

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

DETERMINANTES DO DESEMPENHO PARA A PROVA DE 200 m NADO LIVRE

Flávio Antônio de Souza Castro

Porto Alegre 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

DETERMINANTES DO DESEMPENHO PARA A PROVA DE 200 m NADO LIVRE

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob orientação do Prof. Dr. Carlos Bolli Mota.

Flávio Antônio de Souza Castro

Porto Alegre, julho de 2007

CATALOGAÇÃO NA FONTE

C355d Castro, Flávio Antônio de Souza
Determinantes do desempenho para a prova de 200m nado livre.
Flávio Antônio de Souza Castro. - Porto Alegre: Escola de Educação
Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
152 f.: il.
**Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do
Sul. Escola de Educação Física. Programa de Pós-Graduação
em Ciências do Movimento Humano, Porto Alegre, BR-RS, 2007.**
1. Natação. 2. Biomecânica. 3. Cinemática. I.
Título. II. Mota, Carlo Bolli, orientador.
CDU: 797.2.012

Agradecimentos

À minha família: pais, irmãos, cunhada, cunhado e sobrinho, pelos constantes incentivo, confiança, compreensão e apoio;

Aos meus amigos: Dra. *Cláudia Tarragô Candotti*, Dra. *Cíntia de la Rocha Freitas*, Dr. *Márcio Alves de Oliveira*, pelos ensinamentos adquiridos ao longo desses anos;

Aos meus amigos do laboratório: *Aline Tamborindeguy*, *Felipe Moré*, *Felipe Carpes*, *Fernando Diefenthaeler*, *Rodrigo Bini*, companheiros desses últimos anos e fundamentais na revisão desta tese;

Aos meus companheiros de doutorado: Dr. *Jerri Ribeiro*, Dr. *Cássio Meira Jr.*, Dr. *Renato Soares*, Dra. *Cláudia Scheneider*, pelo ensinamentos no Brasil e além-mar;

Aos companheiros da sala 212 do LAPEX e do Grupo de Pesquisa em Cinesiologia e Biomecânica, todo apoio e ajuda foram sempre bem-vindos;

Aos técnicos-administrativos da ESEF, em especial do LAPEX, do Pós-Graduação e do Centro Natatório, pelo profissionalismo e excelência na atuação;

Aos Professores que ajudaram a fundamentar, de modo sempre presente, perto ou distante, todo conhecimento que vem sendo adquirido: Dr. *Jefferson Fagundes Loss*, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Dr. *João Paulo Vilas-Boas*, da Universidade do Porto;

Aos Professores que foram, em algum momento, fundamentais nesse processo, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, da Universidade de São Paulo e da Universidade do Porto: Dr. *Adroaldo Cezar Araujo Gaya*, Dr. *Álvaro Reischack de Oliveira*, Dr. *Antônio Carlos Amadio*, Dr. *Go Tani*, Dr. *Antônio Marques*, Dr. *José Antônio Maia*;

Aos amigos Dr. *Sílvio Saranga* e Dr. *Leonardo Nhantumbo*, exemplos a serem sempre seguidos;

Aos participantes do iniciante Grupo de Estudos em Natação Competitiva, da ESEF-UFRGS, semente que deve germinar;

A todos que ajudaram na coleta de dados: *Lara*, *Priscila*, *Moré*, *Bini*, *Thiago*, *Ricardo*, *Átila*, *Alexandre (Xandão)*, *Orlando*, *Carlos*, *Aline*, *Fernando*, *Aguiar*, *Luciano*, *Marcos*, *Otávio*;

Aos amigos da natação, técnicos e atletas, que participaram da coleta de dados, acreditando na ciência como aliada do melhor rendimento desportivo;

A todos que, em algum momento, torceram pela finalização deste projeto em Porto Alegre, Santa Cruz do Sul, São Paulo, Porto, mesmo com todos os percalços, que, no fundo, são inevitáveis, embora sempre indesejáveis;

Aos amigos de todas as horas: *Alexandre, Jairo, Carlos André e Flávio*, por todo e fundamental apoio.

Muito Obrigado

À memória do Prof. Dr. Antônio Carlos Stringhini Guimarães

RESUMO

DETERMINANTES DO DESEMPENHO PARA A PROVA DE 200 m NADO LIVRE

Autor: Flávio Antônio de Souza Castro

Orientador: Prof. Dr. Carlos Bolli Mota

Características antropométricas, biomecânicas e fisiológicas são considerados fatores determinantes do desempenho em natação. A prova de 200 m nado livre apresenta condições energéticas singulares que oferecem interessantes desafios para nadadores, treinadores e cientistas do esporte. Os objetivos deste estudo foram identificar a importância de cada fator relacionado ao desempenho na prova de 200 m nado livre, e suas inter-relações. Foram voluntários neste estudo 12 nadadores do sexo masculino (idade: $18,3 \pm 2,9$ anos; estatura: $174,3 \pm 5,8$ cm; envergadura: $181,1 \pm 7,5$ cm; massa corporal total: $66,4 \pm 6,3$ kg; somatório de quatro dobras cutâneas: $31,9 \pm 8,2$ mm), federados e nadando 37 ± 7 km por semana, cujo melhor tempo na prova de 200 m nado livre era $125,2 \pm 2,7$ s. Além das variáveis antropométricas, foram obtidos, de 200 m nado *crawl*, executados em piscina de 25 m, sob máxima intensidade, desempenho em s, transformados em valores pontuais (DESP), considerando o recorde mundial da prova como 1000 pontos e variáveis cinemáticas distância média percorrida por ciclo de braçadas (DC), frequência média de ciclo de braçadas (FCL) e velocidade média de nado (VN), dos oito trechos de 25 m dos 200 m. Variáveis cinemáticas foram obtidas empregando-se um sistema digital para videogrametria. Antes da realização dos 200 m foram identificados o consumo de oxigênio (VO_{2r}) e a concentração de lactato, ambos de repouso ([LAr]). Após os 200 m foram identificados o consumo de oxigênio pós esforço (VO_{2e}), pelo método de retroextrapolação e o pico de concentração de lactato P[LA]. Para identificar os valores de VO_2 foi utilizado um analisador de gases portátil e para os valores de [LA] um lactímetro portátil. Dos valores de

VO_2 e [LA] foram calculados os valores líquidos dos mesmos (VO_{2l} e [LAL]) e a energia total (Etot) gasta na realização dos 200 m. A realização de um teste de nado estacionário, de 30 s de duração, possibilitou a identificação do impulso total (IMP) e da taxa de variação do impulso (TIMP), com a utilização de célula de carga de tração. Foram calculados os coeficientes de variação (cv) das variáveis e aplicados testes estatísticos de medidas repetidas, de comparação de médias e modelos de regressão linear múltipla, estes em cinco modelos: antropométrico, cinemático, fisiológico, cinético e geral. O desempenho dos nadadores avaliados foi de $130,2 \pm 2,8$ s ($711,8 \pm 29,1$ pontos). Respectivamente valores médios de DC, FCL e VN foram: $2,10 \pm 0,11$ m, $0,69 \pm 0,07$ Hz e $1,45 \pm 0,11$ m·s⁻¹. Já valores de VO_{2l} , [LA]L e Etot foram de, respectivamente, $55,5 \pm 5,5$ ·kg⁻¹·min⁻¹, $11,15 \pm 1,17$ mmol·l⁻¹ e $67,2 \pm 5,5$ ml·kg⁻¹·min⁻¹. Valores de IMP e TIMP foram de, respectivamente, 2648,4 N·s e $-25,1 \pm 3,7$ N. No modelo geral de regressão linear múltipla entraram as variáveis que puderam, de modo significativo, explicar o desempenho nos modelos por grupos de variáveis (DC, cvVN, VO_{2l} e IMP) exceto a envergadura (ENV), que não responde a estímulos de treinamento. O modelo geral conseguiu explicar até 72,2% da variação do DESP, com as variáveis DC e VO_{2l} entrando de modo significativo no modelo de regressão múltipla ($DESP = 67,09DC - 3,048VO_{2l} + 733,4$). De maneira geral, os resultados indicaram que envergadura, distância média percorrida por ciclo de braçadas e impulso total em nado estacionário de 30 s correlacionam-se positivamente com o desempenho, já o consumo de oxigênio líquido e o coeficiente de variação da velocidade média de nado, negativamente. Para o melhor desempenho na prova de 200 m nado livre, espera-se que o nadador apresente uma maior DC e um nado mais econômico.

Palavras-chave: natação, desempenho, cinemática, cinética.

ABSTRACT

PERFORMANCE DETERMINANTS OF THE 200 m FREESTYLE EVENT

Author: Flávio Antônio de Souza Castro

Advisor: Prof. Dr. Carlos Bolli Mota, Ph.D.

Anthropometrics, biomechanics and physiological characteristics have been considered determining factors of swim performance. Two-hundred meters freestyle event shows unique metabolic energetic conditions offering a challenge for swimmers, coaches and researchers. The aims of this study were to identify each performance determinant factor importance and its interrelations with the 200 m freestyle swimming event. Twelve male swimmers (age: 18.3 ± 2.9 years; stature: 174.3 ± 5.8 cm; arm limb span: 181.1 ± 7.5 cm; total body mass: 66.4 ± 6.3 kg; four skin folds sum: 31.9 ± 8.2 mm, weekly training 37.7 ± 7 km, best time in the event: 125.2 ± 2.7 s) participated in this study. In addition to anthropometrics variables were obtained, from the 200 m freestyle performed in a 25 m pool at maximal intensity, performance in seconds, transformed in points values (DESP) – considering the world record as 1000 points – and kinematics variables: mean stroke length (DC), stroke rate (FCL) and swimming velocity (VN) during all eight laps of the 200 m. A two dimension digital motion system was used to obtain the kinematics variables. Prior to the 200 m test resting oxygen consumption and lactate concentrations were determined. After the 200 m test post oxygen consumption, by the backward extrapolation method, and lactate concentration peak P[LA] were evaluated. To identify the oxygen consumption values (VO_2) and the lactate concentration ([LA]) a portable respiratory gas analyzer and a lactate meter, respectively, were used. From the VO_2 and [LA] were calculated the net values ($VO_2|$ and [LAL]) and the total expended energy (Etot) during the 200 m. A 30 s tethered swim test allowed for the evaluation of the total impulse (IMP) and the impulse variation ratio (TIMP). The coefficients

of variation (cv) of the variables were calculated and applied statistical tests using repeat measurements, mean comparison and multiple linear regression models, in five different models: anthropometric, kinematics, physiological, kinetic and general. The swimmers' performance was 130.2 ± 2.8 s (711.8 ± 29.1 points). DC, FCL and VN were: 2.10 ± 0.11 m, 0.69 ± 0.07 Hz e 1.45 ± 0.11 m·s⁻¹, respectively. Whereas VO₂I, [LAL] and Etot were, respectively, 55.5 ± 5.3 ml·kg⁻¹·min⁻¹, 11.15 ± 1.17 mmol·l⁻¹ and 67.2 ± 5.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹. IMP and TIMP values were, respectively, 2648.4 N·s e -25.1 ± 3.7 N. On the general multiple linear regression model only the variables that could, in a statistical way, explain the performance on the variable group models (DC, cvDC, VO₂I and IMP) were used, except for one's arm limb span which will obviously not respond to any training stimulus. The general model explained up to 72.2% of the DESP variation with the DC and VO₂I variables, by the multiply regression model ($DESP = 67.09DC - 3.048VO_2I + 733.4$). The results indicated that arm limb span, mean distance covered per stroke cycle and the total impulse at 30 s tethered swim test showed a positive correlation with performance. Whereas net oxygen consumption and coefficient of variation of the mean swim speed presented a negative correlation. For a better performance during the 200 m freestyle is expecting a bigger DC and a more economical swim.

Keywords: swimming, performance, kinematics, kinetics

SUMÁRIO

1 Introdução	21
2 Objetivos	26
3 Revisão de Literatura	28
3.1 Desempenho em natação e parâmetros de avaliação	28
3.1.1 Parâmetros cinemáticos do nado	28
3.1.2 Parâmetros cinéticos do nado	40
3.1.3 Lactato sangüíneo e natação.....	47
3.1.4 Consumo de oxigênio, economia de nado e custo energético	55
3.1.5 Parâmetros antropométricos.....	70
3.2 Modelo do desempenho	74
3.3 Treinamento para a prova de 200 m nado livre.....	76
3.4 Análise crítica da literatura.....	80
4 Materiais e métodos	84
4.1 Caracterização da pesquisa	84
4.2 Variáveis em estudo	84
4.3 População e amostra.....	85
4.4 Procedimentos de aquisição das variáveis	87
4.4.1 Instrumentação.....	87
4.4.2 Obtenção e processamento dos dados obtidos das coletas	87
4.5 Análise estatística.....	94
4.6 Design explicativo do estudo	97
4.7 Estudo-piloto.....	97
5 Resultados e discussão	99
5.1 Resultados gerais	99
5.1.1 Características antropométricas	99
5.1.2 Variáveis cinemáticas	100
5.1.3 Variáveis fisiológicas	102
5.1.4 Variáveis cinéticas.....	103
5.2 Discussão dos resultados gerais	105

5.3 Resultados dos modelos de regressão linear múltipla	115
5.3.1 Modelo antropométrico	115
5.3.2 Modelo cinemático.....	116
5.3.3 Modelo fisiológico	117
5.3.4 Modelo cinético.....	118
5.3.5 Modelo geral.....	118
5.4 Discussão dos resultados das correlações	119
5.5 Discussão dos resultados dos modelos de regressão linear múltipla.....	124
6 Conclusão	133
7 Limitações e perspectivas.....	135
Referências bibliográficas.....	136
Anexo 1	144
Anexo 2	146
Anexo 3	149
Anexo 4	151

Lista de equações

Equação 1	74
Equação 2	76
Equação 3	78
Equação 4	85
Equação 5	90
Equação 6	90
Equação 7	91
Equação 8	92
Equação 9	92
Equação 10	92
Equação 11	94
Equação 12	116
Equação 13	117
Equação 14	118
Equação 15	118
Equação 16	119

Lista de figuras

Figura 1. Método de tethered swimming utilizado por Keskinen, Komi (1993).	42
Figura 2. Método de <i>semi-tethered swimming</i> utilizado por Swaine e Doyle (1999), para (a) nado completo e (b) apenas movimento de pernas.	44
Figura 3. Esquema da colocação da filmadora em relação à piscina e distâncias para obtenção dos dados cinemáticos do teste de 200 m em nado <i>crawl</i>	89
Figura 4. Retas de calibração da célula de carga utilizada no TNE e respectivas equações e coeficiente de determinação.....	93
Figura 5. <i>Design</i> temporal explicativo deste estudo.	97
Figura 6. Velocidade média de nado (VN) a cada trecho de 25 m; * indica diferenças de T1 para todos os outros trechos ($p < 0,05$); + indica diferenças de T2 para T3, T4, T5, T7 ($p < 0,05$); $n = 12$	101
Figura 7. Distância média percorrida por ciclo de braçada (DC) a cada trecho de 25 m; * indica diferenças de T1 para T4, T5, T7 e T8 ($p < 0,05$); + indica diferenças de T2 para T3, T5, T6, T7 e T8; λ indica diferenças de T3 para T7($p < 0,05$); $n = 12$...	101
Figura 8. Freqüência média de ciclos (FCL) a cada trecho de 25 m; * indica diferenças de T1 para T2, T3 e T5 ($p < 0,05$); + indica diferença de T2 para T3; λ indica diferença de T3 para T8; δ indica diferença de T5 para T8 ($p < 0,05$); $n = 12$	102
Figura 9. Concentrações de lactato sangüíneo ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) nos momentos pós 15 min de repouso (C1, $n = 12$), pós aquecimento (C2, $n = 12$), pós 200 m: 1 min (C3, $n = 12$), 3 min (C4, $n = 12$), 5 min (C5, $n = 8$), e 7 min (C6, $n = 2$); * indica diferenças de C1 para C2, C3 e C4 ($p < 0,05$); + indica diferenças de C2 para C3 e C4 ($p < 0,05$).....	103
Figura 10. Curva de força obtida do teste de nado estacionário de um indivíduo participante da amostra deste estudo.....	104

Figura 11. Impulso ao longo do teste de 30 s, analisado a cada 5 s; n = 12; * indica diferenças entre o impulso dos 5 s para os 20, 25 e 30 s ($p < 0,05$); + indica diferenças entre o impulso dos 10 s para os 20, 25 e 30 s ($p < 0,05$); λ indica diferenças entre o impulso dos 15 s para os 25 e 30 s ($p < 0,05$); δ indica diferenças entre o impulso dos 20 s para os 30 s ($p < 0,05$).....104

Lista de quadros

Quadro 1. Resumo dos principais estudos encontrados a respeito da cinemática do nado <i>crawl</i> , com o tamanho da amostra (n), a metodologia e as principais implicações.	39
Quadro 2. Resumo dos principais estudos encontrados a respeito da mensuração das forças relacionadas à propulsão no nado <i>crawl</i> , com os métodos de <i>tethered</i> e <i>semi-tethered</i> , com o tamanho da amostra (n) e as principais implicações.	46
Quadro 3. Resumo dos principais estudos encontrados com concentração sangüínea de lactato e natação, com o tamanho da amostra (n), a metodologia e as principais implicações.	54
Quadro 4. Resumo dos principais estudos encontrados a respeito do consumo de oxigênio e da economia de nado, com o tamanho da amostra (n), a metodologia e as principais implicações.	69
Quadro 5. Resumo dos principais estudos encontrados a respeito dos parâmetros antropométricos e natação, com o tamanho da amostra (n), a metodologia e as principais implicações.	73
Quadro 6. Variável, estudo fonte dos dados e n calculado para definição do tamanho da amostra. DES: desempenho; FCL: frequência de braçadas; DC: comprimento de braçadas; IMP: impulso total; C: custo energético; ENV: envergadura; EST: estatura; MAS: massa corporal.	86
Quadro 7. Resumo dos procedimentos estatísticos adotados neste estudo.	96
Quadro 8. Comparação entre os valores de consumo de oxigênio do presente estudo e da literatura. * resultado original em $l \cdot \text{min}^{-1}$, transformados em $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ por meio dos dados apresentados no estudo.	111

Lista de tabelas

Tabela 1. Características dos participantes deste estudo; n = 12.	100
Tabela 2. Variáveis cinemáticas relativas aos 200 m nado <i>crawl</i> dos participantes deste estudo; n = 12.	100
Tabela 3. Consumo de oxigênio de repouso (VO_{2r}), após os 200 m nado <i>crawl</i> (VO_{2e}), líquido (VO_{2l}), equivalente em consumo de oxigênio da taxa de acúmulo de lactato sanguíneo ($LAVO_2$) de energia total (E_{tot}); n = 12.	103
Tabela 4. Impulso total (IMP), taxa de impulso (TIMP) e frequência média de ciclos em nado estacionário (FCNA); n = 12.	105
Tabela 5. Correlações entre as variáveis antropométricas e o desempenho; n = 12; * indica correlações significativas.	115
Tabela 6. Correlações entre as variáveis cinemáticas e o desempenho; n = 12; * indica correlações significativas.	116
Tabela 7. Correlações entre as variáveis fisiológicas e o desempenho; n = 12; * indica correlações significativas.	117
Tabela 8. Correlações entre as variáveis cinéticas e o desempenho; n = 12; * indica correlações significativas.	118
Tabela 9. Análise do desempenho a partir de parâmetros selecionados, n = 12; * indica correlações significativas.	119

Lista de abreviaturas, símbolos e unidades e definição operacional dos termos

α	Alfa, valor de referência para os testes estatísticos, nível assumido de significância.
braçadas·min ⁻¹	Braçadas por minuto, unidade de medida de frequência de braçadas.
°C	Grau Célsius, unidade de medida de temperatura.
C1 a C6	Momentos para a coleta de lactato sanguíneo.
cm	Centímetro, unidade de medida de comprimento linear.
ciclos·min ⁻¹	Ciclos por minuto, unidade de medida de frequência de ciclos.
ciclos·s ⁻¹	Ciclos por segundo, unidade de medida de frequência de ciclos.
cv	Coeficiente de variação, obtido pelo quociente entre o desvio-padrão e a média, multiplicado por 100, expresso em %.
cvDC	Coeficiente de variação da distância média percorrida por ciclo de braçadas.
cvFC	Coeficiente de variação da frequência média de ciclo de braçadas.
cvVN	Coeficiente de variação da velocidade média de nado.
DC	Distância média percorrida em um ciclo de braçadas do nado <i>crawl</i> , expressa em m.
dp	Desvio-padrão.
DCut	Dobra cutânea, medida de espessura de dobra cutânea, em mm.
DES	Desempenho na prova de 200 m nado livre, obtido em s e, posteriormente expresso em pontos a partir do recorde mundial.
e	Erro tolerado de medida.
EN	Economia de nado, quociente entre o consumo de oxigênio e a distância percorrida a determinada velocidade, expressa em ml.m ⁻¹ .
ENV	Envergadura, maior distância linear entre as extremidades dos membros superiores, com manutenção dos ombros em abdução à 90° e cotovelos, punhos e dedos em extensão, expressa em cm.
ep	Erro-padrão.
EST	Estatura, distância entre o vértex e o chão, com indivíduo em ortostase, expressa em cm.
Etot	Energia total, obtida pelo somatório dos valores líquido de consumo de oxigênio e de concentração líquida de lactato, expressa em valores de consumo de oxigênio.
FCL	Frequência média de ciclos em nado livre; número de ciclos completos de braçadas do nado <i>crawl</i> , quando executado livremente, em um segundo, expressa em Hz.
FCNE	Frequência média de ciclos em nado estacionário; número de ciclos completos de braçadas do nado <i>crawl</i> , quando executado estacionário, em um segundo, expressa em Hz.

IMP	Impulso; integral entre a força e o tempo obtidos do teste de nado estacionário, expresso em N·s.
IN	Índice médio de nado; produto entre a distância média percorrida a cada ciclo de braçadas e a velocidade média de nado, expresso em $m^2 \cdot s^{-1}$.
kg	Quilograma, unidade de medida de massa.
km·h ⁻¹	Quilômetros por hora, unidade de medida de velocidade.
kJ·kg ⁻¹ ·mmol ⁻¹	Quilojoules por quilograma por milimol, unidade para conversão de acúmulo de lactato em energia.
kg·m	Quilograma vezes metro, unidade de carga em ciclo-ergômetro.
[LA]	Concentração sanguínea de lactato, expressa em mmol·l ⁻¹ .
[LAe]	Concentração de lactato pós-esforço, expressa em mmol·l ⁻¹ .
[LAL]	Concentração de lactato líquido, expresso em mmol·l ⁻¹ .
[LAr]	Concentração de lactato repouso, expressa em mmol·l ⁻¹ .
LAVO ₂	Concentração líquida sanguínea de lactato transformada em valores de consumo de oxigênio.
l·min ⁻¹	Litros por minuto, unidade de medida de consumo de oxigênio, de produção de gás carbônico e de ventilação.
m	Metro, unidade de medida de comprimento linear.
m·min ⁻¹	Metros por minuto, unidade de medida de velocidade linear.
met	Unidade metabólica, consumo de 3,5 mlO ₂ ·kg·min ⁻¹ .
min	Minuto, unidade de medida de tempo.
MAS	Massa corporal total, em kg.
ml	Mililitro, unidade de medida de volume.
ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	Mililitros de oxigênio por quilograma de massa corporal por minuto, unidade de medida de consumo de oxigênio e de produção de gás carbônico relativos à massa corporal.
mlO ₂ ·kg ₁ ⁻¹ ·mmol ⁻¹	Mililitros de oxigênio por quilograma de massa corporal por milimol de lactato acumulado, unidade da constante de transformação de taxa de acúmulo de lactato em valores de consumo de oxigênio.
mm	Milímetros, unidade de medida linear.
mmol·l ⁻¹	Milimol por litro, unidade de medida de concentração de lactato sanguíneo.
mmol·l ⁻¹ ·min ⁻¹	Milimol por litro por minuto, unidade de taxa de recuperação de lactato sanguíneo.
m·min ⁻¹	Metros por minuto, unidade de medida de velocidade linear.
m·l ⁻¹	Metros por litro, unidade de medida de economia de nado.
m·s ⁻¹	Metros por segundo, unidade de medida de velocidade linear.
m·(s ²) ⁻¹	Metros por segundo ao quadrado, unidade de medida de aceleração linear

$(m \cdot s^{-1})^3$	Metros por segundo ao cubo; cubo da velocidade.
$m^2 \cdot s^{-1}$	Metros ao quadrado por segundo, unidade de medida de índice de nado.
μl	Micro-litro, unidade de medida de volume.
n	Tamanho da amostra.
N	Newton, unidade de medida de força.
$N \cdot s$	Newton vezes segundo, unidade de impulso.
rpm	Rotações por minuto, unidade de frequência de rotações.
pH	Potencial de hidrogênio
$P[LA]$	Pico de concentração de lactato, expresso em $mmol \cdot l^{-1}$.
r	Coeficiente de correlação.
r^2	Coeficiente de determinação.
s	Segundo, unidade de medida de tempo.
$\Sigma \text{ dob}$	Somatório de dobras cutâneas, expresso em mm.
T	Tempo, registrado em minutos e frações decimais de minuto.
tc	Tempo médio, em s, para realização dos ciclos de braçadas.
TNE	Teste de nado estacionário, <i>tethered swimming</i> , método para coleta e análise das forças resultantes do nado estacionário.
$T1 \text{ a } T8$	Cada um dos oito trechos de 25 m da distância de 200 m.
VCO_2	Produção de gás carbônico, expressa em $l \cdot \text{min}^{-1}$ ou $ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.
$TIMP$	Taxa de variação de impulso, expressa em N.
V_{min}	Ventilação, volume de ar inspirado ou expirado em um minuto, expresso em $l \cdot \text{min}^{-1}$.
VN	Velocidade média de nado, expressa em $m \cdot s^{-1}$.
VO_2	Consumo de oxigênio, expresso em $l \cdot \text{min}^{-1}$ ou $ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mi}^{-1}$.
VO_{2e}	Consumo de oxigênio pós esforço, expresso em $l \cdot \text{min}^{-1}$ ou $ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.
VO_{2l}	Consumo de oxigênio líquido, expresso em $l \cdot \text{min}^{-1}$ ou $ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.
VO_{2r}	Consumo de oxigênio no repouso, expresso em $l \cdot \text{min}^{-1}$ ou $ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.
$VO_{2 \text{ max}}$	Consumo máximo de oxigênio, expresso em $l \cdot \text{min}^{-1}$ ou $ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.
VP	Velocidade média de prova, quociente entre a distância e o tempo, expressa em $m \cdot s^{-1}$.
W	Watt, unidade de medida de trabalho e/ou potência.
\bar{X}	Média.
Z	Z estatístico.

1 Introdução

A natação é uma modalidade desportiva singular, à medida que se desenvolve em um meio que não é o usual para o ser humano deslocar-se. A água, ao mesmo tempo em que recebe as forças propulsivas produzidas pelo nadador, oferece grande resistência ao deslocamento do mesmo. Essas condições conferem à natação uma característica de alta dependência da habilidade técnica do atleta (CAPUTO *et al.*, 2000). Assim, de acordo com Toussaint, Truijens (2005), para nadar mais rápido, é necessário a um nadador (1) habilidade em produzir energia capaz de gerar altas forças propulsivas; (2) habilidade em reduzir as resistências do meio, enquanto (3) é capaz de reduzir as perdas de força ao empurrar a água.

Sob aspecto competitivo, o desempenho em natação pode ser descrito como a capacidade de nadar a distância prescrita, conforme as regras, no menor tempo possível (MUJIKI *et al.*, 2002; TERMIN, PENDERGAST, 2000; CHATARD *et al.*, 1990). Devido à complexidade do ambiente aquático, Pendergast *et al.* (2003) afirmam que a locomoção neste meio, sobretudo competitiva, oferece um interessante desafio à compreensão do movimento humano, cuja investigação vem sendo realizada, tradicionalmente, sob dois aspectos: (a) biomecânico, com métodos que focam a compreensão dos determinantes mecânicos do movimento (forças, velocidades, por exemplo); e/ou (b) fisiológico, com métodos focados no estudo dos requerimentos energéticos necessários ao deslocamento no meio aquático (consumo de oxigênio, lactacidemia, por exemplo).

De acordo com Costill (1985), um cientista do esporte deve identificar os fatores essenciais ao desempenho de sucesso; em relação à natação, o mesmo autor cita, como fatores, os biomecânicos e os fisiológicos. O autor afirma que, até então, embora não se tenha mensurado a importância de cada uma dessas variáveis para o desempenho em natação, parece lógico assumir que força e resistência (fisiológicos) e técnica (biomecânicos) estão entre os principais fatores. Já, para Toussaint, Hollander (1994), uma

análise da mecânica e da energética da natação revela que diferentes fatores possuem papéis-chave no sucesso em natação competitiva. O conhecimento desses fatores de desempenho, e de suas importâncias para o desempenho, pode ajudar no desenvolvimento de um programa de treinamento otimizado. Ruzbarsky, Turek (2006) afirmam que, a despeito do fato que até o momento não há um modelo adequado que explique, a contento, o desempenho em natação, é possível estabelecer, com base em informações atualizadas, que os fatores limitantes (ou determinantes) do desempenho são as capacidades de resistência e força, pré-disposição funcional e somática, assim como fatores técnicos e disposição pessoal.

A compreensão da interação entre fatores que podem determinar o desempenho de um nadador parece ser do interesse não apenas de pesquisadores de esporte, mas, principalmente, de treinadores e atletas, para que possam evoluir nas suas estratégias de treinamento em busca do melhor desempenho. Assim, o modelamento do desempenho em natação é um problema que já vem sendo estudado. Porém, os efeitos de diferentes tipos de treinamento sobre o desempenho tem sido o principal alvo dos estudos de modelamento (AVALOS *et al.*, 2003). Entretanto, a análise da importância relativa dos próprios parâmetros e suas interações em relação ao desempenho de alto nível em natação, é encontrada em escassos estudos que buscam verificar, apenas, a importância relativa de parâmetros isolados (RUZBARSKY, TUREK, 2006; POUJADE *et al.*, 2003; CHATARD *et al.* 1991b; RIBEIRO *et al.*, 1990). Em 2007, Jürimäe *et al.*, sob mesmo raciocínio, buscaram compreender o desempenho em natação a partir de parâmetros biomecânicos (técnica), físicos (antropométricos) e fisiológicos (custo energético) entre nadadores jovens, ainda não formados, para a prova de 400 m nado livre.

Técnica desenvolvida por um nadador pode ser traduzida quando são considerados os parâmetros biomecânicos que analisam a cinemática do nado (frequência de ciclo e distância percorrida por ciclo, por exemplo), os quais podem indicar as adequações mecânicas às demandas energéticas impostas pelo evento competitivo (CRAIG, PENDERGAST, 1979). Além disso, de acordo com Craig *et al.* (1985), fatores biomecânicos, que interferem sobre o arrasto e/ou desenvolvimento de força propulsiva, influenciam mais no desempenho do que a própria capacidade de produção e liberação de energia. Zamparo *et al.* (2000) afirmam que a habilidade técnica de um nadador representa um dos fatores que podem incrementar ou reduzir o custo energético da natação (outros fatores seriam: o estilo em que se nada, as características antropométricas, a capacidade de flutuação, as resistências passiva e ativa e a eficiência propulsiva). Wakayoshi *et al.* (1993), ao referirem-se à velocidade média de nado, uma das bases do desempenho, afirmam que esta é o

produto entre a frequência média de ciclo e a distância média percorrida a cada ciclo de braçada e que incrementos ou diminuições na velocidade de nado ocorrem em resposta a combinações entre incrementos e diminuições de frequência e distância. Por outro lado, a velocidade de prova depende, também, das acelerações obtidas da saída e das viradas, principalmente das viradas quando a prova é realizada em piscina de 25 m.

Toussaint, Beek (1992), em estudo de revisão sobre o nado *crawl*/ competitivo, ao se referirem à distância por braçada, tomando por pressuposto que a propulsão é obtida primariamente a partir da força de sustentação, afirmam que distância média percorrida por ciclo de braçada fornece uma boa indicação da eficiência propulsiva e pode ser utilizado para avaliar progressos individuais nas técnicas de nado. Para Vilas-Boas *et al.* (2001) a capacidade propulsiva consiste em uma das principais competências de um nadador competitivo e nela se entrecruzam as capacidades técnicas e as qualidades físicas que sustentam a expressão mecânica da própria força propulsiva. Além disso, de acordo com Marinho *et al.* (2006), desde o início da década de 70 do século XX, a análise dos parâmetros cinemáticos do nado é um dos principais focos de interesse da investigação biomecânica da natação.

A fim de que o nadador consiga, durante sua prova, a manutenção da melhor técnica (relacionada à alta velocidade de nado e à longa distância de braçada) para o melhor desempenho, as condições fisiológicas devem ser adequadas. Essas condições estariam relacionadas com a capacidade de fornecimento de energia para o adequado nível de contração muscular, o que pode ser avaliado pelo consumo de oxigênio (VO_2) e pela concentração de lactato sanguíneo ([LA]) (SMITH *et al.*, 2002). Além disso, deve ser considerado que treinadores e nadadores deveriam compreender o perfil metabólico de cada evento competitivo (distância nadada em determinado tempo e intensidade) e como incrementar os pontos mais fracos, a fim de desenvolver, de modo efetivo e específico para determinada prova, o programa de treinamento (OGITA, 2006). Outro aspecto de fundamental importância, quando observadas as questões energéticas, é a capacidade do nadador em desenvolver seu nado, na velocidade desejada, com um mínimo de energia dispendida.

A interação entre fator biomecânico (velocidade de nado) e fator fisiológico (consumo de oxigênio) pode ser verificada pela economia de nado, definida como o consumo de oxigênio necessário para se nadar a determinada velocidade de nado (KJENDLIE *et al.*, 2004) ou, ainda, como o custo energético para mover o corpo por unidade de distância à determinada velocidade (CHATARD *et al.*, 1990). O custo energético representa uma quantidade de energia consumida por unidade de distância ou a energia consumida por

unidade de tempo dividida pela velocidade de deslocamento (MILLET, CANDAU, 2002). Como apresenta características biomecânicas e fisiológicas, o custo energético pode ser definido como uma variável biofísica do nado, apresentando alta correlação com o desempenho (KJENDLIE *et al.*, 2004).

Já a força necessária para gerar a propulsão, segundo Keskinen (1994) e Smith *et al.* (2002), e sua interação com a técnica, pode ser estimada por meio das forças, ou impulsos, resultantes observadas com o método de nado estacionário, quando o nadador executa a técnica específica de nado enquanto amarrado a um cabo e este a uma célula de carga, fixada à borda da piscina ou a cargas livres. Papoti *et al.* (2003) identificaram correlação significativa e positiva entre o impulso gerado em um teste de nado estacionário, de 30 s de duração, e o desempenho em provas de 200 e 400 m nado livre.

Características antropométricas e suas relações com a cinemática do nado e com o desempenho têm sido foco de estudos que buscam identificar e explicar as relações entre essas variáveis. Dentre as diversas características estudadas, destacam-se as medidas lineares, como, por exemplo, a estatura e a envergadura (PELAYO *et al.* 1997) e as medidas de composição corporal, como percentuais de gordura e de massa magra (AVLONITOU *et al.*, 1997). Contudo, ainda não parece haver consenso sobre as relações entre as variáveis antropométricas e o desempenho em natação. Além disso, características antropométricas lineares, como estatura e envergadura, não são influenciadas pelo treinamento em natação (seja ele de caráter técnico ou fisiológico), diferentemente das variáveis cinemáticas, cinéticas e fisiológicas, mas são fundamentais quando analisadas as características de um nadador que podem intervir nas resistências ativa e passiva (MILLET, CANDAU, 2002).

Para Keskinen *et al.* (1989) as complexas relações entre as características cinemáticas dos nados, sob diferentes intensidades, a dependência que o desempenho em natação apresenta das características antropométricas e a habilidade individual de produção de força muscular, que seja eficientemente transferida à técnica de nado, formam uma combinação única de fatores específicos. Essa combinação de determinantes possibilita o desempenho, em diferentes níveis, em natação.

Parece claro, então, que, em resposta a treinamentos, técnicos e nadadores tenham por objetivos incrementar ou alterar as variáveis que intervêm no desempenho em natação, buscando maior aporte energético, maior resistência à fadiga, mais força empregada e melhores indicadores técnicos. Por outro lado, não está claro o nível específico de importância desses fatores para o desempenho em natação, e também, como poderia ser

otimizado o treinamento em relação à participação desses fatores no mesmo e, ainda, relativo à prova de 200 m nado livre.

Natação competitiva, em piscina, é composta por provas nos quatro estilos olímpicos (livre, costas, peito e borboleta), envolvendo distâncias que variam dos 50 aos 1500 m. De modo mais específico, a prova de 200 m nado livre, devido às suas características metabólicas com grande participação do sistema glicolítico (GASTIN, 2001), que estaria relacionado a altos níveis de fadiga, apresenta uma condição de desafio tanto para o técnico, quanto para o nadador. Vilas-Boas *et al.* (2001) estudaram os efeitos da fadiga ao longo da execução de uma prova simulada de 200 m nado livre, ao início de uma temporada, exatamente por ser uma prova que apresenta desempenho fortemente influenciável pelas interações metabólicas energéticas. Segundo Maglischo (2003), o treinamento para as provas de 200 m, em geral, deveria focar o incremento da velocidade de nado, a taxa de metabolismo anaeróbio e a capacidade de tamponamento, ou seja, focado na melhoria das condições energéticas anaeróbias. De modo mais específico, a fim de se computar um balanço energético completo do nado *crawl*, Zamparo *et al.* (2005b) afirmam que dois parâmetros devem ser considerados: (1) a energia gasta para cobrir determinada distância e (2) a eficiência com a qual esta energia é transformada em trabalho mecânico.

Desse modo, esta tese foi desenvolvida a fim de se verificar o quanto o desempenho na prova de 200 m nado livre é explicado por um conjunto de variáveis (antropométricas, biomecânicas e fisiológicas) determinantes para o desempenho. Busca-se, então, a importância de variáveis explicitadas na literatura, e suas inter-relações, como determinantes do desempenho na prova de 200 m nado livre.

2 Objetivos

Configuraram-se, como objetivo geral desta tese, identificar a importância de cada fator relacionado ao desempenho na prova de 200 m nado livre, e suas inter-relações, em um grupo de nadadores competitivos.

Já os objetivos específicos desta tese foram:

Mensurar as variáveis antropométricas:

- a) Estatura;
- b) Envergadura;
- c) Massa corporal total;
- d) Dobras cutâneas;

Calcular o:

- e) Somatório de dobras cutâneas.

Em uma prova simulada de 200 m nado livre, na máxima intensidade:

- f) Mensurar o desempenho (DES);
- g) Mensurar a distância média percorrida por ciclo de braçada (DC) média dos 200 m e média por cada trecho de 25 m;
- h) Mensurar a frequência média de ciclo de braçada (FCL) média dos 200 m e média por cada trecho de 25 m;
- i) Mensurar a velocidade média de nado (VN, produto entre DC e FCL) média dos 200 m e média por cada trecho de 25 m;
- j) Mensurar a velocidade média da prova (VP, quociente entre a distância e o tempo);
- k) Identificar os coeficientes de variação da DC, da FCL e da VN;

Antes da prova simulada de 200 m:

- l) Mensurar a concentração de lactato sangüíneo em repouso [LA]_r;
- m) Identificar o consumo de oxigênio em repouso (VO_{2r});

Após a prova simulada de 200 m:

- n) Mensurar o pico de concentração de lactato P[LA];
- o) Calcular a concentração líquida de lactato sanguíneo [LAL];
- p) Identificar o consumo de oxigênio pós esforço (VO_{2e});
- q) Calcular o consumo de oxigênio líquido (VO_{2l});
- r) Calcular a energia total gasta no nado;

Em um teste de nado estacionário:

- s) Mensurar o impulso total;
- t) Identificar o comportamento do impulso ao longo do teste de nado estacionário;
- u) Mensurar a frequência média de ciclos em nado estacionário (FCNE);

Após a obtenção e tratamento dos dados:

- v) Aplicar modelos de regressão linear múltipla.

3 Revisão de Literatura

Esta revisão está subdividida em quatro subitens:

- 3.1 desempenho em natação e parâmetros de avaliação (geração e mensuração das forças empregadas em natação, frequência média de ciclo de braçada, distância média percorrida por ciclo de braçada e índice de nado, lactato sanguíneo e natação, consumo de oxigênio, economia de nado e custo energético e parâmetros antropométricos);
- 3.2 modelação do desempenho;
- 3.3 o treinamento de natação para a prova de 200 m nado livre e
- 3.4 análise crítica da literatura revisada.

3.1 Desempenho em natação e parâmetros de avaliação

Segundo Smith *et al.* (2002), o desempenho de sucesso em natação requer que um nadador talentoso tenha desenvolvido sua técnica e suas condições físicas a um alto nível, de maneira a apresentar resultados ao longo de toda uma competição, temporada e vida atlética. Para que tal aconteça, a avaliação dos parâmetros diretamente relacionados ao desempenho parece ser de extrema importância e, dentre esses parâmetros de avaliação, destacam-se os cinemáticos do nado, as forças relacionadas à propulsão, os fisiológicos e os antropométricos, aqui revisados nesta mesma ordem.

3.1.1 Parâmetros cinemáticos do nado

No quadro dos fatores que podem determinar o rendimento desportivo, especialmente em natação, modalidade cuja eficiência mecânica total do gesto é muito reduzida (TOUSSAINT, TRUIJENS, 2005), de acordo com DiPrampo *et al.* (1974), a

técnica desempenha um papel central. Para Toussaint, Beek (1992), os parâmetros distância percorrida por ciclo de braçadas (DC) e frequência média de ciclos de braçadas (FCL para o nado desimpedido, neste estudo) são representativos da capacidade técnica de um nadador, e, de acordo com Vilas-Boas *et al.* (2001), tendem a se alterar de acordo com a instalação do processo de fadiga durante a execução de alguma prova em natação.

A DC é influenciada pelas forças aplicadas sobre e pelo nadador na água e definido como a distância, em metros, que o corpo do nadador se desloca para frente durante cada ciclo de braços (HAY, GUIMARÃES, 1983). Quanto à FCL, esta é definida como um valor que expressa o número de ciclos efetuados pelo nadador a cada unidade de tempo (HAY, GUIMARÃES, 1983) e depende do tempo que o nadador gasta na fase propulsiva e na recuperação de cada braço.

De acordo com Hay, Guimarães (1983) há uma relação negativa entre a frequência e a distância; um aumento na distância deve, geralmente, gerar uma diminuição na frequência; um aumento na frequência deve gerar, de maneira geral, uma diminuição na distância. Aumentos, tanto na DC, quanto na FCL poderiam resultar em importantes melhoras na velocidade média de nado (VN) e, conseqüentemente, no desempenho desportivo.

Craig, Pendergast (1979), analisando a execução do nado *crawl*, com videogrametria, de 41 nadadores de diferentes níveis, em máxima velocidade, por distâncias curtas, encontraram valores médios de DC de 1,69 m e de frequência de 63 braçadas·min⁻¹. Os mesmos autores concluem que os nadadores devem selecionar uma combinação ótima entre DC e frequência de ciclo, levando em consideração que a relação entre FCL e DC é fundamental para o aumento ou para a diminuição da velocidade do nado.

Hay, Guimarães (1983), baseados no fato de que a velocidade em natação é dependente da FCL e DC, surpreendem-se que poucos estudos tivessem sido feitos, até então, para uma melhor compreensão dessas relações. Em seus estudos, acompanhando os nadadores da Universidade de Iowa em provas de 200 jardas, encontraram relação significativa positiva entre DC e resultados em competição em três dos quatro estilos (nado *crawl*, nado borboleta e nado peito); fraca relação entre frequência de braçada e resultados em competição e significativa e negativa relação entre FCL e DC. Desde então, diversos estudos (por exemplo MARINHO *et al.*, 2006; YANAI, 2003; TOUSSAINT, 1990; CRAIG *et al.*, 1985) têm sido conduzidos a fim de melhor compreender as relações entre as variáveis cinemáticas dos nados e o desempenho em natação.

Craig *et al.* (1985) indicaram que melhorias na execução técnica do nado são refletidas na FCL e DC durante uma competição. Estes autores compararam FCL, DC e VN

dos nadadores que participaram das seletivas norte-americanas para as Olimpíadas de 1984. Encontraram informações a respeito da FCL, da DC e da VN, de acordo com a prova, de 100 a 1500 m nado livre, com resultados médios dos participantes das séries eliminatórias, presumivelmente mais fracas, e das finais, presumivelmente mais fortes. Os resultados indicaram, para as provas de nado livre analisadas (100, 200, 400 e 1500 m), VN e DC maiores e FCL menor nas finais em relação às eliminatórias, dados que reforçam as relações já estabelecidas entre esses parâmetros de avaliação biomecânica do nado.

Toussaint (1990), em um estudo de comparação de eficiência propulsiva entre nadadores competitivos e triatletas, realizado com seis nadadores e cinco triatletas, utilizando um sistema para Mensuração da Resistência Ativa, não encontrou diferenças significativas, com uma mesma carga de 1000 W, entre força produzida, eficiência bruta, trabalho produzido por braçada e frequência de braçada. Porém encontrou diferença significativa entre os grupos na distância de braçada (meio ciclo) (1,23 m para os nadadores e 0,92 m para os triatletas) e na velocidade em natação ($1,17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para os nadadores e $0,95 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para os triatletas), o que poderia ser explicado pela maior eficiência em gerar propulsão pelos nadadores. Toussaint (1990) conclui que os triatletas deveriam focalizar seu treinamento de natação mais na técnica de nado e menos na condição de realizar trabalho. No estudo de Toussaint (1990) variáveis antropométricas, que poderiam interferir na comparação dos resultados entre os grupos, não foram mensuradas.

Cappaert *et al.* (1995), em uma análise tridimensional de doze nadadores olímpicos de 100 m nado livre, classificados em grupos de sub-elite e elite, de acordo com seus resultados nas eliminatórias e finais dos jogos de 1992, encontraram valores médios, para DC e FCL respectivamente, para sub-elite e elite, de 2,06 m e 2,50 m e 0,91 Hz e 0,82 Hz. Esses resultados corroboram as afirmações de Hay, Guimarães (1983) a respeito da relação negativa entre DC e FCL.

Adaptações na FCL e na DC, e conseqüentemente, na velocidade de nado, ao treinamento aeróbio, foram relatadas por Wakayoshi *et al.* (1993) a partir de um estudo que contou com a participação de oito nadadores competitivos (idade média de $19,75 \pm 0,37$ anos), durante seis meses de treinamento predominante aeróbio. Os autores realizaram testes pré e pós-treinamento, em piscina de 50 m, que consistia em percorrer a distância de 400 m em nado *crawl* em máxima velocidade média e, 24 horas após, três repetições de 400 m em nado *crawl*, a 85, 90 e 95% da velocidade média identificada nos 400 m em máxima velocidade. Entre cada 400 m, os nadadores repousavam passivamente por 60 min. A velocidade média de cada 400 m foi calculada a partir do quociente entre cada 50 m dos 400 m e o tempo que cada indivíduo levou para percorrê-lo. A frequência de ciclos foi

calculada mensurando-se o tempo de 10 ciclos executados no meio do percurso de cada piscina nadada. A DC foi calculada pelo quociente entre a velocidade e a frequência. Segundo os autores, houve diferenças significativas entre pré e pós-treinamento para as médias das máximas velocidades ($1,43 \pm 0,028 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $1,47 \pm 0,021 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente) e para as médias das máximas DC ($2,179 \pm 0,036 \text{ m}$ e $2,224 \pm 0,031 \text{ m}$, respectivamente), mas não entre as médias das máximas FCL ($0,658 \pm 0,014 \text{ Hz}$ e $0,664 \pm 0,014 \text{ Hz}$, respectivamente). Treinamento aeróbio pode ter sido responsável por melhorias na proficiência técnica, resultando em um decréscimo no custo energético para as mesmas velocidades antes e após o treinamento, refletindo-se no aumento na DC entre os 300 e 400 m das repetições, segundo os autores, e, conseqüentemente, aumentando a velocidade média.

Segundo Yanai (2003), as alterações de velocidade média de nado são devidas a dois tipos de respostas de DC e FCL: (1) agudamente (durante uma prova ou uma sessão de treino, por exemplo) o incremento da velocidade média de nado acontece por aumento de FCL e diminuição, concomitante, de DC (mas o módulo da variação positiva da FCL maior que o módulo da variação negativa da DC); e (2), cronicamente (ao longo de uma temporada de treinamentos, por exemplo), o incremento da velocidade de nado acontece por aumento de DC, com concomitante pequena variação de FCL.

Distância por ciclo, frequência de ciclo e velocidade de nado foram utilizados por Cardelli *et al.* (2000) em um estudo que buscava analisar a respiração no nado *crawl* em função de habilidade de nado e características de braçada. Os autores selecionaram 12 nadadores divididos em dois grupos (sem diferenças de idades), mais rápidos e mais lentos e solicitaram que perfizessem duas séries de oito repetições de 25 m em nado *crawl*; a primeira série foi nadada em baixa velocidade (velocidade de prova de 800 m nado livre) e a segunda série em alta velocidade (velocidade de prova de 100 m nado livre). Os nadadores realizaram dois tipos de respiração, a cada ciclo para o lado de preferência e a cada ciclo para o lado de preferência com um *nose-clip* (clipe de nariz). Velocidade de nado foi obtida a partir de uma imagem no plano sagital, enquanto o indivíduo percorria a distância de 12,5 m, dos 10 aos 22,5 m da piscina; frequência de ciclos foi obtida com um cronômetro manual que registrava o tempo de determinado número de ciclos (não explicitado no estudo) e DC foi obtida por meio do quociente entre a velocidade e a FCL.

Cardelli *et al.* (2000) verificaram, também, por meio de um microfone acoplado à touca dos nadadores, os tempos de inspiração, apnéia e expiração. Os resultados encontrados para velocidade de nado, FCL e DC, na alta velocidade, foram, respectivamente, $1,65 \pm 0,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $46,36 \pm 2,08 \text{ ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$ e $2,14 \pm 0,18 \text{ m}$ para os seis

nadadores mais rápidos e $0,96 \pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $33,65 \pm 3,85 \text{ ciclos}\cdot\text{s}^{-1}$ e $1,73 \pm 0,11 \text{ m}$ para os seis nadadores mais lentos; na baixa velocidade, foram, respectivamente, $1,28 \pm 0,07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $31,13 \pm 3,39 \text{ ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$ e $2,5 \pm 0,27 \text{ m}$ para os seis nadadores mais rápidos e $0,70 \pm 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $26,23 \pm 0,03 \text{ ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$ e $1,62 \pm 0,13 \text{ m}$ para os seis nadadores mais lentos.

Cardelli *et al.* (2000) encontraram diferenças intra-grupo, nas três variáveis, comparando as duas velocidades e diferenças inter-grupos, comparando as três variáveis, nas mesmas velocidades. Em relação às condições de respiração, não encontraram diferenças com e sem *nose-clip*, mas concluíram que tempo de inspiração, tempo de expiração e tempo de apnéia podem ser considerados indicadores do nível de aptidão de nadadores, à medida que encontraram relações significativas entre as variáveis respiratórias e DC, frequência de ciclo e velocidade de nado. Os nadadores mais velozes, ao aumentar suas velocidades, provocaram diminuição no tempo de inspiração e aumento no tempo de expiração e, ao nadar em mais baixas velocidades, provocaram aumento no tempo de apnéia relacionada ao aumento da DC, que é considerada um indicador da eficiência da braçada.

Sidney *et al.* (1999) verificaram as estratégias relacionadas à frequência de braçadas utilizadas por nadadores de elite durante provas de 100 e 200 m nado livre. Os 16 finalistas A e B masculinos do Campeonato Nacional Francês das provas de 100 e 200 m nado livre tiveram suas provas gravadas em um sistema de vídeo que permitiu identificar as velocidades médias de nado nos 20 m a partir da metade da piscina, a fim de não haver contribuição de saída e/ou virada na velocidade de nado, em cada uma das voltas das provas (V1 e V2 para ambas as provas; V3 e V4 apenas para a prova de 200 m. Um equipamento eletrônico para mensuração do tempo foi utilizado a fim de medir a velocidade do nado. A frequência média de ciclos foi obtida a partir da cronometragem de cinco ciclos completos executados dentro dos 20 m em que a velocidade era mensurada. A DC obtido pelo quociente entre velocidade média e FCL.

Os resultados de Sidney *et al.* (1999) indicaram significativos maiores valores de velocidade média na prova de 100 m em relação à prova de 200 m, com decréscimo significativo de V1 para V2. Já a prova de 200 m apresentou redução de velocidade de V1 para V2, para V3 e para V4, sem diferenças significativas entre os três últimos. Na prova de 100 m, não se encontrou diferença entre os valores de frequência obtidos nas duas voltas. Já a prova de 200 m apresentou maiores valores entre V1 em comparação à V2 e V3 e entre V4 em comparação à V2 e V3, sem diferenças entre esses últimos. Ao comparar os valores individuais, em relação ao desempenho nas provas analisadas, os autores concluíram que nadadores de maior nível são caracterizados pela capacidade de

manutenção dos valores de velocidade de maneira constante ao longo da prova e que estabilidade em altos valores de frequência de ciclos de braçadas parece ser um critério útil para definição do nível do nadador.

A utilização dos parâmetros cinemáticos do nado para avaliação de nadadores competitivos brasileiros foi realizada pelos estudos de Caputo *et al.* (2000), Perez (2001), Santos *et al.* (2003) e Castro *et al.* (2005).

Caputo *et al.* (2000) verificaram os parâmetros FCL, DC, velocidade média e índice de nado (produto entre velocidade média e DC) nas distâncias 50, 100, 200 e 400 m, em dezesseis atletas brasileiros (doze nadadores e quatro triatletas), de 14 a 28 anos, a fim de analisar esses parâmetros no mesmo grupo, sem distinção entre velocistas e fundistas, e de analisar as correlações desses índices com o desempenho nas distâncias observadas.

Dentre outros resultados, para a distância de 200 m, foram encontrados, por Caputo *et al.* (2000) os seguintes valores médios: DC: $2,19 \pm 0,22$ m; FCL: $41,47 \pm 3,7$ braçadas·min⁻¹. Ressalta-se que, no estudo de Caputo *et al.* (2000), os valores foram obtidos de modo indireto, com cronômetro manual, sem utilização de videogrametria. Segundo os autores, a DC apresentou aumento e a FCL diminuiu dos 50 para os 400 m, havendo uma adequação para a economia de energia, com menos movimentos nas distâncias maiores, mas com possível maior aplicação de força em cada braçada. Concluíram afirmando que, em indivíduos de moderado desempenho, a DC pode ser utilizada para a predição do desempenho do nado *crawl* em curtas e médias distâncias.

Nadadores brasileiros, de acordo com Perez (2001), apresentam uma boa relação entre comprimento e FCL, mas, entre comprimento e tempo nas provas, a relação é aquém da encontrada em nadadores de nível internacional, possivelmente pela pouca atenção dispensada à técnica de nado na alta intensidade. O autor analisou o nado de finalistas A e B de três Troféus Brasil de Natação, avaliando, ao todo, 717 casos de várias provas, não apenas as de nado livre. A metodologia utilizada foi de videogrametria, com contagem manual do número de ciclos e com a utilização dos tempos oficiais, aferidos pelos organizadores das competições.

Santos *et al.* (2003), ao investigarem as relações entre DC e FCL de provas curtas em 10 nadadores e sete nadadoras. Obtiveram os valores de frequência de ciclos pelo número de ciclos executados durante o tempo para percorrer 15 m de uma prova de 50 m (dos 12,5 m aos 27,5 m), valores de velocidade pelo quociente entre a distância (15 m) e o tempo para percorrê-la e os valores de comprimento pelo quociente entre a distância (15 m) e o número de ciclos. Os resultados mostraram os nadadores apresentando maiores valores de frequência e de DC em relação às nadadoras, o que levou a uma maior velocidade de

nado dos nadadores em relação às nadadoras. Por outro lado, a análise da proporção de utilização da frequência e do comprimento mostrou um equilíbrio na utilização dos parâmetros cinemáticos durante a prova de 50 m para o grupo feminino, já no grupo masculino, não encontraram correlação entre o comprimento de braçada e a velocidade de nado.

Com o objetivo de verificar os efeitos de diferentes intensidades de nado e de se executar ou não o movimento para a respiração sobre variáveis cinemáticas do nado *crawl*, Castro *et al.* (2005) analisaram comprimento e frequência médios de braçada e velocidade média durante o nado *crawl* em nove nadadores especialistas na prova de 50 m nado livre, seis especialistas na prova de 1500 m nado livre e sete triatletas, todos brasileiros e com experiência competitiva nacional e internacional. Os autores gravaram, com um sistema de análise de movimento (frequência de amostragem de 60 Hz), no plano sagital, seis repetições de 25 m realizadas em nado *crawl*, em três diferentes intensidades (fraca, média e forte) e sob diferentes condições de respiração (com e sem). As imagens gravadas eram digitalizadas, o que permitia a obtenção dos valores de frequência de braçada (pela frequência do sistema) e comprimento de braçada (pela imagem gravada de uma régua de calibração de 2 m de comprimento).

No estudo de Castro *et al.* (2005), à medida que a velocidade de nado aumentava, pode-se verificar um aumento da frequência média de ciclos e uma diminuição do comprimento médio de ciclo. Nadadores velocistas apresentaram, sistematicamente, maiores valores de comprimento médio de braçada e de velocidade média de nado, mas similares valores de frequência média de ciclos. Executar a respiração foi capaz de modificar, sistematicamente, as variáveis cinemáticas dos triatletas: quando respiravam, foram encontrados menores valores de FCL e de velocidade de nado, provavelmente por apresentarem técnica de nado menos consistente que os nadadores. Os autores concluíram que nadadores e triatletas apresentaram a mesma estratégia para o aumento da velocidade de nado (aumento na FCL) e sugeriram maior atenção à DC.

Índice de nado, de acordo com Costill (1985) é o produto entre a velocidade média de nado e a DC. É considerado um índice simplificado para verificar a adequação mecânica do nado com a técnica, neutralizando o efeito da velocidade. Quanto mais elevado for o índice de nado, mais adequada, do ponto de vista mecânico, será a técnica utilizada. Caputo *et al.* (2000), ao analisar os parâmetros cinemáticos da braçada do nado *crawl* em nadadores e triatletas, em diferentes velocidades (relativas às provas de 50 a 400 m em nado *crawl*), encontrou valores médios que variaram de 3,47 a 3,23 $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente

para os 50 m e para os 400 m. Concluíram que o índice de nado pode ser utilizado como parâmetro para a predição do desempenho no nado *crawl*.

Pelayo *et al.* (1997) estudaram parâmetros de nado em 2058 (1097 homens e 961 mulheres) nadadores iniciantes com idades entre 11 e 17 anos. Os autores verificaram que o índice de nado aumenta regularmente com o aumento da idade, tanto em homens, quanto em mulheres e concluíram que o mesmo é um parâmetro de fácil obtenção e pode ser usado, por técnicos e professores de natação, para verificar o nível de habilidade de nadadores iniciantes.

Costill *et al.* (1985), em um estudo com 37 nadadores competitivos (ambos os sexos), cujos objetivos eram determinar quais fatores poderiam prever o consumo máximo de oxigênio de um nadador e sua capacidade de desempenho em uma prova de 400 jardas (365,8 m) encontraram que o índice de nado fornecia informações sobre as variações da eficiência de nado e poderia ser utilizado para a predição do consumo de oxigênio e do desempenho.

Índice de nado foi utilizado por Castro *et al.* (2003) em um estudo com objetivos de verificar o comportamento das variáveis cinemáticas do nado em uma prova de 50 m nado livre realizada por nadadores de diferentes faixas etárias. A amostra foi composta por 89 nadadores, do sexo masculino, com idades entre 12 e 28 anos, divididos nas categorias etárias Infantil I a Sênior, que participaram da prova de 50 m nado livre do Campeonato Estadual de Natação do Rio Grande do Sul, em piscina de 50 m. Por meio de cronometragem eletrônica (Colorado Time System) o tempo total da prova de cada sujeito foi obtido. Também foi coletado, por meio de cronometragem manual, o tempo dos primeiros cinco ciclos de braçadas depois dos 25 m da prova. O desempenho foi considerado como o tempo total atingido por cada atleta para completar a prova. A velocidade média foi obtida pelo quociente entre distância e tempo final da prova. Adotando-se este cálculo, a velocidade foi superestimada, pois não foram descontados o tempo e a distância atingidos pelos atletas durante a saída, entretanto, o mesmo cálculo foi utilizado para todos os nadadores. A frequência de braçada foi determinada dividindo-se cinco pelo tempo gasto na execução dos cinco ciclos completos de braçada.

Assumindo-se que velocidade pode ser obtida pelo produto entre comprimento e frequência de braçada, Castro *et al.* (2003) determinaram o comprimento pelo quociente entre a velocidade e a frequência; já o índice de nado foi obtido pelo produto entre o comprimento e a velocidade de nado. Os autores concluíram que: (1) índice de nado pode ser utilizado na predição do desempenho de nadadores, de diferentes níveis, das categorias Infantil I à Sênior, em provas de 50 m nado livre, uma vez que a correlação entre estas duas

variáveis foi significativa para todas as categorias analisadas, exceto a categoria Juvenil II e (2) o desempenho, assim como a velocidade de nado, o comprimento de braçada e o índice de nado, tendem a sofrer um incremento de acordo com o avanço das categorias etárias. Este incremento na velocidade se deveu, principalmente, ao aumento no comprimento de braçada, uma vez que a frequência não sofreu alterações com o avanço etário das categorias.

Desde que o comportamento dos parâmetros frequência de braçada, comprimento de braçada e índice de nado pode refletir os sinais de fadiga durante um esforço específico (KESKINEN, KOMI, 1993), e índice de nado é considerado um indicador válido da eficiência de nado, Marinho *et al.* (2006) desenvolveram um estudo a fim de ser analisado o comportamento da frequência e do comprimento de braçada e do índice de nado durante um teste de um teste típico de tempo limite. Neste tipo de teste, o nadador é instruído a nadar a maior distância possível em uma velocidade de nado caracterizada como aquela que eleger intensidade relativa a consumo máximo de oxigênio, identificada, anteriormente, em teste progressivo específico. Do estudo de Marinho *et al.* (2006) participaram 11 nadadores de nível nacional e internacional, pertencentes à seleção nacional de Portugal, com idade média de $17,5 \pm 1,69$ anos, que realizaram dois testes, em uma piscina de 25 m, coberta, em diferentes dias: o primeiro, incremental, a fim de se identificar o primeiro valor de velocidade de nado que correspondesse ao consumo máximo de oxigênio e, após, um segundo teste, quando aos nadadores era solicitado que nadassem a maior distância possível na velocidade de consumo máximo. Em ambos os testes os nadadores respiraram por meio de um *snorkel* acoplado a um sistema portátil de análise de gases (K4b², Cosmed, Italy). Frequência de braçadas foi identificada pela contagem do número de ciclos a cada piscina (25 m), comprimento de braçada foi calculado pelo quociente entre a velocidade de nado e a frequência de braçada, enquanto que o índice de nado foi obtido pelo produto entre a velocidade de nado e o comprimento de braçada (todas as medidas de tempo obtidas com cronômetro manual).

No estudo de Marinho *et al.* (2006), pode-se verificar que, como em outros estudos (KESKINEN, KOMI, 1993; WAKAYOSHI *et al.*, 1995), altas velocidades de nado sobrecarregam o sistema neuromuscular e podem deteriorar o desempenho técnico do nado, refletindo em um incremento de frequência de braçada, com concomitante redução de comprimento de braçada e índice de nado, a fim de manter a mesma velocidade de nado. Neste estudo, os nadadores, percorreram, em média, $296,01 \pm 103,3$ m durante o teste de tempo limite. Parece, então, existir um limite biomecânico, muito relacionado à intensidade

de nado caracterizada por limiar anaeróbio, além do qual, o comprimento de braçada torna-se comprometido.

Em se tratando de natação de alta intensidade, uma estratégia adotada é a quebra de determinadas distâncias, em distâncias menores, com intervalos curtos de recuperação passiva, cuja soma é igual à distância original, a fim de se obter valores de velocidade de nado incrementados em relação à distância inteira original. Assim Aujouannet *et al.* (2006) avaliaram diversos parâmetros cinemáticos do nado crawl ao longo de quatro repetições máximas de 50 m, com 10 s de intervalo. Participaram deste estudo 10 nadadores de nível internacional (cinco medalhistas e cinco finalistas de campeonato europeu) do sexo masculino ($22,5 \pm 2,3$ anos de idade). Dados cinemáticos do nado crawl, tanto em duas (velocidade média de nado, distância média percorrida por ciclo e frequência média de ciclo de braçadas) quanto em três dimensões (deslocamentos dos dedos ao longo da fase submersa da braçada) foram obtidos com a utilização de videogrametria. Além desses dados, foram obtidos valores de pico de concentração de lactato após o protocolo e sinal eletromiográfico dos músculos bíceps e tríceps braquial pré e durante o protocolo.

Em relação às variáveis cinemáticas velocidade, distância e frequência, Aujouannet *et al.* (2006) verificaram uma redução significativa da velocidade de nado e da frequência de ciclos entre a primeira e a última repetição de 50 m, com manutenção dos valores de distância de ciclo. Segundo os autores, efeitos da fadiga, em esforços máximos de curta a média duração, quando a liberação de energia por processos anaeróbios é significativa, podem levar a adaptações nos parâmetros cinemáticos do nado. Neste estudo de Aujouannet *et al.* (2006), essas adaptações foram (1) redução da frequência de ciclos ao longo do esforço máximo, com (2) concomitante redução da velocidade de nado.

Para os 200 m nado livre, de modo específico, Huot-Marchand *et al.* (2005) analisaram a velocidade de nado, a distância média percorrida por ciclo, a frequência média de ciclo e o índice de nado nos 200 m nado livre em 17 nadadores finalistas dos campeonatos francês ou europeu em duas edições seguidas. Neste estudo não foram utilizados sistemas de videogrametria, mas a cronometragem eletrônica disponível nas competições analisadas. Distâncias padrões, estabelecidas e descritas pelo *Biomechanics Department of the Australian Institute of Sport of Canberra in the World Championships in Perth* (MASON, 1998; citado por HUOT-MARCHAND, 2005) foram utilizadas para a determinação das velocidades médias de nado (pelos quocientes entre as distâncias e o tempo) em cada um dos quatro trechos de 50 m dos 200 m. A frequência média de ciclos de braçadas foi obtida pelo quociente entre o total de ciclos de braçadas e o tempo para executá-los a cada 50 m e a distância média percorrida por ciclo de braçadas foi obtida pelo

quociente entre as velocidades médias de nado e as freqüências médias de ciclos. O índice de nado foi obtido pelo produto entre a velocidade de nado e a distância de ciclo. Foram comparados então, os valores a cada 50 m e a cada competição similar com intervalo de dois anos (primeira e segunda competições), das quatro variáveis analisadas.

Neste estudo de Huot-Marchand *et al.* (2005), pode-se verificar redução significativa da velocidade entre o todos os trechos de 50 m, para ambos os momentos de análise (primeira e segunda competição). Essas variações de velocidade de nado foram devidas, principalmente, redução nos valores de distancia percorrida por ciclo, já que a freqüência de ciclos apresentou valores que tenderam a estabilidade, com ligeiro incremento no último trecho de 50 m. Análise de todos os parâmetros, entre as duas competições, indicou que a melhoria significativa de desempenho verificada entre a primeira e a segunda competição, para todos os participantes, foi à custa de incremento da freqüência média de ciclos geral dos 200 m (incremento de $42,98 \pm 2,48$ ciclos \cdot min $^{-1}$ para $44,09 \pm 1,84$ ciclos \cdot min $^{-1}$), já que a distancia média de ciclo geral para os 200 m não apresentou alterações ($2,44 \pm 0,12$ m e $2,41 \pm 0,09$ m, respectivamente, primeira e segunda competição) e a velocidade média de nado geral aumentou (de $1,76 \pm 0,04$ m \cdot s $^{-1}$ para $1,79 \pm 0,04$ m \cdot s $^{-1}$, respectivamente, primeira e segunda competição).

Em relação a características de nadadores da prova de 200 m nado livre, Arellano *et al.* (1994), estudando eliminatórias e finais desta prova nos Jogos Olímpicos de 1992, encontraram correlação positiva e significativa entre o desempenho na prova e a distância média percorrida por ciclo de braçada, tanto para homens ($r = 0,52$) quanto para mulheres ($r = 0,35$). Positiva e significativa entre velocidade média de nado, tanto para homens ($r = 0,67$), quanto para mulheres ($r = 0,42$), mas entre desempenho e freqüência média de ciclos, não foi encontrada correlação significativa. Para esta prova, entre os nadadores, os valores encontrados por Arellano *et al.* (1994) para distância e freqüência médias de braçadas foram, respectivamente, $2,20 \pm 0,206$ m e $0,78 \pm 0,065$ Hz. Em relação à velocidade de nado, há que se considerar que nesta análise, não há a contribuição da aceleração obtida das viradas e das saídas sobre a velocidade de nado, que contribuem para o desempenho final.

O Quadro 1 resume, com o tamanho da amostra, a metodologia utilizada e as principais implicações, os estudos relacionados à cinemática do nado *crawl*, revisados neste projeto.

Quadro 1. Resumo dos principais estudos encontrados a respeito da cinemática do nado crawl, com o tamanho da amostra (n), a metodologia e as principais implicações.

Estudo	n	Metodologia	Principais implicações
Craig, Pendergast (1979)	41	Manual	Importância da relação entre FCL e DC para a VN
Hay, Guimarães (1983)	14	Videogrametria	Correlação positiva entre DC e desempenho
Costill <i>et al.</i> (1985)	37	Manual	Índice de nado como preditor de VO_2 e de desempenho
Toussaint (1990)	11	<i>MAD-System</i>	DC como indicador da eficiência técnica
Wakayoshi <i>et al.</i> (1993)	8	Manual	DC varia positivamente com treinamento aeróbio
Cappaert <i>et al.</i> (1995)	12	Videogrametria	Nadadores de elite com maiores DC e menores FCL
Pelayo <i>et al.</i> (1997)	2058	Manual	Índice de nado como indicador da habilidade técnica
Sidney <i>et al.</i> (1999)	16	Videogrametria	Melhores nadadores mantém FCL alta ao longo da prova de 200 m nado livre
Caputo <i>et al.</i> (2000)	12	Manual	DC é preditor de desempenho
Santos <i>et al.</i> (2003)	10	Videogrametria	Nadadores brasileiros com adequada FCL X DC nos 50 m nado livre
Castro <i>et al.</i> (2003)	89	Manual	IN prediz desempenho
Castro <i>et al.</i> (2005)	23	Videogrametria	Nadadores e triatletas brasileiros dependentes da FCL
Huot-Marchand <i>et al.</i> (2005)	17	Manual	Variações de VN, DC e FCL ao longo dos 200 m
Aujouannet <i>et al.</i> (2006)	10	Videogrametria	Efeitos do nado de alta intensidade sobre a FCL
Marinho <i>et al.</i> (2006)	11	Manual	Incremento de FCL, concomitante redução de DC e IN em nado contínuo de alta intensidade

3.1.2 Parâmetros cinéticos do nado

De acordo com Berger *et al.* (1997) técnica e capacidade física são importantes fatores relacionados ao desempenho em natação, o que inclui a geração de efetivas forças de propulsão, enquanto há redução do custo energético associado à geração dessas forças. Assume-se que, para a geração de efetivas forças propulsivas, são necessárias forças de sustentação e forças geradas em uma direção favorável ao deslocamento.

Em natação a propulsão final, à velocidade constante, é o resultado entre as forças resistivas, impostas pelo meio, e as forças propulsivas, aplicadas pelo nadador (TOUSSAINT *et al.*, 2000), ou seja, a força de propulsão menos a força de resistência será igual à força propulsiva final. De acordo com Toussaint *et al.* (2000), as forças resistivas podem ser decompostas em resistência de fricção, resistência de pressão e resistência de onda.

A forma como a propulsão é gerada, em natação, tem sido foco de diversos estudos. Segundo Rackham (1975) havia um consenso, até meados dos anos 70, entre treinadores, professores e cientistas de que, para gerar uma maior propulsão, um nadador deveria executar um movimento, com os braços, semelhante a uma remada, percorrendo uma linha reta subaquática, sem desvios. Na década de 70, com o advento de modernas técnicas de filmagem, visualizou-se que os nadadores mais rápidos, na verdade, não executavam o movimento em uma linha reta, mas desviando, também, lateralmente, afastando e aproximando a mão da linha média do corpo, o que foi denominado de movimentos de palmateio.

Já em 1971, Counsilman, Brown explicaram a propulsão gerada pelo movimento de palmateio, a partir da força de sustentação, separando as técnicas de propulsão utilizadas pelos nadadores em dois modelos: um baseado na força de resistência (pelo princípio da ação e da reação) e outro baseado na força de sustentação (pelo teorema de Bernoulli), o qual, segundo os autores, seria mais convincente para explicar os movimentos dos nadadores mais rápidos e eficientes.

De acordo com Berger *et al.* (1995), no nado *crawl*, as mãos seguem uma trajetória subaquática curvilínea, criando forças de sustentação perpendiculares à direção do movimento da mão. Sob um ponto de vista teórico, foi demonstrado que forças propulsivas podem ser mais eficientes quando derivadas a partir dessas forças de sustentação, do que quando derivadas das forças de resistência. A fim de mensurar as forças propulsivas no nado *crawl*, os autores elaboraram um protótipo de mão/membro superior humano. Berger

et al. (1995) preocuparam-se com a orientação do modelo em relação ao fluído, com a velocidade de deslocamento do modelo, com o tamanho do modelo e com a contribuição relativa da mão e do antebraço para os coeficientes de resistência e sustentação.

Os resultados de Berger *et al.* (1995) indicaram que orientação ótima da mão, em relação à direção do movimento, a fim de produzir maiores forças de sustentação, seria de 55° para o primeiro dedo e 25° para o quinto dedo. Ainda indicaram que sua orientação é o fator predominante para o total de força de sustentação produzida, à medida que velocidade e tamanho do modelo apresentaram pouca influência nos valores dos coeficientes de resistência e de arrasto. Além disso, a mão seria a principal fonte de força propulsiva de sustentação, em relação ao antebraço, principalmente em altas velocidades.

Schleihauf (1979; citado por TOUSSAINT e HOLLANDER, 1994) introduziu um método para descrever a trajetória da mão e do antebraço para todos os estilos de natação, a partir de análises tridimensionais. Combinando essa forma de análise com dados hidrodinâmicos, foi capaz de calcular as forças propulsivas. Este método é baseado na noção de que as forças propulsivas são induzidas pelos movimentos das mãos e dos braços que geram forças de resistência e de sustentação. Em resposta a essas forças aplicadas na água, ocorreria a propulsão.

Segundo Akis, Orcan (2004), no estudo da biomecânica da natação, um objetivo fundamental é determinar a força propulsiva desenvolvida pelo nadador e a resistência oposta a seu deslocamento e suas relações com a técnica e desempenho. Para obter a magnitude dessas forças, durante a natação, torna-se muito difícil, devido à complexidade dos mecanismos e condições de locomoção no meio aquático. A fim de superar essa complexidade e utilizar essas medidas, diferentes experimentos e técnicas analíticas têm sido desenvolvidos e utilizados a fim de identificar essas forças.

Diversos estudos preocuparam-se com a verificação, de alguma forma, das forças resultantes em resposta às forças aplicadas pelo nadador na água ou em aparelhos que simulam o movimento da braçada fora da água e com a relação dessas resultantes com o desempenho (PAPOTI *et al.*, 2003; TAYLOR *et al.*, 2003; FOMITCHENKO, 1999; SWAINE, DOYLE, 1999; KESKINEN, KOMI, 1993; JOHNSON *et al.*, 1993; COSTILL *et al.* 1985; YEATER *et al.* 1981). Dentre as técnicas de estudo utilizadas, destaca-se a de *tethered swimming* (teste de nado estacionário, TNE) que, a fim de avaliar a resposta das forças aplicadas pelo nadador na água, utiliza transdutores de força que mensuram as forças resultantes daquelas aplicadas pelo nadador na água, a partir de um cabo fixado ao nadador, ao transdutor, à borda da piscina e a um computador (Figura 1).

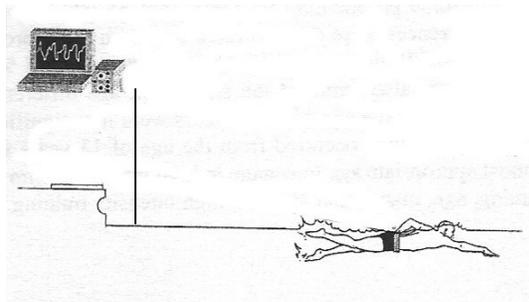


Figura 1. Método de *tethered swimming* utilizado por Keskinen, Komi (1993).

Segundo Dopsaj *et al.* (2003), nadar consiste de uma série de movimentos cíclicos realizados alternadamente por pernas e braços e cada ciclo resulta em uma força característica a qual impulsiona o indivíduo para frente, possível pela contração dos músculos envolvidos. Quando mensurada pela técnica de TNE, esta força é definida como uma força propulsiva e é apresentada como uma sinusóide ao longo do tempo, que descreve seu comportamento temporal.

Papoti *et al.* (2003), com o objetivo de verificar a reprodutibilidade de um protocolo específico para avaliar a aptidão anaeróbia de nadadores e suas correlações com o desempenho nas provas de 200 e 400 m nado livre, avaliaram 13 nadadores competitivos entre 15 e 18 anos com o método de TNE. À cintura dos nadadores (com um cinto) era fixado um cabo de aço, que, por sua vez, passava por uma roldana e era fixado a uma célula de carga. Esta estava conectada a um amplificador e a um computador. O protocolo de avaliação contou com duas repetições de 30 s de duração, durante as quais os atletas eram instruídos a executar o nado *crawl* na máxima intensidade. Imediatamente após cada repetição (20 min de intervalo entre cada) era coletado sangue do lóbulo da orelha para verificação das concentrações de lactato.

Papoti *et al.* (2003) calcularam, a partir das curvas de força obtidas, a força média ($86,6 \pm 3,6$ N e $87,6 \pm 4,0$ N, respectivamente para o primeiro e para o segundo esforço de 30 s) e o impulso médio (integral entre a força e o tempo de aplicação da mesma), assumido como índice da capacidade anaeróbia ($2510,2 \pm 105,0$ N·s e $2540,9 \pm 115,2$ N·s, respectivamente para o primeiro e para o segundo esforço de 30 s). Dentre os resultados destacaram-se as correlações entre o impulso e o desempenho em 200 m nado *crawl* (0,86 e 0,84, respectivamente para o primeiro e para o segundo esforço de 30 s) e entre o impulso e o desempenho em 400 m nado *crawl* (0,63 e 0,54, respectivamente para o primeiro e para o segundo esforço de 30 s). Os autores concluíram que o impulso, obtido com a técnica de

tethered swimming, durante 30 s de esforço, é efetivo na predição de performance nas provas de 200 e 400 m realizadas em nado *crawl*.

Taylor *et al.* (2003) procuraram verificar os efeitos da idade, da maturação e do crescimento no desempenho em TNE. Para tal estudaram as respostas de 40 meninos e 48 meninas dos 10 aos 16 anos de idade, nadadores competitivos, a um teste em nado *crawl* de 30 s de máxima intensidade em TNE, com o objetivo de determinar o desempenho anaeróbio ao longo da maturação (considerando que o método de TNE, quando aplicado sob máximas condições de esforço, consegue avaliar a capacidade anaeróbia de um nadador).

Dentre os resultados de Taylor *et al.* (2003), destaca-se que a força média identificada pelo teste aumentou de maneira significativa dos 12 para os 13 anos, dos 13 para os 14 anos e dos 14 para os 15 anos, nos meninos e nas meninas. Ainda, os valores médios de força correlacionaram-se de maneira significativa com a velocidade média de nado em uma prova de 50 m nado livre ($r = 0,816$). Ainda, neste estudo, o fator que melhor explicou a produção de força foi a envergadura, com um percentual de 68,1% de variância coincidente.

Fomitchenko (1999) procurou determinar os índices de força que poderiam limitar os resultados em provas de curta distância em nadadores de categorias. Contou com 56 nadadores divididos em três grupos: o primeiro com média de 11,5 anos de idade, o segundo grupo com média de 13,8 anos de idade e o terceiro com média de 17,4 anos de idade. Os dados coletados foram: (a) força produzida pelo movimento de braços do nado *crawl* nas fases inicial, média e final da braçada, com utilização de um aparelho tensiométrico; (b) máxima potência em um teste de 30 s de duração em um teste fora da água (calculada pelo produto entre a carga e o número de ciclos de braçada de nado simulado); e (c) pico de força de movimento só de pernas, só de braços e de nado completo em TNE com equipamento tensiométrico em um teste máximo de 7 s de duração.

Os resultados de Fomitchenko (1999) indicaram diferentes valores de correlação entre os dados de força e a velocidade de nado em 25 m na máxima intensidade entre os três grupos do estudo. Os dois maiores valores de correlação, para o grupo 1, foram com o pico de força na fase média da braçada (0,753) e com o pico de força registrado em TNE com o nado completo (0,733). Para o grupo 2, os dois maiores valores de correlação foram com o pico de força na fase final da braçada (0,779) e com o pico de força do nado completo registrado em TNE (0,755). Já para o grupo 3, os dois maiores valores foram com o pico de força na fase final da braçada (0,678) e com o pico de força na fase média da braçada (0,617). Concluindo, a autora sugere que os resultados deste estudo indicam que os

componentes de força, relacionados ao rendimento em natação, são dependentes da idade e do nível de qualificação dos nadadores.

Já o método de *semi-tethered swimming*, em que o nadador é amarrado a um cabo, mas este fica preso a cargas livres, que permitem um deslocamento limitado do nadador na água, foi utilizado por Swaine, Doyle (1999) a fim de explorar as relações entre potência produzida apenas por movimentos de braços e apenas por movimentos de pernas do nado *crawl* e comparar com as potências produzidas em equipamentos de simulação de nado fora da água. Deste estudo participaram nove nadadores (idade média de $23,9 \pm 4,6$ anos), integrantes de uma equipe universitária, que treinavam, pelo menos, 60 min, cinco vezes por semana. Os valores de potência foram obtidos a partir dos dados de carga, distância e tempo para elevar as cargas (o cabo preso à cintura do nadador passava por uma roldana e elevava cargas conhecidas na borda da piscina conforme a Figura 2).

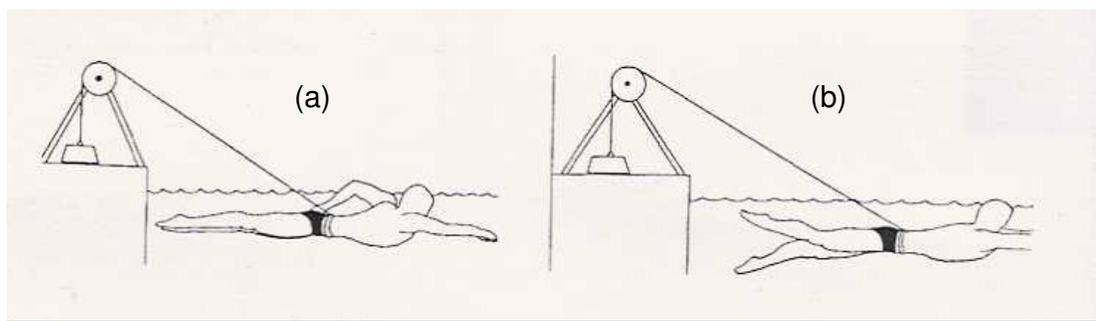


Figura 2. Método de *semi-tethered swimming* utilizado por Swaine e Doyle (1999), para (a) nado completo e (b) apenas movimento de pernas.

Os resultados do estudo de Swaine, Doyle (1999) apontaram para uma menor, de modo significativo, potência medida pelo método dentro da água em comparação ao método de natação simulada fora da água. Por outro lado, encontraram-se significativas correlações entre as potências para braços mensuradas na água e fora da água (0,88) e para pernas na água e fora da água (0,91).

Keskinen, Komi (1993), em um estudo cujo objetivo era comparar o desempenho técnico de nadadores competitivos a partir da variação intracíclica de força, velocidade e potência durante máxima intensidade executando o nado *crawl*, avaliaram 12 nadadores competitivos (idade média de $19,4 \pm 3,4$ anos) com dois protocolos distintos. O primeiro composto por 20 m de natação livre, na máxima intensidade, quando foi mensurada a velocidade de nado nos últimos 10 m e o segundo, realizado com o método de TNE, utilizando-se uma célula de carga fixada a um cabo preso à cintura do nadador e à borda da piscina. No segundo protocolo, os valores de força resultante eram coletados a uma frequência de 50 Hz. Ambos os protocolos eram gravados com um sistema de vídeo,

subaquático, operando a uma frequência de 50 Hz, que obtinha imagens no plano de deslocamento do nadador. Potência foi obtida pelo produto entre a velocidade máxima de nado (protocolo de natação livre) e a força máxima (protocolo de TNE).

Os dados obtidos por Keskinen, Komi (1993) demonstraram grande variação intra e inter-indivíduos em relação às variáveis analisadas. Nados considerados mais equilibrados, em relação às variações intracíclicas, apresentaram menores velocidades na fase de “puxada” e maiores velocidades na fase de “empurrada”, por outro lado, as “puxadas” eram realizadas com maior força do que as “empurradas”. Testes de correlação mostraram positivos valores entre a velocidade e a força por todo o ciclo na maioria das fases analisadas. No estudo de Keskinen, Komi (1993) o maior valor de força encontrado foi de 205 N, de um nadador que não demonstrou ser o mais veloz, já o mais veloz apresentou um pico de força de 168 N. Segundo os autores, diversos nadadores apresentaram um valor de potência acima dos 400 W, o que pareceu ser surpreendente. Keskinen, Komi (1993) concluem afirmando que o valor de potência, obtido com esta metodologia, pode ser utilizado como um parâmetro para a mensuração do desempenho técnico do nado *crawl*.

A fim de avaliar a potência produzida por nadadores na água e em terra, Johnson *et al.* (1993) avaliaram velocidade máxima de nado (nado *crawl*, 25 jardas), potência de nado (*semi-tethered swimming*, com cargas entre 0,5 e 9,3 kg), potência fora da água (simulador de natação – *Biokinetic Swim Bench*), força máxima fora da água (teste de uma repetição máxima para supino), além de medidas antropométricas de estatura e comprimento de membro superior em 22 nadadores (idade média de 18 ± 2 anos). Os resultados, de modo geral, indicaram que potência mensurada com o método de *semi-tethered* apresenta alta correlação (0,87) com o desempenho de velocidade no nado *crawl*. Já, em relação aos resultados dos testes de potência no *Biokinetic Swim Bench* e de força máxima no supino, ambos apresentaram menores valores de correlação, porém não desprezíveis (respectivamente 0,74 e 0,55).

Costill (1985), para mensurar força e potência específica para natação, utilizou a técnica de TNE em 76 nadadores universitários de ambos os sexos. A técnica consistia de um cabo amarrado à cintura do nadador e a um transdutor de força fixado à borda da piscina. A cada nadador era solicitado que, com impulsão da borda, nadasse em estilo *crawl*, na maior intensidade possível. Também foi solicitado aos nadadores que realizassem uma repetição, em nado *crawl*, em máxima velocidade, de 25 jardas. Encontraram, então, uma correlação de 0,84 entre a velocidade de nado e a força mensurada no transdutor.

Já o estudo de Lyttle *et al.* (2000) utilizou a técnica de TNE não para avaliar as forças de propulsão, mas para avaliar as forças de resistência criadas quando o nadador desloca-

se com impulsão da borda, deslizando e fazendo movimentos submersos de perna. Dezesesseis nadadores adultos, de nível competitivo, foram rebocados ao longo de uma piscina de 25 m a uma profundidade de 0,5 m em cinco diferentes velocidades: 1,6; 1,9; 2,2; 2,5 e 3,1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Em cada velocidade os nadadores adotaram cinco posições com diferentes movimentos de pernas: pronado sem movimentos, lateral sem movimento, pronado com movimento de pernas de *crawl*, pronado com movimento ondulatório e lateral com movimento ondulatório. Durante cada repetição, a força de resistência era mensurada por meio de um transdutor de força fixado ao cabo que puxava o nadador.

Os resultados de Lyttle *et al.* (2000) indicaram que os nadadores deveriam deslizar, após a saída da borda, até que a velocidade caísse entre 2,2 e 1,9 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, a fim de obterem a máxima redução da força de resistência, além disso, os resultados indicaram que nenhuma posição ou batimento de pernas obteve vantagens sobre as outras. O Quadro 2 apresenta um resumo dos artigos revisados a respeito da mensuração das forças relacionadas à propulsão em natação.

Quadro 2. Resumo dos principais estudos encontrados a respeito da mensuração das forças relacionadas à propulsão no nado *crawl*, com os métodos de *tethered* e *semi-tethered*, com o tamanho da amostra (n) e as principais implicações.

Estudo	n	Metodologia	Principais implicações
Costill <i>et al.</i> (1985)	76	<i>Tethered</i>	Alta correlação entre força e velocidade
Johnson <i>et al.</i> (1993)	22	<i>Tethered</i>	Alta correlação entre força e velocidade
Keskinen, Komi (1993)	12	<i>Tethered</i>	Força resultante como parâmetro de avaliação técnica do nado
Swaine, Doyle (1999)	9	<i>Semi-Tethered</i>	Correlações significativas entre potência medida dentro e fora da água
Fomitchenko (1999)	56	<i>Tethered</i>	Força resultante dependente de idade e de qualificação
Taylor <i>et al.</i> (2003)	88	<i>Tethered</i>	Força média incrementa com a idade; correlação entre força e velocidade nos 50 m <i>crawl</i>
Papoti <i>et al.</i> (2003)	13	<i>Tethered</i>	Impulso apresenta alta correlação com desempenho nos 200 e 400 m <i>crawl</i>

3.1.3 Lactato sanguíneo e natação

De acordo com Toussaint, Hollander (1994), o sistema metabólico glicolítico resulta, após a quebra da molécula de glicogênio, em liberação de energia para a produção de ATP e, ao mesmo tempo, produção de ácido láctico, rapidamente transformado em lactato e levado à corrente sanguínea. Segundo Vilas-Boas *et al.* (2001), lactacidemia (análise das concentrações sanguíneas de lactato) vem sendo utilizada como indicador da deterioração do ambiente fisiológico, que, ao apresentar acidose, estará sujeito à fadiga. De acordo com Toussaint *et al.* (1998), os eventos competitivos em piscina envolvem uma contribuição anaeróbia no fornecimento de energia de 80%, ou mais, em provas de 50 e 100 m e, em provas de 400 a 1500 m, a contribuição do metabolismo aeróbio passa a predominar. Para Sawka *et al.* (1979) mais altas concentrações de lactato sanguíneo têm sido registradas, em natação competitiva, após as provas de 100 e 200 m, mas, de modo mais específico, a prova de 200 m *medley* têm apresentado valores de pico sistematicamente mais elevados. Segundo Avlonitou (1996), durante um evento desportivo, entre 1 e 4 minutos de duração, a habilidade de produzir e sustentar altos níveis de lactato sanguíneo tem sido associada com desempenho atlético de sucesso, sugerindo que a capacidade de produzir altos níveis de lactato é, provavelmente, adquirida pelo processo de treinamento.

A verificação das concentrações de lactato sanguíneo, em resposta ao exercício, vem sendo utilizada com diversos objetivos em natação: determinação invasiva e não-invasiva do limiar anaeróbio (OLBRECHT *et al.*, 1985), efeitos fisiológicos do treinamento (KIRWAN *et al.*, 1988; WAKAIOSHI *et al.*, 1993; CAPUTO *et al.*, 2002; PELAYO *et al.*, 1996), análise de exercícios de natação simulados em ergômetros específicos (KONSTANTAKI, SWAINE, 1999; CAPUTO *et al.*, 2002), respostas fisiológicas ao esforço máximo (AVLONITOU, 1996) e predição do rendimento (RIBEIRO *et al.*, 1990). A presente revisão de literatura aborda as diversas aplicações do conhecimento a cerca da resposta lactacidêmica ao exercício, a fim de traçar um amplo painel em relação à natação, mas se detém, mais detalhadamente, nas questões relacionadas aos picos de concentração de lactato sanguíneo após esforços e suas relações com o fornecimento de energia nesses esforços.

Olbrecht *et al.* (1985), em um estudo que propôs obter informações metabólicas de testes de 30 e 60 min em nado contínuo, com respeito às relações entre valores de concentração sanguínea de lactato e velocidade de nado, realizaram, em um grupo de 59 nadadores alemães de alto nível, quatro diferentes testes em um período de um mês. O primeiro teste consistia em realizar duas repetições de 400 m em nado *crawl*, em

velocidades constantes, a primeira repetição com uma intensidade cerca de 85% do melhor tempo de 400 m, a segunda repetição na maior intensidade possível, com 20 min de intervalo entre as repetições. Imediatamente antes e após (1, 3, 5 e 7 min) eram coletadas amostras (20 μ l) de sangue do lóbulo da orelha a fim de determinar a concentração de lactato. A partir de procedimentos matemáticos, a concentração de lactato sanguíneo para determinada velocidade de nado, e vice-versa, foi calculada.

Este primeiro teste serviu para determinar a velocidade de nado equivalente à concentração sanguínea de lactato de 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, que segundo os autores, pode ser representativa do limiar anaeróbico. O segundo e o terceiro testes compreendiam em nadar 30 e 60 min, de *crawl*, sem parar, a maior distância possível, mantendo a velocidade a constante; complementando o segundo teste, os nadadores realizavam mais dois testes de 30 min, mas com uma velocidade a 90 e 95%, respectivamente, daquela obtida no primeiro teste de 30 min. O quarto teste consistia de, em um período de sete dias, realizar duas vezes quatro séries intervaladas que totalizavam 2400 m, em nado *crawl* (6 x 400 m, 12 x 200 m, 24 x 100 m e 48 x 50 m), a primeira com 10 s de intervalo e a segunda com 30 s de intervalo entre cada repetição. As concentrações de lactato sanguíneo foram determinadas com 20 μ l de sangue retirados do lóbulo da orelha antes e após (1, 3 e 5 min) cada teste (exceto nos testes com intervalo de 30 s, cujas coletas eram realizadas após cada repetição também). As concentrações médias de lactato sanguíneo após os testes máximos de 30 min e de 60 min, após o teste de 30 min a 95% e após o teste de 6 x 400 m com 30 s de intervalo foram de, respectivamente, $4,01 \pm 0,75$; $3,01 \pm 0,60$; $2,11 \pm 0,58$; e $3,47 \pm 0,47$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Os valores de lactato sanguíneo obtidos após os outros testes não foram informados pelos autores, mas estes indicaram que houve uma forte correlação entre as velocidades médias dos testes máximos de 30 e de 60 min e do teste de 6 x 400 m com 30 s de intervalo, com a velocidade de nado relativa aos 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ obtida do primeiro teste. Já nos testes de distâncias menores (50, 100 e 200 m) a velocidade média mantida foi superior à velocidade de 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Segundo Wakaioshi *et al.* (1993), o início da acumulação sanguínea de lactato é um índice para avaliar a capacidade de resistência, plotando a concentração de lactato contra a velocidade de nado. Em seu estudo, já descrito, que buscou identificar, em oito nadadores competitivos, as adaptações a seis meses de treinamento aeróbico nos parâmetros cinemáticos do nado *crawl* e na concentração sanguínea de lactato, amostras de sangue arterializado foram retiradas de cada nadador, que realizava quatro repetições de 400 m em diferentes velocidades de nado (85, 90, 95 e 100 % da máxima velocidade, determinada previamente). As coletas eram realizadas antes e após, cada repetição (imediatamente, 3 e

5 min após). Encontraram um aumento significativo da velocidade de nado em relação ao início da concentração de lactato sangüíneo, ou seja, quanto mais treinados, em maior velocidade de nado ocorria um aumento abrupto da concentração sangüínea de lactato, demonstrando adaptação ao treinamento aeróbio.

A resposta do limiar anaeróbio (entendido como indicador da condição aeróbia) ao treinamento foi verificada, também, em sete nadadores brasileiros (cinco homens e duas mulheres, com idade média de $16,5 \pm 1,6$ anos), de nível regional, por Caputo *et al.* (2002) em um estudo cujos objetivos foram: (1) analisar os efeitos de oito semanas de treinamento de natação na intensidade correspondente ao limiar anaeróbio, determinado em piscina e em ergômetro de braço e, (2) comparar os resultados nos dois tipos de teste (piscina e ergômetro). Os testes foram realizados pré- e pós-treinamento e tiveram a participação, também, de um grupo controle, de similares características antropométricas, mas não atletas, no teste realizado no ergômetro de braço. O teste de piscina foi o de duas repetições de 400 m (descrito anteriormente nesta revisão), em intensidade progressiva, com coleta de 25 μ l de sangue do lóbulo da orelha aos 1, 3 e 5 min de recuperação para análise posterior em um lactímetro (YSI 1500). Trinta minutos foi o tempo de intervalo entre cada repetição de 400 m.

A determinação da velocidade de limiar anaeróbio, por Caputo *et al.* (2002), foi realizada por meio da interpolação linear entre a velocidade média de cada intensidade e sua respectiva concentração de lactato sangüíneo, em que foi considerada uma concentração fixa de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ como característica de limiar anaeróbio. Já no ergômetro de braço utilizou-se um protocolo de carga inicial de 33,3 W, progressiva em 16,6 W a cada 3 min, a 60 rpm mantidos constantes, até a exaustão. As coletas de sangue foram realizadas ao final de cada estágio, utilizando-se as mesmas condições do teste de piscina. Foi determinada a concentração fixa de $3,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ como a de limiar anaeróbio, que, segundo os autores, é a mais indicada em protocolos progressivos realizados em ergômetros de braço.

A comparação dos valores pré- ($1,09 \pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) e pós-teste ($1,13 \pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) da velocidade de nado correspondente ao limiar anaeróbio indicou que, mesmo havendo um aumento, não houve diferença estatística ($p = 0,06$). Já a comparação dos valores pré- ($130,4 \pm 20,4 \text{ W}$) e pós-teste ($137,4 \pm 18,0$) de carga determinadas no ergômetro de braço, correspondente ao limiar anaeróbio, indicou diferença estatística ($p < 0,05$). O grupo controle não apresentou diferença entre os valores pré e pós oito semanas, mas seus valores de carga foram significativamente menores que os valores pré e pós-treinamento do grupo de nadadores. Segundo Caputo *et al.* (2002), a resposta do lactato sangüíneo ao exercício,

independente da nomenclatura utilizada (limiar de lactato, limiar anaeróbio ou máxima fase estável de lactato) tem mostrado maior validade para a predição do desempenho aeróbio do que medições de consumo máximo de oxigênio. Ainda, em relação aos resultados encontrados, houve uma correlação de 0,75 entre a velocidade de limiar anaeróbio, determinada pelo teste de piscina, e a carga de limiar anaeróbio, determinada pelo teste de ergômetro de braços. Este resultado indica que este último também pode ser utilizado para a verificação das condições metabólicas, em resposta ao treinamento, de nadadores, embora apresente condições não-específicas de testagem (posição do corpo e musculatura empregada, por exemplo).

A fim de determinar os efeitos fisiológicos de um súbito aumento no volume de treinamento, por dez dias consecutivos, em 12 nadadores de nível universitário (idade média de $19,1 \pm 0,3$ anos), Kirwan *et al.* (1988) utilizaram as medidas de lactato, cortisol, epinefrina, nora-epinefrina, creatina-quinase, glicose, hemoglobina e hematócrito de amostras de 10 ml de sangue obtidas nos dias 0, 5 e 11 do treinamento. As coletas eram realizadas em repouso, cinco minutos após um teste submáximo e máximo de 365, 8 m (400 jardas) e após duas repetições máximas de 22,9 m (25 jardas). Entre cada teste os nadadores permaneciam 30 min em repouso passivo. Dentre outros resultados, pode-se verificar que as concentrações sanguíneas de lactato, em repouso, apresentaram uma significativa redução do dia 0 para o dia 11, respectivamente, de $1,01 \pm 0,06$ para $0,86 \pm 0,04$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, por outro lado, os resultados das concentrações de lactato sanguíneo pós cada teste não foram apresentados pelos autores.

Pelayo *et al.* (1996), em um estudo do tipo *follow-up*, monitoraram mudanças nas concentrações sanguíneas de lactato durante a recuperação após natação em máxima intensidade durante um período de 23 semanas em uma temporada competitiva, e analisaram as relações com o desempenho, com variáveis de treinamento e possível estado de sobre-treinamento. Participaram do estudo seis nadadores de elite (idade média de $19,5 \pm 1,6$ anos), especialistas na prova de 200 m nado livre (média de melhor tempo na prova de $116,83 \pm 3,74$ s). Os nadadores realizaram um teste máximo que consistia em realizar, após um aquecimento padrão, quatro repetições de 50 m, nado *crawl*, na maior intensidade possível, com 10 s de intervalo.

No estudo de Pelayo *et al.* (1996), eram coletadas amostras de sangue dos dedos em 3 e 12 minutos após a realização do teste, períodos que os nadadores permaneciam sentados, em descanso passivo. As amostras eram armazenadas em capilares para posterior análise, utilizando-se o método bi-enzimático de Boehringer. Os testes foram realizados nas semanas 2, 6, 10, 14, 18 e 21 e nas semanas 1, 7, 13 e 23 os nadadores

competiram na prova de 200 m nado livre. Os valores de concentração de lactato sangüíneo variaram, em função das semanas de treinamento, entre $14,9 \pm 1,2$ e $18,7 \pm 1,0$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ nas coletas 3 min após o teste e entre $9,6 \pm 1,3$ e $15,6 \pm 2,5$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ nas coletas 12 min após o teste. Segundo os autores, os principais achados do estudo referem-se aos resultados de concentração de lactato que não demonstraram uma variação sistemática, durante a temporada de treinamento, em resposta ao tipo de treinamento (predomínio aeróbio ou anaeróbio). Por outro lado, analisando as relações entre os valores de lactacidemia encontrados aos três e aos 12 min de recuperação e expressos como percentual do valor aos 3 min, Pelayo *et al.* (1996) indicam que o monitoramento da concentração sangüínea de lactato pode ser usado como um critério prático, rápido e útil para treinadores monitorarem os efeitos do treinamento e impedirem sobre-treinamento.

O já citado estudo de Konstantaki, Swaine, de 1999, que analisou as respostas de um grupo de nadadores competitivos e de um grupo de nadadores recreacionais a exercícios de simulação de natação em um *swim bench*, utilizou, como uma das variáveis de análise, a concentração de lactato. As amostras de sangue eram coletadas do lóbulo da orelha a cada mudança de estágio do teste de carga progressiva realizado no ergômetro, armazenadas em tubos com heparina, imediatamente refrigerados e, após 30 min do fim do teste, analisadas com o analisador de lactato Yellow Springs International (Ohio, USA). Os picos de concentração de lactato sangüíneo, após os exercícios apenas de braços e apenas de pernas no grupo de nadadores competitivos, respectivamente, foram de $6,7 \pm 0,2$ e de $5,2 \pm 0,5$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Já os picos de concentração sangüínea de lactato no grupo de nadadores recreacionais, em Konstantaki, Swaine (1999), apresentaram valores de $7,4 \pm 0,3$ e de $6,3 \pm 0,7$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ para, respectivamente, teste apenas de braços e teste apenas de pernas. O maior valor, com diferença significativa, encontrada após o teste realizado com braços em comparação ao teste realizado apenas com pernas, em ambos os grupos, foi explicada, pelos autores, pelos processos de adaptações metabólicas específicos nos membros superiores, mais exigidos durante os processos de treinamento, tanto de nadadores competitivos, quanto de recreacionais. Os menores valores encontrados nos nadadores competitivos também foram explicados pelo processo de treinamento, mais árduo neste grupo, levando a maiores níveis de adaptação, causando à maior diminuição das concentrações de lactato, o que pode estar relacionado a uma maior capacidade do metabolismo energético em realizar trabalho com maior componente aeróbio.

Os valores de concentração sangüínea de lactato, após esforços máximos competitivos, foram verificados e comparados por Avlonitou (1996). Segundo a autora, o

pico de concentração de lactato sangüíneo pode ser um indicador do esforço no exercício, especialmente, em natação, se a prova for de curta duração, como ocorre na maior parte dos eventos de natação. Um total de 337 nadadores gregos (171 do sexo masculino, e 166 do sexo feminino), separados em três grupos de acordo com as idades (grupo 1 com nadadores - 54 - de idade média de 21,6 anos e nadadoras - 32 - de idade média de 19,3 anos; grupo 2 com todos entre 16 e 17 anos - 65 nadadores e 63 nadadoras - e grupo 3 com todos entre 14 e 15 anos - 52 nadadores e 71 nadadoras) foram avaliados durante competições desenvolvidas em um período total de três anos.

Neste estudo de Avlonitou (1996), os critérios de seleção obedeceram à participação no ranqueamento nacional por categoria e absoluto, e participaram os melhores nadadores do país nas diversas provas. Amostras de sangue arterializado foram obtidas da extremidade distal dos dedos dos nadadores 3 e 6 min após a prova e o maior valor foi registrado. Utilizou-se um analisador de lactato YSI, modelo 2300 STAT, que utiliza um método eletro-enzimático de análise. Dentre os resultados, a prova de 200 m nado livre, para os homens, dos grupos 1, 2 e 3 apresentou, respectivamente, as seguintes concentrações médias de lactato: $12,79 \pm 1,27$, $11,57 \pm 2,12$ e $10,18 \pm 3,17$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Para as mulheres, a mesma prova, nos grupos 1, 2 e 3, apresentou, respectivamente as seguintes concentrações médias de lactato: $12,36 \pm 1,26$, $11,19 \pm 1,37$ e $10,59 \pm 1,85$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Não houve diferença estatística entre os sexos, para as mesmas provas, nos mesmos grupos em relação aos valores de concentração de lactato sangüíneo, mas encontraram-se diferenças significativas no desempenho entre os grupos: tantos os nadadores quanto as nadadoras mais velhas apresentaram melhores desempenhos. Segundo a autora, os resultados do estudo mostraram que o desempenho em natação, nas distâncias de 100 e 200 m, independente do estilo, do sexo e da idade, foi, de maneira significativa, correlacionada positiva e significativamente com o pico de lactato sangüíneo.

Ribeiro *et al.* (1990), a fim de verificar os preditores metabólicos da natação de meio-fundo, utilizaram a concentração de lactato sangüíneo para a determinação do limiar anaeróbio, conforme protocolo anteriormente descrito por Olbrecht *et al.* (1985) de duas repetições de 400 m em nado *crawl*, com 20 min de intervalo entre as mesmas. Foram coletados 20 μl de sangue arterializado do lóbulo da orelha imediatamente antes, 1, 3 e 5 min após cada repetição. Para a análise utilizou-se um método enzimático modificado com leitura das concentrações por meio de um espectrofotômetro. Dentre os resultados, a média de pico de concentração de lactato sangüíneo foi de $11,8 \pm 2,5$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Os autores encontraram correlações significativas entre as velocidades de nado correspondentes a concentração de lactato sangüíneo de 4 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ e a 85 % do consumo máximo de oxigênio.

Após 200 jardas de nado *crawl* (183 m) sob máxima intensidade, Capelli *et al.* (1998) encontraram picos de concentração de lactato de $11,4 \pm 1,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, entre oito nadadores universitários com idade média de $18,9 \pm 0,94$ anos. Neste estudo Capelli *et al.* (1998) procuraram identificar, com maior precisão, a contribuição energética metabólica para esforços sub e máximos em natação.

De acordo com Whitebread *et al.* (2005), a medida do declínio do lactato sangüíneo pode indicar um índice de treinamento ou de capacidade para desempenho em exercício de resistência. Este conceito tem obtido popularidade, como evidenciado por técnicos e atletas que utilizam as medidas pós exercício de lactato sangüíneo a fim de avaliar o condicionamento e o progresso nos seus programas de treinamento para incremento da resistência. Esta utilização das concentrações sangüíneas de lactato está relacionada com o fato de que a oxidação é o mecanismo mais eficiente para a remoção do lactato sangüíneo, tanto em repouso, quanto durante exercício. As adaptações obtidas com o treinamento de resistência possibilitariam: (a) incremento do metabolismo oxidativo, (b) incremento da atividade das enzimas piruvato-deidrogenase e malato-aspartato e (c) deslocamento da isoenzima lactato-deidrogenase de sua isoforma muscular para sua isoforma cardíaca.

Quando da análise de esforços máximos, que ocorrem sob condições metabólicas máximas, como a prova de 200 m nado livre, a variação das concentrações de lactato entre o repouso e a máxima concentração pós-esforço (concentração líquida de lactato) pode ser utilizada no cálculo do custo energético, somando-se a energia anaeróbia à energia obtida aerobicamente. Para tal, Zamparo *et al.* (2005b) sugerem um equivalente de $0,00689 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mmol}^{-1}$ para o cálculo do custo energético. Já Barbosa *et al.* (2006), em um estudo sobre o custo energético dos quatro estilos olímpicos executados sob intensidade de consumo máximo de oxigênio, sugerem, para o cálculo do custo energético, um equivalente de $2,7 \text{ mlO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mmol}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ de lactato líquido, assim, aos valores de consumo de oxigênio, somavam os valores calculados a partir da taxa das concentrações líquidas de lactato.

O Quadro 3 apresenta um resumo, com o tamanho da amostra, a metodologia utilizada e as principais implicações, dos estudos relacionados à concentração sangüínea de lactato e natação.

Quadro 3. Resumo dos principais estudos encontrados com concentração sanguínea de lactato e natação, com o tamanho da amostra (n), a metodologia e as principais implicações.

Estudo	n	Metodologia	Principais implicações
Olbrecht <i>et al.</i> (1985)	59	Séries intervaladas e contínuas	VN de 30 min apresenta correlação com velocidade de 2º limiar de lactato
Kirwan <i>et al.</i> (1988)	12	2 x 400 jardas progressivo	Redução de lactato de repouso em resposta ao treinamento
Ribeiro <i>et al.</i> (1990)	15	2 x 400 m progressivo	Correlação entre velocidade à 4 mmol·l ⁻¹ e 85% do VO ₂ max
Wakaioishi <i>et al.</i> (1993)	8	4 x 400 m progressivo	Adaptação da concentração de lactato ao treinamento aeróbio
Avlonitou (1996)	337	Pós-competição	Desempenho nas provas de 100 e 200 m relacionadas ao pico de lactato sanguíneo
Pelayo <i>et al.</i> (1996)	6	4 x 50 m, máxima intensidade	Lactato sanguíneo a fim de monitorar treinamento e sobre-treinamento
Capelli <i>et al.</i> (1998)	8	200 jardas, máxima intensidade	Pico de concentração de lactato de 11,4 mmol·l ⁻¹
Caputo <i>et al.</i> (2002)	7	2 x 400 m progressivo	Verificação de 2º limiar de lactato com maior validade que VO ₂ max para o desempenho

3.1.4 Consumo de oxigênio, economia de nado e custo energético

Em natação, de acordo com Toussaint, Hollander (1994), o gasto energético está relacionado à velocidade de nado, à eficiência bruta, à eficiência propulsiva e à resistência do meio. Segundo esses autores, a energia, para eventos em natação, é gerada tanto por processos aeróbios, quanto por anaeróbios e um balanço deveria existir entre a energia necessária para nadar uma distância em determinado tempo e o total de energia disponível neste tempo a partir dos sistemas metabólicos. As relações entre o consumo de oxigênio, o economia de nado e o desempenho em natação têm sido foco de diversos estudos (CHATARD *et al.*, 1991a,b; POUJADE *et al.*, 2003).

A representação do consumo de oxigênio é realizada, tradicionalmente, de duas maneiras: em unidades absolutas ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) ou em unidades relativas à massa corporal ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Porém, de acordo com Gullstrand (1992) valores de consumo de oxigênio, para nadadores, expressos em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ não é plenamente justificável, devido à influência da força de sustentação; neste caso, aumento da massa corporal total por tecido de gorduras, por exemplo, apresenta pouco efeito negativo na água quando comparado ao mesmo efeito negativo para atividades terrestres. Por isso, o autor sugere que se expresse, para nadadores, os valores de consumo de oxigênio em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ou, ainda, por $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, desde que a massa corporal seja obtida do peso hidrostático, não do peso terrestre. Nesta revisão, optou-se pela manutenção das unidades apresentadas pelos autores dos estudos revisados e pela representação, na metodologia, da unidade $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, considerando-se ser de mais fácil interpretação a aplicação.

Chatard *et al.* (1991a; 1991b), em dois estudos que investigavam a economia de nado em nadadores e nadadoras, de diferentes níveis, utilizaram coleta de gases expirados por meio de uma máscara em um saco de Douglas durante o nado nos últimos 50 m de cada 200 m nas distâncias totais de 400 ou 800 m em nado *crawl*. As velocidades nadadas foram de 1,1, 1,2, 1,3 e 1,4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. As frações de oxigênio e dióxido de carbono foram determinadas utilizando-se os analisadores Beckman OM 11 e LB 2 (Fullerton, USA), anteriormente calibrados com gases de concentrações conhecidas; os volumes foram mensurados com um expirômetro Tissot (Tecmachine-Gymrol, Andrézieux-Bouthéon, France). A economia foi calculada pelo quociente entre o consumo de oxigênio e a distância percorrida para cada velocidade de nado.

Em relação aos resultados de Chatard *et al.* (1991a; 1991b), houve grandes variações de economia de nado e essas variações foram similares entre nadadores e

nadadoras. A economia de nado foi dependente do nível de prática, das dimensões corporais, do tipo de técnica de nado e da velocidade de nado. Em média, as nadadoras foram mais econômicas que os nadadores, provavelmente devido às dimensões corporais, altura, massa e capacidade de flutuação.

Poujade *et al.* (2003), em um estudo cujo objetivo era avaliar a influência relativa de parâmetros morfológicos e fisiológicos sobre o desempenho aeróbio de 11 jovens ($12,4 \pm 0,53$ anos) nadadores de nível regional e nacional, considerando que o desempenho depende (1) da quantidade de energia disponível para o esforço e (2) da capacidade de transformar esta energia em deslocamento, verificaram o consumo de oxigênio durante os últimos 50 m de 3 repetições de 200 m executadas em nado *crawl* em três distintas velocidades sub-máximas de nado ($0,9$, 1 e $1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) para determinar a economia e após um esforço máximo de 400 m nado livre para determinar o consumo máximo de oxigênio. A coleta de gases, no protocolo de economia, se efetuou com a ajuda de um bucal construído especialmente para tal atribuição com duas válvulas unidirecionais e acopladas a um saco de Douglas; no protocolo de consumo máximo, imediatamente após um esforço máximo de 400 m nado livre, sem respirar nos últimos 5 m, os nadadores respiravam na máscara acoplada a um saco de Douglas, por 20 segundos. Após, as frações expiradas de dióxido de carbono e de oxigênio foram verificadas em um analisador de gases do tipo CPX (Méd. Graphics) e os volumes foram mensurados com um espirômetro Tissot.

Neste estudo (POUJADE *et al.*, 2003), a economia de nado foi definida pelo quociente entre o consumo de oxigênio ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) e a velocidade de nado ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$). Dentre os resultados encontrados pelos autores, destacam-se a correlação entre o desempenho em prova de 400 m nado livre com o consumo máximo de oxigênio obtido pelo método de retro-extrapolação (0,877) e a correlação entre o desempenho e a economia de nado (0,837).

Diferentes procedimentos têm sido utilizados para determinar o custo energético na natação e a identificação do consumo de oxigênio, máximo ou não, durante, e/ou imediatamente após a natação, oferece um método indireto para a aproximação deste custo energético. Mas, de acordo com Hólmér (1979), pesquisa de caráter fisiológico, em natação, devido às condições ambientais, aos movimentos corporais e às viradas em piscinas de tamanho padrão, encontra maior nível de dificuldade de ser realizada. A fim de superar essas condições adversas, algumas metodologias têm sido desenvolvidas a fim de permitir a mensuração do consumo de oxigênio em condições mais próximas à realidade do atleta de natação. Dentre essas técnicas, podem ser citadas a utilização do *swim flume* (BONEN *et al.*, 1980; WAKAYOSHI *et al.*, 1995; DEMARIE *et al.*, 2001), *tethered swimming* (BONEN *et al.*, 1980; RINEHARDT *et al.*, 1991); retro-extrapolação a partir da recuperação

(MONTPETIT *et al.*, 1981; RIBEIRO *et al.*, 1990; RINEHARDT *et al.*, 1991; CARRÉ *et al.*, 1994; RODRÍGUEZ, 2000; POUJADE *et al.*, 2003); ergômetro de braço e perna (KONSTANTAKI e SWAINE, 1999; PRIOUX *et al.*, 2001) e natação com coleta durante o nado (BONEN *et al.*, 1980; CHATARD *et al.*, 1991a; CAPELLI *et al.*, 1998; FERNANDES *et al.*, 2003; POUJADE *et al.*, 2003). Esta revisão aborda, então, diversos estudos realizados com diferentes metodologias para obtenção de valores consumo de oxigênio (máximo ou não), especialmente na natação.

Em relação à utilização do *swim flume* em pesquisas de caráter fisiológico, Holmér, já em 1979, afirmava que, possivelmente, era o mais sofisticado ergômetro de natação; consistindo de um tanque, com paredes de material transparente, onde a água circula em velocidades pré-determinadas, devido à ação de motores, permitindo ao indivíduo realizar um nado estacionário que pode ser analisado, mais facilmente, sob as óticas fisiológica e biomecânica. Por outro lado, os custos de construção impedem, até o momento, uma maior massificação do *swim flume* na pesquisa em natação. Dentre os estudos que utilizaram a técnica do *swim flume*, com objetivos de investigar variáveis fisiológicas da natação, podem-se destacar os de Bonen *et al.* (1980), de Wakayoshi *et al.* (1995) e de Demarie *et al.* (2001).

Bonen *et al.* (1980) realizaram a comparação entre os valores de consumo de oxigênio obtidos de nadadores competitivos por diferentes métodos: *flume*, TNE, ciclo-ergômetro de braços e natação livre. Os experimentos de Bonen *et al.* (1980) foram divididos em duas partes: da primeira parte participaram 11 nadadores (idade entre 12 e 32 anos, estatura entre 137 e 188 cm e massa corporal entre 33,5 e 81,8 kg) que foram testados em (a) um *flume*, com velocidades progressivas até que o nadador não mais conseguisse manter a velocidade do estágio, que durava entre 2 e 4 min; (b) um teste com o método de TNE realizado no mesmo *flume*, com água estacionária e o nadador fixado a um cinto e este a um cabo que era preso a um sistema de roldanas que possibilitava a colocação de cargas conhecidas (neste teste o nadador deveria nadar contra as cargas até que não conseguisse completar 2 min com a nova carga); e (c) em laboratório, os nadadores utilizaram uma bicicleta estacionária para membros superiores (Quinton, modelo 844), com frequência de giro entre 60 e 70 rpm, as cargas eram incrementadas com 200 kg·m a cada 2 min. Nos três métodos, o consumo de oxigênio foi mensurado com utilização de uma máscara na qual estava acoplada uma válvula que permitia a conexão com balões meteorológicos. Os gases eram, então, analisados com um espectrofotômetro de massa (Perkin-Elmer, modelo 100).

A segunda parte dos experimentos de Bonen *et al.* (1980) contou com a participação de 10 nadadores (idade entre 13 e 32 anos, estatura entre 158 e 183 cm e massa corporal entre 45,6 e 72,2 kg), com a mensuração do consumo de oxigênio com o método de TNE anteriormente descrito e com o método de natação livre. Neste último, os nadadores eram instruídos a realizar três repetições de 200 m em nado *crawl*, de maneira progressiva (intensidades moderada, média e máxima). Com intervalos de 5 min entre cada 200 m. Neste último método, os indivíduos respiravam por meio de um sistema fixado ao peito, por onde eram coletadas as amostras de gases nos últimos 75 m da segunda e da terceira repetição de 200 m. O mesmo método, para a análise dos gases, foi realizado nesta segunda etapa dos experimentos. Os valores médios de consumo máximo de oxigênio obtidos nos testes com *flume*, TNE e ergômetro de braços (primeiro estudo), foram de, respectivamente, em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, $2,62 \pm 0,23$; $2,67 \pm 0,26$; e $2,36 \pm 0,24$ e os valores médios de consumo máximo de oxigênio obtidos nos testes de natação livre e TNE (segundo estudo), foram de, respectivamente, em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, $3,55 \pm 0,28$ e $3,53 \pm 0,27$.

Bonen *et al.* (1980) encontraram alta correlação entre os valores de consumo de oxigênio obtidos entre os diferentes métodos, tanto do primeiro estudo (entre 0,97 e 0,99), quanto do segundo estudo (entre 0,97 e 0,99) e concluíram que a determinação do consumo de oxigênio em natação pode ser realizada por qualquer um dos métodos utilizados.

Wakayoshi *et al.* (1995), em um estudo com objetivos de verificar as relações entre consumo de oxigênio, FCL e velocidade submáxima e determinar como essas relações podem estar relacionadas com o desempenho, estudaram dez nadadores treinados, com idade média de $16,7 \pm 0,4$ anos, em um *flume* que permitia alterar a velocidade de circulação da água entre 0 e $3,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. O pico de consumo de oxigênio foi mensurado em um teste de velocidade progressiva com velocidade inicial de $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, por dois min, e incrementos de $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a cada 30 s até a exaustão do nadador. Durante o teste, os nadadores respiravam por meio de uma válvula que coletava o ar expirado que era analisado a cada 10 s para medidas de consumo de oxigênio e de produção de gás carbônico, com a utilização de um analisador de gases (AMETEK, USA). Os dois valores mais altos consecutivos foram considerados como pico de consumo de oxigênio. Já o teste de economia foi realizado com velocidades que variaram de 0,9 até $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, com duração de seis min em cada estágio; neste teste, a análise de gases era feita nos últimos dois min de cada velocidade. Frequência de braçadas foi obtida mensurando-se o tempo de cinco ciclos completos de nado, a cada 30 s dos últimos dois min de cada estágio do teste de economia. Foi mensurada, também, a concentração de lactato sanguíneo a fim de identificar a velocidade de início de acúmulo de lactato.

Wakayoshi *et al.* (1985) encontraram valores médios de pico de consumo de oxigênio de $54,27 \pm 1,05 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Houve significativa correlação entre consumo de oxigênio e velocidade de nado ao cubo (entre 0,963 e 0,998), consumo de oxigênio e FCL (entre 0,925 e 0,998) e FCL e velocidade ao cubo (entre 0,897 e 0,994). As inclinações das curvas de regressão obtidas entre o consumo de oxigênio e a velocidade de nado ao cubo e entre o consumo de oxigênio e a FCL apresentaram, de modo significativo, correlação com índices de desempenho em natação (velocidades a 80 e 100 % do pico de consumo de oxigênio e velocidade de início de acúmulo de lactato sanguíneo).

Demarie *et al.* (2001), considerando que, durante exercício realizado em cargas constantes, abaixo do limiar de lactato, o consumo de oxigênio não atinge rapidamente o estado de equilíbrio, mas incrementa de maneira lenta até que estabiliza (o que é chamado de componente lento do consumo de oxigênio), estudaram este comportamento na natação. A origem do componente lento do consumo de oxigênio poderia estar relacionada com o tipo de contração muscular predominante no exercício, com o gasto metabólico da respiração ou, ainda, com a eficiência do gesto desportivo, dentre outros fatores, e poderia apresentar diferenças entre diferentes modalidades. Seis pentatletas considerados de elite, de ambos os sexos, realizaram três sessões de testes. A primeira sessão foi realizada a fim de determinar a velocidade crítica de nado (relacionada com a velocidade de limiar anaeróbio), utilizando-se o valor da inclinação da reta de regressão entre as distâncias de 100, 200 e 300 m, realizadas em nado *crawl*, e seus respectivos tempos; a segunda sessão, realizada com fins de determinar a velocidade de pico de consumo de oxigênio; e a terceira sessão, programada para permitir a análise do componente lento do consumo de oxigênio, realizada com os indivíduos nadando a uma velocidade submáxima calculada a partir da velocidade crítica e da velocidade de pico de consumo de oxigênio. A coleta de gases foi realizada utilizando-se um bocal específico para ser utilizado dentro da água, com telemetria (K4 RQ, Cosmed, Italy), que informava valores médios, a cada 15 s, de consumo de oxigênio. O *flume* foi utilizado na segunda e na terceira sessões de testes.

Demarie *et al.* (2001) encontraram valores médios de pico de consumo de oxigênio de $50,5 \pm 3,3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Após analisar os resultados de velocidade crítica, pico de consumo de oxigênio, velocidade de pico e percentual de consumo de oxigênio relacionado ao componente lento, os autores concluíram que a origem do componente lento do consumo de oxigênio na natação é, ainda, mais incerto do que na corrida ou no ciclismo.

Para Lavoie, Mont-Petit (1986) o método de retro-extrapolação na natação teria sido utilizado, primeiramente por DiPrampo *et al.* (1976, citado por Lavoie, Montpetit (1986)), e consistia na obtenção de valores de consumo de oxigênio, a cada 20 s, após o nado e

aplicação de uma curva de regressão simples, com o método dos mínimos quadrados, entre o tempo e os valores de consumo, a fim de prever o valor de consumo quando o tempo fosse zero.

Retro-extrapolação para a obtenção dos valores de consumo máximo de oxigênio a partir da curva de recuperação do consumo de oxigênio, em diferentes exercícios, foi objeto de estudo de Léger *et al.* (1980). Estes autores verificaram o consumo em três séries de experimentos para comparar os valores obtidos por retro-extrapolação e por medida direta durante exercício de carga progressiva. Nas três séries de experimentos, o consumo de oxigênio foi mensurado com a técnica de circuito aberto; o ar expirado era coletado por meio de uma válvula Otis-McKerrow em balões meteorológicos, o volume era mensurado com um espirômetro Tissot e as concentrações de O₂ e de CO₂ eram analisadas com, respectivamente, analisadores paramagnético Beckman E2 e infravermelho Beckman LB-1.

A primeira série de experimentos de Léger *et al.* (1980) contou com um grupo de 20 indivíduos (idade média de $25,1 \pm 7,2$ anos) que executaram um protocolo progressivo em esteira ou bicicleta, com estágios de 2 min e incremento de 1 met por estágio. As análises do ar expirado eram feitas a cada 30 s de exercício e a cada 20 s na recuperação durante 80 s. A segunda série de experimentos contou com a participação de 16 homens (idade média de $20,8 \pm 1,6$ anos) que executaram um teste de carga progressiva em esteira, com velocidade inicial de $11,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e incrementos de $1,61 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a cada 2 min e 0 % de inclinação inicial com incrementos de 2,5 % a cada 2 min. A coleta do ar expirado era feita durante a corrida e, no máximo, 3 s após o término, no período de recuperação.

Da terceira série de experimentos de Léger *et al.* (1980), participaram 11 indivíduos, de ambos os sexos, que realizaram um teste de corrida com velocidade progressiva em uma pista coberta de 167 m de perímetro. Neste teste a velocidade era controlada com sinais sonoros que indicavam quando o atleta deveria passar por marcadores colocados ao longo da pista. O incremento de carga era de 1 met a cada 2 min e os indivíduos foram instruídos a respirar em uma máscara conectada a um sistema de coleta de gases imediatamente após cessarem o teste (quando não conseguiam mais manter a velocidade pré-determinada). Nesta última série de experimentos, os valores extrapolados foram comparados aos obtidos durante o último estágio do mesmo protocolo realizado em esteira. Léger *et al.* (1980), nesta série de estudos, encontraram, sistematicamente, valores de consumo de oxigênio que, entre os diferentes métodos, apresentaram valores de correlação entre 0,89 e 0,98. Concluíram afirmando que o método de retro-extrapolação da curva de recuperação de O₂ seria um método válido para medir o consumo de oxigênio máximo tanto em condições de campo, quanto em condições de laboratório.

Monpetit *et al.* (1981) utilizaram, na natação, a técnica que previa a extrapolação do consumo máximo de oxigênio a partir de valores de consumo de oxigênio obtidos do ar exalado em uma máscara acoplada a um analisador de gases após natação máxima de 400 m, ou seja, já no repouso. Segundo os autores, as técnicas convencionais, com coleta de gases durante o nado, para a mensuração de consumo de oxigênio, apresentam o problema básico de alterar a mecânica de nado, seja impossibilitando o nadador de realizar o movimento para a respiração lateral, utilizando um equipamento (máscara) que pode alterar a hidrodinâmica, ou, ainda, não realizando as viradas olímpicas. Os experimentos de Montpetit *et al.* (1981) foram conduzidos em duas séries.

Na série A foram realizadas comparações entre os picos de consumo de oxigênio obtidos durante corrida em esteira, natação livre com coleta de gases durante o nado e natação livre com coleta de gases imediatamente após o nado, quando participaram 11 nadadores entre 13 e 19 anos de idade. Na série B foram realizadas comparações entre os picos de consumo de oxigênio obtidos durante corrida em esteira e natação livre com coleta de gases imediatamente após o nado, quando participaram 28 nadadores entre 12 e 18 anos de idade. Os valores de consumo de oxigênio obtidos na série A foram, em $l \cdot \text{min}^{-1}$, de $3,91 \pm 0,55$ para a corrida em esteira, de $3,81 \pm 0,59$ para a natação livre, com coleta durante o nado, e de $3,79 \pm 0,66$ para a natação livre com o método de retro-extrapolação. Os autores não encontraram diferenças estatísticas entre os valores de consumo de oxigênio obtidos dos diferentes métodos e encontraram correlação de 0,99 entre os valores obtidos na corrida e na natação, método de coleta durante o nado, e correlação de 0,94 entre os valores obtidos pelos dois métodos citados na natação. Concluíram, com esta série de experimentos, que a predição de consumo de oxigênio na natação com o método de retro-extrapolação fornece uma boa estimativa do consumo durante o nado.

Em relação à série B de experimentos, de Montpetit *et al.* (1981), os valores de consumo de oxigênio encontrados foram de, respectivamente para a corrida e para a natação, em $l \cdot \text{min}^{-1}$, de $3,23 \pm 0,71$ e de $3,37 \pm 0,77$. O método de retro-extrapolação indicou um significativo maior consumo de oxigênio ($p < 0,01$) ao ser comparado com o valor obtido na corrida. Em relação à comparação de teste e re-teste do método de retro-extrapolação, os autores encontraram uma correlação de 0,92. Montpetit *et al.* (1981) concluíram indicando que determinações de consumo máximo de oxigênio, em natação, podem ser obtidos, em testes de campo, a partir dos valores de recuperação, desde que quatro condições básicas de teste sejam respeitadas: (1) exercício deve ser progressivo e contínuo, levando à exaustão, em mais de 4-5 min; (2) não haver nenhum atraso entre o fim do exercício e o início da coleta de gases; (3) coleta de gases deve começar no início da primeira expiração

e terminar aproximadamente 20 s após; e (4) o exercício não seja de intensidade supra-máxima ou de curta duração (menor que 5 min).

O estudo de Ribeiro *et al.* (1990), que buscou determinar os preditores metabólicos do desempenho em natação de meia-distância, avaliou consumo de oxigênio em 15 nadadores competitivos. Utilizaram o ar expirado em uma bolsa de Douglas imediatamente após perfazerem a distância de 400 m em nado *crawl* em uma velocidade submáxima. Aos nadadores era solicitado que, na última braçada da distância, bloqueassem a respiração e expirassem em uma máscara acoplada à bolsa de Douglas, assim que um operador a fixasse em sua face. A partir de fórmulas convencionais, os consumos submáximo e máximo de oxigênio foram calculados. Os resultados obtidos com o método mostraram ser válidos e reproduzíveis. Consumo submáximo de oxigênio, em termos percentuais do consumo máximo de oxigênio, variou de 75 a 92 % e o consumo máximo de oxigênio variou de 45 a 62 ml·kg⁻¹·min⁻¹.

Já Rinehardt *et al.* (1991) realizaram um estudo a fim de comparar os valores de consumo máximo de oxigênio obtidos a partir dos métodos TNE e natação livre (método de retro-extrapolação) já que, segundo esses autores, parecia haver diferenças nos valores de consumo de oxigênio obtidos de mesmos nadadores, mas utilizando-se diferentes métodos (coleta direta em TNE, coleta direta em natação livre e método de retro-extrapolação, com coleta imediatamente após o esforço).

Participaram deste estudo de Rinehardt *et al.* (1991), 19 nadadores escolares competitivos, de ambos os sexos (meninos e meninas com idade média de, respectivamente, 16,69 ± 0,05 e 16,83 ± 0,48 anos), que realizaram dois protocolos distintos para a mensuração do consumo de oxigênio máximo: o primeiro protocolo consistia do método de TNE, em nado *crawl*, com cargas progressivas colocadas em um sistema de roldanas, a cada 30 s, até que os nadadores não conseguissem permanecer estacionários, ou seja, fossem puxados para trás pelas cargas; os indivíduos respiravam em uma máscara que possibilitava a coleta dos gases em um balão com capacidade de 5 l; as coletas eram realizadas nos últimos 30 s de cada minuto de exercício. Após, os gases eram analisados para o percentual de O₂ (Ameteck, S3A/I) e percentual de CO₂ (Beckman, LB2). O segundo protocolo consistia de duas repetições máximas, em nado *crawl*, nas distâncias de 183 m (200 jardas) e 457 m (500 jardas), com intervalo de 30 min entre as repetições.

Os nadadores eram instruídos a não respirar nos últimos 5 m no final de cada repetição, e, ao chegar à borda, respiravam diretamente na máscara, quando os gases eram coletados por 20 s após a primeira expiração, que foi utilizada para excluir o efeito do espaço morto do sistema de coleta de gases. Após todos os testes, foram coletadas,

também, amostras de sangue capilarizado a fim de verificar as concentrações sanguíneas de lactato. Os resultados indicaram altas correlações entre os valores de consumo de oxigênio obtidos do TNE e da distância de 183 m, respectivamente, $3,13 \pm 0,19$ e $3,20 \pm 0,19$ l·min⁻¹ ($r = 0,94$), do *tethered* e da distância de 457 m, $3,20 \pm 0,17$ l·min⁻¹ ($r = 0,94$) e entre as distâncias de 183 e 457 m ($r = 0,96$). Segundo os autores, a determinação do consumo máximo de oxigênio, utilizando-se amostra de 20 s de ar expirado obtidas após nado máximo, fornece fidedigna avaliação do consumo máximo de oxigênio. Ainda, de acordo com Rinehardt *et al.* (1991), a distância de 183 m mostrou ser uma alternativa mais viável, levando em consideração motivação dos nadadores e a disponibilidade dos mesmos em relação ao esquema dos treinamentos.

A validação do método de retro-extrapolação para o consumo submáximo de oxigênio foi proposta por Sleivert, Mackinnon (1991), ao compararem os valores de consumo de oxigênio obtidos com método direto e com método de retro-extrapolação de 8 indivíduos (idade média de $20,1 \pm 0,9$ anos), de ambos os sexos, realizando duas séries de exercícios, separadas por 48 h. Ambas as séries contaram com três repetições de 7 minutos em um ciclo-ergômetro, com 25 min de intervalo entre cada repetição. A 1ª série de exercícios foi realizada com as cargas de 50, 100 e 150 W e a 2ª série de exercícios foi realizada com cargas de 75, 125 e 150 W. O ar expirado pelos indivíduos era coletado em balões a cada 20 s durante o último minuto de cada repetição e, com um atraso entre 2 e 4 s, após a cessação do exercício. As concentrações percentuais de O₂ e de CO₂ do ar expirado foram determinadas usando analisadores de gases, respectivamente Applied Electrochemistry S-3A e CD-3A, e o volume de ar mensurado com um expirômetro Tissot. O consumo de oxigênio durante o exercício, neste estudo, foi calculado diretamente para cada carga pela média dos três valores de consumo de oxigênio mensurados durante o último minuto de exercício.

Nesse estudo (Sleivert, Mackinnon, 1991), para a comparação com os valores de consumo de oxigênio obtidos diretamente durante os exercícios, os valores obtidos durante a recuperação foram tratados de três maneiras diferentes: (1) aplicação de uma reta de regressão linear nos primeiros quatro valores de consumo de oxigênio da recuperação; (2) aplicação de uma reta de regressão linear nos primeiros seis valores de consumo de oxigênio da recuperação, determinados a partir de uma curva exponencial suavizada para os primeiros cinco valores; e (3) regressão exponencial de 2ª ordem para todos os valores de consumo de oxigênio da recuperação. Ao serem realizadas as comparações entre os valores obtidos, os autores concluíram que retro-extrapolação, seja exponencial, seja linear, é um método válido para prever consumo submáximo de oxigênio. Ainda sugerem que

apenas 20 s de coleta de gases pós-exercício seriam suficientes para a elaboração da regressão linear que prevê o consumo de oxigênio.

Para Carré *et al.* (1994), os movimentos de determinados esportes são muito específicos, e a utilização de equipamentos para coleta de ar expirado durante o exercício pode impedir o indivíduo de atingir seu esforço máximo. Havendo a necessidade de realizar medidas mais próximas das situações de campo, métodos, como o de retro-extrapolação, têm sido sugeridos para estimar o consumo de oxigênio. Entretanto, segundo os autores, há a necessidade de se comparar os valores de consumo de oxigênio obtidos diretamente durante o exercício e durante a recuperação, em situações desportivas que envolvam apenas a parte superior do corpo.

Assim Carré *et al.* (1994) estudaram um grupo de 18 atletas altamente treinados de canoagem (15 homens com idade média de $20,8 \pm 2$ anos e três mulheres com idade média de $22 \pm 3,5$ anos). Os participantes realizaram um teste de carga progressiva, em laboratório, utilizando um remo-ergômetro, adaptado para simular o movimento específico da canoagem. O teste consistia de estágios de 2 min de duração, com incremento de 30 W e 45 s de intervalo entre cada estágio. O ar expirado durante os últimos 30 s de cada estágio e em 4 momentos durante os primeiros 80 s da recuperação era coletado em balões meteorológicos para posterior análise dos percentuais de O_2 e CO_2 com analisador polarográfico de O_2 (Beckman OM 11) e com analisador infravermelho de CO_2 (Cosma Rubis 3000).

Os participantes deste estudo de Carré *et al.* (1994) realizaram, também, um teste de campo, em média três dias após o teste de laboratório, que consistia em percorrer, em intensidades progressivas, até a máxima intensidade no último estágio, uma distancia pré-determinada, com a técnica específica da canoagem. Tão logo os atletas atingiam o fim do teste, seguravam a respiração até que a mesma máscara, com o mesmo sistema de válvula, utilizada no teste de laboratório fosse acoplada, assim o ar expirado era coletado em balões meteorológicos e passava pelos mesmos procedimentos de análise já descritos. Ao se executarem as correlações entre os valores de pico de consumo de oxigênio encontrados nos métodos direto (durante o teste de laboratório), de recuperação (após o teste de laboratório) e de recuperação (após o teste de campo), foram encontrados valores entre 0,89 e 0,92. Por outro lado, a partir de seus resultados, Carré *et al.* (1994) afirmam que há a possibilidade do método de retro-extrapolação superestimar os valores de pico de consumo de oxigênio.

No intuito de comparar as respostas cardio-respiratórias de nadadores treinados a três diferentes exercícios máximos (esteira, ciclo-ergômetro e natação livre). Rodríguez

(2000) analisou dois grupos de nadadores de ambos os sexos em duas séries de experimentos. Participaram da primeira série 10 nadadores ($17,5 \pm 3,4$ anos de idade e $70,7 \pm 8,9$ kg de massa corporal) e cinco nadadoras ($17,0 \pm 1,6$ anos de idade e $55,8 \pm 6,6$ kg de massa corporal) e da segunda série 22 nadadores ($19,3 \pm 3,5$ anos de idade e $70,8 \pm 7,4$ kg de massa corporal) e 11 nadadoras ($16,0 \pm 1,4$ anos de idade e $58,0 \pm 6,0$ kg de massa corporal), todos altamente treinados. Na primeira série de testes, comparações foram realizadas entre pico de consumo de oxigênio e outras variáveis cardio-respiratórias para valores de recuperação pós 400 m nado livre, e durante testes incrementais em esteira e em ciclo-ergômetro. A segunda série de testes não contou com o teste de esteira, mas contou com um número maior e mais homogêneo de participantes. Nos protocolos de esteira e de ciclo-ergômetro de ambas as séries, foram obtidos valores *breath-by-breath* das variáveis respiratórias, esses dados foram suavizados por médias a cada cinco ciclos respiratórios. O teste de natação contou com a realização de 400 m, em nado crawl desimpedido, em uma piscina de 50 m, com água a 27°C. Neste teste, os valores das variáveis cardio-respiratórias foram obtidos por 30 s imediatamente após o término dos 400 m (atraso de 2 a 3 s para colocação da máscara).

Rodríguez (2000) identificou os valores de pico de consumo de oxigênio para os testes incrementais e utilizou, também, o pico de consumo durante a recuperação pós nado livre. Neste último caso, valores considerados *out-liers* (por hiperventilação ou respiração irregular) foram suavizados por regressão linear entre todos os valores da recuperação. Não foi aplicada qualquer equação para prever os valores de consumo para os 400 m, mas utilizaram-se os valores de pico, simplesmente, durante os 30 s da recuperação. Os valores de pico de consumo de oxigênio encontrados por Rodríguez (2000) foram, para a primeira série de testes: pós 400 m natação $60,3 \pm 6,2$ ml·kg⁻¹·min⁻¹; esteira: $57,3 \pm 4,8$ ml·kg⁻¹·min⁻¹ e ciclo-ergômetro: $57,3 \pm 4,8$ ml·kg⁻¹·min⁻¹; para a segunda série de testes: pós 400 m natação $57,4 \pm 7,8$ ml·kg⁻¹·min⁻¹ e ciclo-ergômetro: $56,0 \pm 7,0$ ml·kg⁻¹·min⁻¹. Não foram encontradas diferenças estatísticas entre os valores de pico de consumo de oxigênio para qualquer situação e qualquer teste. Segundo o autor, mensuração *breath-by-breath*, durante imediata recuperação após 400 m nado *crawl*, em máxima intensidade, possibilita medida válida e específica de parâmetros metabólicos, particularmente da potência aeróbia da natação.

Prioux *et al.* (2001) e Konstantaki, Swaine (1999) utilizaram ergômetros de braços a fim de determinar os valores de consumo de oxigênio em diferentes grupos de nadadores e em resposta a treinamento específico. O estudo de Prioux *et al.* (2001) preocupou-se com os efeitos do treinamento sobre as capacidades metabólicas de 10 nadadores com idade média de $15,2 \pm 3,8$ anos. A medida de consumo máximo de oxigênio foi realizada enquanto

os nadadores realizavam teste progressivo no ergômetro de braços com coleta de gases para uma bolsa com capacidade de 5 litros; os gases coletados eram analisados a fim de se verificar as frações expiradas de oxigênio e de gás carbônico, com analisadores de oxigênio (Beckmann OM11) e de gás carbônico (Cosma Diamant 6000), previamente calibrados, possibilitando a determinação das curvas de consumo de oxigênio e de produção de gás carbônico. Os valores de consumo máximo de oxigênio, encontrados por este método, no pré-teste, foram de $47,5 \pm 2,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ e no pós-teste de $47,4 \pm 1,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

Já o estudo de Konstantaki, Swaine (1999) apresentou, como objetivo, a comparação das respostas cardio-pulmonares e de lactato a exercícios de simulação de natação (apenas movimentos de pernas e apenas movimentos de braços) realizados em um *swim bench*, aparato isocinético que possibilita simular os movimentos da natação fora da água. Participaram dois grupos de nadadores: um competitivo (idade média de 21 ± 4 anos) e um recreacional (idade média de 24 ± 2 anos). Ambos os grupos realizaram testes de carga progressiva até a exaustão para movimentos de pernas, apenas e de braços, apenas. O ar expirado foi analisado usando um equipamento para coleta direta de gases (Covox Microlab, Exeter, U.K.), o qual consistia de um pneumotacógrafo e analisadores infra-vermelhos de oxigênio e gás carbônico (Servomex Ltd., Sussex, U.K.). Os gases expirados eram misturados em uma bolsa de 3 litros e amostrados a cada 30 s. O consumo de oxigênio foi registrado a cada 2 min como média dos 30 s anteriores e na exaustão. O grupo de nadadores competitivos apresentou valores de consumo de oxigênio de pico, em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, para exercício de braços e pernas, respectivamente, $3,1 \pm 0,1$ e $3,4 \pm 0,1$ e o grupo de nadadores recreacionais, respectivamente, $2,8 \pm 0,1$ e $4,1 \pm 0,1$.

Já em 2003, Keskinen *et al.*, apresentaram um novo sistema para coleta e análise de gases durante o nado. Este sistema utilizava-se de um *snorkel* modificado e de um sistema de válvulas que permitiam uma análise *breath-by-breath* durante o nado, enquanto os outros sistemas utilizam máscaras no rosto e não permitiam análise *breath-by-breath*, mas com médias de 5, 10 ou 20 s (esse último em maioria). Em um experimento realizado com vistas a validar o equipamento, esses autores concluíram que o *snorkel* modificado pode ser considerado como um equipamento válido para a coleta de gás expirados em análises *breath-by-breath*, sob condições laboratoriais, quando comparados à tradicional máscara para coleta de gases, com a vantagem de apresentar uma condição melhor de uso em natação. O estudo de Marinho *et al.* (2006), já apresentado, utilizou este novo sistema.

Em 2003, Fernandes *et al.*, em um estudo cujo objetivo era avaliar, em condições de natação livre, com nadadores de alto nível, o tempo até a exaustão na velocidade mínima que necessitaria do consumo máximo de oxigênio, utilizaram medida direta de consumo de

oxigênio em um grupo de 15 nadadores portugueses de alto nível (todos possuíam, na ocasião dos testes, como melhor marca para a prova de 400 m nado livre, tempo abaixo de 4 min 20 s). Dois protocolos foram executados: um intermitente com incrementos de $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a cada 200 m, com intervalos de 30 s, até a exaustão, com objetivo de identificar a velocidade da curva até o consumo de oxigênio máximo. Após 48 h, os nadadores foram submetidos a um protocolo que consistia de nadar até a exaustão na velocidade previamente determinada a partir do primeiro teste. Os dois protocolos utilizaram uma válvula especial conectada ao nadador para a coleta do ar expirado, e um equipamento para mensurações metabólicas (Sensomedics 2900 Oxymeter, Yorba Linda – Califórnia, USA), colocado em um carrinho que acompanhava o nadador na lateral da piscina. O ar expirado era continuamente mensurado durante todo o teste, mas os valores eram apresentados como médias a cada 20 s. Os valores obtidos de consumo máximo de oxigênio, no teste de carga progressiva foram de $76,81 \pm 6,54 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ e o tempo de permanência na velocidade de consumo de oxigênio máximo foi de $260,2 \pm 60,73 \text{ s}$.

Capelli *et al.* (1998), em um estudo realizado com 20 nadadores universitários (idade média de $18,9 \pm 0,9$ anos), identificaram o custo energético da natação em velocidades que variaram de moderada (metabolismo predominantemente aeróbio) a máxima em distâncias competitivas (50, 100 e 200 jardas), nos quatro estilos competitivos (*crawl*, costas, peito e borboleta). O consumo de oxigênio foi mensurado utilizando-se um circuito aberto durante natação de intensidade progressiva em uma piscina anular com 60 m de circunferência. Segundo os autores, a máscara para a coleta de gases foi colocada de modo a minimizar qualquer aumento na resistência durante o nado. As frações de O_2 e de CO_2 dos gases expirados foram analisadas com um analisador de O_2 paramagnético (Beckman C2, Palo Alto, USA) e com um analisador de CO_2 de infravermelho (Beckman LB-1, Palo Alto, USA). A coleta de gases era feita durante 60 s finais de cada estágio de 3 min em cada velocidade de nado. O teste era suspenso quando o nadador não mais podia sustentar a velocidade determinada para aquele estágio. Os autores encontraram, como média de consumo máximo de oxigênio, em $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, $4,24 \pm 0,49$ (equivalentes a $55,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Em relação aos resultados de economia, como todos os participantes do estudo realizaram os testes em todos os estilos, os autores concluíram que, em concordância com outros estudos prévios, que o nado *crawl* é o estilo mais econômico, mesmo em mais altas velocidades absolutas.

De acordo com Zamparo *et al.* (2005a) o total da energia metabólica dispendida para transportar a massa corporal de um indivíduo por unidade de distância é definida como custo energético de locomoção e tem sido calculada tanto incluindo, quando subtraindo os valores de custo energético do repouso. O custo energético tem sido descrito como o mais

importante determinante fisiológico para o melhor desempenho em diversas formas de locomoção humana, inclusive a natação (CAPELLI, 1999). Em alguns estudos, o custo foi estimado nos quatro estilos durante a natação em velocidades supra-máximas, nas quais a contribuição anaeróbica deve ser considerada para o cálculo do balanço energético total (OGITA, 2006), para tal devem ser considerados tanto o consumo de oxigênio, quanto a concentração de lactato líquidos, relacionados ao esforço que se deseja mensurar o custo energético (ZAMPARO *et al.*, 2005a). Para Capelli *et al.* (1998) o total de energia gasta em transportar o corpo (custo da locomoção) é usualmente dado em $\text{kJ}\cdot\text{km}^{-1}$ ou $\text{J}\cdot\text{m}^{-1}$.

O Quadro 4 apresenta um resumo, com o tamanho da amostra, a metodologia utilizada e as principais implicações, dos estudos relacionados ao consumo de oxigênio e à economia de nado.

Quadro 4. Resumo dos principais estudos encontrados a respeito do consumo de oxigênio e da economia de nado, com o tamanho da amostra (n), a metodologia e as principais implicações.

Estudo	n	Metodologia	Principais implicações
Léger <i>et al.</i> (1980)	47	Coleta direta, exercício e recuperação	Retro-extrapolação como método válido
Bonen <i>et al.</i> (1980)	21	<i>Flume, tethered</i> , natação livre, ergômetro de braço	Sem diferenças entre os métodos para mensuração do VO_2 em natação
Monpetit <i>et al.</i> (1981)	39	Retro-extrapolação a partir da recuperação	Validação do método de retro-extrapolação
Ribeiro <i>et al.</i> (1990)	15	Retro-extrapolação a partir da recuperação	Retro-extrapolação válido e reprodutível
Chatard <i>et al.</i> (1991a,b)	58	Natação livre	Nadadoras mais econômicas do que nadadores
Rinehardt <i>et al.</i> (1991)	19	<i>Tethered</i> , natação livre, retro-extrapolação a partir da recuperação	Alta correlação entre os resultados dos diferentes métodos
Wakayoshi <i>et al.</i> (1995)	10	<i>Flume</i>	Correlação entre desempenho e VO_2 em natação
Capelli <i>et al.</i> (1998)	20	Natação livre, piscina anular	Nado <i>crawl</i> é o mais econômico
Rodríguez (2000)	48	Natação (recuperação), esteira e ciclo-ergômetro	Valores de pico de VO_2 sem diferenças entre os três
Demarie <i>et al.</i> (2001)	6	<i>Flume</i>	Origem incerta do componente lento do VO_2 em natação
Fernandes <i>et al.</i> (2003)	15	Natação livre	Valores de VO_{2max} , em protocolo progressivo, de $76,81 \pm 6,54 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
Poujade <i>et al.</i> (2003)	11	Natação livre	Correlação do desempenho com VO_2 e com economia de nado

3.1.5 Parâmetros antropométricos

O estudo de variáveis antropométricas e sua relação com variáveis biomecânicas e com o desempenho também tem sido alvo de investigações (GRIMSTON e HAY, 1986; KHERIF *et al.*, 1994; PELAYO *et al.*, 1997; AVLONITOU *et al.*, 1997; GELADAS *et al.*, 2005), principalmente as que se referem à DC e FCL. Em geral, esses estudos procuram estabelecer uma relação entre os dados antropométricos, principalmente envergadura e estatura, com comprimento de braçada e desempenho, ou com efeitos do treinamento em parâmetros da composição corporal.

Grimston, Hay (1986), em um estudo com doze nadadores competitivos de uma equipe universitária norte-americana, a fim de desenvolver um modelo teórico capaz de identificar a relevância de variáveis antropométricas para o sucesso na natação competitiva, relacionaram comprimento de braçadas, FCL e velocidade de nado de provas de nado livre desses nadadores com diversos dados antropométricos. De maneira específica, os resultados encontrados indicaram que comprimento de braço, comprimento de perna e tamanho de mãos e pés relacionam-se significativamente a comprimento e FCL utilizadas, geralmente, por nadadores de *crawl* muito bem treinados.

Kherif *et al.* (1994), estudando o nado de 159 nadadores e 169 nadadoras, encontraram correlação entre comprimento de braçada e envergadura entre as nadadoras, mas não entre os nadadores. Pelayo *et al.* (1996), relacionando características da braçada do nado *crawl* com dados antropométricos, incluindo envergadura, de 303 nadadores e 325 nadadoras de nível nacional e internacional, relataram não haver encontrado diferenças nas características antropométricas entre os nadadores de diferentes especialidades, mas entre as nadadoras de 50 e 100 m, estatura e envergadura correlacionaram-se com comprimento de braçada.

A relação entre envergadura e comprimento de braçada foi estudada, juntamente com velocidade de nado e frequência de braçada, por Pelayo *et al.* (1997) em um grupo de 2058 nadadores de ambos os sexos (1097 nadadores e 961 nadadoras), não competitivos, de 11 a 17 anos, com objetivo de verificar a influência do sexo e do crescimento nas variáveis biomecânicas de nado. Foram mensuradas as variáveis antropométricas estatura, massa e envergadura e as variáveis biomecânicas do nado *crawl* velocidade de nado, comprimento e FCL. As variáveis biomecânicas foram obtidas de modo manual, sem a utilização de videogrametria, a partir do registro, em um cronômetro, do tempo gasto para nadar 50 m e do número de braçadas efetuado nos 50 m. Os resultados indicaram que a

FCL permanecia constante nas diferentes idades e o comprimento de braçadas aumentava, possibilitando as maiores velocidades apresentados, no estudo, pelos indivíduos mais velhos. O parâmetro biomecânico comprimento de braçada foi influenciado, positivamente, pela envergadura do sujeito, sem diferenças significativas entre nadadores e nadadoras.

Estimativas da composição corporal por três diferentes métodos foram realizadas por Avlonitou *et al.* (1997) em 16 nadadores (idade média de $20,8 \pm 3,7$ anos) e 16 nadadoras (idade média de $17 \pm 2,1$ anos) gregos, com o objetivo de verificar os efeitos do treinamento de natação em diferentes aspectos da composição corporal. O nível de desempenho dos participantes foi expresso em relação ao recorde mundial da prova em que eram especialistas. O recorde mundial, em s, equivale a 1000 pontos, os nadadores apresentaram um nível médio de desempenho de $757,6 \pm 52,7$ pontos e as nadadoras um nível médio $715,9 \pm 49,4$ pontos. Os procedimentos utilizados foram de dobras cutâneas (nos nadadores mensuradas as dobras tricipital e escapular e nas nadadoras as dobras tricipital e abdominal) com os cálculos a partir das formulas desenvolvidas por Parizkova (1961; citado por Avlonitou *et al.* 1997); absorptometria radiológica de dupla energia (DEXA) e procedimento do isótopo K-40.

Além da composição corporal, Avlonitou *et al.* (1997) avaliaram o pico de torque, em um dinamômetro isocinético (Cybex-340), de extensores e flexores de ombro. A comparação dos 3 métodos de análise da composição corporal não mostrou diferenças nos parâmetros de gordura corporal total (método de dobras cutâneas: 14,2 %, DEXA: 15,5 % e K-40: 14,7 %) e massa corporal livre de gordura (dobras cutâneas: 85,8 %; DEXA: 84,5 % e K-40: 85,3 %). Os nadadores apresentaram, em média, menor percentual de gordura corporal ($11,8 \pm 3,1\%$) do que as nadadoras ($19,1 \pm 3,6\%$), o que, segundo os autores vai ao encontro das teorias que afirmam que as nadadoras possuem uma melhor posição hidrodinâmica em relação aos nadadores, em virtude de apresentarem um maior volume de gordura corporal, permitindo, assim, melhor flutuação. Em relação ao rendimento, os autores encontraram correlações significativas no grupo de nadadores com idade (0,66), densidade mineral óssea (0,65), densidade óssea da coluna lombar (0,59), conteúdo ósseo total de minerais (0,62) e massa corporal magra (0,54). Já no grupo de nadadoras, não foi encontrada nenhuma correlação significativa entre os mesmos parâmetros e o rendimento em natação.

Com o objetivo de examinar as relações entre antropometria, capacidades físicas e desempenho em velocidade e obter uma equação de predição de desempenho para a prova de 100 m nado livre a partir das características antropométricas, Geladas *et al.* (2005) avaliaram 263 nadadores de ambos os sexos, com idades médias de $12,78 \pm 0,047$ (grupo masculino) e $12,68 \pm 0,063$ (grupo feminino) anos. Foram obtidas as medidas de (variáveis

independentes): massa corporal (kg), estatura, envergadura, comprimento da mão, comprimento do pé, perímetro de tórax, diâmetros biacromial e bi-ilíaco (todas em cm) flexibilidade de tornozelo e flexibilidade de ombro (ambas em graus), impulsão horizontal (cm), força de preensão manual (kg), percentual de gordura e (variável dependente) desempenho na prova de 100 m nado livre (tempo da prova, em s). Os grupos masculino e feminino apresentaram como média de desempenho na prova de 100 m nado livre, respectivamente, $62,52 \pm 0,25$ s e $68,10 \pm 0,22$ s. O grupo de nadadores apresentou correlações significativas entre o desempenho e todas as variáveis independentes, exceto as duas medidas de flexibilidade (tornozelo e ombro) enquanto que o grupo de nadadoras apresentou correlações significativas entre desempenho e, apenas, estatura, envergadura, comprimento da mão, flexibilidade de ombro e impulsão horizontal.

Neste estudo de Geladas *et al.* (2005), para os nadadores, envergadura, impulsão horizontal e força de preensão manual foram capazes de explicar 60% da variância do desempenho na prova de 100 m nado livre, ao passo que, para as nadadoras, massa corporal, comprimento da mão e salto horizontal, foram capazes de explicar, apenas, 17% da variância do desempenho. Segundo os autores, a vantagem prática do modelo descrito é a introdução de um procedimento econômico e de fácil implantação a fim de: (a) selecionar jovens nadadores e (b) identificar os fatores que afetam o desempenho em prova de 100 m nado livre. Por outro lado, sugerem que outros fatores, não mensurados, como as capacidades aeróbia e anaeróbia podem, também, influenciar o desempenho na prova de 100 m nado livre.

Arellano *et al.* (1994), em uma análise de diversas características de nadadores de ambos os sexos olímpicos das provas de 50, 100 e 200 m nado livre, eliminatórias e finais, encontraram correlações significativas entre estatura e desempenho (identificado como o tempo) para as três provas analisadas e ambos os sexos. Para os homens, respectivamente 50, 100 e 200 m nado livre, as correlações foram: - 0,69; - 0,75 e - 0,52. Para as mulheres, mesmas provas, respectivamente: - 0,55; - 0,52 e - 0,50. Além desses resultados, os autores encontraram de modo corrente, correlações entre a estatura e distância média percorrida por ciclo de braçadas. Segundo Arellano *et al.* (1994), esses achados ajudam a elucidar e fortalecer o reconhecimento da estatura como um atributo físico primário a nadadores especialistas em nado livre de elite. O Quadro 5 apresenta um resumo, com o tamanho da amostra, a metodologia utilizada e as principais implicações, dos estudos relacionados a antropometria e natação.

Quadro 5. Resumo dos principais estudos encontrados a respeito dos parâmetros antropométricos e natação, com o tamanho da amostra (n), a metodologia e as principais implicações.

Estudo	n	Metodologia	Principais implicações
Grimston e Hay (1986)	12	Medidas lineares	Correlações entre medidas lineares com DC e FCL
Kherif <i>et al.</i> (1994)	328	Medidas lineares	Correlações entre envergadura e DC apenas em nadadoras
Arellano <i>et al.</i> (1994)	355	Medidas antropométricas e cinemáticas	Correlações entre estatura e desempenho nos 200 m
Pelayo <i>et al.</i> (1997)	2058	Medidas lineares e crescimento	FCL se mantém constante em diferentes idades; DC aumenta com idade e apresenta correlação com envergadura
Avlonitou <i>et al.</i> (1997)	32	Composição corporal: dobras cutâneas, DEXA, isótopo K-40	Sem diferença entre os métodos em relação ao percentual de gordura em nadadores
Geladas <i>et al.</i> (2005)	263	Antropometria geral e medidas de capacidade física	Meninos com diferentes fatores que determinam o desempenho em relação a meninas

3.2 Modelo do desempenho

De acordo com Hughes e Bartlett (2002) um indicador de desempenho é uma seleção, ou uma combinação, de variáveis de ação que objetiva definir algum ou todos os aspectos do desempenho, neste caso os indicadores de desempenho deveriam estar relacionados ao sucesso desportivo. As relações entre os indicadores acabam por produzir modelos hierárquicos que buscam descrever o desempenho. Para Costill (1985), os principais fatores que contribuem para o desempenho em natação estariam relacionados aos componentes de fluxo energético, de força muscular, de biomecânica, de resistência e flutuação e de resistência ao processo de fadiga.

Dentre os estudos revisados e apresentados nos diversos capítulos deste projeto, pode-se verificar, em alguns (RIBEIRO *et al.*, 1990; ARELLANO *et al.*, 1994; AVLONITOU, 1996; PELAYO *et al.*, 1997; DESCHODT, ROUARD, 1999; CAPUTO *et al.* 2000; CASTRO *et al.*, 2003; POUJADE *et al.*, 2003; JÜRIMÄE *et al.*, 2007) a existência de correlações de diversos fatores, identificados com aqueles citados por Costill (1985), com o desempenho em natação. Mas não foi possível encontrar, até o momento, algum estudo que buscasse uma compreensão mais global do desempenho, com múltiplas correlações. Mas pode-se admitir que o desempenho em natação tem sido relacionado a diferentes fatores antropométricos, fisiológicos e biomecânicos. De modo específico, segundo Jürimäe *et al.* (2007) desempenho máximo depende do total de energia metabólica dispendida em transportar o corpo do atleta e da economia de movimento relacionada à unidade de distância nadada (CAPELLI *et al.*, 1998; ZAMPARO *et al.*, 2000).

Por outro lado, parece que há, na literatura, uma maior preocupação com modelos relacionados aos efeitos do treinamento sobre o desempenho, tanto com artigos experimentais (STEWART e HOPKINS, 2000), quanto em artigos de revisão (TAHA e THOMAS, 2003). Estes estudos buscam, a partir de modelos matemáticos, a compreensão das relações entre fadiga e desempenho, principalmente nos níveis cardiovascular, muscular, técnico e psicológico. Estes estudos utilizam os dados de volume e intensidade do processo de treinamento a fim de prever a performance. De acordo com Taha e Thomas (2003), citando Calvert *et al.* (1976), o modelo mais simples que pode explicar os efeitos do treinamento sobre o desempenho seguiria a seguinte equação:

Equação 1

$$des = condgeral - K(fadtrein)$$

Onde *des* é o desempenho, *condgeral* é o nível de condicionamento pré-treinamento, *K* é uma constante que é ajustada para a magnitude do efeito relativo ao efeito de condicionamento e *fadtrein* é a fadiga propiciada pelo treinamento.

Para Avalos *et al.* (2003), a relação entre treinamento e desempenho é particularmente importante para técnicos de esportes de elite, os quais procuram por fenômenos reproduzíveis em treinamento que sejam úteis para a organização do programa de treinamento.

3.3 Treinamento para a prova de 200 m nado livre

As provas competitivas de natação, em piscina, envolvem quatro estilos (peito, costas, borboleta e livre – quando normalmente é executado o nado *crawl*) e acontecem entre distâncias que variam dos 50 aos 1500 m. Essas provas tendem a variar entre 23 s e 14 min 40 s (50 a 1500 m), de acordo com Toussaint, Hollander (1994), requerendo consideráveis força, potência, resistência e técnica. Torna-se óbvio, então, que esses diferentes eventos produzem diferentes demandas no corpo do nadador e, assim, uma análise detalhada dessas demandas deveria formar a base dos programas de treinamento, levando-se, em consideração, as deficiências individuais que podem afetar o encontro dessas demandas pelos nadadores.

Considerando a propulsão final que pode ser obtida por um nadador, de maneira geral, o treinamento de natação é estruturado sobre duas necessidades: (1) incremento da força propulsiva (aplicada pelo nadador na água) e (2) redução da força resistiva (encontrada pelo nadador na água), conforme Equação 2:

Equação 2

$$PF = Fp - Fr$$

onde PF é a propulsão final, Fp a força propulsiva e Fr a força resistiva. Assim um nadador pode aumentar sua propulsão final por incremento de força propulsiva, redução de força resistiva ou combinações entre as mesmas.

Por outro lado, de acordo com Toussaint, Truijens (2005), é tentador pensar que o desempenho em natação, para o ser humano, dependa, de maneira inequívoca da interação entre as forças propulsivas e resistivas. Este raciocínio ignora o fato que parte do trabalho mecânico gerado pelo nadador é, necessariamente, utilizado com fins de fornecer à água energia cinética. Considerando que a propulsão é obtida contra massas de água que adquirem um momento retrógrado, ou seja, parte do trabalho mecânico do nadador durante a fase de empurrada é despendido em mover a água e outra parte, menor, é utilizada para superar a resistência criada pelo corpo em movimento. Mas, de qualquer forma, não invalida o raciocínio de melhoria da propulsão final pela alteração das forças propulsivas e resistivas.

Para o incremento da força propulsiva, um nadador é submetido a diferentes processos de treinamento que apresentam, por objetivos, a melhoria da técnica (que permite uma melhor aplicação da força do nadador na água) e a melhoria das condições fisiológicas

(para adequados aporte energético, força muscular e resistência de força muscular). Já para a redução das forças resistivas, o processo de treinamento é centrado, basicamente, na melhoria das técnicas de nado, que permite uma redução da resistência ao avanço. Desse modo, podem ser identificados, no mínimo, dois grandes eixos do treinamento em natação (Toussaint e Hollander, 1994): um eixo que busca adaptações fisiológicas e um eixo que busca adaptações biomecânicas (técnica). Esses eixos podem ser considerados interdependentes, ao passo que adaptações em um ou outro eixo acabam por interferir, com certeza, nas manifestações de ambos os eixos. Em relação às adaptações fisiológicas, um nadador realiza treinamentos para melhoria:

(1) das resistências aeróbia e anaeróbia:

Resistência aeróbia é incrementada, basicamente, com a realização de séries caracterizadas como aeróbias extensivas e intensivas, de nado contínuo e/ou intervalado, realizadas sob intensidades desde plenamente aeróbias até anaeróbias lácticas (neste último caso as séries caracterizadas por estímulos de consumo máximo de oxigênio). Já a resistência anaeróbia é treinada com a realização de séries caracterizadas por intensidades plenamente anaeróbias, de nado intervalado (como tolerância ao lactato) (Olbrecht, 2000).

(2) das potências aeróbia e anaeróbia:

Potência aeróbia é melhorada com a realização de séries intervaladas, sob intensidades acima de limiar anaeróbio, que possibilitem uma sobrecarga extrema no sistema mitocondrial. O treinamento de potência anaeróbia é realizado com séries curtas de altíssima intensidade, muito próximas dos 100%, com simulação das provas mais curtas (50, 100 e, em alguns casos, 200 m) (Olbrecht, 2000).

(3) da velocidade e da resistência de velocidade:

A velocidade pura de nado é treinada com séries realizadas sob máxima intensidade, mas de curtíssima duração, que buscam a sobrecarga do sistema fosfagênio, mas com intervalos suficientes à completa recuperação. Já a resistência de velocidade é treinada com estímulo de manutenção de altas velocidades de nado, por distâncias curtas e intervalos menores, simulando as intensidades das provas (Olbrecht, 2000).

(4) da força e da resistência de força:

Os treinamentos da força e de sua resistência, para a natação, podem ser realizados sob diferentes condições, visando a melhoria da força geral (treinamentos comuns de força fora da água) e da força específica (treinamentos com simulação do gesto e treinamentos com sobrecargas dentro da água) (Olbrecht, 2000).

(5) da flexibilidade:

Flexibilidade é treinada, normalmente, em sessões separadas do treino dentro da água, visando incremento ou manutenção das amplitudes articulares, com adaptações dos tecidos, para, principalmente, a melhoria e/ou a manutenção da técnica.

Em relação às adaptações biomecânicas, um nadador realiza treinamentos para melhoria das técnicas de nado, saídas, viradas e chegadas. Essas melhorias possibilitam tanto um incremento de força propulsiva, quanto uma redução de força resistiva. Essa redução está relacionada à Equação 3:

Equação 3

$$D = k \cdot v^2$$

onde D é a resistência total ao avanço, k uma constante que incorpora a resistência de fricção, a resistência de pressão e a resistência de onda (equações específicas apresentadas no anexo 1), e v a velocidade de deslocamento do nadador. Ou seja, agudamente, quando são consideradas as forças resistivas encontradas pelo nadador, considerando constantes as características do meio (densidade e viscosidade), o coeficiente de arrasto do nadador e sua área de secção transversa, poderão alterar-se a forma do corpo (diferentes posições para execução das técnicas de nado) e a velocidade de deslocamento. Assim o treinamento da técnica, buscando adaptações biomecânicas, irá, basicamente, buscar melhores posições e orientações do corpo e de seus segmentos durante as fases dos nados, saídas, viradas e chegadas. Este treinamento de técnica é executado sob diversas orientações: execução de exercícios específicos, execução dos gestos com orientação verbal para correção, execução do gesto com utilização de *feed-back* aumentado (imagem da própria técnica), com variação de intensidade.

Ainda, de acordo com Tanaka *et al.* (1993) incrementos de força nos membros superiores, obtido de treinamentos específicos de força, podem resultar em maiores valores máximos de força por braçada e, por sua vez, incrementar o desempenho em natação de velocidade.

De modo específico, segundo Maglischo (2003), nadadores especialistas nas provas de 200 m necessitam incrementar sua capacidade aeróbica a um nível elevado e, diferente de nadadores especialistas em provas de 50 e 100 m, precisam melhorar o perfil aeróbio das fibras musculares de contração rápida, mesmo que a taxa de metabolismo anaeróbio decresça e acabe por reduzir a velocidade contrátil e a força nesse tipo de fibra. O incremento dos processos de tamponamento deve ser um dos principais objetivos do treinamento, por meio de séries que sobrecarreguem o metabolismo aeróbio e séries que

simulem os ritmos de prova (*race-pace*). Segundo Maglisco (2003), nadadores especialistas de provas de 200 m não necessitariam realizar séries com ênfase em tolerância ao lactato, já que as séries de limiar anaeróbio e as séries de *race-pace* seriam suficientes para tanto melhorar o tamponamento do lactato, quanto para melhorar a capacidade aeróbia das fibras do tipo II.

A organização do treino, sob a perspectiva de aperfeiçoar os ganhos propiciados por cada zona específica de treinamento, tem se mostrado como uma estratégia eficaz para que os nadadores atinjam seus objetivos nos momentos planejados e, além disso, já se preparar para futuras cargas. Normalmente, antes de cada competição-alvo, é utilizado um período mais específico de treinamento conhecido como polimento (*tapering*), definido como uma progressiva e não-linear redução das cargas de treinamento durante um período variável de tempo, a fim de reduzir o *stress* fisiológico e psicológico do treinamento diário e aperfeiçoar o desempenho desportivo (MUJIKÁ *et al.*, 2002). Este processo específico de treinamento é capaz de alterar a potência de nado e as características contráteis, principalmente, de fibras do tipo II (pico de força, pico de tensão e velocidade de encurtamento), o que possibilita o melhor desempenho principalmente em provas mais curtas, dependentes da velocidade e da potência, nem tanto da resistência (TRAPPE *et al.*, 2000).

De acordo com Termin, Pendergast (2000), o treinamento corrente e mais comum, de natação, tende a focar em grandes distâncias percorridas, sob diferentes intensidades, mas com grande predomínio de metabolismo aeróbio, e, frequentemente, combinado com treinamento de força em terra, culminando em um período de *tapering*. Para esses autores, seria razoável especular que programas de treinamento que são baseados em baixas intensidades de nado, com altos volumes de treino, não conseguem provocar *stress* suficiente ou estímulo apropriado a fim de se causar adaptações ótimas. Esse tipo de treinamento convencional leva à redução das concentrações de glicogênio muscular e fadiga crônica, essas adaptações, em conjunto, poderiam comprometer o desempenho dos nadadores tanto nos treinamentos, quanto nas competições.

3.4 Análise crítica da literatura

O desempenho de um nadador, entendido como o tempo que ele leva para percorrer a distância da prova sob as regras estabelecidas, está sob influência de diversos fatores: biomecânicos, fisiológicos, antropométricos. A necessidade de avaliação desses fatores reside, exatamente, na busca pela melhoria de desempenho. Se o desempenho é dependente, não apenas de cada fator, mas de cada fator e de suas inter-relações, por exemplo, da força de propulsão (estimada pelo método de nado estacionário) e sua influência no comprimento médio de braçada (que por sua vez é determinante da velocidade média de nado), a correta estimativa, não apenas de cada fator, mas do nível de sua influência quando observado junto a outros fatores, torna-se imprescindível quando o objetivo é a busca pelo rendimento, obtido por treinamento sistematizado e adequado.

Em relação aos fatores aqui revisados, cabe frisar e apresentar questões relativas às metodologias empregadas, à relativa falta de estudos que buscaram as inter-relações entre as variáveis e à escolha dos parâmetros que, a partir da revisão, parecem ser, em resposta ao treinamento, os mais relevantes para o desempenho.

De modo mais específico, os estudos que trataram da verificação das forças resultantes do nado, com o método de nado estacionário, apresentaram valores de correlação, entre as forças, o impulso e a velocidade de nado, ou ao desempenho, fortes e significativos. Porém há que se considerar, neste método, a perda de condições mais específicas de nado, já que o nadador não se desloca na água, fica preso ao cabo e à borda. Se o objetivo da natação é o deslocamento no meio aquático, há, então, algum problema em relação à coerência interna do método, que pode alterar condições básicas de posicionamento do corpo e trajetórias dos segmentos enquanto desenvolvendo forças propulsivas. Mas, devido às características intrínsecas da natação, poucas seriam as alternativas de avaliação das forças mais diretamente relacionadas à propulsão, e, provavelmente, apresentariam similares problemas. Ou seja, é um método que avalia um importante componente do desempenho em natação, mas que, ao ser utilizado, deve ser compreendido, também, em função de suas limitações. Como há variação das forças durante o teste e diversas podem ser as opções de análise dos resultados de um teste de TNE, a utilização do impulso total, pela integral entre a força e o tempo (30 s) parece reduzir possível erro relacionado à distribuição dos dados de força. Já que este método utiliza todos os valores registrados ao longo do tempo e, além disso, já foi demonstrada correlação significativa entre o impulso total e o desempenho em provas de 200 e 400 m.

Uma estratégia que poderia resultar em um componente de maior validação do método seria comparar a frequência de ciclos de braçada que o nadador utiliza no método de TNE com a frequência usualmente utilizada na prova que mais se aproxima das características do teste, já que este é normalmente aplicado em máximo esforço por determinado tempo. Já que o nadador não se desloca, é inviabilizada a comparação de parâmetros como o comprimento de braçada (compreendido como a distância percorrida a cada ciclo), a velocidade de nado e o índice de nado. Ainda, se o treinamento de natação busca, também, um aporte de força propulsiva, é de se esperar que a força mensurada no método de TNE seja contribuinte do rendimento e passível de ser alterada em resposta ao treinamento.

Torna-se clara, também, a importância que os parâmetros cinemáticos do nado, especificamente, as relações entre comprimento e frequência de braçada, na determinação da velocidade de nado e suas relações com o desenvolvimento da técnica (refletida na habilidade de atingir e manter altos valores de comprimento de braçada aliados a altas velocidades médias de nado) e o nível de capacidade aeróbia (refletida na resistência em manter valores de FCL elevados). Os parâmetros cinemáticos, então, possibilitariam uma avaliação indireta, também, do desempenho técnico e do desempenho em resistência. Dentre as variáveis cinemáticas, com base na literatura revisada, a DC e a FCL parecem, por si só, serem as mais importantes para estudos de desempenho.

Adaptações dos parâmetros cinemáticos do nado, que ocorrem tanto em resposta aos treinamentos, quanto durante um esforço máximo, em nadadores de alto nível, muitas vezes são sutis. Pequenas alterações de comprimento e/ou de frequência de braçada produzem novos valores de velocidade de nado. Métodos que consigam, com precisão, demonstrar essas sutis diferenças são fundamentais quando da análise da cinemática do nado. Falsa precisão na determinação dos valores, por exemplo, pode determinar que um nadador, durante uma prova, tenha alterado seu comprimento de braçada que, aliado a, pelo menos, um mesmo valor de frequência de braçada, levaria a valores de velocidade de nado diminuídos, com uma falsa interpretação de adaptação ao esforço.

Neste caso, método manual para determinação das variáveis cinemáticas, com apenas mensuração da velocidade de nado pelo quociente entre a distância da prova e o tempo gasto (utilização de valores superestimados de velocidade de nado pela contribuição de saída e/ou viradas) e com contagem visual de número de ciclos, não poderia ser aceito. Assim a utilização de métodos de videogrametria passa a ser fundamental em relação à confiabilidade dos resultados, levando em consideração as particularidades inerentes ao método.

Já em relação ao consumo de oxigênio e natação, pode-se perceber a dificuldade que o meio aquático provoca a fim de se medir, de maneira precisa, esta variável. Assim diversos métodos foram e são testados, buscando suas validações. Possivelmente a coleta de gases durante o nado, em um equipamento que reduzisse ao máximo a resistência extra oferecida ao nadador, é um dos métodos que melhor reproduz as condições reais da modalidade.

Em termos práticos, o acesso a equipamentos desse nível ainda não se encontra possível. Desse modo, e desde que se respeitando as quatro condições citadas por Monpetit *et al.* (1981), em relação à obtenção de valores de consumo máximo de oxigênio, o método de retro-extrapolação a partir da curva de recuperação do consumo de oxigênio parece ser um método confiável, embora, no presente estudo não sejam buscados os valores de consumo máximo de oxigênio, mas aqueles atingidos durante esforços máximos em 200 m nado livre (o que não garante que sejam representativos do consumo máximo de oxigênio).

O custo energético, ou energia total, obtido pelo consumo líquido de oxigênio e pela concentração líquida de lactato, e seu desdobramento, a economia de nado, quando a velocidade é considerada em conjunto, parecem representar uma variável fundamental em relação ao desempenho em natação. Suas possibilidades de interpretação podem refletir tanto condições fisiológicas, quanto biomecânicas (manutenção, aumento ou diminuição da velocidade média de nado), exercendo um papel fundamental no desempenho em geral e, de modo mais específico, na resistência à fadiga, na produção energética e na obtenção de melhores indicadores técnicos (relacionados à obtenção de maior velocidade média de nado por incrementos no comprimento da braçada). Assim esta variável poderia ser classificada como biofísica, além das classificações de variável cinemática ou fisiológica.

Neste estudo, que busca a análise da prova de 200 m nado livre, a utilização do consumo de oxigênio, apenas, para indicar economia, não parece ser adequado, já que a participação do metabolismo anaeróbio, para tal evento, é inevitável. Desse modo, a utilização dos valores líquidos de concentração de lactato, transformados em valores equivalentes de consumo de oxigênio, somados à energia do metabolismo aeróbio, parece ser a mais adequada metodologia a fim de que seja identificado o custo energético do evento competitivo. Este metodologia, no entanto, não descarta a possibilidade de análises em separado do consumo de oxigênio e da concentração de lactato em relação ao desempenho.

As características antropométricas de um nadador, influenciadoras tanto das capacidades propulsivas, quanto das resistivas, são variáveis que, de maneira clara,

possuem papel no desempenho. Por outro lado, suas influências ainda não estão completamente estabelecidas e medidas como estatura e envergadura não são influenciadas pelo treinamento. Quando da análise das equações (Anexo 1) que determinam a resistência no meio aquático, torna-se claro que as medidas corporais tanto podem incrementar os níveis de resistência (pela área de secção transversa corporal), quanto os reduzir (quando analisada a resistência de onda e a influência da estatura).

Um modelo matemático que tente explicar o desempenho em natação e, de modo específico, na prova de 200 m nado livre, parece ser uma lacuna na produção científica desportiva. Os modelos apresentados são em relação à compreensão dos efeitos do treinamento sobre o desempenho ou sobre a importância das características antropométricas, mas não em relação à contribuição de cada fator limitante no próprio desempenho. A explicação do desempenho, a partir de parâmetros que possam ser treinados de modo sistemático (exceto as características antropométricas), mesmo de modo indireto, poderia ser uma poderosa ferramenta na prescrição do treinamento em natação.

Assim selecionam-se parâmetros como possíveis determinantes do desempenho, cinemáticas (distância média percorrida por ciclo de braçada (DC), frequência média de ciclo de braçada (FCL), coeficientes de variação da velocidade média de nado (cvVN), da distância média percorrida por ciclo de braçada (cvDC) e da frequência média de ciclo de braçada (cvFCL)), fisiológicas (consumo de oxigênio líquido (VO_2l), concentração líquida de lactato ([LAL]), e energia total (E_{tot}), cinéticas (impulso total em nado estacionário (IMP) e taxa de variação do impulso total (TIMP)) e antropométricas (estatura (EST), envergadura (ENV), massa (MAS) e somatório de quatro dobras cutâneas (Σ DOB)).

4 Materiais e métodos

4.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa caracteriza-se como sendo do tipo *ex-post-facto*, no modelo descritivo comparativo, de corte transversal.

4.2 Variáveis em estudo

Variáveis deste estudo são:

Dependente:

- a. Desempenho (DES): definido como o tempo obtido na prova de 200 m nado livre e expresso em pontos (DESP) do recorde mundial da prova, conforme Avlonitou *et al.* (1997).

Independentes:

- a. Variáveis cinemáticas: relacionadas à descrição do nado em função das medidas de distância e tempo. São elas a frequência média de ciclos de braçadas (FCL, número médio de ciclos efetuados por s, durante nado *crawl* expressa em Hz) e a distância média percorrida por ciclo de braçadas (DC, expressa em m); variáveis obtidas durante uma prova de 200 m nado livre.
- b. Variáveis fisiológicas: consumo de oxigênio (VO_2) e concentração de lactato (LA) que, possibilitaram a obtenção da variável energia total (Etot), pelos valores líquidos de consumo de oxigênio e da taxa de concentração de lactato sanguíneo (transformada em valores de consumo de oxigênio pela aplicação de uma constante, BARBOSA *et al.*, 2006);
- c. Variáveis cinéticas: relacionadas à descrição das forças envolvidas na propulsão: impulso total (IMP) obtido em um teste máximo de nado estacionário (30 s), pela

integral entre a força e o tempo, expresso em N·s e taxa de impulso (TIMP) ao longo dos 30 s do TNE;

- d. Variáveis antropométricas: relacionadas às características corporais dos participantes. São elas a envergadura (ENV, maior distância horizontal entre os extremos dos membros superiores durante uma abdução de ombro a 90°, expressa em m), a estatura (EST, maior distância entre o vértice e o chão, estando o indivíduo em posição anatômica, expressa em m), a massa corporal total (MAS, expressa em kg) e o somatório de quatro dobras cutâneas selecionadas (Σ dob; tricipital, abdominal, supra-ilíaca e subescapular, expressa em mm).

Foram definidas como variáveis de controle, deste estudo, a temperatura da água da piscina onde foram realizados os testes (entre 30,2 e 31,3°C) e a hora do dia de realização dos mesmos, todos no turno da manhã, entre 8h30 e 12h. Variáveis intervenientes deste estudo foram o nível de condicionamento dos participantes, relacionado aos treinamentos realizados à época das coletas de dados e o nível de motivação dos mesmos em realizar um esforço máximo.

4.3 População e amostra

A população deste estudo foi de nadadores competitivos com, no mínimo, 16 anos de idade e quatro anos de experiência na modalidade, com índice de participação em Campeonato Brasileiro de Natação. A amostra foi formada a partir da Equação 4, que indica o tamanho amostral de acordo com o erro tolerado de medida para cada variável que entrou no modelo de correlação.

Equação 4

$$n = \frac{Z^2 * dp^2}{e^2}$$

onde n é o tamanho da amostra, Z é o valor tabelado em relação ao nível de significância deste estudo (1,96 para $\alpha = 0,05$), dp é o desvio-padrão da variável em questão, obtido da literatura específica e e o erro de medida tolerado (estimado em 5%) e aplicado sobre a média da variável em questão obtida da literatura. Os estudos utilizados para a obtenção dos valores de média e desvio-padrão apresentam metodologias similares às propostas neste projeto. Os valores de média e desvio-padrão da variável DES foram obtidos dos resultados dos dez primeiros colocados da prova de 200 m nado livre, do Torneio Classe

Aberta de Natação, organizado pela Federação Gaúcha de Desportos Aquáticos, realizado no dia 1 de abril de 2006 e disponíveis no *site* www.fgda.com.br.

As variáveis que entraram no cálculo da amostra, o *n* calculado e o estudo de onde foram obtidos os valores de média e de desvio-padrão estão no Quadro 6.

Quadro 6. Variável, estudo fonte dos dados e *n* calculado para definição do tamanho da amostra. DES: desempenho; FCL: frequência de braçadas; DC: comprimento de braçadas; IMP: impulso total; Etot: energia total; ENV: envergadura; EST: estatura; MAS: massa corporal.

variável	Estudo fonte	<i>n</i> calculado
DES	www.fgda.com.br (2006)	3
FCL	Castro <i>et al.</i> (2005)	7
DC	Castro <i>et al.</i> (2005)	12
IMP	Papoti <i>et al.</i> (2003)	3
Etot	Zamparo <i>et al.</i> (2005a)	4
ENV	Chatard <i>et al.</i> (1990)	7
EST	Chatard <i>et al.</i> (1990)	5
MAS	Chatard <i>et al.</i> (1990)	3

Considerando a maior amostra encontrada pelo cálculo proposto (12 indivíduos, para a variável DC) e as particularidades do método estatístico proposto às páginas 94 e 95, que não admite uma amostra menor que o dobro do número total das variáveis de entrada em cada modelo mais um, a amostra deste estudo foi composta por 12 indivíduos. Os participantes eram de quatro equipes filiadas à Federação Gaúcha de Desportos Aquáticos e estavam treinando normalmente, sem interrupções, entre dois e três meses desde o início da temporada, após as férias de verão, todos em um período de acumulação de treino. Quando das avaliações, os participantes realizavam entre cinco e nove sessões de treinamento semanais (nove participantes realizavam seis sessões semanais), totalizando, em média, por semana, 37 ± 7 km de natação. A média de melhor resultado dos participantes deste estudo, até a data das avaliações, na prova de 200 m nado livre, em piscina de 25 m, era de $125,2 \pm 2,7$ s.

Os participantes deste estudo foram devidamente informados sobre todos os procedimentos realizados, podendo se retirar do estudo se assim o desejassem (Anexo 2 apresenta o Termo de Consentimento apresentado aos participantes). Este projeto foi avaliado pelo comitê de ética em pesquisa desta Universidade, tendo sido aprovado, sob registro número 2007691 (Anexo 3).

4.4 Procedimentos de aquisição das variáveis

4.4.1 Instrumentação

Os equipamentos utilizados são apresentados pelos grupos de variáveis já descritos:

1. Variáveis antropométricas: balança marca Filizola, modelo 31, com resolução de 0,1 kg; estadiômetro marca *Filizola*, modelo 31, com resolução de 0,01 m, trena com resolução de 0,01 m; adipômetro científico Sammy, com resolução de 0,1 mm; ficha para apontamento dos dados.
2. Variáveis cinemáticas: uma câmera de vídeo digital (JVC, modelo GR-DVL9800) de 25 quadros por segundo (quadros entrelaçados); tripé; régua de calibração (2 m); sistema de videogrametria DVideo 6.0; microcomputador portátil (Packard Bell, processador Pentium IV; 80 gigabytes de memória, 512 megabytes de memória RAM); ficha para apontamento dos dados; dois cronômetros manuais (Casio, HS-50W, resolução de 1/100);
3. Variáveis fisiológicas: consumo de oxigênio: ergoespirômetro portátil KB1C (Aerosport, EUA); máscara de neoprene para respiração no ergoespirômetro, pneumotacógrafos de baixo e médio fluxo; cronômetro digital manual; ficha para apontamento dos dados. Concentração de lactato: aparelho portátil para mensuração de lactato sanguíneo Accusport (Roche); fitas para coleta de sangue (Roche); lancetas; álcool; papel-toalha; luvas cirúrgicas; cronômetro digital manual; ficha para apontamento dos dados;
4. Variáveis cinéticas: microcomputador portátil (HP, processador Pentium II, 20 gigabytes de memória, 128 megabytes de memória RAM); célula de carga modelo ZX 250 (Alfa Instrumentos, SP) com sensibilidade de 2 mV/V e capacidade para 250 kg; condicionador de sinais 3103 (Alfa Instrumentos, SP); placa conversora analógica digital PCM-DAS165/16 (Computer Boards, EUA) de 16 bytes e 300 kHz; sistema de aquisição de dados SAD32p; cabo de aço com 6 m de comprimento e 3 mm de diâmetro e um cinto de tecido preso a uma de suas extremidades; ficha para apontamento dos dados;

4.4.2 Obtenção e processamento dos dados obtidos das coletas

Todos os protocolos de avaliação foram aplicados na piscina de 25 m da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Após um período de repouso (15 min), à borda da piscina, os nadadores realizaram aquecimento, nadando 800 m, nado livre em baixa intensidade, após realizaram um teste máximo de 200 m, no estilo *crawl*, após executaram 600 m em baixa velocidade, caracterizando um nado regenerativo. A fim de se obterem os

valores de variáveis cinemáticas, cinéticas e fisiológicas deste estudo, tornou-se necessário, também, o processamento dos dados obtidos das coletas, já que os valores obtidos são brutos, necessitando de diferentes processamentos até a obtenção do valor final. Os protocolos para obtenção e processamento das variáveis foram:

1. Variáveis antropométricas: características físicas dos participantes foram obtidas anteriormente à realização dos protocolos citados. Massa corporal foi obtida quando o participante, trajando apenas sunga de natação, permaneceu em pé, com um mínimo de oscilações corporais, de frente para o avaliador e para a régua de marcação, sobre a balança. Estatura foi obtida quando o participante permaneceu em pé, posicionado sobre a balança e de costas para a régua, utilizando-se o estadiômetro da balança. Envergadura foi mensurada com o participante na posição de decúbito dorsal, sobre um colchonete de 3 cm de espessura, no solo, ombros abduzidos a 90°, cotovelos, punhos e dedos em extensão, sobre o solo. A máxima distância entre as extremidades das mãos (terceiro dedo) foi considerada como a envergadura. Em relação às dobras cutâneas, foram seguidas as recomendações de Heyward, Stolarczyk (2000) para a identificação e medição das mesmas. Foram registradas três medidas das dobras cutâneas tripectral, abdominal, supra-íliaca e subescapular, em seqüência, das quatro dobras. Para a obtenção das medidas foram observados os seguintes critérios (HEYWARD, STOLARCZYK. 2000):

Tripectral:

Referência anatômica: processo acromial da escápula e processo olecraniano da ulna;

Medida: dobra destacada no ponto médio entre as referências;

Abdominal:

Referência anatômica: cicatriz umbilical;

Medida: dobra destacada a 3 cm à lateral e 1 cm abaixo do centro da cicatriz umbilical;

Supra-íliaca:

Referência anatômica: crista íliaca;

Medida: dobra destacada posteriormente à linha média axilar e sobre a crista íliaca, ao longo da linha natural da pele, adipômetro aplicado 1 cm abaixo dos dedos;

Subescapular:

Referência anatômica: ângulo inferior da escápula

Medida: dobra destacada ao longo da linha natural da pele, logo abaixo do ângulo inferior da escápula, adipômetro aplicado 1 cm abaixo dos dedos;

2. Variáveis cinemáticas: videogrametria em duas dimensões com a gravação do nado *crawl* executado pelo nadador, no plano sagital. As imagens foram coletadas a uma frequência entrelaçada de 25 Hz. Foi utilizada a raia 5 da piscina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a realização deste protocolo. A filmadora foi colocada na borda lateral da piscina, com o centro da raia em um plano paralelo ao plano da lente da filmadora ficando à, aproximadamente, 11,7 m de distância. A altura do eixo ótico, em relação à superfície da água era de, aproximadamente, 2,35 m. Essas distâncias permitiram um campo de visão de 7,5 m do plano de deslocamento do nadador, em relação à marcação do fundo da piscina correspondente à raia 5. O protocolo consistiu na realização de 200 m, em máxima intensidade, no estilo *crawl*, com saída de dentro da piscina, sob voz de comando. O tempo para realização dos 200 m foi obtido por cronometragem manual (Casio), por dois cronometristas experientes. As imagens foram obtidas de cada trecho de 25 m da distância. A Figura 3 apresenta um esquema da colocação da filmadora em relação à piscina.

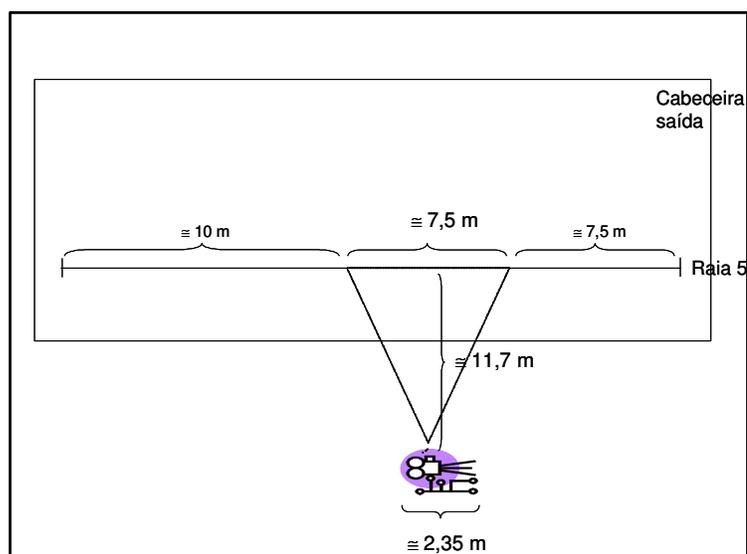


Figura 3. Esquema da colocação da filmadora em relação à piscina e distâncias para obtenção dos dados cinemáticos do teste de 200 m em nado *crawl*.

Para a análise das imagens obtidas, os quadros foram desentrelaçados, permitindo a análise a 50 Hz. Das imagens obtidas de cada nadador foram rastreadas as imagens da touca e do punho do nadador, em cada um dos oito trechos dos 200 m. Da touca em dois momentos: em um primeiro quadro, quando esta aparecia nitidamente pela primeira vez no campo do monitor de vídeo, e no último quadro, quando saía do campo do monitor de vídeo. Do punho do nadador no quadro imediatamente antes da entrada da mão na água (esquerdo quando o nadador deslocava-se no sentido da borda inicial à borda oposta e do

punho direito quando no sentido contrário) por três ciclos de braçadas (em apenas dois nadadores, que apresentavam maior DC, foram utilizados dois ciclos de braçadas).

Foram obtidas imagens da régua de calibração, para todas as coletas, colocada em cada um dos extremos e no centro do campo de visão a fim de se identificar os erros associados às distâncias adotadas. De três quadros consecutivos, para cada uma das três posições foram verificadas a posição horizontal, em pixels, de cada extremidade da régua, assim a comparação das imagens da régua mostrou uma variação máxima de 4,27% (o que corresponde a uma variação aproximada de 0,08 m nas medidas lineares ao longo do deslocamento do nadador).

Conhecendo-se a transformação de pixels para metros e de quadros para segundos, obtiveram-se as variáveis:

VN: verificou-se a distância e o tempo correspondentes ao deslocamento da cabeça ao longo da tela e pelos valores de calibração espacial calculou-se a VN a cada 25 m, pela Equação 5:

Equação 5

$$VN = \frac{\Delta x}{p} \cdot \frac{50}{\Delta t}$$

onde VN é a velocidade média de nado, Δx a variação da posição horizontal, em pixels, p o número médio de pixels correspondente a 2 m (para este valor foi utilizado o valor médio em pixels, obtido das imagens da régua de calibração), Δt a variação do tempo, em quadros.

FCL: identificou-se o tempo médio para realização de dois a três ciclos por trecho de 25 m, e calculou-se a FCL pela Equação 6:

Equação 6

$$FCL = \frac{1}{tc}$$

Onde FCL é a frequência média de ciclos e tc é o tempo médio de realização de cada ciclo. DC: foi obtida pelo quociente entre a VN e a FCL, para cada trecho de 25 m, conforme Jürimãe *et al.* (2007) e Alberty *et al.* (2006). A variável DES foi transformada em unidades pontuais a fim de comparação com outros estudos e facilitar os processos estatísticos de correlação a seguir explicados. Para tal, o recorde mundial da prova, em piscina de 25 m, em junho de 2007 (www.fina.org), foi assumido como 1000 pontos. Uma regra de três simples, então, foi aplicada para cada resultado de 200 m (AVLONITOU, 1997). Já a

velocidade média da prova (VP) foi obtida pelo quociente entre a distância (200 m) e o tempo (em s).

3. Variáveis fisiológicas: a coleta dos dados de consumo de oxigênio e de lactato sanguíneo foi realizada em dois momentos: (1) indivíduo em repouso: após permanecer 15 min em repouso na posição de decúbito dorsal, sobre um colchonete, à borda de piscina e (2) após a repetição de 200 m, do protocolo de 200 m, segundo protocolo proposto por Sleivert, Mackinnon (1991). Previamente à obtenção dos valores de repouso, o equipamento foi mantido ligado por 30 min e foi auto-calibrado duas vezes. Foram armazenados, no mesmo, os dados de massa corporal total, pressão atmosférica no momento da coleta (valor obtido junto a órgão oficial de meteorologia), estatura, idade e sexo. Para o repouso foi utilizado um pneumotacógrafo de fluxo baixo. Conectou-se o equipamento ao indivíduo após 10 min de repouso. O indivíduo respirava pela boca na máscara de neoprene acoplada ao ergoespirômetro. Após mais 5 minutos, registraram-se os valores de consumo de oxigênio por 2 min. Neste momento obtinha-se, também uma amostra de sangue da extremidade distal do dedo indicador da mão esquerda do nadador para verificação da concentração de lactato em repouso. Durante o aquecimento, o pneumotacógrafo de baixo fluxo, utilizado no repouso, era substituído pelo de médio fluxo e o ergoespirômetro era calibrado novamente.

Após o aquecimento, e antes da realização dos 200 m, era obtida mais uma amostra de sangue para a verificação da concentração de lactato. Entre a finalização dos 200 m e a primeira expiração na máscara observou-se um tempo máximo de 3 s, sendo o nadador estimulado a não respirar antes da colocação da máscara. Observou-se que o primeiro valor considerado de VO_2 fosse após um período completo de 20 s de respiração na máscara. Os valores de VO_2 foram obtidos a cada 20 s para ambas as coletas. O consumo de oxigênio do repouso foi identificado como média dos últimos 2 min de repouso (máscara acoplada aos 10 min do repouso). O consumo de oxigênio relativo à repetição de 200 m foi estimado pelos três valores da recuperação, com aplicação de um modelo matemático de ajustamento linear (SLEIVERT, MACKINNON, 1991).

A coleta de sangue da extremidade distal do dedo indicador da mão esquerda, para verificação da concentração de lactato sanguíneo, foi realizada após os 15 min de repouso e após o aquecimento (800 m nadando livre sob baixa intensidade, auto-determinada) e 1, 3, 5, 7 e 9 min após os 200 m (realizaram-se coletas até que a concentração reduzisse).

Foi encontrado o valor líquido do consumo de oxigênio pela aplicação da Equação 7 (DIPRAMPERO *et al.*, 1978):

Equação 7

$$VO_2l = VO_2e - VO_2r$$

onde VO_2l é o valor de consumo de oxigênio líquido, VO_2e o consumo de oxigênio relativo ao esforço de 200 m e VO_2r o consumo de oxigênio do repouso. Foi calculada a taxa de concentração líquida de lactato, correspondente à variação entre o maior valor encontrado pós 200 m e o valor de repouso, pós-aquecimento (pré 200 m), pela aplicação da Equação 8:

Equação 8

$$TLAI = \frac{LAe - LAr}{t}$$

onde $TLAI$ é a taxa da concentração sangüínea líquida de lactato, LAe a concentração máxima de lactato pós-esforço, independente do momento que foi identificada, LAr a concentração sangüínea de lactato do repouso e t é o tempo decorrido para a realização dos 200 m, em minutos. O valor da concentração líquida de lactato ([LAL]) foi considerado apenas como a subtração apresentada na Equação 8, considerado o incremento líquido de lactato sangüíneo.

A energia total ($Etot$) foi obtida a partir do valor líquido de consumo de oxigênio e da taxa da concentração líquida de lactato. A fim de se obter a energia total relativa ao esforço, em termos de consumo de oxigênio, a concentração líquida de lactato foi transformada em valores de consumo de oxigênio pela utilização da Equação 9:

Equação 9

$$LAVO_2 = 2,7 * TLAI$$

onde $LAVO_2$ representa a taxa de concentração líquida de lactato em termos de consumo de oxigênio, 2,7 é o equivalente em $mLO_2 \cdot kg^{-1} \cdot mmol^{-1}$ da taxa de acúmulo de lactato e $TLAI$, a taxa da concentração líquida de lactato, segundo metodologia proposta por DiPrampo *et al.* (1978) e Barbosa *et al.* (2006). Após a energia total foi obtida pela Equação 10:

Equação 10

$$Etot = VO_2L + LAVO_2$$

onde E_{tot} é a energia total, VO_2I é o consumo de oxigênio, representativo da energia aeróbia e $LAVO_2$ a concentração líquida de lactato expressa em termos de consumo de oxigênio, representativa da energia anaeróbia.

4. Variáveis cinéticas: foram obtidas com a utilização do método de *tethered swimming*, o qual consiste da célula de carga fixada à cintura do nadador e à borda da piscina, constituindo o teste de nado estacionário (TNE). A célula de carga foi conectada ao indicador de sinais e este ao computador. Após os 200 m em nado livre, cada nadador permanecia em repouso passivo, por, no mínimo 10 min e, então, realizava 600 m de nado *crawl*, em baixa intensidade, identificado por cada nadador como nado regenerativo. Após era aplicado o TNE, que consistiu de 35 s executando-se o nado *crawl* na maior intensidade possível (Fomitchenko, 1999). Antes do TNE, já amarrados, cada nadador realizava 30 s de nado *crawl* em baixa intensidade. Durante o TNE, o sinal de força foi coletado a uma taxa de amostragem de 500 Hz no *software* SAD32p. Previamente a cada coleta, o equipamento foi calibrado, com a utilização de massas conhecidas. A Figura 4 apresenta uma reta de calibração da célula de carga, com as cargas conhecidas como variável independente e os valores de tensão elétrica como variável dependente. Após a obtenção da reta e respectiva equação, os valores de carga foram transformados em valores de força (N), pelo produto entre a carga e aceleração da gravidade (assumida como $9,8 \text{ m}\cdot(\text{s}^2)^{-1}$).

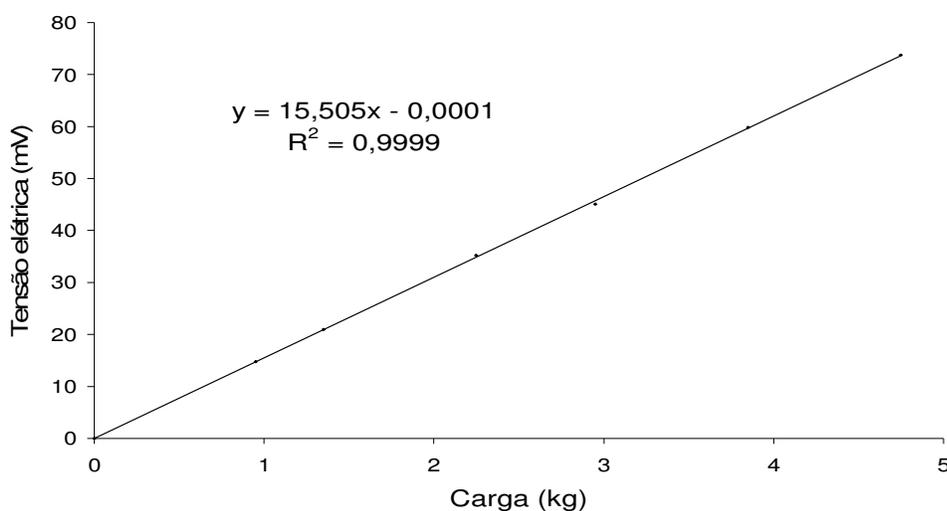


Figura 4. Reta de calibração da célula de carga utilizada no TNE e respectivas equação e coeficiente de determinação.

Depois de obtido, o sinal de força foi filtrado (filtro média-móvel com frequência de corte de 15 Hz). No mesmo programa (SAD32p), pela aplicação de uma integral (Simpson) foi identificado o impulso total (IMP) obtido por cada nadador, durante os 30 s intermediários do teste. Além do IMP, foi calculada a taxa de variação do impulso (TIMP), com o recorte de seis janelas de 5 s de duração, ao longo dos 30 s do sinal de força e identificado o impulso médio de cada janela. Então foi aplicada uma regressão linear entre o impulso médio de cada janela e o tempo, esta regressão linear forneceu uma equação linear para cada indivíduo. Desta equação de regressão linear, o coeficiente angular foi considerado o TIMP. A frequência média de ciclos em nado estacionário (FCNA) foi obtida a partir do sinal de força, pela Equação 11:

Equação 11

$$FCNA = \frac{nciclos}{t}$$

Onde FCNA é a frequência média de ciclos em TNE, *nciclos* é o total de ciclos completos e *t* o tempo de duração do teste.

4.5 Análise estatística

Neste estudo, que buscou definir a importância de cada variável sobre o desempenho na prova de 200 m nado livre, os procedimentos estatísticos ocupam lugar de destaque na análise dos dados. Previamente foram calculadas as médias e, de acordo com a análise posterior, os desvios e os erros-padrão. Os coeficientes de variação ($cv = (\text{desvio-padrão}/\text{média}) \cdot 100$) foram calculados para as variáveis cinemáticas. Dentre os procedimentos prévios utilizados estão a aplicação dos testes de verificação de normalidade (Shapiro-Wilk) e de esfericidade (Mauchly) dos dados.

Para a obtenção do modelo que busque explicar o DESP, foram aplicados testes de regressão linear múltipla entre a variável DESP e cinco grupos de variáveis que possibilitaram a identificação de cinco modelos distintos:

1. Modelo Antropométrico: com as variáveis estatura (EST), envergadura (ENV), massa corporal total (MAS) e somatório de dobras cutâneas (Σdob);
2. Modelo Cinemático, com as variáveis distância média percorrida por ciclo de braçadas (DC), frequência média de ciclos de braçadas (FCL) e coeficientes de variação da distância média percorrida por ciclo de braçadas ($cvDC$), da

- freqüência média de ciclos de braçadas (cvDC) e da velocidade média de nado (cvVN);
3. Modelo Fisiológico, com as variáveis consumo de oxigênio líquido (VO_2l), concentração líquida de lactato [LAL] e energia total (Etot);
 4. Modelo Cinético, com as variáveis impulso total (IMP) e taxa de variação do impulso (TIMP);
 5. Modelo Geral, com as variáveis que apresentaram poder significativo de predição do DESP identificado em cada um dos modelos anteriores, exceto qualquer variável antropométrica, que, por sua natureza, não responda ao treinamento.

De acordo com Kerlinger (1979), em relação ao método de regressão linear múltipla:

Através de um procedimento estatístico, calcula-se o “efeito” combinado ou conjunto das variáveis independentes sobre a variável dependente. É também feita geralmente uma tentativa de avaliar as contribuições de cada uma das variáveis independentes, assim como combinações de variáveis independentes. (KERLINGER, 1979, p. 187).

Já, para Pestana, Gageiro (2003):

O modelo de regressão linear múltipla é uma técnica estatística, descritiva e inferencial, que permite a análise da relação entre uma variável dependente e um conjunto de variáveis independentes. (PESTANA, GAGEIRO, 2003, p. 603).

Como as variáveis cinemáticas são obtidas de oito momentos do teste de 200 m (cada trecho dos 25 m), foram testados nos modelos os valores médios e os coeficientes de variação das variáveis. O método para implantação das variáveis foi o de *Stepwise Regression*, que programa a entrada das variáveis no modelo em ordem decrescente de correlação verificada, pelo próprio método, anteriormente com testes de correlação Produto-Momento de Pearson. Sempre que, pelo procedimento de *Stepwise*, entrar uma variável nova no modelo, analisa-se a significância de cada variável, sendo eliminadas as variáveis que não tenham uma capacidade de relação individual significativa com a variável

dependente ou que apresentem alto valor de colinearidade, identificada pelos testes de correlação previamente aplicados pelo procedimento adotado.

De modo complementar, foram aplicadas Análises de Variância para Medidas Repetidas para as variáveis obtidas ao longo do tempo (neste caso, quando necessária, foi aplicada uma correção Epsilon de Greenhouse-Geisser quando indicado pelo teste de Mauchly) e os efeitos principais foram verificados por um teste *post-hoc* de Bonferroni. Um teste *t* de Student para amostras dependentes foi utilizado a fim de comparar os valores de FCL e FCNA.

Ainda, no processamento dos dados de consumo de oxigênio, foram verificados os coeficientes de determinação a fim de se escolher o melhor modelo de regressão para a obtenção do valor de consumo de oxigênio do teste de 200 m. Para a obtenção da taxa de variação do impulso aplicaram-se regressões lineares entre os valores do impulso obtidos a cada 5 s do teste e o tempo correspondente. Observou-se, para todos os cálculos, $\alpha = 0,05$. Foi utilizado o pacote estatístico SPSS, v.12.0. O Quadro 7 apresenta um resumo de todos os procedimentos estatísticos empregados.

Quadro 7. Resumo dos procedimentos estatísticos adotados neste estudo.

Teste estatístico e condição	Variáveis analisadas
Shapiro-Wilk	Todas
Mauchly	Variáveis cinemáticas ao longo dos 200 m
Análise de regressão simples e coeficientes de determinação	Valores de consumo de oxigênio durante a recuperação pós 200 m Valores de impulso ao longo do teste de nado estacionário
Teste de Correlação Linear Produto-Momento de Pearson	Análise preliminar entre as variáveis de cada grupo e com o desempenho
Análise de Variância para Medidas Repetidas	Variáveis cinemáticas ao longo dos 200 m Valores de concentração de lactato sangüíneo ao longo do tempo Impulso ao longo do TNE
Teste <i>t</i> de Student para Dados Dependentes	FCL X FCNA VP X VN
Teste de regressão Múltipla	Desempenho X variáveis antropométricas Desempenho X variáveis cinemáticas Desempenho X variáveis fisiológicas Desempenho X variáveis cinéticas Desempenho X variáveis selecionadas

4.6 Design explicativo do estudo

Afim de visualização da seqüência dos procedimentos de coleta, processamento e análise dos dados, a Figura 5 apresenta um *design* temporal explicativo deste estudo.

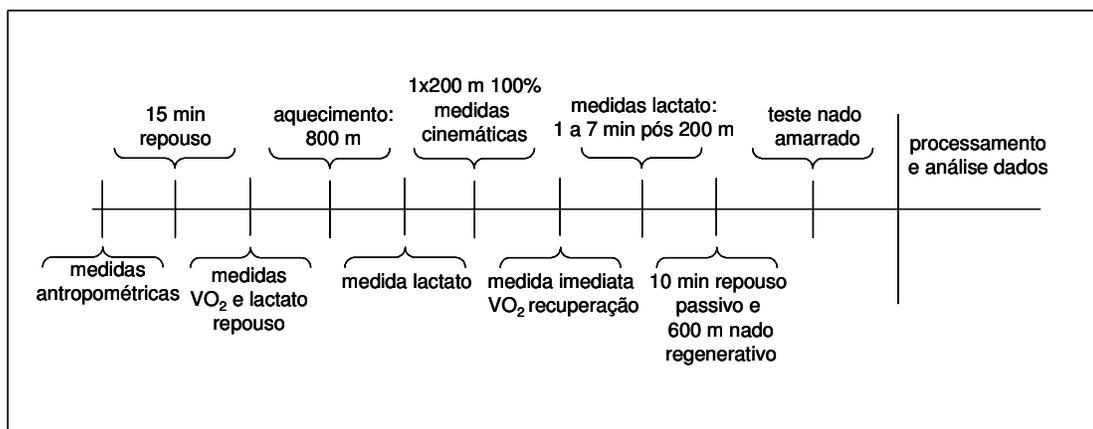


Figura 5. *Design* temporal explicativo deste estudo.

4.7 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:

- Momento para a coleta de sangue para obtenção das concentrações de lactato sanguíneo (pós repouso e pós aquecimento);
- Local de colocação da filmadora para a obtenção das imagens dos nadadores; para a correta definição do local foram testadas diversas localizações, sendo escolhida aquela que permitiu obtenção da maior distância de deslocamento do nadador, sem perda de qualidade de imagem;
- Procedimento de calibração das imagens; foram obtidas três imagens de uma régua de calibração de 2 m de comprimento, nas duas extremidades e ao centro da imagem para verificar as possíveis variações de distância linear. Variações relacionadas com (1) o ângulo formado entre uma reta imaginária (do centro ótico da filmadora), transversal ao plano de deslocamento, que parte do centro e a localização dos segmentos móveis analisados ao longo do movimento e (2) ao processo de digitalização das imagens;

- O treinamento dos voluntários que participaram da coleta, principalmente daqueles junto ao ergoespirômetro, cuja melhor utilização depende do tempo dispendido para a colocação da máscara no rosto do indivíduo pós esforço de 200 m.
- A determinação dos pneumotacógrafos que foram utilizados: de baixo e de médio fluxo, respectivamente, no repouso e após os 200 m.

5 Resultados e discussão

Neste capítulo são apresentados, primeiramente, os resultados das variáveis de forma isolada: características antropométricas dos participantes do estudo, dados cinemáticos obtidos dos 200 m nado *crawl*, concentrações de lactato sangüíneo pré e pós 200 m, acúmulo líquido de lactato sangüíneo, consumo de oxigênio pré e pós 200 m, custo energético dos 200 m, impulso total obtido do teste de nado estacionário, comportamento do impulso ao longo do teste de nado estacionário e freqüência de ciclos do teste de nado estacionário. Esses resultados são discutidos. Após são apresentadas as múltiplas correlações testadas entre as variáveis selecionadas e o desempenho e a discussão a respeito dos modelos de regressão múltipla testados. O Anexo 4 apresenta os resultados dos testes de normalidade de todos os grupos de dados.

5.1 Resultados gerais

5.5.1 Características antropométricas

Idade, estatura, envergadura, massa corporal total, dobras cutâneas (tricipital, supra-ilíaca, abdominal e subescapular) e somatório das dobras cutâneas dos participantes do estudo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos participantes deste estudo; n = 12.

Variável	\bar{X}	dp	mínimo	máximo
Idade (anos)	18,3	2,9	16	25
Estatura (cm)	174,3	5,8	165	186
Envergadura (cm)	181,1	7,5	170	193,5
Massa corporal total (kg)	66,4	6,3	56,8	78,5
DCut triceptal (mm)	6,2	1,8	4	8,6
DCut supra-ilíaca (mm)	7,7	2,4	4,6	12,5
DCut abdominal (mm)	10,1	3,9	4,5	14,6
DCut subescapular (mm)	7,8	2,2	3,8	9,7
Σ dob (mm)	31,9	8,2	26	50,4

5.1.2 Variáveis cinemáticas

Resultados das variáveis cinemáticas: desempenho (DES), desempenho em pontos (DESP), velocidade média de prova (VP), velocidade média de nado (VN), distância média percorrida por ciclo (DC) e frequência média de ciclos de braçadas (FCL), relativas aos 200 m nado *crawl*, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Variáveis cinemáticas relativas aos 200 m nado *crawl* dos participantes deste estudo; n = 12.

Variável	\bar{X}	dp	mínimo	máximo
DES (s)	130,2	2,83	124,6	133,6
DESP (pontos)	711,8	29,1	677,2	766,3
VP ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,53	0,03	1,50	1,61
VN ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,45	0,11	1,11	1,76
DC (m)	2,10	0,22	1,71	2,75
FCL (Hz)	0,69	0,07	0,59	0,89

O comportamento das variáveis cinemáticas, por cada trecho de 25 m dos 200 m, é apresentado na forma de figuras. A VN (em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) está representada na Figura 6. Pode-se verificar que diferenças foram encontradas entre os valores de VN quando comparados os oito trechos ($F(7,91) = 32,565$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,71$).

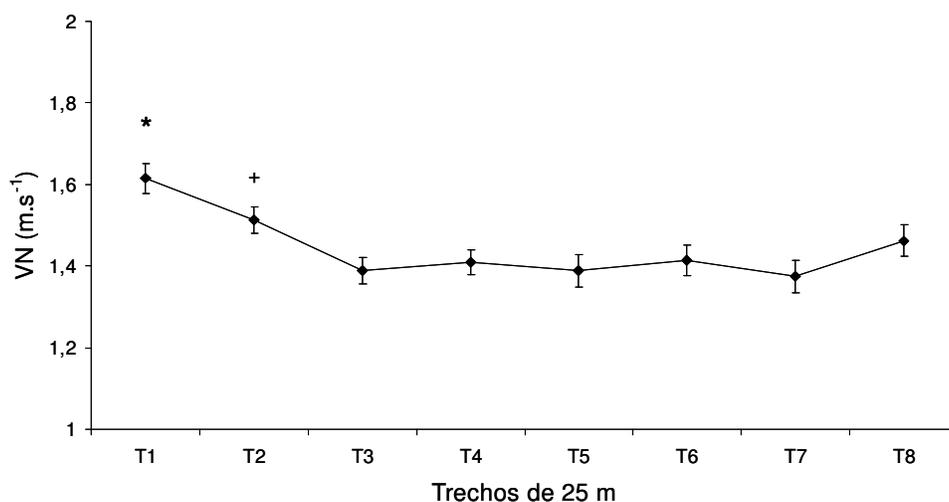


Figura 6. Velocidade média de nado (VN) a cada trecho de 25 m; * indica diferenças de T1 para todos os outros trechos ($p < 0,05$); + indica diferenças de T2 para T3, T4, T5, T7 ($p < 0,05$); $n = 12$.

Entre os resultados de DC (em m), apresentados na Figura 7, foram encontradas diferenças entre os trechos de 25 m ($F(2,55; 33,18) = 10,63$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,45$).

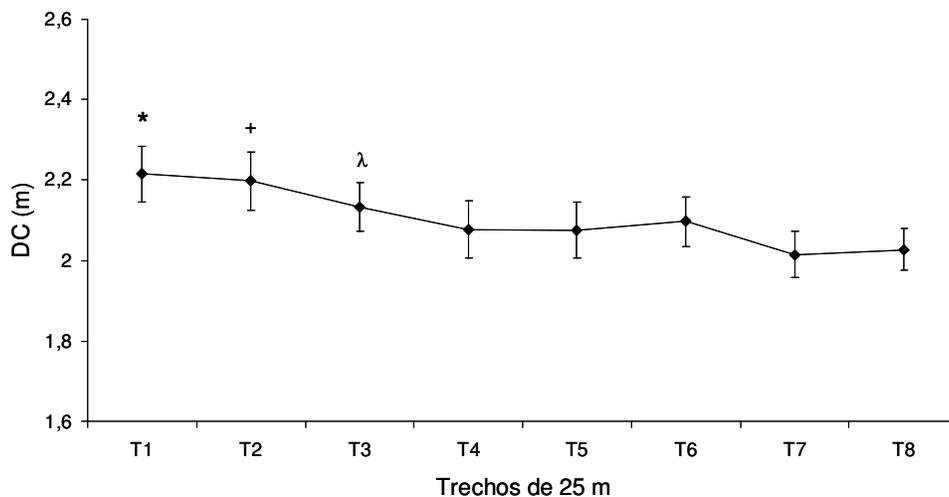


Figura 7. Distância média percorrida por ciclo de braçada (DC) a cada trecho de 25 m; * indica diferenças de T1 para T4, T5, T7 e T8 ($p < 0,05$); + indica diferenças de T2 para T3, T5, T6, T7 e T8; λ indica diferenças de T3 para T7 ($p < 0,05$); $n = 12$.

Frequência média de ciclos (FCL), ao longo dos oito trechos de 25 m, está apresentada na Figura 8. Foram observadas diferenças de FCL entre os trechos ($F(2,72; 35,47) = 7,53; p = 0,001; \eta^2 = 0,36$).

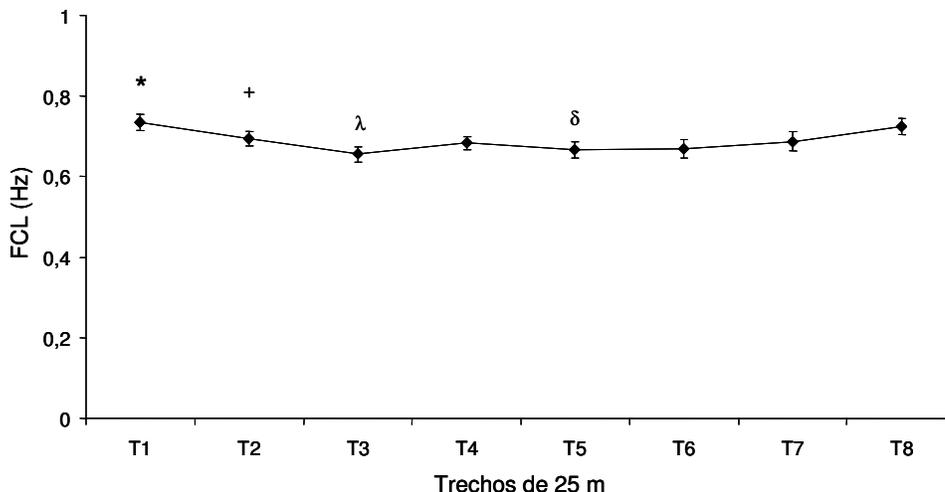


Figura 8. Frequência média de ciclos (FCL) a cada trecho de 25 m; * indica diferenças de T1 para T2, T3 e T5 ($p < 0,05$); + indica diferença de T2 para T3; λ indica diferença de T3 para T8; δ indica diferença de T5 para T8 ($p < 0,05$); $n = 12$.

5.1.3 Variáveis fisiológicas

As concentrações de lactato sanguíneo, identificadas após 15 min de repouso, após o aquecimento e após 1, 3, 5 e 7 min (quando necessárias essas últimas medidas) são apresentadas na Figura 9. As comparações foram realizadas apenas entre as coletas de mesmo número de sujeitos. Diferenças foram encontradas entre as concentrações de lactato sanguíneo ($F(2,01; 26,26) = 54,572; p < 0,001; \eta^2 = 0,808$).

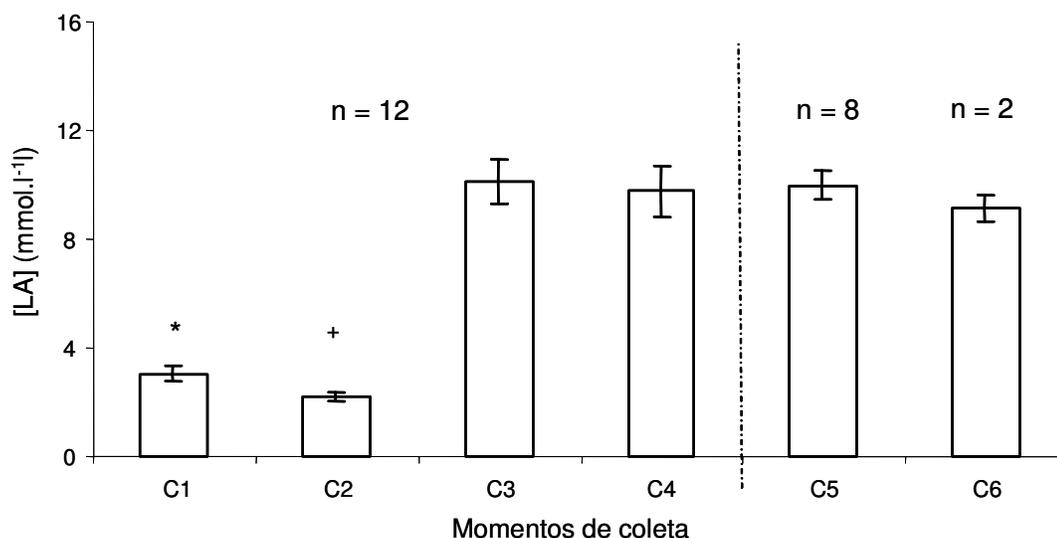


Figura 9. Concentrações de lactato sanguíneo (mmol.l⁻¹) nos momentos pós 15 min de repouso (C1, n = 12), pós aquecimento (C2, n = 12), pós 200 m: 1 min (C3, n = 12), 3 min (C4, n = 12), 5 min (C5, n = 8), e 7 min (C6, n = 2); * indica diferenças de C1 para C2, C3 e C4 (p < 0,05); + indica diferenças de C2 para C3 e C4 (p < 0,05).

Independente do momento, a concentração de lactato líquido ([LAL]) após os 200 m, foi de $11,15 \pm 1,17$ mmol.l⁻¹. A Tabela 3 apresenta os resultados do consumo de oxigênio (repouso, esforço e líquido), do equivalente em consumo de oxigênio da taxa de acúmulo líquido de lactato sanguíneo e de energia total para a realização dos 200 m.

Tabela 3. Consumo de oxigênio de repouso (VO_{2r}), após os 200 m nado *crawl* (VO_{2e}), líquido (VO_{2l}), equivalente em consumo de oxigênio da taxa de acúmulo de lactato sanguíneo (LAVO₂) e energia total (Etot); n = 12.

	VO _{2r} ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VO _{2e} ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	VO _{2l} ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	LAVO ₂ ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	Etot ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
\bar{X}	3,5	59,1	55,6	11,6	67,0
dp	1,0	5,7	5,3	2,3	5,2

Para a equação de regressão linear aplicada entre os valores de consumo de oxigênio durante a recuperação e o tempo decorrido, verificou-se o coeficiente de determinação para cada indivíduo. Para os 12 nadadores o valor médio do r^2 foi de 0,92, com desvio-padrão de 0,07.

5.1.4 Variáveis cinéticas

A Figura 10 apresenta o resultado do teste de nado estacionário característico de um indivíduo da amostra.

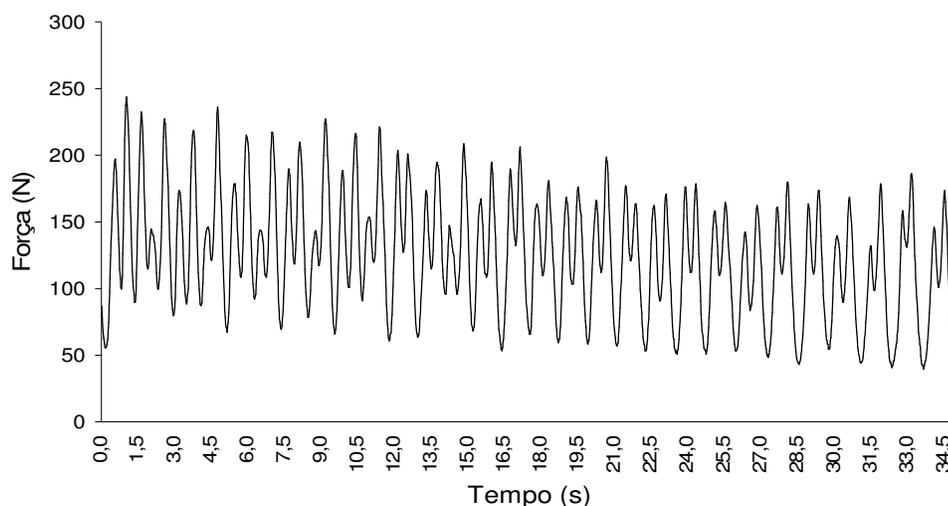


Figura 10. Curva de força obtida do teste de nado estacionário de um indivíduo participante da amostra deste estudo.

O comportamento da média do impulso, ao longo dos 30 s do teste de nado estacionário, está apresentado na Figura 11. Diferenças entre os valores de impulso foram identificadas ($F(5; 65) = 24,91$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,657$).

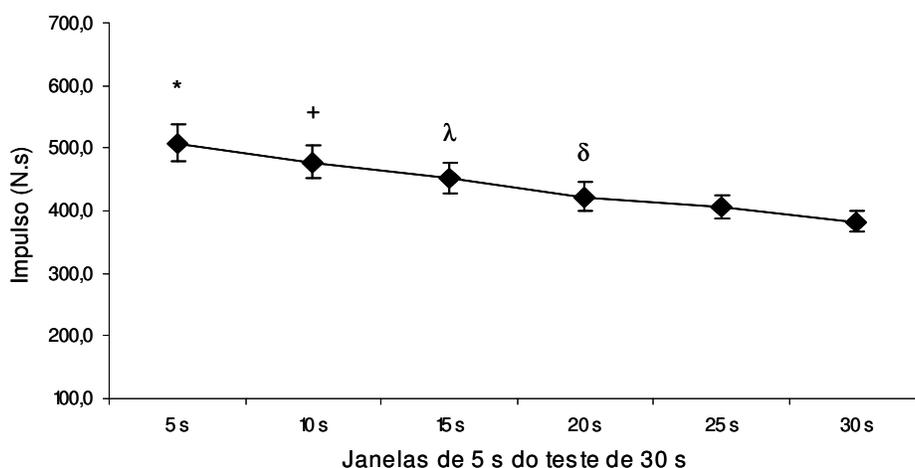


Figura 11. Impulso ao longo do teste de 30 s, analisado a cada 5 s; $n = 12$; * indica diferenças entre o impulso dos 5 s para os 20, 25 e 30 s ($p < 0,05$); + indica diferenças entre o impulso dos 10 s para os 20, 25 e 30 s ($p < 0,05$); λ indica diferenças entre o impulso dos 15 s para os 25 e 30 s ($p < 0,05$); δ indica diferenças entre o impulso dos 20 s para os 30 s ($p < 0,05$).

A Tabela 4 apresenta as médias e os desvios-padrão do impulso total do teste de 30 s (IMP), das taxas de variação do impulso que descrevem o comportamento dos impulsos ao longo do teste e da frequência média de ciclos em nado estacionário (FCNE).

Tabela 4. Impulso total (IMP), taxa de impulso (TIMP) e frequência média de ciclos em nado estacionário (FCNA); n = 12.

	IMP (N·s)	TIMP (N)	FCNA (Hz)
\bar{X}	2648,4	-25,1	0,73
dp	150,5	3,7	0,07

Quando comparados os valores médios de FCL (em cada trecho dos 200 m, Figura 8) e FCNA, nenhuma diferença foi encontrada ($p > 0,05$).

5.2 Discussão dos resultados gerais

Este estudo apresentou como objetivo geral identificar a importância de cada fator relacionado ao desempenho na prova de 200 m nado livre, e suas inter-relações, em um grupo de nadadores competitivos. Para tal foi necessário quantificar esses fatores e o comportamento daqueles que variam ao longo do tempo de execução da prova simulada ou do teste de nado estacionário. A fim de melhor compreender a posterior análise dos modelos de regressão, optou-se por uma breve discussão dos resultados encontrados acerca desses resultados.

As características antropométricas dos participantes deste estudo (Tabela 1) foram similares àqueles descritos na literatura para nadadores formados. No presente estudo, os valores médios de estatura, envergadura e massa corporal total foram de, respectivamente, $174,3 \pm 5,8$ cm, $181,1 \pm 7,5$ cm e $66,4 \pm 6,3$ kg. Avlonitou (1996), ao estudar o desempenho de nadadores de diversas faixas etárias, encontrou valores de estatura e massa corporal total de, respectivamente para nadadores de $21,6 \pm 2,4$ anos de idade e $16,7 \pm 0,5$ anos de idade, $181,2$ cm e $74,5$ kg e $174,6$ cm e $71,3$ kg.

Quando comparadas as idades e características dos participantes deste estudo, com o estudo de similar metodologia (VILAS-BOAS *et al.*, 2001) pode-se notar que os participantes apresentam semelhantes valores de idade, estatura e massa corporal, porém dentre os participantes do referido estudo, havia campeões e recordistas nacionais, com média de melhor tempo de $115,3 \pm 1,8$ s, enquanto os participantes do presente estudo apresentavam pior média de tempo, praticamente, 10 s acima. Assim, os valores dos parâmetros cinemáticos VN, DC e FCL encontrados neste estudo parecem estar coerentes com o nível dos atletas avaliados e, ainda, pode-se afirmar que a simulação da prova de 200 m possibilitou resultados de acordo com a literatura.

Por outro lado, quando comparados aos nove nadadores de nível nacional e internacional especialistas em provas de 50 m nado livre, que participaram do estudo de Castro *et al.* (2005), que apresentaram médias de estatura, envergadura e massa corporal total, respectivamente, de $185,5 \pm 6,8$ cm, $193,5 \pm 5,2$ cm e $77,4 \pm 7,8$ kg, e seis nadadores de nível nacional e internacional especialistas em provas de 1500 m nado livre, que apresentaram médias de estatura, envergadura e massa corporal total, respectivamente, de estatura, envergadura e massa de $180,2 \pm 6,8$ cm, $189,8 \pm 8,2$ cm e $72,2 \pm 7,1$ kg, os nadadores do presente estudo apresentaram menores valores nessas três variáveis antropométricas. Essa diferença é, possivelmente, explicada pelo nível dos participantes do estudo de Castro *et al.* (2005), que contou com cinco campeões brasileiros dentre os avaliados, indicando um nível de desempenho superior aos dos participantes deste estudo.

Em relação ao atual recorde mundial da prova de 200 m nado livre, em piscina de 25 m (http://www.cbda.org.br/materia.php?mat_id=270), os nadadores participantes alcançaram um percentual médio de $71,18 \pm 3,19$ %. Já em relação ao atual recorde brasileiro da prova de 200 m nado livre, em piscina de 25 m (http://www.cbda.org.br/materia.php?mat_id=270), os nadadores participantes alcançaram um percentual médio de $74,96 \pm 3,09$ %. Avlonitou (1996) ao analisar os picos de concentração de lactato pós nado máximo de todas as provas de campeonatos nacionais gregos de natação, utilizando-se da pontuação para medir o desempenho, encontrou, para os 200 m nado livre, médias de 760 e 694 pontos para, respectivamente, grupos de idade média de $21,6 \pm 2,4$ anos ($n = 54$) e $16,7 \pm 0,5$ anos ($n = 65$). Os participantes do presente estudo, com idade média de $18,3 \pm 2,9$ anos apresentaram desempenho médio de $711,8 \pm 29,1$ pontos, valor intermediário, como a idade, em relação aos de Avlonitou (1996).

No quadro dos fatores que podem determinar o rendimento desportivo, especialmente em natação, modalidade cuja eficiência mecânica total do gesto é muito reduzida (TOUSSAINT, TRUIJENS, 2005) a técnica desempenha um papel central (DIPRAMPERO *et al.*, 1974). Os parâmetros DC e FCL são representativos da capacidade técnica de um nadador (TOUSSAINT, 1990) e tendem a se alterar de acordo com a instalação do processo de fadiga durante a execução de alguma prova em natação (VILAS-BOAS *et al.*, 2001). A DC é influenciada pelas forças aplicadas sobre e pelo nadador na água e definida como a distância, em metros, que o corpo do nadador se desloca para frente durante cada ciclo de braços. Quanto à FCL, esta é definida como um valor que expressa o número de ciclos efetuados pelo nadador a cada unidade de tempo e depende do tempo que o nadador gasta na fase propulsiva e na recuperação de cada braço.

No presente estudo, pode-se verificar que a VN (Figura 6) apresentou um comportamento de queda até a terceira parcial de 25 m dos 200 m e depois tendeu a se estabilizar. Este comportamento da VN foi devido à redução significativa da DC (Figura 7) até a quarta parcial de 25 m e, em relação à FCL (Figura 8), redução significativa até a terceira parcial, com um incremento na última parcial de 25 m. Comportamento similar, para os 200 m nado *crawl*, da VN, foi mostrado anteriormente, mas entre os 16 finalistas da prova de 200 m nado livre em campeonato nacional francês (SIDNEY *et al.*, 1999), entre quatro nadadores portugueses de elevado nível competitivo (VILAS-BOAS *et al.*, 2001) e entre 17 nadadores franceses finalistas de campeonatos nacionais e/ou europeus nesta prova (HUOT-MARCHAND *et al.*, 2005), quando a velocidade de nado apresentou redução, de forma significativa, entre os primeiros 50 m e os últimos 50 m da prova (no presente estudo, análise foi a cada 25 m, não a cada 50 m), respectivamente, de $1,77 \pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para $1,68 \pm 0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (16 nadadores franceses, redução absoluta de $\pm 0,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), de $1,79 \pm 0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para $1,66 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (quatro nadadores portugueses, redução absoluta de $\pm 0,13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) e de $1,77 \pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para $1,66 \pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (17 nadadores franceses, redução absoluta de $\pm 0,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Em comparação, no presente estudo, a redução de VN entre a primeira e a última parcial de 25 m foi de $1,63 \pm 0,14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para $1,48 \pm 0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (redução absoluta de $0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Já a comparação entre a VP e a VN (Tabela 2) não indicou diferenças estatísticas significativas, embora se a VN fosse transformada em tempo, este seria superior ao tempo médio registrado pelos participantes deste estudo nos 200 m: 137 s se a VN fosse transformada em tempo nos 200 m contra os $130,2 \pm 2,83 \text{ s}$. Esses 7 segundos de diferença estão relacionados ao incremento de velocidade obtido quando da realização das viradas. Como os 200 m foram realizados em piscina de 25 m, onde, para os 200 m, há a realização de sete viradas que contribuem para o incremento da velocidade, é de se esperar maiores valores de VP em relação à VN.

Os valores de DC, quando comparados aos mesmos estudos, são inferiores em ambos os trechos em relação aos 16 nadadores franceses (SIDNEY *et al.*, 1999; 50 m inicial e 50 m final, respectivamente): $2,37 \pm 0,16 \text{ m}$ e $2,25 \pm 0,15 \text{ m}$; aos 17 nadadores franceses; (HUOT-MARCHAND *et al.*, 2005; 50 m inicial e 50 m final, respectivamente): $2,45 \pm 0,16 \text{ m}$ e $2,26 \pm 0,15 \text{ m}$, mas superiores aos quatro nadadores portugueses (VILAS-BOAS *et al.*, 2001): $1,97 \pm 0,23 \text{ m}$ e $1,79 \pm 0,21 \text{ m}$, enquanto os nadadores do presente estudo apresentaram (25 m inicial e 25 m final, respectivamente): $2,21 \pm 0,35 \text{ m}$ e $2,06 \pm 0,23 \text{ m}$ (Figura 6).

Em relação aos valores de FCL, tanto os 16 nadadores do estudo de Sidney *et al.* (1999) quanto os 17 nadadores do estudo de Huot-Marchand *et al.* (2005) apresentaram similares valores aos nadadores do presente estudo em ambos os trechos (50 m inicial e 50 m final, respectivamente): $0,76 \pm 0,04$ Hz e $0,76 \pm 0,05$ Hz para os primeiros e $0,72 \pm 0,05$ Hz e $0,73 \pm 0,05$ Hz para os outros; os nadadores portugueses (VILAS-BOAS *et al.*, 2001) apresentaram maiores valores em ambos os trechos (50 m inicial e 50 m final, respectivamente): $0,91 \pm 0,08$ Hz e $0,88 \pm 0,10$ Hz, enquanto os nadadores do presente estudo apresentaram (25 m inicial e 25 m final, respectivamente): $0,73 \pm 0,10$ Hz e $0,74 \pm 0,11$ Hz (Figura 8). Essas comparações permitem indicar que os nadadores do presente estudo eram de nível competitivo inferior os nadadores desses estudos (HUOT-MARCHAND *et al.*, 2005; VILAS-BOAS *et al.*, 2001; SIDNEY *et al.*, 1999).

Além dos valores encontrados, o comportamento das variáveis cinemáticas parecem, também, estar de acordo com estudos prévios similares (HUOT-MARCHAND *et al.*, 2005; VILAS-BOAS *et al.*, 2001; SIDNEY *et al.*, 1999). A tentativa de manutenção, ou ainda, de incremento de VN ao longo dos 200 m, quando o ambiente fisiológico tende a deteriorar-se, é capaz de levar aos comportamentos de DC e FCL verificados no presente estudo. A redução da DC estaria relacionada a uma incapacidade de manutenção da técnica de nado (considerando que melhor técnica possibilita uma maior distância percorrida a cada ciclo de braçadas), por outro lado, uma tentativa de eliminar o efeito dessa redução de DC sobre os valores de VN, seria o incremento da FCL. Este incremento da frequência gestual pode estar relacionado ao nível dos participantes deste estudo, que, nos primeiros trechos dos 200 m apresentaram uma redução de FCL, compatível com a literatura (CRAIG *et al.*, 1985), mas, ao final da distância, elevaram, novamente, a FCL, em comparação aos trechos intermediários da distância. Redução de FCL foi encontrada entre nadadores de alto nível ao longo dos 200 m nado livre (CRAIG *et al.*, 1985).

Esse comportamento de VN, DC e FCL, encontrado neste estudo, parece, também, estar relacionado a um momento crítico da prova de 200 m: o quinto trecho de 25 m, que ocorreu entre 60 s e 70 s. Considerando os processos de liberação de energia (GASTIN, 2001), em esforços máximos, neste período haveria a troca de predomínio de liberação de energia de processos anaeróbios lácticos para aeróbios, o que poderia causar uma restrição técnica nos gestos executados por dois fatores: a acidose previamente provocada pelo metabolismo anaeróbio e a conseqüente redução de potência na liberação de energia. Efeitos da fadiga, em esforços máximos de curta a média duração, quando a liberação de energia por processos anaeróbios é significativa, é podem levar a adaptações nos parâmetros cinemáticos do nado (AJOUANNET *et al.*, 2005). Segundo Marinho *et al.* (2006)

a tentativa de manutenção de altas velocidades de nado sobrecarrega o sistema neuromuscular e pode deteriorar o desempenho técnico do nado, refletindo em um incremento de frequência de ciclo de braçada, com concomitante redução de distância percorrida por ciclo de braçada.

Observa-se, também, que aproximadamente 71% da variância dos valores de VN, 45% da variância dos valores de DC e 36% da variância dos valores de FCL podem ser explicados pelo efeito tempo nos oito trechos dos 200 m. O maior percentual da variância explicada da VN, em comparação aos resultados de DC e de FCL, está relacionado, então, aos próprios comportamentos de DC e FCL que, juntos, possibilitaram os resultados de VN.

Comparando os valores de pico de concentração da lactato sanguíneo encontrados no presente estudo, com os encontrados em outros estudos podemos verificar que foram similares aos encontrados por Avlonitou (1996), Rinehardt *et al.* (1991) e Capelli *et al.* (1998), por outro lado, os picos de concentração de lactato sanguíneo, deste estudo, não foram similares aos encontrados por Pelayo *et al.* (1996). No presente estudo foi encontrado um pico máximo de concentração de lactato sanguíneo de $11,15 \pm 1,17 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ de sangue, independente do momento da coleta.

Após a prova de 200 m nado livre, em competição, Avlonitou (1996) encontrou, independente do tempo após a realização do esforço, picos de concentração de lactato de $12,79 \pm 1,27 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ de sangue, para o grupo de nadadores de $21,6 \pm 2,4$ anos de idade e de $11,57 \pm 2,12 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ de sangue para o grupo de nadadores de $16,7 \pm 0,5$ anos de idade. Capelli *et al.* (1998), em estudo que buscou compreender a participação percentual de cada rota metabólica em esforços máximos de 50, 100 e 200 jardas, nos quatro estilos competitivos, encontraram, entre oito nadadores ($19 \pm 1,22$ anos de idade) valores de $11,4 \pm 1,6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ de sangue após esforço máximo de 200 jardas (182,9 m). Neste estudo de Capelli *et al.* (1998), a velocidade média de nado para a repetição de 200 jardas foi de $1,62 \pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, contra os $1,45 \pm 0,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ encontrados no presente estudo. Rinehardt *et al.* (1991) mensuraram concentração de lactato sanguíneo 2 min após máxima repetição, em nado *crawl*, na distância de 200 jardas (183 m), em 13 nadadores e oito nadadoras, com idades médias de, respectivamente, $16,6 \pm 0,05$ e $16,83 \pm 0,48$ anos, o valor encontrado foi de $9,92 \pm 0,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, sem distinção entre os sexos.

Por outro lado, os valores de pico de concentração de lactato encontrados no presente estudo, diferiram daqueles de Pelayo *et al.* (1996) que, analisando os efeitos de 23 semanas de treinamento (13 com predomínio de treinamento aeróbio e 10 com predomínio de treinamento anaeróbio) sobre as concentrações sanguíneas de lactato, encontraram os seguintes valores de concentração sanguínea de lactato, respectivamente nas semanas 1

(em competição), 2 (teste), 6 (teste), 10 (teste), 14 (teste), 18 (teste), 21 (teste) e 23 (competição): $15,8 \pm 1,6$ mmol·l⁻¹ de sangue; $17,3 \pm 2,1$ mmol/l de sangue; $18,7 \pm 1,0$ mmol·l⁻¹ de sangue; $14,9 \pm 1,2$ mmol/l de sangue; $18,6 \pm 1,9$ mmol·l⁻¹ de sangue; $15,7 \pm 2,6$ mmol·l⁻¹ de sangue; $17,8 \pm 2,5$ mmol·l⁻¹ de sangue e $16,6 \pm 2,0$ mmol·l⁻¹ de sangue. As coletas de sangue do estudo de Pelayo *et al.* (1996) foram realizadas 3 min após esforço máximo de 200 m nado livre em competição e/ou quatro repetições de 50 m, com 10 s de intervalo, em máxima intensidade, entre seis nadadores de nível nacional e internacional ($19,5 \pm 1,6$ anos de idade, com média de melhor tempo na prova de 200 m nado livre de $116,83 \pm 3,74$ s), sendo estes especialistas nos 200 m nado livre.

Em relação ao tempo até a identificação do pico de concentração de lactato, sete dos participantes do presente estudo, apresentaram o pico 1 min após os 200 m, quatro apresentaram aos 3 min e apenas um nadador aos 5 min. Esses resultados diferem do proposto por DiPrampo *et al.* (1978), para os quais o pico de contração de lactato deveria ocorrer entre 5 e 7 minutos após o esforço máximo. O estado de treinamento dos participantes do presente estudo deve ter contribuído de modo fundamental para esta variação em relação à literatura. Já a realização do aquecimento em baixa intensidade (800 m), foi capaz de reduzir de modo significativo a concentração de lactato sanguíneo do repouso (Figura 10), que apresentou valores, respectivamente pré e pós-aquecimento, de $3,13 \pm 1,21$ mmol·l⁻¹ e $2,24 \pm 0,66$ mmol·l⁻¹. Esta redução, provavelmente, está relacionada à capacidade aeróbia dos indivíduos, facilitando os processos de remoção de lactato residual (WHITEBREAD *et al.*, 2005).

A variância explicada nos valores de concentração de lactato, pelos momentos de coleta, em relação às primeiras quatro medidas de lactato, nos momentos pós-repouso, pós-aquecimento, 1 min após os 200 m e três min após os 200 m (quando havia dados dos 12 participantes), foi cerca de 82%. Este valor possivelmente indica que os momentos escolhidos para a obtenção dos valores de concentração foram adequados.

Valores de consumo de oxigênio mensurados durante e recuperação têm sido utilizados a fim de, por extrapolação, identificar o consumo de oxigênio do esforço prévio, durante esforços máximos na natação (JÜRIMÄE *et al.*, 2007). As equações de predição do consumo de oxigênio relativo aos 200 m, apresentaram coeficiente médio de determinação de $0,92 \pm 0,07$, contra 0,85 encontrado por Sleivert, Mackinnon (1991). O presente estudo utilizou três valores de consumo, obtidos de equipamento com caixa de mistura, ao longo de, aproximadamente, 1 min após o esforço de 200 m, enquanto que Sleivert, Mackinnon (1991) utilizaram balões meteorológicos para a obtenção dos valores, que foram obtidos de 11 períodos entre 13 e 17 s de duração. A comparação entre os valores de consumo de

oxigênio relacionados aos 200 m encontrados neste estudo e em outros estudos pode ser verificada no Quadro 8.

Quadro 8. Comparação entre os valores de consumo de oxigênio do presente estudo e da literatura. * resultado original em $l \cdot \text{min}^{-1}$, transformados em $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ por meio dos dados apresentados no estudo.

estudo	<i>n</i>	VO_2 ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
presente	12	$59,1 \pm 5,7$
Rodríguez (2000)	15	$60,3 \pm 6,2$
Rodríguez (2000)	33	$57,4 \pm 7,8$
Rinehardt <i>et al.</i> (1991)*	19	$48,4 \pm 2,8$
Montpetit <i>et al.</i> (1981)	28	$59,0 \pm 3,3$
Bonen <i>et al.</i> (1980)*	10	$55,7 \pm 4,3$
Magel, Faulkner (1967)	26	$56,3 \pm 3,9$

Pode-se verificar que, a despeito das variadas metodologias utilizadas para a identificação dos valores de consumo de oxigênio entre os estudos apresentados, os valores do presente estudo são, de modo geral, similares aos da literatura. De modo mais específico, Rodríguez (2000) utilizou valores da recuperação, por 30 s, em equipamento que permitia medidas de VO_2 *breath-by-breath*, após nado máximo de 400 m e comparou os valores obtidos de dois distintos grupos de nadadores contra valores de VO_2 obtidos de testes progressivos em esteira e em ciclo-ergômetro. Nenhuma diferença nos valores foi encontrada por Rodríguez (2000). O valor de VO_2 do estudo de Rinehardt *et al.* (1991) foi identificado pós nado máximo de 200 jardas (183 m) com coleta dos gases em sacos de neoprene, por 20 s, nesse estudo os autores compararam os valores de VO_2 de três situações: em nado estacionário, após 500 jardas e após 200 jardas e não encontraram diferenças estatísticas entre os valores.

Montpetit *et al.* (1981) identificaram o VO_2 após nado livre progressivo com a coleta de gases por 20 s, comparando os resultados desta coleta com dados obtidos de esteira e, em outra série de experimentos, comparando valores de VO_2 de esteira, de nado desimpedido, com coleta direta e pelo método de retroextrapolação, não encontraram diferenças entre os valores. Bonen *et al.* (1980) mensuraram o pico de VO_2 aos longo dos últimos 75 m de duas repetições progressivas de 200 m e compararam esses resultados com VO_2 obtido de teste de nado estacionário, não encontrando diferenças de VO_2 entre os métodos. Magel, Faulkner (1967) compararam os valores de VO_2 de 17 nadadores em três distintas situações: teste progressivo em esteira, nado estacionário progressivo e nado livre

progressivo, com amostras de gases obtidas durante os exercícios em sacos de neoprene, os autores encontraram menores valores de VO_2 em esteira comparados aos do nado livre.

Os estudos citados buscaram mensurar o consumo máximo de oxigênio, assumindo, ou não, os picos de valores de consumo de oxigênio como o consumo máximo. O presente estudo não buscou identificar o consumo máximo de oxigênio, mas aquele consumo relativo aos 200 m realizados imediatamente antes. Rinehardt *et al.* (1991) obteve valores de VO_2 após 200 jardas (183 m) em máxima intensidade, encontrando valores de VO_2 menores quando comparados ao presente estudo, porém, da amostra do estudo de Rinehardt *et al.* (1991) participaram 13 nadadores e oito nadadoras, com idades médias de, respectivamente, $16,6 \pm 0,05$ e $16,83 \pm 0,48$ anos (contra $18,3 \pm 2,9$ anos do presente estudo). Como os nadadores analisados por Rinehardt *et al.* (1991) apresentaram valor médio de velocidade de prova menor que no presente estudo, respectivamente, $\pm 1,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Rinehardt *et al.*, 1991) e $\pm 1,53 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (presente estudo) valores identificados apenas pelo quociente entre distância e tempo), três características do estudo de Rinehardt *et al.* (1991) podem ter determinado a diferença entre os valores: (1) a amostra composta por ambos os sexos, (2) a menor média de idade e (3) a menor velocidade de nado (possivelmente relacionada a pior nível de desempenho).

De acordo com Monpetit *et al.* (1981) determinações de consumo máximo de oxigênio, em natação, a partir dos valores de recuperação, podem ser aceitas desde que quatro condições básicas sejam respeitadas: (1) exercício deve ser progressivo e contínuo, levando à exaustão, em mais de 4-5 min; *não foi executado exercício desta duração no presente estudo*; (2) não haver nenhum atraso entre o fim do exercício e o início da coleta de gases; *respeitado neste estudo, havendo uma defasagem entre 2 e 3 s entre o término do exercício e o início da respiração no equipamento*; (3) coleta de gases deve começar no início da primeira expiração e terminar aproximadamente 20 s após; *a primeira expiração pós-exercício foi no equipamento, mas, como não era equipamento que permite valores breath-by-breath, optou-se por 60 s de coleta (três medidas)* e (4) o exercício não seja de intensidade supra-máxima ou de curta duração (menor que 5 min); *o exercício foi de máxima intensidade e menor que 5 min ($130,2 \pm 2,3$ s)*. Considerando essas questões, os valores de VO_2 identificados neste estudo, pós 200 m, não podem ser identificados como de consumo máximo de oxigênio, mas permitiram a identificação dos consumos de oxigênio relativo aos 200 m. Ainda, para Carré *et al.* (1994), o método de retro extrapolação pode superestimar os valores de consumo de oxigênio para o esforço relacionado.

A partir dos valores de VO_2 de repouso e pós 200 m, chegou-se ao valor de VO_2 líquido que, somado ao equivalente em valores de VO_2 da concentração líquida de lactato

sangüíneo, com a utilização de constante proposta por DiPrampo *et al.* (1978) e Barbosa *et al.* (2006), calculou-se a energia total, em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ relativa aos 200 m. O valor encontrado no presente estudo ($61,5 \pm 4,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) foi similar ao valor encontrado por Barbosa *et al.* (2006), enquanto os nadadores realizavam um teste de economia de nado, com velocidade submáximas entre 1,4 e 1,6 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. No presente estudo, a velocidade média de nado foi de $1,45 \pm 0,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, e em uma repetição máxima de 200 m.

Capelli *et al.* (1998), analisando o trabalho total, indicaram que, para esforços máximos de 183 m, que duraram em média 112 s, realizados a velocidade média de $1,62 \pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, por volta de 61% da energia total liberada viriam dos processos aeróbios para obtenção de energia, enquanto que os outros 39% viriam tanto dos processos anaeróbios lácticos, quanto de processos anaeróbios aláticos. Neste estudo, considerando apenas os processos aeróbios e anaeróbio láctico, analisando o consumo de oxigênio líquido (representativo da energia aeróbia) e a taxa de acúmulo de lactato líquido, expressa em valores de consumo de oxigênio (representativa da energia anaeróbia láctica), foram encontrados aproximadamente 80% de contribuição aeróbia e 20% de contribuição anaeróbia láctica. De acordo com Gastein (2001) esforços máximos, com durações até 120 s devem apresentar por volta de 63% de contribuição aeróbia e com durações até 180 s deveriam apresentar por volta 73% de contribuição aeróbia.

Podem ser levantadas três questões relacionadas a essas diferenças: (1) a época da temporada de treinamento quando foram realizadas as avaliações do presente estudo e do estudo de Capelli *et al.* (1998). Os nadadores do presente estudo estavam em um período de treinamento cujas características eram mais extensivas, com grande percentual de séries de características aeróbias, que tendem a elevar a participação do metabolismo aeróbio na liberação de energia total e reduzir as capacidades anaeróbias, o que pode reduzir as concentrações de lactato para esforços máximos (OLBRECHT, 2000). Já o estudo de Capelli *et al.* (1998) foi desenvolvido em três diferentes momentos da temporada competitiva, com diferentes características de treinamento. (2) Outra questão que pode estar relacionada às diferenças encontradas é a não identificação do total de energia provinda do metabolismo anaeróbio alático neste estudo. E (3), finalmente, os valores de lactato líquido em repouso que podem ter sido superestimados pelo equipamento utilizado.

Como resultado do impulso total obtido nos 30 s do TNE, os nadadores deste estudo obtiveram $2648,4 \pm 128,7 \text{ N}\cdot\text{s}$ (Tabela 4). Tanto o valor médio, quanto o valor de desvio-padrão do presente estudo foram similares aos valores de impulso encontrados por Papoti *et al.* (2003), que, avaliando 13 nadadores competitivos, entre 15 e 18 anos, em duas séries de 30 s de nado estacionário, com 20 minutos de intervalo passivo, encontraram valores de

2510,2 ± 105,0 N·s e 2541,9 ± 115,2 N·s, respectivamente, para a primeira e a segunda repetição de 30 s. Os valores de impulso levemente mais altos encontrados no presente estudo, podem estar relacionados tanto às características de idade dos participantes de ambos os estudos, já que no presente estudo, as idades variaram entre 16 e 25 anos, com média de 18, 3 ± 2,9 anos, maior que o maior valor de idade do estudo de Papoti *et al.* (2003), quanto à diferença de capacidade técnica, com nadadores mais velhos devendo apresentar melhor técnica e, conseqüentemente, maior capacidade de aplicação de força.

A curva representativa do comportamento do impulso, com redução significativa dos valores (Figura 12) de 506,2 ± 117,9 N·s no primeiro trecho de 5 s para 384,0 ± 69,5 N·s, no último trecho de 5 s, apresenta grande similaridade às curvas obtidas de testes de Wingate, que permitem avaliação das potências e capacidades anaeróbias (LAURENT JR *et al.*, 2007). De acordo com Laurent Jr. *et al.* (2007) o teste anaeróbio de 30 s de Wingate é o protocolo mais empregado para mensuração de respostas anaeróbias. Este teste envolve uma realização máxima de exercício por 30 s em um ciclo-ergômetro, que permite avaliar pico de potência, potência média e índice de fadiga. Uma resposta típica de um teste de Wingate é um rápido incremento na potência produzida, atingindo um pico nos primeiros segundos de execução e, após, uma incapacidade de manutenção da potência, com um declínio exponencial de potência produzida (LAURENT JR *et al.*, 2007) ao longo do teste.

Estabelecendo um paralelo com um teste de Wingate, os valores de impulso obtidos nos segundos iniciais (pico de impulso) seriam representativos das potências anaeróbias (alática e láctica) e o comportamento dos valores subseqüentes estaria relacionado tanto às capacidades anaeróbias alática e láctica (LAURENT JR *et al.*, 2007). No presente estudo utilizou-se o impulso produzido ao longo do TNE. Os valores foram obtidos pela integral da força produzida pelo nadador dentro da água e o tempo decorrido. Como o tempo é o mesmo para todos os indivíduos, variações de impulso só podem ocorrer pela variação de força intra e inter-indivíduos.

Por outro lado, entre nadadores, é mais comum a avaliação da capacidade anaeróbica dos mesmos com a utilização do teste de Wingate para membros inferiores ou superiores (Colantonio *et al.*, 2003). A realização de testes de Wingate, entre nadadores, embora possibilite a avaliação das capacidades anaeróbicas, pode não representar a especificidade de teste que o gesto desportivo exige. Neste caso, a utilização de um protocolo em natação, mesmo que estacionária (com todas as limitações já apresentadas), parece ser mais eficiente para esta avaliação do que o teste de Wingate, realizado fora da água, com gestos ações musculares menos específicas.

Sobre a especificidade da avaliação em nado estacionário, a comparação entre as frequências médias de ciclos de braçadas dos 200 m (FCL = $0,69 \pm 0,07$ Hz, Tabela 2) e do TNE (FCNA = $0,73 \pm 0,07$ Hz, Tabela 4) não mostrou diferença. De modo mais específico, compararam-se os valores de FCNA com os valores de FCL dos primeiros 50 m do teste de 200 m ($0,74 \pm 0,08$ Hz). Os primeiros 50 m do teste de 200 m foram percorridos em $30,2 \pm 0,89$ s, tempo similar à duração do TNE. Também, nenhuma diferença foi evidenciada. Essas similaridades entre as frequências de ciclo reforçam a possível utilização do teste de nado estacionário de 30 s como alternativa ao teste de Wingate para a avaliação das capacidades anaeróbicas de nadadores. Cabe ressaltar que não era objetivo do presente estudo verificar medidas fisiológicas associadas ao TNE.

5.3 Resultados dos modelos de regressão linear múltipla

Este item apresenta os resultados dos modelos de regressão linear múltipla aplicados. Assim são apresentados cinco grupos de resultados de correlação entre (1) variáveis antropométricas, (2) variáveis cinemáticas, (3) variáveis fisiológicas, (4) variáveis cinéticas e (5) variáveis selecionadas pelos modelos anteriores e o desempenho nos 200 m nado *crawl*, que possibilitaram a elaboração de cinco modelos.

5.3.1 Modelo antropométrico

A Tabela 5 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis antropométricas envergadura (ENV), estatura (EST), massa corporal total (MAS) e somatório de dobras cutâneas (Σ dob) e o desempenho em pontos (DESP).

Tabela 5. Correlações entre as variáveis antropométricas o desempenho; n = 12; * indica correlações significativas.

	EST	ENV	MAS	SOMA
DESP	$r = 0,734$ $p = 0,003^*$	$r = 0,748$ $p = 0,003^*$	$r = 0,338$ $p = 0,142$	$r = - 0,042$ $p = 0,449$
EST		$r = 0,869$ $p < 0,001^*$	$r = 0,577$ $p = 0,025^*$	$r = 0,065$ $p = 0,420$
ENV			$r = 0,447$ $p = 0,073$	$r = - 0,098$ $p = 0,381$
MAS				$r = 0,212$ $p = 0,254$

Na aplicação do modelo de regressão linear múltipla entre as variáveis antropométricas selecionadas e o desempenho, o coeficiente de determinação múltiplo encontrado foi de 0,559 ($F(1, 10) = 12,688$; $p = 0,005$) e apenas envergadura entrou no modelo como capaz de explicar o desempenho, em 55,9% de sua variação. A eliminação da variável estatura do modelo foi devido ao efeito de alta colinearidade entre a envergadura e a estatura (Tabela 5), mantendo-se a variável cujo valor de correlação individual com o desempenho foi maior (envergadura). Já massa e somatório de dobras cutâneas não entraram no modelo devido à falta de correlação simples entre as variáveis e o desempenho.

Deste modo, o modelo matemático para explicação do desempenho (em pontos) nos 200 m nado livre, a partir das variáveis antropométricas selecionadas está apresentado na Equação 12, cujo erro-padrão, é 0,809 para o coeficiente não-estadartizado da envergadura ($p = 0,005$).

Equação 12

$$DESP = 2,881ENV + 190,289$$

5.3.2 Modelo cinemático

A Tabela 6 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis cinemáticas, distância média percorrida por ciclo de braçadas (DC), frequência média de ciclos de braçadas (FCL), coeficiente de variação da velocidade de nado (cvVN), coeficiente de variação da DC (cvDC) e coeficiente de variação da FCL (cvFC) e o desempenho em pontos (DESP).

Tabela 6. Correlações entre as variáveis cinemáticas e o desempenho; $n = 12$; * indica correlações significativas.

	DC	FCL	cvVN	cvDC	cvFC
DESP	$r = 0,729$ $p = 0,004^*$	$r = -0,607$ $p = 0,018^*$	$r = -0,654$ $p = 0,012^*$	$r = -0,033$ $p = 0,440$	$r = -0,263$ $p = 0,204$
DC		$r = -0,682$ $p = 0,007^*$	$r = -0,340$ $p = 0,140$	$r = 0,315$ $p = 0,16$	$r = -0,179$ $p = 0,289$
FCL			$r = 0,449$ $p = 0,072$	$r = -0,062$ $p = 0,424$	$r = 0,238$ $p = 0,228$
cvVN				$r = 0,641$ $p = 0,012^*$	$r = 0,578$ $p = 0,007^*$
cvDC					$r = 0,683$ $p = 0,007^*$

Na aplicação do modelo de regressão linear múltipla entre as variáveis cinemáticas selecionadas e o desempenho, o coeficiente de determinação múltiplo encontrado foi de

0,718 ($F(1,9) = 5,966$; $p = 0,037$). Distância média percorrida por ciclo de braçadas (DC) e coeficiente de variação da velocidade média de nado (cvVN) foram as variáveis capazes, de modo significativo, explicar 71,8% da variação do desempenho. Quando apenas a DC, por apresentar maior valor de correlação individual com o desempenho, entrou no modelo, o percentual explicado foi de 53,1%. A eliminação da variável FCL foi determinada pela alta colinearidade entre DC e FCL, mas como DC apresentou maior valor de correlação individual com o desempenho, permaneceu a DC como melhor preditor. As outras variáveis analisadas (cvDC e cvFC) não apresentaram correlações significativas com o desempenho.

Deste modo, o modelo matemático para explicação do desempenho (em pontos) nos 200 m nado livre, a partir das variáveis cinemáticas selecionadas está apresentado na Equação 13, cujos erros-padrão, para os coeficientes não-estadartizados da DC, do cvVN e da constante são, respectivamente, 24,52 ($p = 0,005$), 4,09 ($p = 0,003$) e 66,22 ($p < 0,001$):

Equação 13

$$DESP = 74,64DC - 10,007cvVN + 612,31$$

5.3.3 Modelo fisiológico

A Tabela 7 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis fisiológicas consumo de oxigênio líquido (VO_2l), concentração de lactato líquido sangüíneo [LAL] e energia total (Etot) e o desempenho em pontos (DESP).

Tabela 7. Correlações entre as variáveis fisiológicas e o desempenho; $n = 12$; * indica correlações significativas.

	VO_2l	[LAL]	Etot
DESP	$r = -0,885$ $p < 0,001^*$	$r = 0,480$ $p = 0,057$	$r = -0,815$ $p = 0,001^*$
VO_2l		$r = -0,621$ $p = 0,016^*$	$r = 0,925$ $p < 0,001^*$
[LAL]			$r = -0,537$ $p = 0,030^*$

Na aplicação do modelo de regressão linear múltipla entre as variáveis fisiológicas selecionadas e o desempenho, o coeficiente de determinação múltiplo encontrado foi de 0,783 ($F(1,10) = 36,046$; $p < 0,001$). Consumo de oxigênio líquido foi a variável que entrou de modo significativo no modelo, sendo capaz de explicar 78,3% da variação do desempenho. A eliminação da variável [LAL] se deu pela falta de correlação simples entre a variável e o desempenho. A alta colinearidade entre VO_2l e Etot determinou a exclusão

desta última, com permanência da variável VO_2l devido ao maior valor de correlação simples entre a variável e o desempenho.

Deste modo, o modelo matemático para explicação do desempenho (em pontos) nos 200 m nado livre, a partir das variáveis fisiológicas selecionadas está apresentado na Equação 14, cujos erros-padrão são 0,908 para o coeficiente não-estadartizado do VO_2l ($p < 0,001$) e 45,293 ($p < 0,001$) para a constante:

Equação 14

$$DESP = -5,449VO_2l + 982,6$$

5.3.4 Modelo cinético

Matriz de correlação entre as variáveis cinéticas impulso total (IMP) e taxa de impulso (TIMP) e o desempenho em pontos (DESP) está apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Correlações entre as variáveis cinéticas e o desempenho; $n = 12$;
* indica correlações significativas.

	IMP	TIMP
DESP	$r = 0,647$ $p = 0,011^*$	$r = - 0,032$ $p = 0,461$
IMP		$r = - 0,164$ $p = 0,305$

Na aplicação do modelo de regressão linear múltipla entre as variáveis cinéticas selecionadas e o desempenho, o coeficiente de determinação múltiplo encontrado foi de 0,419 ($F(1,10) = 7,202$; $p = 0,023$). Impulso total foi capaz de explicar 41,9% da variação do desempenho. Deste modo, o modelo matemático para explicação do desempenho (em pontos) nos 200 m nado livre, a partir das variáveis cinéticas selecionadas está apresentado na Equação 15, cujos erros-padrão, para os coeficientes não-estadartizados do IMP e da constante são, respectivamente, 0,014 ($p = 0,023$) e 38,2505 ($p < 0,001$):

Equação 15

$$DESP = 0,038IMP + 610,05$$

5.3.5 Modelo geral

A partir dos resultados encontrados nos modelos cinemático, fisiológico e cinético, e considerando que a envergadura é uma variável antropométrica que não pode ser alterada com o treinamento, foram selecionadas as variáveis distância média percorrida por ciclo (DC), coeficiente de variação da velocidade de nado (cvVN), consumo de oxigênio líquido (VO_{2l}) e impulso total (IMP) para a elaboração do modelo geral, cuja matriz de correlação está apresentada na Tabela 9.

Tabela 9. Análise do desempenho a partir de parâmetros selecionados, n = 12; * indica correlações significativas.

	DC	cvVN	VO_{2l}	IMP
DESP	$r = 0,729$ $p = 0,004^*$	$r = - 0,654$ $p = 0,012^*$	$r = - 0,885$ $p < 0,001^*$	$r = 0,647$ $p = 0,011^*$
DC		$r = - 0,340$ $p = 0,140$	$r = - 0,440$ $p = 0,140$	$r = 0,345$ $p = 0,136$
cvVN			$r = 0,577$ $p = 0,025^*$	$r = - 0,496$ $p = 0,052$
VO_{2l}				$r = - 0,682$ $p = 0,007^*$

Na aplicação do modelo de regressão linear múltipla entre as variáveis selecionadas e o desempenho, o coeficiente de determinação múltiplo encontrado foi de 0,722 ($F(1,9) = 6,189$; $p = 0,035$). Distância média percorrida por ciclo (DC) e consumo de oxigênio líquido (VO_{2l}) foram capazes de, em conjunto, explicar 72,2% da variação do desempenho. Quando apenas a DC, por apresentar maior valor de correlação individual com o desempenho, entrou no modelo, o percentual explicado foi de 53,1%. Deste modo, o modelo matemático para explicação do desempenho (em pontos) nos 200 m nado livre, a partir das variáveis selecionadas está apresentado na Equação 16, cujos erros-padrão, para os coeficientes não-estadartizados da DC, do VO_{2l} e da constante são, respectivamente, 25,49 ($p = 0,027$), 1,225 ($p = 0,035$) e 103,91 ($p < 0,001$):

Equação 16

$$DESP = 67,09DC - 3,048VO_{2l} + 733,41$$

5.4 Discussão dos resultados das correlações

Correlações significativas e positivas encontrada entre o desempenho (Tabela 5) e a estatura (0,73) e entre o desempenho e a envergadura (0,74) podem ser explicadas por dois fatores inter-relacionados: sob ponto de vista da resistência encontrada pelos corpos na água, espera-se que nadadores que apresentem maiores valores das medidas lineares (estatura) tendam a apresentar menores valores de resistência de onda, já que esta resistência é inversamente proporcional à raiz quadrada do produto entre a estatura e aceleração da gravidade (Anexo 1). Esta relação pode ser explicada pelo conceito de *hull speed*, que admite que, quando o comprimento do corpo que se desloca na água é maior que a onda frontal produzida pelo próprio corpo, a resistência é reduzida (TOUSSAINT, BEEK, 1992).

Considerando que a propulsão final é obtida pela subtração entre a força propulsiva aplicada pelo nadador e a resistência encontrada pelo mesmo, entre nadadores de similar capacidade de geração de força propulsiva, aqueles mais altos devem atingir maiores valores de propulsão final. Esta relação é válida quando maiores valores de estatura não produzam maiores valores de massa corporal total que levem ao incremento das resistências de fricção e pressão (TOUSSAINT, BEEK, 1992). Já maiores valores de envergadura são esperados de indivíduos com maiores valores de estatura, em uma correlação positiva e significativa, confirmada neste estudo (0,869), o que tende a levar à correlação positiva e significativa entre a envergadura e o desempenho. Maior envergadura pode estar relacionada, também, a maiores valores de distância média percorrida por ciclo (DC), indicador de melhor técnica (TOUSSAINT, 1990).

Em uma análise complementar, foi testado o nível de correlação entre a envergadura e a DC entre os participantes deste estudo, e o resultado encontrado não confirmou essa hipótese ($r = 0,50$; $p = 0,09$). Kherif *et al.* (1994) encontraram correlações significativas entre envergadura e DC apenas em nadadoras de provas de velocidade de *crawl*, não entre nadadores. Este resultado, então, indica que não só a envergadura pode influenciar o DC, mas a execução da técnica correta de nado, dentre outros fatores, pode ser determinante para este resultado. Arellano *et al.* (1994) também encontraram correlações significativas e negativas entre estatura e tempo (o que leva às correlações negativas) para nadadores olímpicos de 200 m nado livre. Correlação significativa e positiva encontrada entre estatura e massa (0,57) é lógica e relacionada à maior estrutura corporal de indivíduos com maior estatura.

Melhor utilização da técnica de nado pode ser traduzida pela correlação significativa encontrada entre desempenho e DC (0,729) (Tabela 6). Inúmeros estudos (HAY, GUIMARÃES, 1983; KESKNEN, 1994; AUJOUANNET, 2006) vêm, ao longo do tempo,

apontando a DC como um dos principais indicadores de desempenho em natação. Quando diferentes nadadores, executando o mesmo nado, a uma mesma velocidade, apresentam diferentes valores de DC, aquele que consegue atingir a velocidade com maiores valores de DC e, conseqüentemente, menores valores de freqüência de ciclos de braçadas (FCL) é, normalmente, apontado como tendo melhores indicadores técnicos, e, possivelmente, maior potencial de desempenho. Esta afirmação está relacionada à (1) possível maior economia de nado, com menos energia gasta na execução do gesto (SILVA *et al.*, 2006), (2) maiores capacidades de geração e manutenção de força por músculos responsáveis pelos movimentos propulsivos das braçadas (GRIMSTON, HAY, 1986) e (3) mais correta aplicação dos gestos técnicos, com redução das posições e gestos resistivos.

Ao passo que DC e desempenho apresentaram correlação significativa positiva, e DC e freqüência média de ciclos (FCL) apresentaram correlação significativa e negativa (-0,68), resultado amplamente apresentado (HAY, GUIMARÃES, 1983; ARELLANO *et al.*, 1994; CAPPAERT *et al.*, 1995), a correlação entre desempenho e FCL foi significativa e negativa (-0,68). Embora a velocidade média de nado seja obtida pelo produto entre a DC e a FCL, e maiores valores de velocidade média sejam objetivos de todos os nadadores visando o mais alto rendimento desportivo, a obtenção de maiores valores de VN por maiores valores de FCL não tem sido identificada como uma estratégia adequada e econômica para o melhor desempenho (YANAI, 2003). Para a prova de 200 m nado livre, distância com as características metabólicas já citadas, um incremento na freqüência gestual pode significar um gasto energético mais alto, comprometendo o desempenho final.

Correlação significativa e negativa encontrada entre o coeficiente de variação da velocidade média de nado e o desempenho (-0,65) pode estar relacionada aos efeitos deletérios da variação da velocidade sobre o custo energético do nado. Um início de prova muito intenso poderia provocar um incremento desnecessário do fornecimento de energia pelo sistema glicolítico, causando uma queda de pH que poderia estar relacionada à redução da capacidade de desempenho (VILAS-BOAS *et al.*, 2001). Sabendo-se que a energia necessária para a realização de qualquer evento máximo em natação provém de ambos os sistemas de liberação de energia, anaeróbio e aeróbio (PENDERGAST *et al.*, 2003), esta redução de desempenho poderia se manifestar em rápido descréscimo de velocidade, e, assim, aumentar o coeficiente de variação da mesma. Normalmente, os nadadores de melhor nível são aqueles que conseguem manter de modo mais estável os parâmetros cinemáticos do nado ao longo da prova (SIDNEY *et al.*, 1999). Pelo mesmo caminho, o coeficiente de variação da velocidade de nado (cvVN) apresentou correlações significativas e positivas com os coeficientes de variação da distância (cvDC) e da

frequencia de ciclos (cvFC) (respectivamente, 0,64 e 0,68), estes resultados podem ser explicados pela relação existente entre DC e FCL para a obtenção da velocidade média de nado.

Três correlações significativas e negativas encontradas entre o desempenho e variáveis fisiológicas estão inter-relacionadas: desempenho e consumo de oxigênio líquido (-0,71), consumo de oxigênio líquido e pico de concentração de lactato (-0,57) e desempenho e energia total (-0,65). Consumo máximo de oxigênio é uma variável fisiológica relacionada à máxima capacidade de captação, transporte e utilização de oxigênio pelo corpo, o que, de certa forma, representa a capacidade aeróbia de um indivíduo. Entre atletas de alto nível, de similares características, o valor de consumo máximo de oxigênio não tem sido utilizado a fim de distinguir aqueles nadadores mais e menos aptos ao desempenho, mas sim, o custo energético parece ser a variável que melhor consegue fazer essa distinção (SILVA *et al.*, 2006). O presente estudo não mensurou o consumo máximo de oxigênio, mas buscou identificar aquele consumo relacionado à necessidade de energia aeróbia para a realização dos 200 m em máxima intensidade. Assim como buscou identificar a contribuição energética para o mesmo evento, do sistema anaeróbio láctico, por meio do pico de concentração de lactato líquido encontrado após os 200 m. Por procedimentos já explicados, esses valores foram igualados nas suas unidades, possibilitando a identificação da energia total dispendida nos 200 m.

Jürimäe *et al.* (2007), em um estudo cujos objetivos eram semelhantes aos do presente estudo, mas em relação à prova de 400 m nado livre, entre nadadores pré-púberes e púberes, encontraram coeficiente de correlação significativo e negativo (-0,618) entre o tempo nos 400 m e o pico de consumo de oxigênio identificado na recuperação após o esforço máximo de 400 m. Ou seja, para a maioria dos nadadores avaliados, quanto maior o valor de consumo de oxigênio de pico na recuperação, melhor o desempenho nos 400 m. Para este resultado há que se avaliar a duração do esforço avaliado ($378,3 \pm 53,5$ s) e as características do grupo estudado (pré-púberes e púberes). Segundo Gatin (2001), para esforços acima de 240 s, a participação do metabolismo aeróbio para o fornecimento de energia é acima de 71%, assim, para o esforço de 400 m avaliado, há uma grande necessidade de capacidade aeróbia desenvolvida. Como os nadadores do estudo de Jürimäe *et al.* (2007) eram meninos no máximo púberes, é de se esperar um grande desenvolvimento do metabolismo aeróbio, já que maturação do metabolismo anaeróbio deve ocorrer paralelamente à maturação sexual (KACZOR *et al.*, 2005). Assim, embora apresentem resultados de correlação inversos, o presente estudo, em comparação ao estudo de Jürimäe *et al.* (2007), apresenta duas características fundamentais para este

resultado: uma prova analisada cuja duração média foi menos da metade da duração da prova do estudo de Jürimäe *et al.* (2007) e uma população estudada já maturada.

Desse modo, melhor desempenho nos 200 m parece, então, estar mais relacionado àqueles indivíduos que gastam menos energia tanto de fonte aeróbia, quanto anaeróbia, possibilitando as correlações significativas e negativas citadas. Por outro lado, é interessante notar que (1) a maior parte da energia gasta pelos nadadores foi de ordem aeróbia e (2) pelos valores encontrados de consumo de oxigênio (Tabela 3), os participantes deste estudo apresentam um nível alto de consumo de oxigênio. Assim, além do desempenho nesta prova estar relacionado às questões de economia, parece que o desenvolvimento da capacidade aeróbia é uma peça fundamental para o rendimento nos 200 m nado livre.

Como foi identificada correlação significativa positiva (0,577, Tabela 9) entre o consumo líquido de oxigênio e o coeficiente de variação da velocidade média de nado, parece haver, então, mais indicativos de que a economia de nado seja um dos principais preditores para o desempenho na prova de 200 m nado livre. No presente estudo, houve uma tendência de os nadadores com maiores valores de consumo de oxigênio líquido serem os mesmos que apresentaram maiores valores de coeficiente de variação de velocidade média de nado e piores desempenhos.

Papoti *et al.* (2003) encontraram correlações significativas e positivas, entre desempenho nos 200 m e impulso total em 30 s, em TNE, na ordem de 0,86 e 0,84, para duas repetições seguidas máximas de 200 m. Neste estudo, a correlação encontrada foi de 0,64 ($p = 0,011$). Impulso total depende da manutenção dos valores de força aplicada ao longo dos 30 s, que por sua vez depende de aporte energético suficiente e adequado. Para Gustin (2001), esforços máximos de 30 s devem apresentar aproximadamente 73% de contribuição de metabolismo anaeróbio e 27% de contribuição de metabolismo aeróbio. No presente estudo não foi avaliada a contribuição energética de cada sistema para os 30 s do TNE, mas, de acordo com as características anteriores citadas dos participantes deste estudo, é possível supor que dependam mais do metabolismo aeróbio para a manutenção dos níveis de esforço do que do metabolismo anaeróbio, além dos 27% citados por Gustin (2001).

Por outro lado, quando o TNE é analisado como um teste de avaliação das capacidades anaeróbias, como proposto por Papoti *et al.* (2003), outra possibilidade de explicação deste resultado surge. O impulso total pode não refletir a potência anaeróbia, mas sim à capacidade anaeróbia. Potência anaeróbia, como em um teste de Wingate, estaria relacionada ao pico de impulso identificado ao longo dos 30 de TNE e o impulso total

seria um indicativo da capacidade de trabalho dos nadadores. Segundo Papoti *et al.* (2003) o impulso em TNE pode ser assumido como um índice que fornece indiretamente a aptidão anaeróbia dos nadadores. Embora esse índice, para Papoti *et al.* (2003), seja determinado de modo não invasivo, e necessite de execução máxima pelos nadadores avaliados, evidencia a participação do metabolismo glicolítico e, devido aos valores de correlação encontrados, pode ser utilizado como preditor de desempenho em provas de 200 m.

Se realmente o impulso total indica a capacidade anaeróbia dos nadadores, correlação significativa e negativa encontrada entre o consumo de oxigênio líquido e o impulso (-0,682, Tabela 9) sustenta o difícil equilíbrio que deve ser atingido, entre as capacidades aeróbia e anaeróbia, por atletas de provas cujo metabolismo admite equilíbrio entre liberação de energia aeróbia e anaeróbia (OLBRECHT, 2000), como os 200 m.

Este resultado indica que aqueles nadadores que apresentaram o maior consumo de líquido de oxigênio e, aparentemente, apresentam melhores indicadores de capacidade aeróbia, tendem a apresentar menores valores de impulso total. Papoti *et al.* (2003) encontraram menores valores de correlação entre o impulso e o desempenho na prova de 400 m nado livre, quando comparados aos valores de correlação entre o impulso e o desempenho na prova de 200 m nado livre. Como a prova de 400 m nado livre demanda mais tempo em esforço, é de se esperar que apresente maior dependência de liberação de energia aeróbia do que anaeróbia, assim a correlação entre o impulso deve, então, ser menor. A correlação encontrada no presente estudo, entre o VO_2l e o IMP vai ao encontro dos resultados de Papoti *et al.* (2003).

5.5 Discussão dos resultados dos modelos de regressão linear múltipla

O complexo desempenho em natação depende da interação de diversos fatores: características antropométricas, biomecânicas e fisiológicas exercem papéis fundamentais no rendimento desportivo desta modalidade. Segundo Jürimäe *et al.* (2007) é necessário estudar os diferentes parâmetros que podem afetar este desempenho, a fim de melhor compreender o desempenho e intervir nos processos de treinamento que buscam levar o nadador a mais elevados níveis competitivos.

No presente estudo os diferentes modelos identificaram, além de diferentes valores de coeficientes de determinação, variáveis com influências positivas e negativas sobre o desempenho na prova de 200 m nado livre. No modelo onde entraram apenas as variáveis antropométricas (Equação 12), 55,9% da variação do desempenho puderam ser atribuídos à

envergadura, apenas, exercendo um efeito positivo sobre o desempenho nos 200 m. Em estudo anterior, Geladas *et al.* (2005), investigando as relações do desempenho na prova de 100 m nado livre, em nadadores com idade média de $12,77 \pm 0,05$ anos de idade, com diversas variáveis antropométricas e físicas, encontraram um conjunto de envergadura, impulsão horizontal e força de preensão manual como capazes de explicar 60% da variância do desempenho na prova. Individualmente, a envergadura, neste estudo de Geladas *et al.* (2005), correlacionou-se com o desempenho (identificado pelo tempo) em $-0,64$. Jürimäe *et al.* (2007), para os 400 m entre nadadores pré-púberes e púberes, encontraram coeficiente de determinação de 0,454, envolvendo a envergadura como preditor de desempenho.

Embora reconhecidos os efeitos das características antropométricas no desempenho em natação, principalmente para provas mais curtas (ARELLANO *et al.*, 1994), nas quais a velocidade de nado é maior, levando, também a maiores valores de resistência ao avanço (Anexo 1), o processo de treinamento é incapaz de alterar as medidas antropométricas lineares (envergadura e estatura) que, consistentemente, vêm sendo encontradas como determinantes no desempenho. Para Geladas *et al.* (2005) modelos matemáticos que visam a compreensão do desempenho em natação, utilizando parâmetros relativamente simples de serem identificados, como os antropométricos, possuem uma função fundamental em processos para selecionar jovens nadadores com um procedimento econômico e de fácil implantação. Por outro lado, é claro também que, na seleção de indivíduos para a natação, não se pode, apenas, utilizar as medidas antropométricas como determinantes para identificar potencialidades esportivas. Uma questão é a utilização de características antropométricas que possibilitam incremento da propulsão final (por redução da força resistiva e/ou incremento da força propulsiva) identificadas em nadadores competitivos, os quais já apresentam determinado nível técnico. Outra questão está relacionada a possíveis nadadores que apresentam essas características, mas não apresentam nível técnico já desenvolvido. Nesses indivíduos, apresentar essas características antropométricas não garante desempenho, já que outras características, tanto fisiológicas, quanto biomecânicas (nesse caso, questões de aprendizado da técnica, também) são tão, ou mais, importantes para o desempenho do que as características antropométricas (GELADAS *et al.*, 2005).

Em relação à atual situação da natação brasileira, abordar seleção de talentos parece estar muito distante da realidade. Acesso massificado às práticas desportivas, inclusive natação, com qualidade e planejamento, independente das características antropométricas dos indivíduos, deveria ser, em um primeiro momento, a estratégia principal para o desenvolvimento da natação. Criando-se cultura desportiva, com adequadas condições de aprendizado e de prática, haverá população praticante e, assim, a

possibilidade de identificar, dentre os praticantes, aqueles que apresentariam as mais adequadas características antropométricas para a modalidade.

A partir da análise isolada das variáveis cinemáticas obtidas neste estudo (Equação 13), para os 200 m, 71,8% da variação no desempenho puderam ser explicados pela DC e pelo cvVN. Distância média percorrida por ciclo de braçada, com efeito positivo sobre o desempenho e coeficiente de variação da velocidade média de nado com efeito negativo sobre o desempenho. Estudos que admitem a importância da DC sobre os resultados finais em natação são abundantes, desde Hay, Guimarães (1983) até Jürimäe *et al.* (2007).

Três aspectos podem estar relacionados a maiores valores de DC entre nadadores de melhor desempenho e, além disso, com capacidade de predição de desempenho: (1) características antropométricas (estatura e envergadura), (2) nível técnico e (3) capacidade de geração de força. Em relação ao primeiro aspecto, nadadores que apresentam maiores valores de medidas lineares, tendem a apresentar menores valores de resistência de onda, considerando a equação que determina o número adimensional de Froude, onde a resistência de onda é inversamente proporcional à raiz quadrada da medida longitudinal do objeto que se desloca (TOUSSAINT, BEEK, 1992). Considerando que há uma relação direta entre estatura e envergadura (no presente estudo, entre estatura e envergadura, encontrou-se $r = 0,86$, $p < 0,001$), aqueles nadadores mais altos são os mesmos de maior envergadura e tendem a produzir menores valores de resistência, desde que a massa corporal total não incremente os valores de resistência de pressão. Por outro lado, a literatura (KHERIF *et al.*, 1994; CASTRO *et al.*, 2005; GELADAS *et al.* 2005) não é capaz de mostrar, sistematicamente, valores de correlação entre envergadura e indicadores de desempenho em natação, assim, parece que esta relação é obtida quando o grupo de nadadores avaliado não apresenta características antropométricas e de desempenho tão homogêneas.

Já em relação ao segundo aspecto, não apenas maior envergadura pode ser fundamental para incrementar valores de DC, mas uma melhor técnica de nado, que permita reduzir as forças de resistência ao avanço e permita um incremento de força propulsiva, pode ser traduzida em valores de DC incrementados e positivamente determinantes do desempenho (TOUSSAINT, 1990). Quando um nadador consegue incrementar sua DC, sem reduzir sua VN, estará propiciando, pela melhoria da técnica, uma maior economia de nado, fundamental para o desempenho (SILVA *et al.*, 2006). Para o terceiro aspecto, nadadores com maiores capacidades de geração e manutenção da força por músculos diretamente relacionados às fases propulsivas da braçada do nado *crawl* (grande dorsal, redondo maior, peitoral maior, tríceps braquial), tenderiam a apresentar maiores valores de DC (GRIMSTON, HAY, 1986).

Já em relação à variabilidade os parâmetros cinemáticos, ao longo de um esforço em natação, e suas relações com o desempenho, há escassez de informações. Nadar com variação de velocidade, quando comparado a nadar com velocidade constante, leva a um incremento no trabalho produzido pelo nadador. Este incremento estaria relacionado às condições de inércia e resistência ao avanço, encontradas na situação de variação de velocidade (BARBOSA *et al.*, 2005). Essas constatações referem-se às variações de velocidade intracíclicas, ou seja, às mudanças de velocidade do corpo nadador devido às diferenças de propulsão entre um segmento e outro ou entre pernas e braços (KESKINEN, KOMI, 1993). Estudo sobre o custo energético do nado borboleta, de Barbosa *et al.*, (2005), verificou que a variação intracíclica da velocidade de deslocamento do centro de massa apresenta correlação positiva e significativa com o custo energético do nado. Assim pode apresentar efeitos negativos sobre o desempenho, especialmente na prova analisada (200 m nado borboleta). O nado borboleta é caracterizado por apresentar um ciclo com duas fases distintas em relação à propulsão: fase submersa das braçadas, com alta propulsão e fase aérea, com propulsão reduzida. Já o nado *crawl*, por ser um nado alternado, deverá apresentar menor variação intracíclica de velocidade, desde que o nadador execute a técnica com maior predomínio de oposição entre as braçadas. De modo geral, a variação dos parâmetros cinemáticos, ao longo de uma prova, poderia, também, estar relacionada ao desempenho de um nadador.

Assim, a entrada do cvVN no modelo, de poder negativo sobre o desempenho, pode estar relacionado aos efeitos deletérios da variação da velocidade sobre o custo energético do nado. Um início de prova muito intenso poderia provocar um incremento desnecessário do fornecimento de energia pelo sistema glicolítico, causando uma queda de pH que poderia estar relacionada à redução da capacidade de desempenho (VILAS-BOAS *et al.*, 2001). Sabendo-se que a energia necessária para a realização de qualquer evento máximo em natação provém de ambos os sistemas de liberação de energia, anaeróbio e aeróbio (PENDERGAST *et al.*, 2003), esta redução de desempenho pode se manifestar em rápido decréscimo de velocidade, e, assim, aumentar o coeficiente de variação da mesma. Normalmente, os nadadores de melhor nível são aqueles que conseguem manter de modo mais estável os parâmetros cinemáticos do nado ao longo da prova (SIDNEY *et al.*, 1999), embora as variações de DC e FCL apontadas no presente estudo (Figuras 7 e 8, respectivamente) e em outros (VILAS-BOAS *et al.*, 2001; SIDNEY *et al.*, 1999) pareçam ser comuns, e estão relacionadas às estratégias individuais para a tentativa de manutenção da VN, essas variações não devem determinar maiores oscilações na VN de modo a prejudicar, em última instância, o próprio desempenho.

Desse modo, com base no modelo de regressão múltipla determinado pelas variáveis cinemáticas, o incremento de DC, com manutenção de valores elevados ao longo dos 200 m, e baixa oscilação da VN, devem ser buscados no treinamento de natação, especificamente para esta prova.

De modo consistente, quando o modelo de regressão múltipla foi gerado com as variáveis fisiológicas (Equação 14), 51,9% da variação do desempenho pode ser explicada pelo consumo de oxigênio líquido (VO_{2l}), com uma relação negativa entre as variáveis. Neste caso, há que se considerar (1) o principal suprimento energético para a prova avaliada foi a partir do metabolismo aeróbio e (2) menor custo energético, mesmo aeróbio, deve ser considerado para o rendimento na prova. Custo energético está relacionado a diversos fatores: habilidade técnica, o estilo em que se nada, as características antropométricas, a capacidade de flutuação, as resistências passiva e ativa e a eficiência propulsiva (ZAMPARO *et al.*, 2000).

Neste estudo podemos verificar que aqueles nadadores que apresentaram maior DC foram os mesmos com melhor desempenho. Sendo a DC um indicador de técnica apurada, há concordância entre esses resultados. Todos os indivíduos realizaram os 200 m em um mesmo estilo, nado *crawl*, considerado o mais econômico entre os quatro estilos competitivos (BARBOSA *et al.* 2006). A influência tanto da estatura, quanto da envergadura sobre o desempenho nos 200 m, principalmente a envergadura, com capacidade de prever o desempenho, foi verificada, também, neste estudo. Já capacidade de flutuação, resistências passiva e ativa e eficiência propulsiva não foram objetos deste estudo.

Considerando que as metodologias de treinamento e conhecimento das técnicas de nado estão bem desenvolvidas e difundidas, com os diversos mecanismos de troca de informações, possivelmente, não deverá haver muitas diferenças nos processos de treinamento de diferentes nadadores ou equipes, desde que os responsáveis por esses treinamentos tenham acesso às informações. Considerando que a propulsão final é resultado entre a força propulsiva e a força resistiva, há possibilidade de, com essa difusão do conhecimento, o que diferencie os nadadores melhores e piores não seja a força propulsiva, mas a capacidade de redução das forças resistivas, seja por melhor técnica de nado, seja por características antropométricas mais adequadas. Essa redução das forças resistivas leva, inevitavelmente, a técnicas de nado mais econômicas e eficientes, com menor custo energético em maiores velocidades de nado.

Outro aspecto capaz de incrementar o custo energético é a variação da velocidade intracíclica de nado, demonstrado anteriormente para os nados peito (VILAS-BOAS, 1993) e borboleta (BARBOSA *et al.* 2005). No presente estudo não foi mensurada a variação de

velocidade intracíclica de nado, mas a variação de velocidade ao longo dos 200 m, a partir dos valores de velocidade média de nado a cada 25 m. Assim, parece que realizar a prova de 200 m com maiores variações de velocidade pode, também, influenciar o custo energético, o incrementado, e, desse modo, reduzindo o desempenho.

Embora não seja recente como processo de avaliação em natação, a técnica de nado estacionário vem sendo utilizada, principalmente, para avaliar as forças produzidas pelo nadador na água e verificar os níveis de correlação entre as forças encontradas e o desempenho em provas mais curtas ou em altas velocidades de nado (TAYLOR *et al.*, 2003; FOMITCHENKO, 1999; COSTILL *et al.*, 1985; YEATER *et al.*, 1981). Mais recentemente Papoti *et al.* (2003), com base em resultados significativos de correlação entre desempenho em provas de 200 e 400 m e impulso ao longo de um teste de 30 s em nado estacionário, propuseram a utilização do impulso total dos 30 s em nado estacionário como índice para avaliação da capacidade anaeróbia de nadadores. Na tentativa de explicar o desempenho nos 200 m tanto com o impulso total (IMP), quanto com a taxa de variação do impulso (TIMP) ao longo dos 30 s, apenas o IMP (Equação 15) foi capaz de, significativamente, explicar 41,9% da variação do desempenho, mais baixo percentual encontrado entre todos os modelos.

Se o impulso total no teste aplicado é realmente índice de avaliação da capacidade anaeróbia, como proposto por Papoti *et al.* (2003) e aceito pelo presente estudo, a baixa capacidade de predição que esta variável apresentou para os 200 m é aceitável pelo seguinte aspecto: sendo o metabolismo aeróbio o principal responsável pelo suprimento energético para este evento, a capacidade anaeróbia não deverá ser tão importante como preditor de desempenho nos 200 m nado livre.

Quando analisadas em conjunto todas as variáveis indicadas por cada modelo como capazes de prever o rendimento nos 200 m nado livre, foi encontrado que 72,2% da variação do desempenho podem ser explicados pela distância média percorrida por ciclo de braçada (positivamente) e pelo consumo de oxigênio líquido (negativamente) apenas (Equação 16). Envergadura, mesmo sendo um preditor significativo de desempenho para a prova de 200 m nado livre, não foi incluída no modelo, já que é uma característica antropométrica que não é passível de adaptação em resposta aos processos de treinamento aplicados. Coeficiente de variação da velocidade média de nado e impulso, embora apresentando coeficientes de correlação significativos com o desempenho e, mais além, sendo capazes de prever o desempenho quando colocadas em modelos de regressão múltiplos com outras variáveis de mesma natureza, não mantém seus poderes de predição à luz de outras variáveis.

Essas outras variáveis, distância média por ciclo de braçada (DC) e consumo de oxigênio líquido (VO_2l) são, então, dentre todas as variáveis analisadas, aquelas que, em conjunto, melhor predizem o desempenho para os 200 m nado livre. Maiores valores de DC, aliados a altas velocidades de nado, ao longo dos 200 m, deve ser objetivo de treinamento para os 200 m. Quando um nadador consegue atingir alta velocidade de nado, mantendo elevados valores de DC, provavelmente estará executando um nado mais econômico, o que leva ao resultado encontrado em relação ao VO_2l entrar no modelo de forma negativa, ou seja, buscar elevados valores de DC, para maior velocidade de nado, com menor custo energético.

Esta relação, já identificada anteriormente por Yanai (2003), leva em consideração que, para um incremento da velocidade de nado com base em incremento apenas da frequência gestual, deve haver um incremento do custo energético, que pode ser determinante em relação ao resultado final. Em estudo anterior, Chatard *et al.* (1990) encontraram maiores valores de consumo máximo de oxigênio entre aqueles nadadores especialistas em nado *crawl* que apresentavam maiores valores de frequência de braçada. Este resultado é coerente com os resultados deste estudo. Ao executar a técnica de *crawl* com maior frequência de braçada, sem se preocupar com a execução de maiores valores de DC, um nadador poderá incrementar, de modo simultâneo, tanto o consumo máximo de oxigênio, quanto o custo energético. Se este nadador apresentar um alto consumo máximo de oxigênio, poderá, então, manter, por mais tempo, maiores valores de frequência de braçada para determinada velocidade média de nado. Essa estratégia, embora utilizada por diversos nadadores mesmo no alto nível, é aquela reconhecidamente de menor economia.

Para provas curtas, como os 50 m nado livre, até os 100 m nado livre, talvez elevar a economia de nado e reduzir o custo energético não seja tão apropriado. Para estas provas, principalmente a mais curta, uma alta liberação de energia, que propicie a produção e a manutenção elevada da força muscular, desde que esta força seja transformada em propulsão final, deve ser sempre almejada. Em provas mais longas, como os 800 e os 1500 m nado livre, a economia passa a ser essencial, mas esta economia de nado é alcançada em velocidades de nado relativamente menores quando comparadas às velocidades de nado de provas mais curtas. Assim, nessas provas mais longas, a resistência ao avanço, devido à menor velocidade de nado, é naturalmente reduzida em comparação às provas mais curtas. Inclusive, nas provas mais longas, há estratégias relacionadas aos modelos de coordenação do nado *crawl* que, ao serem utilizados, parecem propiciar menor custo energético, como o modelo de *catch-up*, identificado quantitativamente por Chollet *et al.*

(2000), que, embora não permita uma velocidade de nado tão alta como o modelo de oposição, parece ser um modelo de coordenação relacionado à economia.

Por outro lado, em provas intermediárias, como a dos 200 m, há, ao mesmo tempo, a necessidade de se alcançar e manter altos valores de velocidade de nado ao longo da prova. Esses valores mais elevados de velocidade de nado levam, inevitavelmente, a maiores valores de resistência ao avanço, que, por sua vez, levam à necessidade de execução mais técnica de nado para atingir dois objetivos: aumentar a força propulsiva e reduzir a força resistiva. Nesse caso, a execução de um nado mais técnico leva um valor incrementado da distância média percorrida por ciclo de braçadas e redução do consumo de oxigênio durante o esforço. De modo mais específico, para Zamparo *et al.* (2005), o incremento de DC, para determinada velocidade de nado, leva a um decréscimo do custo energético para aquela velocidade. Ou seja, deve haver um comportamento paralelo de incremento de DC e redução de VO_2 para nadadores que buscam o alto rendimento em resposta a treinamento.

Considerando os achados dos coeficientes de determinação para os modelos de regressão múltipla, pode-se afirmar que, para os 200 m nado livre, um processo de treinamento adequado deveria focar primariamente em (1) melhoria da técnica de nado, traduzida em maiores valores de DC para as mesmas ou superiores velocidades de nado; (2) incremento da economia de nado para o evento, relacionada à redução do custo energético aeróbio para a prova, principalmente. De modo complementar, (3) um nadador deveria aprender a executar a prova de 200 m nado livre com um mínimo de variação de velocidade de nado ao longo dos trechos da prova e (4) deveria melhorar sua capacidade anaeróbia, resistindo a possíveis efeitos deletérios relacionados ao metabolismo anaeróbio láctico.

Melhoria da técnica de nado pode ser obtida com execução de exercícios técnicos propriamente ditos, que buscam a correção da execução dos nados em diferentes intensidades dos mesmos. Considerando que a execução de determinada técnica é mais fácil em baixas velocidades, as sessões de aprendizado dessas técnicas deverão ser em baixas velocidades, porém, ao passo que as competições ocorrem em esforços máximos (absolutos ou relativos) há a necessidade de execução dessas técnicas, também, sob condições extremas de intensidade. Treinamento que foque a execução da melhor técnica leva, então ao nado com maiores distâncias percorridas a cada ciclo de braçadas. Uma melhor execução da técnica de nado, aliada a um incremento da capacidade aeróbia, leva à redução do custo energético. Execução do treinamento em distâncias e intensidades que provoquem adaptações do metabolismo aeróbio, com incremento da potência aeróbia

possibilita que uma mesma velocidade de nado no futuro, seja executada com menor consumo de oxigênio líquido.

O aprendizado da prova deve ocorrer a partir da prática da mesma, quando há adequada estratégia de esforço/velocidade de nado para cada trecho da prova. Essa estratégia é individual e relacionada às capacidades desenvolvidas ao longo do processo de treinamento, mas deveriam levar a menores variações da velocidade de nado ao longo da prova. A capacidade de manutenção da força muscular, relacionada à força propulsiva, ao longo de 30 s de esforço (representada neste estudo pelo impulso) deve, também, ser objetivo do treinamento para os 200 m nado livre.

6 Conclusão

Configurou-se como objetivo geral deste estudo identificar a importância de cada fator relacionado ao desempenho na prova de 200 m nado livre, e suas inter-relações em um grupo de nadadores competitivos. Para tal foram identificadas diversas características antropométricas, cinemáticas, fisiológicas e cinéticas relacionadas ao desempenho em natação e descritas na literatura.

Os achados deste estudo indicam que, para a prova de 200 m nado livre, um processo de treinamento adequado deveria estar baseado, em ordem de importância, em (1) melhoria da técnica de nado, buscando maiores valores de DC para as mesmas ou superiores velocidades de nado; (2) redução do custo energético aeróbio para a prova. De modo complementar, o treinamento deveria (3) proporcionar aprendizado da execução da prova de 200 m nado livre com um mínimo de variação de velocidade de nado ao longo dos trechos da prova e (4) incrementar a capacidade anaeróbia, incrementando a resistência a possíveis efeitos deletérios relacionados ao metabolismo anaeróbio láctico.

De modo específico, em relação às características antropométricas:

Os participantes deste estudo, atletas de nível regional e nacional, apresentaram valores de estatura, envergadura e massa corporal total compatíveis com nadadores de nível competitivo, não sendo encontrados *out-liers* para qualquer característica antropométrica analisada.

Em relação às variáveis cinemáticas:

A velocidade média de nado, ao longo dos 200 m, apresentou comportamento inicial de queda e, após os 75 m, manutenção dos valores até o final da distância. Este comportamento foi devido, principalmente à acentuada redução dos valores de distância percorrida a cada ciclo de braçada nos 75 m iniciais dos 200 m, com similar comportamento da frequência média de ciclos de braçadas. Os valores encontrados foram similares àqueles anteriormente descritos.

Em relação às variáveis fisiológicas:

Consumo de oxigênio líquido identificado por método de retro-extrapolação e concentração líquida de lactato sangüíneo, relativos ao esforço de 200 m, permitiram o cálculo da energia total dispendida para a realização dos 200 m. Os valores encontrados de consumo de oxigênio, de concentração de lactato e de energia total foram semelhantes àqueles já descritos.

Em relação às variáveis cinéticas:

Valor de impulso total, mensurado em 30 s de nado estacionário, foi similar a valor previamente descrito. O comportamento do impulso, ao longo de seis janelas de 5 s de duração, mostrou comportamento descendente, similar ao comportamento da potência encontrado em testes anaeróbios de Wingate.

A aplicação de modelos de regressão linear múltiplos, primeiramente em cada grupo de variáveis e, após, com as variáveis de cada grupo que foram capazes de prever o desempenho nos 200 m, permitiu identificar aqueles fatores determinantes para o desempenho na prova de 200 m nado livre. Entre as características antropométricas, a envergadura foi aquela com maior poder de predição. Entre as cinemáticas, a distância média percorrida por ciclo de braçadas e a variação da velocidade média de nado também foram apontadas pelo modelo. Consumo de oxigênio líquido para o esforço foi apontado dentre as variáveis fisiológicas analisadas, já o impulso mensurado em teste de nado estacionário de 30 s de duração também se apresentou como determinante do desempenho.

Quando essas variáveis entraram ao mesmo tempo em um modelo de regressão múltipla geral, apenas a distância média por ciclo de braçada e o consumo de oxigênio líquido mantiveram seus poderes de determinação do desempenho, sendo capazes de prever até 72,2% do desempenho nos 200 m nado livre. Esses resultados apontam para a execução de um nado mais técnico, com menor custo energético, ser fundamental para o rendimento nos 200 m nado livre.

7 Limitações e perspectivas

Dentre as limitações possíveis de serem identificadas na realização deste estudo, destacam-se: a utilização do equipamento de medida da concentração de lactato sanguíneo, a participação de apenas nadadores do sexo masculino e as coletas serem executadas em um período de treinamento sob forte característica de estimulação de metabolismo aeróbio.

Em relação à lactacidemia, o equipamento utilizado pode superestimar as baixas concentrações sanguíneas de lactato. Se for o caso, os valores de lactato líquido podem ter sido subestimados, o que levaria à redução da participação calculada do metabolismo anaeróbio na energia total estimada para o evento.

Diferenças entre os sexos têm sido apontadas pela literatura em diversos aspectos relacionados ao desempenho natação. Uma comparação entre os sexos das variáveis e dos modelos encontrados poderia revelar distintas perspectivas de treinamento.

A avaliação de um mesmo grupo de nadadores, em diferentes momentos de um plano de treinamento, não apenas em curto transversal, cujas características de volume e intensidade estão relacionadas a diferentes objetivos de ganho biomecânico e fisiológico, poderia trazer mais luzes em relação à estrutura do treinamento e respostas individuais ao mesmo.

Referências bibliográficas

- AKIS, T., ORCAN, Y. Experimental and analytical investigation of the mechanics of *crawl* stroke swimming. **Mechanics Research Communications**. 31, 243-261, 2004.
- ALBERTY, M., SIDNEY, M., HUOT-MARCHAND, F. Reproducibility of performance in three types of training tests in swimming. **International Journal of Sports Medicine**. 27, 623-628, 2006.
- ARELLANO, R., BROWN, P., CAPPAERT, J., NELSON, R.C. Analysis of 50-, 100-, and 200-m Freestyle Swimmers at the 1992 Olympic Games. **Journal of Applied Biomechanics**. 10, 189-199, 1994.
- AUJOUANNET, Y.A., BONIFAZI, M., HINTY, F., VILLERME, N., ROUARD, A.H. Effects of a high-intensity swim test on kinematics parameters in high-level athletes. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**. 31, 150-158, 2006.
- AVALOS, M., HELLARD, P., CHATARD, J.C. Modeling the Training-Performance Relationship Using a Mixed Model in Elite Swimmers. **Medicine e Science in Sports e Exercise**. 35 (5), 838-846, 2003.
- AVLONITOU, E. Maximal lactate values following competitive performance varying according to age, sex and swimming style. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. 36, 24-30, 1996.
- AVLONITOU, E., GEORGIU, E., DOUSKAS, G., LOUIZI, A. Estimation of Body Composition in Competitive Swimmers by Means of Three Different Techniques. **International Journal of Sports Medicine**. 18, 363-368, 1997.
- BARBOSA, T.M., KESKINEN, K.L., FERNANDES, R., COLAÇO P., LIMA A.B., VILAS-BOAS, J.P. Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. **European Journal of Applied Physiology**. 93, 519-523, 2005.
- BARBOSA, T., FERNANDES, R., KESKINEN, K.L., COLAÇO, P., CARDOSO, C., SILVA, J., VILAS-BOAS, J.P. Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. **International Journal of Sports Medicine**. 27 (11), 894-899, 2006.
- BERGER, M.A.M., GROOT, G., HOLLANDER, A.P. Hydrodynamic drag and lift forces on human hand/arm models. **Journal of Biomechanics**. 28 (2), 125-133, 1995.
- BERGER, M.A.M., HOLLANDER, A.P., GROOT, G. Technique and losses in front crawl swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 29 (11), 1491-1498, 1997.
- BONEN A., WILSON, B.A., YARKONY, M., BELCASTRO, A.N. Maximal oxygen uptake during free, tethered, and flume swimming. **Journal of Applied Physiology**. 48(2), 232-235, 1980.
- CAPELLI, C.; PENDERGAST, D., TERMIN, B. Energetics of swimming at maximal speed in humans. **European Journal of Applied Physiology**. 78, 385-93, 1998.
- CAPELLI, C. Physiological determinants of best performance in human locomotion. **European Journal of Applied Physiology**. 80, 298-307, 1999.
- CAPPAERT, J.M., PEASE, D.L., TROUP, J.P. Three-Dimensional Analysis of the Men's 100-m Freestyle During the 1992 Olympic Games. **Journal of Applied Biomechanics**. 11, 103-112, 1995.

- CAPUTO, F., LUCAS, R. D. de, GRECO, C. C., DENADAI, B. S. Características da braçada em diferentes distâncias no estilo *crawl* e correlações com o desempenho. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**. 8(3):7-13, 2000.
- CAPUTO, F., MACHADO, R.S., LUCAS, R.D., DENADAI, B.S. Efeitos de oito semanas de treinamento de natação no limiar anaeróbio determinado na piscina e no ergômetro de braço. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. 8 (1), 7-12, 2002.
- CARDELLI, C., LERDA, R., CHOLLET, D. Analysis of breathing in the *crawl* as a function of skill and stroke characteristics. **Perceptual and Motor Skills**. 90, 979-987, 2000.
- CARRÉ, F., DASSONVILLE, J., BEILLOT, J., PRIGENT, J.Y., ROCHCONGAR, P. Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. **European Journal of Applied Physiology**. 69, 258-261, 1994.
- CASTRO, F.S.; GUIMARÃES, A.C.S.; MORÉ, F.; LAMMERHIRT, H., MARQUES, A. Cinemática do Nado *Crawl* sob diferentes intensidades e condições de respiração de nadadores e triatletas. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**. 19 (3), 223-232, 2005.
- CASTRO, F.S.; MORÉ, F.C., KRUEL, L.F.M. Relação entre o Índice de Braçadas e a Performance em Nadadores de 50 Metros Nado Livre. **Anais do X Congresso Brasileiro de Biomecânica**, Ouro Preto. V.1, 246-249, 2003.
- CHATARD, J.C., COLLOMP, C., MAGLISCHO, E., MAGLISCHO, C. Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. **International Journal of Sports Medicine**. 11, 156-161, 1990.
- CHATARD, J.C., LAVOIE, J.M., LACOUR, J.R. Analysis of determinants of swimming economy in front *crawl*. **European Journal of Applied Physiology**. 61, 88-92, 1990.
- CHATARD, J. C., LAVOIE, J.M., LACOUR, J.R. Energy cost of front-*crawl* swimming in women. **European Journal of Applied Physiology**. 63, 12-16, 1991a.
- CHATARD, J.C., AGEL, A.M., LACOSTE, L., MILLET, C., PAULIN, M., LACOUR, J.R. Coût énergétique du *crawl* chez les nageuses de compétition. Comparison avec les garçons. **Science and Sports**. 6, 245-251, 1991b.
- CHOLLET, D., CHALIES, S., CHATARD, J.C. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. **International Journal of Sports Medicine**. 21, 54-59, 2000.
- COLANTONIO, E., BARROS, R.V., KISS, M. A. D. M. Oxygen uptake during Wingate tests for arms and legs in swimmers and water polo players. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. 9(3), 141-44, 2003.
- COSTILL, D. L. Practical problems in exercise physiology research. **Research Quarterly**, 56 (4), 378-384, 1985.
- COSTILL, D. L.; KOVALESKI, D.; PORTER, D.; KIRWAN, R.; FIELDING, R., KING, D. **Energy Expenditure During Front *Crawl* Swimming: Predicting Success in Middle-Distance Events**. *International Journal of Sports Medicine*. 6, 266-270, 1985.
- COUNSILMAN, J. E., BROWN, R. M. The roll of lift in propelling the swimmer. **Selected topics on biomechanics: proceedings of the C. I. C. symposium on biomechanics**. Cooper, J. M. (ed.). Chicago: Athletic Institute. 179-188, 1971.
- CRAIG JR, A. B., PENDERGAST, D. R. Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. **Medicine and Science in Sports**. 11 (3), 278-283, 1979.

- CRAIG JR, A. B., SKEHAN, P. L., PAWELCZYK, J. A., BOOMER, W. L. Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 17 (6), 625-634, 1985.
- DEMARIE, S., SARDELLA, F., BILLAT, V., MAGINI, W., FAINA, M. The VO_2 slow component in swimming. **European Journal of Applied Physiology**. 84, 95-99, 2001.
- DESCHODT, V.J., ROUARD, A.H. Influence du sexe sur les paramètres cinématiques de nage chez les *crawlers* de haut niveau. **Science & Sports**. 14, 39-44, 1999.
- DIPRAMPERO, P.E., PENDERGAST, D.R., WILSON, D.W., RENNE, D.W. Energetics of swimming in man. **Journal of Applied Physiology**. 37, 1-5, 1974.
- DIPRAMPERO, P., PENDERGAST, D., WILSON, D., RENNIE, D. Blood lactic acid concentrations in high velocity swimming. In: Eriksson B., Furberg, B. (eds.). **Swimming Medicine IV**. Baltimore: University Park Press, 249-261, 1978.
- DOPSAJ, M., MATKOVIĆ, I., ZDRAVKOVIĆ, I. The relationships between 50 m – freestyle results and characteristics of tethered forces in male sprint swimmers: a new approach to tethered swimming test. **Facta Universitatis. Physical Education and Sports**. 1 (7), 15-20, 2003.
- FERNANDES, R.J., CARDOSO, C.S., SOARES, S.M., ASCENÇÃO, A., COLAÇO, P.J., VILAS BOAS, J.P. Time Limit and VO_2 Slow Component at Intensities Corresponding to VO_2 max in Swimmers. **International Journal of Sports Medicine**. 24, 576-581, 2003.
- FOMITCHENKO, T.G. Relationship between sprint speed and power capacity in different groups of swimmers. In Keskinen, K., Komi, P. e Hollander, A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming VIII**. Jyväskylä, Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Finland. 209-211, 1999.
- GASTIN, P. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. **Sports Medicine**. 31 (10): 725-741. 2001.
- GELADAS, N.D., NASSIS, G.P., PAVLICEVIC, S. Somatic and Physical Traits Affecting Sprint Swimming Performance in Young Swimmers. **International Journal of Sports Medicine**. 26, 139-144, 2005.
- GRIMSTON, S. K., HAY, J. G. Relationships among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 18 (1), 60-68, 1986.
- GULLSTRAND, L. Swimming as an Endurance Sport in SHEPARD, R.J. e ASTRAND, P.O. (eds.). **Endurance in Sport**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 531-541, 1992.
- HAY, J. G., GUIMARÃES, A. C. S. A Quantitative Look at Swimming Biomechanics. **Swimming Technique**. 20 (2), 11-17, 1983.
- HEYWARD, V.H., STOLARCZYK, L.M. **Avaliação da Composição Corporal Aplicada**. São Paulo: Manole. 2000.
- HÓLMÉR, I. Physiology of swimming man. **Exercise and Sports Science Review**. 7, 87-123, 1979.
- HUGHES, M.D., BARTLETT, R.M. The use of performance indicators in performance analysis. **Journal of Sports Sciences**. 20, 739-754, 2002.
- HUOT-MARCHAND, F., NESI, X., SIDNEY, M., ALBERTY, M., PELAYO, P. Variations of stroking parameters associated with 200 m competitive performance improvement in top-standard front crawl swimmers. **Sports Biomechanics**. 4(1) 89-100, 2005.

JOHNSON, R.E., SHARP, R.L., HENDRICK, C.E. Relationship of Swimming Power and Dryland Power to Sprint Freestyle Performance: A Multiple Regression Approach. **Journal of Swimming Research**, 9, 10-14, 1993.

JÜRIMÄE, J., HALJASTE, K., CICHELLA, A., LÄTT, E., PRGE, P., LEPPIK, A., JÜRIMÄE, T. Analysis of Swimming Performance from Physical, Physiological, and Biomechanical parameters in Young Swimmers. **Pediatric Exercise Science**. 19, 70-81, 2007.

KJENDLIE, P.L., INGJER, L., STALLMAN, R.K., STRAY-GUNDERSEN, J. Factors affecting swimming economy in children and adults. **European Journal of Applied Physiology**. 93, 65-74, 2004.

KERLINGER, F.N. **Metodologia da Pesquisa em Ciências Sociais**. Um tratamento conceitual. São Paulo: E.P.U. 1979.

KESKINEN, K.L., TILLI, L.J., KOMI, P.V. Maximum velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. **Scandinavian Journal of Sports Sciences**. 11(2), 87-92, 1989.

KESKINEN, K.L., KOMI, P.V. Intracycle variation in force, velocity and power as a measure of technique performance during front *crawl* swimming. In Bouisset, S., Métral, S. e Monod, H. (eds.). **Abstr XIVth ISB Congress of Biomechanics**. 676-677, 1993.

KESKINEN, K.L. Measurement of Technique in Front *Crawl* Swimming. In Miyashita, m. Mutoh, Y. e Richardson, A.B. (eds.). **Medicine and Sciences in Aquatic Sports**. Medicine Sports Science. Basel, Karger. 39, 117-125, 1994.

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**. 13, 322-329, 2003.

KHERIF, T., PELAYO, P., SIDNEY, M. CHOLLET, D., TORNY, C. Relationships between anthropomorphic and time and space parameters of elite swimmers in four styles during competition (abstract). **VII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, program and abstract book**. Atlanta, Georgia, U. S. A. October 18-23, p. 44, 1994.

KIRWAN, J.P., COSTILL, D.L., FLYNN, M.G., MITCHELL, J.B., FINK, W.J., NEUFER, P.D., HOUMARD, J.A. Physiological responses to successive days of intense training in competitive swimmers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 20 (3), 255-259, 1988.

KONSTANTAKI, M., SWAINE, I.L. Lactate and Cardiopulmonary Responses to Simulate Arm-Pulling and Leg-Kicking in Collegiate and Recreational Swimmers. **International Journal of Sports Medicine**. 20, 118-121, 1999.

KACZOR, J.J., ZIOLKOWSKI, W., POPINIGIS, J., TRNOPOLSKY, M.A. Anaerobics and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults. **Pediatric Research**. 57 (3), 331-5, 2005.

LAURENT JR, C.M., MEYERS, M.C., ROBINSON, C.A., GREEN, J.M. Cross-validation of the 20- versus 30-s Wingate anaerobic test. **European Journal of Applied Physiology**. 2007.

LAVOIE, J.M., MONTPETIT, R.R. Applied Physiology of Swimming. **Sports Medicine**. 3, 165-189, 1986.

LÉGER, L.A., SELIGER, V., BRASSARD, L. Backward extrapolation of VO_2max values from the O_2 recovery curve. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 12 (1), 24-27, 1980.

- LYTTLE, A.D., BLANSKBY, B.A., ELLIOT, B.C., LLOYD, D.G. Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. **Journal of Sports Sciences**. 18(10), 801-807, 2000.
- MAGEL, J.R., FAULKNER, J.A. Maximum oxygen uptakes of college swimmers. **Journal of Applied Physiology**. 22(5), 929-938, 1967.
- MAGLISCHO E. W. **Swimming Fastest**. Champaign: Human Kinetics, 2003.
- MARINHO, D.A., VILAS-BOAS, J.P., KESKINEN, K.L., RODRÍGUEZ, F.A., SOARES, S.M., CARMO, C.M., VILAR, S.O., FERNANDES, R.J. The behaviour of kinematic parameters during a time to exhaustion test at VO₂MAX in elite swimmers. **Journal of Movement Studies**. 51, 001-010, 2006.
- MILLET, G.P., CANDAU, R. Facteurs mécaniques du coût énergétique dans trois locomotions humaines. **Science & Sports**. 17, 166-176, 2002.
- MONTPETIT, R.; LÉGER, L.; LAVOIE, J.M., CAZORLA, G. VO₂ Peak During Free Swimming Using the Backward Extrapolation of the O₂ Recovery Curve. **European Journal of Applied Physiology**. 47, 385-391, 1981.
- MUJIKA, I., PADILLA, S., PYNE, D. Swimming Performance Changes During the Final 3 Weeks of Training Leading to the Sydney 2000 Olympic Games. **International Journal of Sports Medicine**. 23, 582-587, 2002.
- OGITA, F. Energetics in competitive swimming and its application for training. *In* Vilas-Boas, J.P., Alves, F., Marques, A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming X**. Porto. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto. 6, s2, 117-121, 2006.
- OLBRECHT, J., MADSEN, O., MADER, A., LIESEN, H., HOLLMANN, W. Relationship Between Swimming Velocity and Lactic Concentration During Continuous and Intermittent Training Exercises. **International Journal of Sports Medicine**. 6, 74-77, 1985.
- OLBRECHT, J. **The Science of Winning**. Planning, periodization and optimizing swim training. Luton: Swimshop. 2000.
- PAPOTI, M., MARTINS, L., CUNHA, S., ZAGATTO, A., GOBATTO, C. Padronização de um protocolo específico para determinação da aptidão anaeróbia de nadadores utilizando células de carga. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**. 3 (3), 36-42, 2003.
- PELAYO, P., MUJIKA, I., SIDNEY, M., CHATARD, J.C. Blood lactate recovery measurements, training, and performance during a 23-week period of competitive swimming. **European Journal of Applied Physiology**. 74, 107-113, 1996a.
- PELAYO, P., SIDNEY, M., KHERIF, T., CHOLLET, D., TOURNY, C. Stroking Characteristics in Freestyle Swimming and Relationships With Anthropometric Characteristics. **Journal of Applied Biomechanics**. 12, 197-206, 1996b.
- PELAYO, P., WILLE, F., SIDNEY M., BERTHOIN, S., LAVOIE, J. M. Swimming performance and stroking parameters in non skilled grammar school pupils: relation with age, gender and some anthropometrics characteristics. **Journal of Sports, Medicine and Physical Fitness**. 37 (3), 187-93, 1997.
- PENDERGAST, D., ZAMPARO, P., DIPRAMPERO, P.E., CAPELLI, C., CERRETELLI, P. TERMIN, A., CRAIG JR, A., BUSHNELL, D., PASCHKE, D., MOLLENDORF, J. Energy balance of human locomotion in water. **European Journal of Applied Physiology**. 90, 377-386, 2003.
- PEREZ, A.J. Correlação de frequência e distância médias de braçadas com tempo atingido em provas competitivas por nadadores brasileiros. **Brazilian Journal of Biomechanics**. 3, 15-21, 2001.

- PESTANA, M.H., GAGEIRO, J.N. **Análise de Dados para Ciências Sociais.** A complementaridade do SPSS. Lisboa: Edições Sílabo. 3ed. 2003.
- PRIOUX, J., AYOUB, J., HOUEL, N. BERGER, M., RAMONATXO, M., PRÉFAUT, C. Effets de l'entraînement sur les potentials aérobie et anaérobie de jeunes nageurs. Exercise realize avec les bras. **Science & Sports.** 16, 306-14, 2001.
- POUJADE, B.; HAUTIER, C., ROUARD, A. Influence de la morphologie, de VO₂max et du coût énergétique sur la performance en natation chez de jeunes nageurs. **Science & Sports.** 18, 182-187, 2003.
- RACKHAM, G. W. An analysis of arm propulsion in swimming. **Swimming II: proceedings of the 2nd International Symposium on biomechanics in swimming.** LEWILLIE, L., CLARYS, J. P. (eds). Baltimore: University Park Press. 174-179, 1975.
- RIBEIRO, J.P., CADAVID, E., BAENA, J., MANSALVETE, E., BARNA, A., DE ROSE, E.H. Metabolic predictors of middle-distance swimming performance. **British Journal of Sports Medicine.** 24(3), 196-206, 1990.
- RINEHARDT, K.F., KRAEMMER, R.R., GORMELY, S., COLAN, S. Comparison of Maximal Oxygen Uptakes from the Tethered, the 183- and 457-Meter Unimpeded Supramaximal Freestyle Swims. **International Journal of Sports Medicine.** 12, 6-9, 1991.
- RODRÍGUEZ, F.A. Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming. Running and cycling tests in competitive swimmers. **Journal of sports Medicine and Physical Fitness.** 40, 87-95, 2000.
- RUŽBARSKÝ, P., TUREK, M. Diagnosing of Performance by the Application of Swimming Tests. *In* Vilas-Boas, J.P., Alves, F., Marques, A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming X.** Porto. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto. 6, s2, 170-172, 2006.
- SANTOS, S.S.; SILVA, C.R., DOMICIANO, L.P. A Relação entre o Comprimento e a Freqüência de Braçadas na Estratégia de Provas Curtas de Natação. **Anais do X Congresso Brasileiro de Biomecânica,** Ouro Preto. V.1, 132-135, 2003.
- SAWKA, M.N., KNOWLTON, R.G., MILES, D.S., CRITZ, J.B. Post competition blood lactate concentrations in collegiate swimmers. **European Journal of Applied Physiology.** 41, 93-99, 1979.
- SIDNEY, M.; DELHAYE, B.; BAILLOM M., PELAYO, P. Stroke Frequency Evolution during 100 m and 200 m Events Front *Crawl* Swimming. *In* Keskinen, K., Komi, P. e Hollander, A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming VIII.** Jyväskylä, Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Finland. 71-75, 1999.
- SILVA, A.J., REIS, V.M., MARINHO, D., CARNEIRO A.L., NOVAES, G., AIDAR F.J. Economia de nado: factores determinantes e avaliação. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano.** 8 (3), 93-99, 2006.
- SLEIVERT, G., MACKINNON, L.T. The validation of backward extrapolation of submaximal oxygen consumption from the oxygen recovery curve. **European Journal of Applied Physiology.** 63, 135-139, 1991.
- SMITH, D.; NORRIS, S., HOGG, J. Performance Evaluation of Swimmers. Scientific Tools. **Sports Medicine.** 32 (9), 539-554, 2002.
- STEWART, A.M., HOPKINS, W.G. Seasonal training and performance of competitive swimmers. **Journal of Sports Sciences.** 18, 873-884, 2000.
- SWAINE, I.A., DOYLE, G. Relationships between the mean arm-pulling and leg-kicking power output of semi-tethered and simulated front *crawl* swimming. *In* Keskinen, K., Komi, P.

- e Hollander, A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming VIII**. Jyväskylä, Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Finland. 363-368, 1999.
- TAHA, T., THOMAS, S.G. Systems Modelling of the Relationship Between Training and Performance. **Sports Medicine**. 33(14), 1061-1073, 2003.
- TANAKA, H., COSTILL, D.L., THOMAS, R., FINK, W.J., WIDRICK, J.J. Dry-land resistance training for competitive swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 25 (8), 952-959, 1993.
- TAYLOR, S., MaCLAREN, D. STRATTON, G., LEES, A. The Effects of Age, Maturation and Growth on Tethered Swimming Performance. In Chatard. J.C. (ed.) **Biomechanics and Medicine in Swimming IX**. Saint-Étienne: Publications de l'Université de Saint-Étienne, France. 185-190, 2003.
- TERMIN, B., PENDERGAST, D.R. Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. **Journal of Swimming Research**. 14, 9-17, 2000.
- TOUSSAINT, H. M. Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 22 (3), 409-415, 1990.
- TOUSSAINT, H. M., BEEK, P. J. Biomechanics of competitive front *crawl* swimming. **Sports Medicine**. 13 (1): 8-24, 1992.
- TOUSSAINT, H. M., HOLLANDER, A. P. Energetics of competitive swimming, Implications for training programmes. **Sports Medicine**. 18 (6): 384-405, 1994.
- TOUSSAINT, H.M., WAKAIOSHI, K. HOLLANDER, P., OGITA, F. Simulated front *crawl* swimming performance related to critical speed and critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 30 (1), 144-151, 1998.
- TOUSSAINT, H. M., HOLLANDER, P., BERG, C., VORONTSOV, A. R. Biomechanics of Swimming in GARRET, W. E. e KIRKENDAL, D. (eds.) **Exercise and Sport Science**. Philadelphia: Lippincot Willians, Wilkins, 639-659, 2000.
- TOUSSAINT, H. M., TRUIJENS, M. Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. **Animal Biology**. 55 (1), 17-40, 2005.
- TRAPPE, S., COSTILL, D., THOMAS, R. Effect of swim taper on whole muscle and single muscle fiber contractile properties. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 32 (12), 48-56, 2000.
- VILAS-BOAS, J.P. **Caracterização Biofísica de Três Variantes da Técnica de Bruços**. Tese de Doutoramento. Universidade do Porto. 1993.
- VILAS-BOAS, J.P., LAMARES, J.P. Velocidade crítica: critério para avaliação do nadador e para definição de objectivos. **Anais do 20º Congresso Técnico Científico da Associação Portuguesa dos Técnicos de Nataçãõ**. Setúbal, Portugal. 1-11, 1997.
- VILAS-BOAS, J.P., SOUTO, S., PINTO, J., FERREIRA, M.I., DUARTE, M., SILVA, J.V.S., FERNANDES, R., SOUSA, F. Estudo cinemático 3D da afectaçãp da técnica de nado pela fadiga específica da prova de 200 m livres. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Gramado, 31-41, 2001.
- WAKAYOSHI, K., YOSHIDA, T., IKUTA, Y., MIYASHITA, M. Adaptations to Six Months of Aerobic Swim Training, Changes in Velocity, Stroke Rate, Stroke Length and Blood Lactate. **International Journal of Sports Medicine**. 14, 268-372, 1993.

- WAKAYOSHI, K., D'ACQUISTO, L.J., CAPPAERT, J.M., TROUP, J.P. Relationship Between Oxygen Uptake, Stroke Rate and Swimming Velocity in Competitive Swimming. **International Journal of Sports Medicine**. 16, 19-23, 1995.
- WHITEBREAD, M.T., BOYD, J.C., MAGAL, M., ESCHBACH, L.C., ANGELOPOULOS, T.J., ZOELLER, R.F. Post-Exercise Blood Lactate Decline After Training in Competitive Cyclists and Triathletes. **Research Quarterly for Exercise and Sport**. 76(2), 238-242, 2005.
- YANAI, T. Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. **Journal of Biomechanics**. 36 (1), 53-62, 2003.
- YEATER, R.A., MARTIN, R.B., WHITE, M.K., WILSON, K.H. Tethered swimming in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. **Journal of Biomechanics**. 14(8), 527-537, 1981.
- ZAMPARO, P., CAPELLI, C., CAUTERO, M., DI NINO, A. Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. **European Journal of Applied Physiology**. 83, 487-491, 2000.
- ZAMPARO, P., PENDERGAST, D.R., MOLLENDORF, J., TERMIN, A., MINETTI, A.E. An energy balance of front crawl. **European Journal of Applied Physiology**. 94, 134-144, 2005a.
- ZAMPARO, P., BONIFAZI, M., FAINA, M., MILAN, A., SARDELLA, F., SCHENA, F., CAPELLI, C. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. **European Journal of Applied Physiology**. 94, 697-704, 2005b.
- ZAMPARO, P. Effects of age and gender on the propelling efficiency of the arm stroke. **European Journal of Applied Physiology**. 97, 52-58, 2006.

Anexo 1

Equação que apresenta a resistência de fricção (Toussaint, Beck, 1992):

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

onde Re é o número de Reynolds (escalar, adimensional), início da turbulência, v a velocidade de deslocamento, L as dimensões lineares, ρ a densidade da água e η a viscosidade da água.

Equação que apresenta a resistência de pressão (Toussaint, Beck, 1992):

$$Dp = \frac{\rho \cdot Ar \cdot v^2 \cdot Cd}{2}$$

onde Dp é resistência de pressão, ρ a densidade da água, Ar a área de secção transversa do corpo, v a velocidade de deslocamento e Cd o coeficiente de arrasto do corpo.

Equação que apresenta a resistência de onda (Toussaint, Beck, 1992):

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$

onde Fr é o número de Froude (escalar, adimensional), v a velocidade de deslocamento g a aceleração da gravidade e h a estatura do nadador.

Anexo 2

Termo de consentimento livre e esclarecido

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA
LABORATÓRIO DE PESQUISA DO EXERCÍCIO**

Título do Projeto: DETERMINANTES DO DESEMPENHO PARA A PROVA DE 200 m NADO LIVRE

Objetivos: Configura-se, como objetivo geral deste projeto, identificar a importância de cada fator relacionado ao desempenho na prova de 200 m nado livre em um grupo de nadadores competitivos e propor especificidades para o treinamento deste evento competitivo a partir do peso de cada fator.

Pesquisadores: Flávio Antônio de Souza Castro e Carlos Bolli Mota

Termo de Consentimento do Participante e Sumário Informativo

Prezado colaborador

Esse termo é parte de um processo de consentimento informado. Ele deve lhe dar uma idéia do que se trata esse projeto. Se você quiser mais detalhes sobre algo mencionado, ou informação não incluída aqui, sinta-se livre para solicitar. Por favor, leia atentamente, a fim de que você entenda plenamente o objetivo e o seu envolvimento nesse estudo. O pesquisador tem o direito de encerrar o seu envolvimento, caso isso se faça necessário. De igual forma, você pode retirar o seu consentimento em participar no mesmo a qualquer momento.

A seguir, seguem-se as informações a respeito do estudo:

O desempenho em natação é influenciado por diversos fatores: técnicos, fisiológicos, antropométricos. Mas, até então, não se conseguiu determinar quais fatores são mais importantes para o melhor desempenho na natação competitiva.

Você está sendo convidado para participar de um projeto de doutorado, cujo objetivo é avaliar quais, dentre diversos parâmetros, são mais importantes para o melhor desempenho em uma prova de 200m nado livre, e, a partir desses dados, propor alternativas de treinamento que otimizem o resultado neste evento.

Serão anotados os seus dados pessoais, com as seguintes informações: nome, telefone, idade e dados antropométricos (massa, envergadura, estatura e dobras cutâneas).

Serão realizados dois protocolos de testes. Um para avaliar sua força aplicada na água ao nadar em estilo *crawl* e outro para avaliar seu consumo de oxigênio, sua concentração de lactato sanguíneo, seu comprimento de braçada e sua frequência de braçada. No primeiro teste será utilizado um cinto, fixo à cintura e a um equipamento, preso à borda da piscina, que permite a mensuração das forças durante o nado, Neste você será convidado a nadar *crawl*, na máxima intensidade, por 30 s, após um aquecimento de 10 min nadando livre. O segundo teste conta com uma repetição de 200 m em nado *crawl*, na máxima intensidade. O segundo teste contará com coleta

de gases expirados em uma máscara própria, ante e imediatamente, durante 2 min, após a repetição de 200 m e com coleta de uma gota de sangue do dedo indicador antes e imediatamente após, 1, 3, 5 e 7 min min a repetição de 200 m.

Riscos e benefícios: Participando deste projeto, você estará nos ajudando a melhor compreender seu desempenho em natação e, assim, possibilitará o auxílio a você e a outros atletas de alto nível Este estudo não acarreta riscos, no entanto você poderá sentir dor muscular após os testes, assim como após qualquer treino mais intenso ou competição.

Acompanhamento e ressarcimento: Todos os testes serão realizados por profissionais qualificados. O serviço de emergência e profissionais treinados estarão disponíveis para lidar com situações incomuns. Qualquer despesa eventual necessária para sua participação neste projeto será ressarcida e, no caso da ocorrência de qualquer dano pessoal, a indenização está garantida.

Confidencialidade: Será garantida a privacidade dos seus dados pessoais. Os resultados dos testes serão divulgados por meio de artigos científicos, porém, em nenhum momento serão divulgados o seu nome, imagem e dados pessoais.

A sua assinatura indica que você entendeu a informação relativa à sua participação e que você concorda em participar. Esse consentimento não lhe faz renunciar aos seus direitos legais, e nem libera os investigadores de suas responsabilidades pessoais ou profissionais. A sua participação continuada deve ser tão bem informada quanto o seu consentimento inicial, assim você deve se sentir à vontade para solicitar esclarecimentos ou novas informações. Em caso de dúvida, favor entrar em contato com Flávio de Souza Castro (fone 33165859 ou 81223439). Este termo foi elaborado em duas vias. Uma delas ficará em seu poder e a outra com o pesquisador.

Nome e assinatura pesquisador

Nome e assinatura do colaborador

Data ___/___/___

Anexo 3



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
CARTA DE APROVAÇÃO

pro.pesq

O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul analisou o projeto:

Número : 2007691

Título : Determinantes do Desempenho para a Prova de 200 m Nado Livre

Pesquisador (es) :

<u>NOME</u>	<u>PARTICIPAÇÃO</u>	<u>EMAIL</u>	<u>FONE</u>
FLAVIO ANTONIO DE SOUZA CASTRO	PESQ RESPONSÁVEL	souza.castro@ufrgs.br	33085869
CARLOS BOLLI MOTA	PESQUISADOR	bolli@fcd.ufsm.br	

O mesmo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS, reunião nº 6 , ata nº 86 , de 10/5/2007 , por estar adequado ética e metodologicamente e de acordo com a Resolução 196/96 e complementares do Conselho Nacional de Saúde.

Porto Alegre, quarta-feira, 23 de maio de 2007

LUIZ CARLOS BOMBASSARO
 Coordenador do CEP-UFRGS

Anexo 4

Resultados das análises de normalidade dos dados obtidos neste estudo.

Variável e condição	Estatístico	Shapiro-Wilk	
		Graus de liberdade	Sig.
Idade (anos)	,945	12	,507
Estatura (cm)	,974	12	,946
Envergadura (cm)	,950	12	,642
Massa corporal total (kg)	,945	12	,565
DCut tricipital (mm)	,916	12	,253
DCut supra-ilíaca (mm)	,941	12	,506
DCut abdominal (mm)	,941	12	,509
DCut subescapular (mm)	,930	12	,385
Σ dob (mm)	,951	12	,655
DES (s)	,921	12	,298
DESP (pontos)	,921	12	,298
VN ($m \cdot s^{-1}$)	,958	12	,757
VNT1 ($m \cdot s^{-1}$)	,930	12	,295
VNT2 ($m \cdot s^{-1}$)	,918	12	,271
VNT3 ($m \cdot s^{-1}$)	,872	12	,068
VNT4 ($m \cdot s^{-1}$)	,777*	12	,005*
VNT5 ($m \cdot s^{-1}$)	,894	12	,131
VNT6 ($m \cdot s^{-1}$)	,882	12	,093
VNT7 ($m \cdot s^{-1}$)	,918	12	,272
VNT8 ($m \cdot s^{-1}$)	,836*	12	,025*
cvVN (%)	,956	12	,727
DC (m)	,917	12	,264
DCT1 (m)	,906	12	,191
DCT2 (m)	,895	12	,136
DCT3 (m)	,934	12	,421
DCT4 (m)	,926	12	,342
DCT5 (m)	,905	12	,186
DCT6 (m)	,905	12	,182
DCT7 (m)	,934	12	,423
DCT8 (m)	,869	12	,064
cvDC	,950	12	,631
FCL (Hz)	,906	12	,166
FCLT1 (Hz)	,926	12	,336
FCLT2 (Hz)	,962	12	,807
FCLT3 (Hz)	,931	12	,394

FCLT4 (Hz)	,971	12	,919
FCLT5 (Hz)	,892	12	,125
FCLT6 (Hz)	,928	12	,356
FCLT7 (Hz)	,927	12	,352
FCLT8 (Hz)	,985	12	,997
cvFC	,920	12	,289
[LA] C1 (mmol·l ⁻¹)	,974	12	,705
[LA] C2 (mmol·l ⁻¹)	,948	12	,602
[LA] C3 (mmol·l ⁻¹)	,889	12	,115
[LA] C4 (mmol·l ⁻¹)	,929	12	,521
[LAL]	,914	12	,244
P[LA] (mmol·l ⁻¹)	,915	12	,246
VO _{2r} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	,972	12	,931
VO _{2e} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	,955	12	,716
VO _{2l} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	,948	12	,601
LAVO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	,933	12	,408
Etot (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	,982	12	,991
IMP (N·s)	,977	12	,970
TIMP (N)	,926	12	,340

* valores indicativos de distribuição não-paramétrica. Nos dois casos a análise estatística aplicada foi Análise de Variância para Medidas Repetidas, que, de acordo com Maia (2004), apresenta robustez suficiente para infrações de normalidade.

MAIA, J. Análise de Variância. Universidade do Porto. 2004.