações, 3, 5 e 7 minutos após o término da prova. Nos

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
Bairro: Farrowilha **CEP:** 90.040-060
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propeqz.ufrgs.br

Página 02 de 04

 																
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL / PRÓ-REITORIA DE PESQUISA -																
<small>Continuação do Parecer: 1.302.268</small>																
<p>mesmos momentos, e também antes de realizar o aquecimento, será avaliada a percepção subjetiva de esforço através da escala de 15 pontos de Borg.</p>																
<p>Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:</p> <p>Folha de rosto, adequada. Orçamento, adequado. Cronograma, adequado. Projeto completo, adequado. Termo de consentimento, adequado. Termo de assentimento, adequado Autorização de instituições participantes, adequado</p>																
<p>Recomendações:</p> <p>Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:</p> <p>Na avaliação anterior havia sido solicitado:</p> <ul style="list-style-type: none"> - adequar riscos e benefícios, no projeto, na Plataforma Brasil e no TCLE - esclarecimentos sobre o descarte do material biológico coletado - incluir Termo de Assentimento e TCLE para responsáveis - autorização institucional - esclarecer a necessidade de coleta de 5 ml, em múltiplas situações, para análise única de Lactato <p>Todas as solicitações foram adequadamente atendidas, estando o projeto em condições de ser aprovado.</p>																
<p>Considerações Finais a critério do CEP:</p> <p>APROVADO.</p>																
<p>Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo Documento</th> <th>Arquivo</th> <th>Postagem</th> <th>Autor</th> <th>Situação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Informações Básicas do Projeto</td> <td>PB_INFORMACOES_BASICAS_DO_P ROJETO_590718.pdf</td> <td>26/10/2015 11:15:05</td> <td></td> <td>Aceito</td> </tr> <tr> <td>Outros</td> <td>resposta.pdf</td> <td>26/10/2015 11:14:32</td> <td>Flávio Antônio de Souza Castro</td> <td>Aceito</td> </tr> </tbody> </table>		Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação	Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMACOES_BASICAS_DO_P ROJETO_590718.pdf	26/10/2015 11:15:05		Aceito	Outros	resposta.pdf	26/10/2015 11:14:32	Flávio Antônio de Souza Castro	Aceito
Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação												
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMACOES_BASICAS_DO_P ROJETO_590718.pdf	26/10/2015 11:15:05		Aceito												
Outros	resposta.pdf	26/10/2015 11:14:32	Flávio Antônio de Souza Castro	Aceito												
<p><small>Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro Bairro: Farroupilha CEP: 90.040-060 UF: RS Município: PORTO ALEGRE Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-4085 E-mail: etica@propeq.ufrgs.br</small></p>																
<small>Página 03 de 04</small>																

 				
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL / PRÓ-REITORIA DE PESQUISA -				
<small>Continuação do Parecer: 1.302.268</small>				
<p>Declaração de Instituição e Ingresso Jurid</p>	<p>anuencia.jpeg</p>	<p>26/10/2015 11:13:29</p>	<p>Flávio Antônio de Souza Castro</p>	<p>Aceito</p>
<p>Projeto Detalhado / Brochura Investigador</p>	<p>projeto.pdf</p>	<p>26/10/2015 11:12:45</p>	<p>Flávio Antônio de Souza Castro</p>	<p>Aceito</p>
<p>TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência</p>	<p>TCLE_PAIS.pdf</p>	<p>26/10/2015 11:11:53</p>	<p>Flávio Antônio de Souza Castro</p>	<p>Aceito</p>
<p>TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência</p>	<p>TERMO_ASSENTIMENTO.pdf</p>	<p>26/10/2015 11:11:33</p>	<p>Flávio Antônio de Souza Castro</p>	<p>Aceito</p>
<p>TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência</p>	<p>TCLE.pdf</p>	<p>26/10/2015 11:11:17</p>	<p>Flávio Antônio de Souza Castro</p>	<p>Aceito</p>
<p>Folha de Rosto</p>	<p>folhaderostoassinada.pdf</p>	<p>22/09/2015 19:04:54</p>	<p>Flávio Antônio de Souza Castro</p>	<p>Aceito</p>
<p>Outros</p>	<p>INSTRUMENTODECOLETADE DADOS.pdf</p>	<p>12/09/2015 11:22:29</p>	<p>Flávio Antônio de Souza Castro</p>	<p>Aceito</p>
<p>Outros</p>	<p>cartazdedivulgacao.pdf</p>	<p>12/09/2015 11:22:10</p>	<p>Flávio Antônio de Souza Castro</p>	<p>Aceito</p>
<p>Outros</p>	<p>pareceraprovacao.pdf</p>	<p>12/09/2015 11:20:04</p>	<p>Flávio Antônio de Souza Castro</p>	<p>Aceito</p>
<p>Situação do Parecer: Aprovado</p>				
<p>Necessita Apreciação da CONEP: Não</p>				
<p>PORTO ALEGRE, 29 de Outubro de 2015</p>				
<p>Assinado por: MARIA DA GRAÇA CORSO DA MOTTA (Coordenador)</p>				
<p><small>Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro Bairro: Farroupilha CEP: 90.040-060 UF: RS Município: PORTO ALEGRE Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-4085 E-mail: etica@propeq.ufrgs.br</small></p>				
<small>Página 04 de 04</small>				

ANEXO 2

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA O PARTICIPANTE

Venho por meio desta convidar-lhe a participar do projeto de pesquisa de mestrado intitulado: **PARÂMETROS ANTROPOMÉTRICOS, FISIOLÓGICOS E BIOMECÂNICOS DE NADADORES EM TESTE DE 400 M NADO CRAWL: COMPARAÇÕES E CORRELAÇÕES** de Ricardo de Assis Correia, estudante de mestrado do Programa de pós graduação em Ciências do Movimento que será realizado no centro natatório da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tendo como responsável o professor Dr. Flávio Antonio de Souza Castro.

O objetivo principal do presente estudo é verificar as relações entre os parâmetros biomecânicos e fisiológicos na prova de 400m nado livre e relacioná-los com o desempenho.

Em uma única sessão serão obtidas primeiramente, medidas de estatura, massa corporal, dobras cutâneas e envergadura. Após essas avaliações antropométricas, você será demarcado com uma fita adesiva de cor preta nas principais articulações dos membros inferiores e superiores. Um aquecimento na piscina será realizado de acordo com o desenvolvido durante as principais competições. Após o aquecimento, deitado em decúbito dorsal durante 15 segundos serão coletados do braço direito 5 ml de sangue que serão utilizados para verificação do lactato. Esses procedimentos realizados, partimos para a simulação da prova de 400m nado crawl. Em toda a prova, câmeras de vídeo estarão registrando as imagens suas nadando. Um esnórquel será acoplado a um espirômetro com o deslocamento do aparelho em todo o percurso realizado por um pesquisador experiente. **RISCOS:** Você poderá sentir algumas dores e desconfortos musculares decorrentes do esforço máximo dos 400 m. Porém, esses riscos podem ser minimizados ao realizar o aquecimento antes do início da prova. Além disso, você poderá sentir dor e desconforto relativos à coleta de sangue no braço, desconforto ao utilizar máscara para coleta de gases durante o nado. Os pesquisadores responsáveis disponibilizam materiais os quais incluem um kit portátil de primeiros socorros para amenizar algum tipo de lesão que possa ocorrer e prontificam-se a auxiliar o encaminhamento do participante a um posto médico, caso aconteça algo mais grave.

BENEFÍCIOS: Esta pesquisa vai auxiliá-lo a compreender e melhorar seu desempenho na prova de 400m nado livre.

Qualquer dúvida responderá durante a realização da coleta e em qualquer momento poderá suspender os testes por livre escolha. Qualquer dúvida, por favor, entre em contato com a equipe de pesquisa: Ricardo de Assis Correia (fones: 19 3526-4307 e 19 3526-4340) e/ou Flávio Antônio de Souza castro (fone: 51 33085824). Bem como com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS: (51) 3308 3738.

Toda e qualquer informação individual obtida durante a pesquisa será totalmente sigilosa.

Eu, _____, fui convidado e concordo em participar do presente estudo. Declaro que estou ciente sobre os procedimentos da pesquisa esclarecidas neste termo e que recebi cópia do presente termo.

Assinatura do participante

TERMO DE ASSENTIMENTO INFORMADO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Projeto: PARÂMETROS ANTROPOMÉTRICOS, FISIOLÓGICOS E BIOMECÂNICOS DE NADADORES EM TESTE DE 400 M NADO CRAWL: COMPARAÇÕES E CORRELAÇÕES

Pesquisadores: Ricardo de Assis Correia (discente) e Flávio Antonio de Souza Castro (orientador e responsável)

Local da Pesquisa: Escola de Educação Física da Universidade do Rio Grande do Sul
Endereço: Rua Felizardo, 750, Jardim Botânico, Porto Alegre, RS

O que significa assentimento?

O assentimento significa que você concorda em fazer parte de um grupo para participar de uma pesquisa. Serão respeitados seus direitos e você receberá todas as informações por mais simples que possam parecer.

Pode ser que este documento denominado TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO contenha palavras que você não entenda. Por favor, peça ao responsável pela pesquisa ou à equipe do estudo para explicar qualquer palavra ou informação que você não entenda claramente.

Informação ao participante da pesquisa:

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa, com o objetivo de verificar as relações entre os parâmetros biomecânicos e fisiológicos na prova de 400m nado livre e relacioná-los com o desempenho.

Em uma única sessão serão obtidas primeiramente, medidas de estatura, massa corporal, dobras cutâneas e envergadura. Após essas avaliações antropométricas, você será demarcado com uma fita adesiva de cor preta nas principais articulações dos membros inferiores e superiores. Um aquecimento na piscina será realizado de acordo com o desenvolvido durante as principais competições. Após o aquecimento, deitado em decúbito dorsal durante 15 segundos serão coletados do braço direito 5 ml de sangue que serão utilizados para verificação do lactato. Esses procedimentos realizados, partimos para a simulação da prova de 400m nado crawl. Em toda a prova, câmeras de vídeo estarão registrando as imagens suas nadando. Um esnórquel será acoplado a um espirômetro com o deslocamento do aparelho em todo o percurso realizado por um pesquisador experiente.

RISCOS: Você poderá sentir algumas dores e desconfortos musculares decorrentes do esforço máximo dos 400 m. Porém, esses riscos podem ser minimizados ao realizar o aquecimento antes do início da prova. Além disso, você poderá sentir dor e desconforto relativos à coleta de sangue no braço, desconforto ao utilizar máscara para coleta de gases durante o nado. Os pesquisadores responsáveis disponibilizam materiais os quais incluem um kit portátil de primeiros socorros para amenizar algum tipo de lesão que possa ocorrer e prontificam-se a auxiliar o encaminhamento do participante a um posto médico, caso aconteça algo mais grave.

BENEFÍCIOS: Esta pesquisa vai auxiliá-lo a compreender e melhorar seu desempenho na prova de 400m nado livre.

Garantimos o total sigilo de seus dados e imagens. As imagens serão analisadas, mas nunca associadas ao seu nome. Após as análises, os vídeos serão apagados.

Sua participação é voluntária e que caso você opte por não participar, não terá nenhum prejuízo ou represálias.

Contato para dúvidas:

Se você ou os responsáveis por você tiver (em) dúvidas com relação ao estudo, direitos do participante, ou no caso de riscos relacionados ao estudo, você deve contatar o pesquisador do estudo ou membro de sua equipe: Ricardo de Assis Correia e Flávio Antonio de Souza Castro, telefone fixo número (51) 33085824. Se você tiver dúvidas sobre seus direitos como um paciente de pesquisa, você pode contatar o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (51) 3308 3738. O CEP é constituído por um grupo de profissionais de diversas áreas, com conhecimentos científicos e não científicos que realizam a revisão ética inicial e continuada da pesquisa para mantê-lo seguro e proteger seus direitos.

DECLARAÇÃO DE ASSENTIMENTO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA:

Eu li e discuti com os pesquisadores responsáveis pelo presente estudo os detalhes descritos neste documento. Entendo que eu sou livre para aceitar ou recusar, e que posso interromper a minha participação a qualquer momento sem dar uma razão. Eu concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para o propósito acima descrito.

Eu entendi a informação apresentada neste TERMO DE ASSENTIMENTO. Eu tive a oportunidade para fazer perguntas e todas as minhas perguntas foram respondidas.

Eu recebi uma cópia assinada e datada deste documento DE ASSENTIMENTO INFORMADO.

NOME DO PARTICIPANTE
DATA

ASSINATURA

NOME DO PESQUISADOR

ASSINATURA

DATA

ANEXO 4

Artigo Original aceito para publicação na REVISTA DE EDUCAÇÃO FÍSICA / JOURNAL OF PHYSICAL EDUCATION

Método e-zone para cálculos dos parâmetros inerciais de massa corporal

Introdução: Estimativas corretas dos parâmetros inerciais de massa corporal são de fundamental importância para que análises cinemáticas do centro de massa corporal (CM) sejam mais precisas. Até hoje, as estimativas desses parâmetros inerciais ainda são baseados em protocolos a partir de tabelas gerais para a localização do CM obtidas de estudos em cadáveres. A fim de superar essa limitação, o método de zonas elípticas, *e-zone*, foi desenvolvido considerando segmentos corporais como zonas elípticas, podendo estimar esses parâmetros, respeitando as individualidades morfológicas corporais e aplicada em diferentes populações.

Objetivo: Verificar a sensibilidade de medida do método *e-zone* em relação à massa corporal total.

Métodos: Participaram do estudo 13 nadadores federados ($21,7 \pm 4,2$ anos de idade). Foram demarcados círculos (1,5 cm de raio) em 16 acidentes anatômicos corporais. Primeiramente foram registradas as imagens de calibração por meio de fotografias obtidas por 2 câmeras digitais (*Olympus HD/3D, 14 megapixels*) posicionadas nos planos sagital direito e frontal a 6 m do centro do calibrador. Posteriormente foram registradas as imagens, simultaneamente, por 2 avaliadores posicionados no mesmo local do calibrador. Após esses procedimentos, os dados foram analisados em ambiente *Matlab* com rotina específica pela qual foram calculados os parâmetros inerciais de cada segmento.

Resultados: Entre a massa corporal estimada pelo método *e-zone* e a massa real dos indivíduos não foi encontrada diferença, o tamanho de efeito foi trivial, houve alta correlação intra-classe e concordância dentro dos limites esperados pela análise gráfica de *Bland-Altman*.

Conclusão: O método *e-zone* demonstrou ser eficaz em estimar a massa corporal.

Palavras-chave: zona elíptica, segmentos corporais, natação

Original Article

Method e-zone to calculate inertial parameters of body mass

Abstract

Introduction: Correct estimates of body mass inertial parameters are of fundamental importance for more accurate kinematic analysis of the body center of mass (CM). To date, estimates of these inertial parameters are still based on protocols from general tables to the location of the CM obtained from studies on cadavers. In order to overcome this limitation, the method of elliptical areas, *e-zone*, was developed considering body segments as elliptical areas, and can estimate these respecting the body morphological characteristics and applied in different populations.

Objective: To determine the sensitivity of the measurement method *e-zone* relative to total body mass.

Methods: This study included 13 federal swimmers (21.7 ± 4.2 years old). They were marked with painted circles (1.5 cm radius) in 16 anatomical accidents around the body. Calibration images were first registered through photographs taken by 2 digital cameras which were positioned in the right sagittal and frontal planes, 6 m from the center of the calibration device. Two evaluators in the same location as the calibrator simultaneously obtained images of the swimmers. After these procedures, the data were analyzed in MatLab specific routine in which the inertial parameters of each body segment were calculated.

Results: Between the body mass stimulated by the e-zone method and the actual mass of individuals there was no difference, the effect size was trivial, there was a high correlation intra class, and there was agreement within the expected limits by graphical analysis of Bland-Altman.

Conclusion: The e-zone proved to be effective in estimating body mass.

Keywords: elliptical zone, body segments, swimming

Introdução

Para as análises das variáveis cinemáticas e cinéticas do movimento é de fundamental importância que as estimativas da localização do centro de massa corporal (CM) sejam precisas. Assim, a partir de momentos inerciais tridimensionais possibilita-se encontrar resultados de deslocamento, velocidade e acelerações do corpo, representado pelo CM, de modo mais fidedigno. Por exemplo, na natação, a correta identificação da velocidade do CM, e de suas variações, nos três eixos, permite entender o custo energético (BARBOSA; KESKINEN; VILAS-BOAS, 2006a; ZAMPARO *et al.*, 2005) e sua relação com variação intracíclica da velocidade (FIGUEIREDO, PEDRO *et al.*, 2012; PSYCHARAKIS *et al.*, 2010). Nesse contexto, para se estimar esses parâmetros inerciais, protocolos baseados em tabelas gerais para a localização do CM foram produzidos a partir de estudos em cadáveres (DE LEVA, 1996) e são utilizadas até hoje em análises biomecânicas. Além disso, métodos considerados padrão-ouro (ressonância magnética, DEXA e scanners 3D) são instrumentos caros e de difícil acesso e manuseio. A fim de superar essa limitação, o método de zonas elípticas, *e-zone* (DEFNEYES, JOAN; SANDERS, 2008) foi desenvolvido considerando segmentos corporais como zonas elípticas. Por meio de imagens digitais do próprio indivíduo e desenvolvidas em rotina matemática em *ambiente MatLab*, podem ser estimados os parâmetros inerciais e a massa corporal mais perto da realidade. Visto que não foram encontrados estudos relatando essas estimativas de massa corporal por esse método, o objetivo deste estudo é verificar a sensibilidade de medida do método *e-zone* em relação à massa corporal real (MCR).

Métodos

Amostra

Participaram do estudo 13 nadadores federados, todos do sexo masculino (média de idade: $21,7 \pm 4,2$ anos). Os participantes foram informados sobre os procedimentos e riscos da pesquisa, para isso assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido que foi apresentado antes da avaliação. Todos os procedimentos requeridos foram aprovados pelo comitê de ética local (nº1.302.268) antes de iniciar as avaliações.

Mensurações Antropométricas e pontos anatômicos

Para determinar a massa corporal real (MCR) foi utilizada uma balança (*FILIZOLA*, resolução de 0,1 kg). Após as mensurações antropométricas foram demarcados círculos de 1,5 cm de diâmetro com uma esponja emulsificada em um creme de cera preto para maquiagem em 16 regiões anatômicas (vértice da cabeça, C2, mandíbula, C7, articulação acrômio clavicular, úmero, cotovelo, punho, 3ª falange distal da mão, processo xifóide, púbis, quadril, joelhos, tornozelo; 1º e 5º metatarso dos pés) (figura 1). Após esses procedimentos, os participantes foram posicionados em um lugar fixo e calibrado (régua de calibração em dois eixos em escala de 20 cm bicolors). Os participantes foram instruídos a permanecer em flexão plantar, apoiadas as regiões dos calcâneos em uma base sólida em posição anatômica para a visualização de todos os pontos demarcados no participante pelas câmeras (figura 1).



Figura 1. Marcações anatômicas para as análises de dados pelo método *ezone*

Desenho experimental e procedimentos

Em uma área de 36 m² foram utilizadas 2 câmeras (Olympus HD/3D, 14 megapixel de resolução) ambas nas posições frontal e lateral direita posicionadas em tripés a 1 m do solo. Desse modo, foram registrados as imagens fotográficas da calibração e do participante por meio de 2 avaliadores cujas imagens foram registradas simultaneamente. Após os registros das imagens, as mesmas foram analisadas em ambiente *Matlab* (R2009b). A rotina, desenvolvida por Deffeyes & Sanders (2008), permitiu identificar valores relativos do CM de todos os segmentos corporais, assim como, da massa para poder estimar a massa corporal dos participantes (Figura 2).

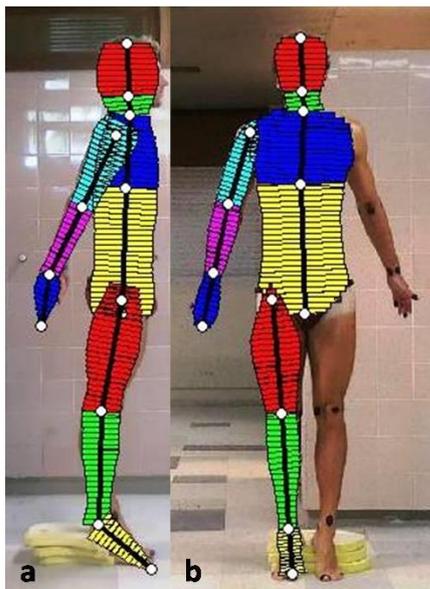


Figura 2. Vista sagital direito (a) e frontal (b) de uma amostra gráfica do software *Matlab* do método *e-zone*

Análise Estatística

Identificada a natureza paramétrica dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk, foi utilizada estatística descritiva por meio de média e desvio padrão da MCR e MCE. Os dados foram comparados com teste t de Student e o tamanho de efeito foi identificado com d de Cohen. Correlação entre os dados foi verificada com o Coeficiente de Correlação Intra-classe. Análise de concordância entre MCR e MCE foi realizada com a aplicação do gráfico de Bland Altman, com utilização de teste t simples entre as diferenças e “zero” e de uma regressão linear para se verificar o comportamento das diferenças. O nível de significância adotado foi de $\alpha < 0,05$. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no programa SPSS, versão 20.0

Resultados

Na Tabela 1 são apresentados a média e desvio padrão da MCR e MCE de todos os participantes. Os valores de MCE pelo método *e-zone* e a MCR não apresentaram diferenças ($t_{12} = -1,93$; $p = 0,077$), com tamanho de efeito trivial (d Cohen = 0,2) e demonstrando uma alta correlação intraclasse (CCI = 0,959; $p < 0,01$),

Tabela 1 – Média e desvio padrão da massa corporal

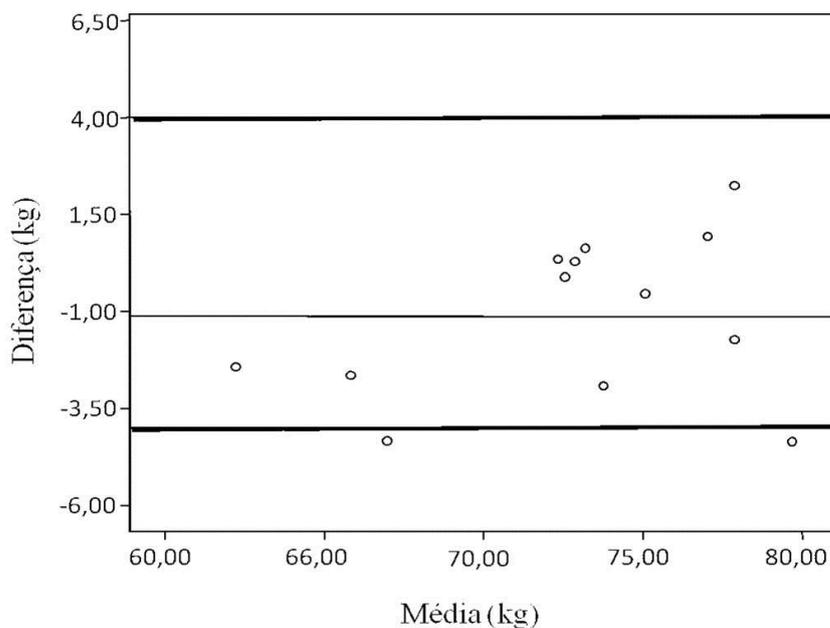
real (MCR) e massa corporal estimada (MCE)

Massa corporal (kg)	Média	DP
MCR	72,3	5,58
MCE	73,41	4,49

DP = desvio padrão

A análise gráfica de *Bland-Altman* (Figura 3) indicou que a diferença média entre os valores de ME e MR é similar à zero ($p = 0,077$) e que seu comportamento não é linear ($p=0,265$). Assim, os dados apresentam concordância dentro dos limites esperados

Figura 3 – Análise de *Bland-Altman* entre da ME e MR



Discussão

A proposta do presente estudo foi verificar a sensibilidade de medida do método *e-zone* em relação à massa corporal total. Os resultados demonstraram que o método pode ser preciso em estimar a massa corporal (Tabela 1) com erro de estimativa aceitável (1,93 kg). Alguns estudos (2,5) que utilizaram o mesmo método em amostra semelhante, no caso, nadadores competitivos, corroboram com o erro de estimativa também abaixo dos 2%. Além do mais, como o método respeita as características individuais e morfológicas corporais alguns estudos demonstram a mesma acurácia (JENSEN, 1978; SANDERS; WILSON; JENSEN, 1991; YOKOI *et al.*, 1986). Os resultados do presente estudo indicam que o método é sensível às diferenças individuais em relação à massa corporal total e pode ser utilizado com diferentes populações, por exemplo, atletas paralímpicos.

Pontos fortes e limitações do estudo

O método *e-zone* não é invasivo e necessita de baixo custo para realizar avaliações de parâmetros inerciais, possibilitando melhor precisão nas análises biomecânicas que dependem da localização do CM. Para melhor acurácia dos resultados é importante incluir na análises dos dados mais um avaliador e testar a reprodutibilidade intra e inter avaliador.

Conclusão

O método *e-zone* demonstrou ser eficaz em estimar a massa corporal, podendo ser utilizado como ferramenta também para cálculos de parâmetros inerciais do movimento.

Agradecimentos

Ao professor Ross Sanders pelo envio das rotinas e explicações relativas ao método. À CAPES, ao CNPq e à UFRGS, pelos apoios financeiros.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver nenhum conflito de interesses no presente estudo.

Declaração de financiamento

Declaramos o financiamento recebido pela CAPES, por meio de bolsa de mestrado do primeiro autor, para a pesquisa.

Referências

1. Zamparo P, Bonifazi M, Faina M, Milan A, Sardella F, Schena F, et al. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol.* agosto de 2005;94(5-6):697–704.
2. Barbosa TM, Keskinen KL, Vilas-Boas JP. Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva. *Motricidade.* 2006;201–13.
3. Psycharakis SG, Naemi R, Connaboy C, McCabe C, Sanders RH. Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20(1):128–35.
4. Figueiredo P, Barbosa TM, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ. Energy cost and body centre of mass' 3D intracycle velocity variation in swimming. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(9):3319–26.
5. De Leva P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *J Biomech.* 1996;29(9):1223–30.
6. Deffeyes J, Sanders R. ELLIPTICAL ZONE BODY SEGMENT MODELING SOFTWARE: DIGITISING, MODELING AND BODY SEGMENT PARAMETER CALCULATION. In: *ISBS-Conference Proceedings Archive [Internet].* 2008 [citado 5 de junho de 2016]. Recuperado de: <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/1174>
7. Jensen RK. Estimation of the biomechanical properties of three body types using a photogrammetric method. *J Biomech.* 1978;11(8):349–58.
8. Yokoi T, Shibukawa K, Ae M, Ishijima S, Hashihara Y. Body segment parameters of Japanese children. *Jpn J Phys Educ.* 1986;31(1):53–66.
9. Sanders RH, Wilson BD, Jensen RK. Accuracy of derived ground reaction force curves for a rigid link human body model. *Int J Sport Biomech.* 1991;7(4).