DALTON MÜLLER PESSÔA FILHO

MODELOS MECÂNICOS E FISIOLÓGICOS DO EXERCÍCIO NOS
DOMÍNIOS PESADO E SEVERO: COMPARAÇÃO DA POTÊNCIA E DA
RESPOSTA LACTACIDÊMICA NAS CONDIÇÕES DE NADO ATADO E
DESIMPEDIDO E DA CINÉTICA DO VO_2 DURANTE O CRAWL
DESIMPEDIDO

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor em
Ciências da Motricidade (Biodinâmica da
Motricidade Humana).

Orientador: Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai

RIO CLARO, SP

2010

DALTON MÜLLER PESSÔA FILHO

MODELOS MECÂNICOS E FISIOLÓGICOS DO EXERCÍCIO NOS
DOMÍNIOS PESADO E SEVERO: COMPARAÇÃO DA POTÊNCIA E DA
RESPOSTA LACTACIDÊMICA NAS CONDIÇÕES DE NADO ATADO E
DESIMPEDIDO E DA CINÉTICA DO VO_2 DURANTE O CRAWL
DESIMPEDIDO

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor em
Ciências da Motricidade (Biodinâmica da
Motricidade Humana).

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai

Prof. Dr. Cassiano Meressi Neiva

Prof. Dr. Emerson Franchini

Porf. Dr. Fabrício Caputo

Ptof. Dr. Mauro Gonçalves

Rio Claro, 13 de abril de 2010

Dedicatória

Dedico este estudo aqueles que desprenderam, incondicionalmente, ações que, mesmo no mais simples e inconsciente gesto, alicerçaram meus pensamentos, acalentaram minha ansiedade e nortearam o meu fazer. Aqui não termina o caminho, ao contrário trata-se do início de uma longa colheita semeada por todos vocês.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai, pela condução desta pesquisa pelo assertivo caminho da Ciência, conferindo coerência, rigor e brilhantismo ao conhecimento aqui produzido;

À minha pequena Família (esposa Mara e aos meus filhos Bruna, Vinícius, Catarina e Rafaela) pelo apoio e sacrifícios. Eu amo e estarei sempre junto a vocês!

À minha grande Família (pais, avôs, irmãs, primos, tios e demais parentes) pela base da vida. Se a distância entre nós é apenas terrestre ou espiritual, o carinho está sempre “vivo” nos meus pensamentos.

Aos nadadores da SEMEPP, que tracionaram pesos, nadaram exaustivamente e deram, literalmente, seu sangue neste trabalho;

Ao técnico da SEMEPP, Prof. Elvancir Pereira do Nascimento (“Pepe”), pela predisposição em auxiliar e pelo interesse nos testes realizados, apesar do tempo que estes lhe custaram;

Aos parceiros científicos da FMH em Lisboa, Prof. Dr. Francisco B. Alves e Profa. Joana Filipa Reis, pela oportunidade da experiência acadêmica e pelo acolhimento exemplar;

Aos nadadores e técnicos Portugueses, pela valiosa participação e pela concessão da oportunidade, respectivamente;

Aos amigos, pela troca de experiência profissional e pessoal;

Ao Departamento de Educação Física, FC-UNESP/Bauru,
pelo apoio profissional nestes anos de conciliação entre formação e
docência.

Resumo

Não se tem observado a preocupação com a descrição dos domínios de intensidade na natação e poucas tentativas foram realizadas para ajustar o modelo de $P-t_{Lim}$ às condições desta modalidade de exercício. Este estudo pretendeu ajustar o modelo $P-t_{Lim}$ à natação com o recurso do controle de cargas possibilitado pelo nado em condição atada. Assim como, seu significado fisiológico para a descrição dos domínios pesado/severo obtido pelas relações a serem estabelecidas com a velocidade crítica (VC - limite superior do domínio pesado), com a máxima fase estável do lactato (MFEL, que disputa com VC a indexação do limite superior do domínio pesado) e com a caracterização dos domínios pesado e severo pelos parâmetros de cinética e amplitude do VO_2 . Em um primeiro estudo, 24 nadadores ($16,5 \pm 2,7$ anos e $67,7 \pm 13,5$ kg) submeteram-se à estimativa da força de arrasto ($Fr = A \times v^2$). A Fr encontrada em máxima velocidade foi fracionada para compor quatro estágios de teste, com tempos de exaustão entre 3-20 min. em crawl-atado. A VC foi estimada empregando quatro distâncias entre 200-1500m. A potência crítica atada (PC_{Atada}) linear (81,9W) e não linear (71,1W) não se diferenciaram ($p \leq 0,05$) dos valores de PC linear (108,2W) e não linear (96,3W) estimados por VC linear ($1,2m.s^{-1}$) e não linear ($1,14m.s^{-1}$), através da equação do desempenho. Neste primeiro estudo, pode-se concluir que PC_{Atada} é correlata a VC, podendo representar a capacidade aeróbia. No segundo estudo, dez nadadores ($16,6 \pm 1,4$ anos e $69,8 \pm 9,5$ kg) foram submetidos às estimativas de PC_{Atado} (equações lineares e hiperbólica de 2-parâmetros), VC (ajuste linear do tempo pela velocidade nos desempenhos de 200, 400 e 800m), $P_{AtadaMFEL}$ (3 ou 4 esforços entre 95 a 105% da carga em PC_{Atada} hiperbólica) e à v_{MFEL} (3 ou 4 esforços entre 85 a 95% do velocidade máxima do crawl nos 400m). Os resultados apontaram que tanto VC ($1,19 \pm 0,12m.s^{-1}$) quanto PC_{Atada} ($99,4 \pm 23,0W$) não atendem aos pressupostos para MFEL, uma vez que foram observadas diferenças com v_{MFEL} ($1,17 \pm 0,11m.s^{-1}$) e $P_{AtadaMFEL}$ ($89,2 \pm 15,1W$), respectivamente. No último estudo, nove nadadores ($21,0 \pm 7,1$ anos, $68,6 \pm 9,1$ kg e $VO_{2max} = 3999,2 \pm 726,0$ ml.min⁻¹) foram submetidos a dois testes independentes para medir os índices de condicionamento fisiológico e a cinética de transição do VO_2 . O perfil do VO_2 após o início do exercício foi descrito, para cada sujeito e intensidade do exercício, por um modelo bi-exponencial. Os resultados

mostraram que a cinética do VO_2 em torno do ponto de compensação respiratória (PCR) caracteriza os domínios pesado e severo do exercício. As transições $\sim 2.7\%$ abaixo de PCR foram realizadas em $v36,8 \pm 8,5\% \Delta$ (aproximadamente $1,28 \pm 0,05 \text{ m.s}^{-1}$ ou $91,4 \pm 2,2\% v\text{VO}_{2\text{max}}$), conduzindo o VO_2 apenas a uma taxa submáxima (aproximadamente $91,5 \pm 5,7\% \text{VO}_{2\text{max}}$), após um componente lento (154s) de amplitude equivalente a 391 ml.min^{-1} . O VO_2 nas transições aproximadamente 2% acima de PCR ($v71,1 \pm 17,1\% \Delta$, cerca de $1,34 \pm 0,05 \text{ m.s}^{-1}$ ou $96,1 \pm 2,4\% v\text{VO}_{2\text{max}}$) apresentou componente lento (188s) com amplitude de 399 ml.min^{-1} limitada em sua taxa máxima ($104,5 \pm 9,4\% \text{VO}_{2\text{max}}$). Conclui-se que o uso de PCR possibilita diminuir a quantidade de testes para delimitar o limite superior do exercício pesado, além da variabilidade associada à determinação da potência crítica. Uma análise geral aponta para a pertinência do nado atado para a avaliação aeróbia do nadador, bem como para a dissociação entre os parâmetros VC (ou PC) e MFEL quanto ao comportamento do lactato e, provavelmente, quanto à cinética do VO_2 dada à estreita relação entre PCR e VC (ou PC).

Palavras-chaves: nado crawl, nado-atado, potência e velocidade críticas, cinética de VO_2 , domínios do exercício.

Mechanical and physiological models to exercising around heavy and severe domains: comparison of power and lactacidemic response in the tethered and non-tethered conditions, and of the VO_2 on-kinetics in the free crawl swimming

Abstract

There is a lack of studies describing the domains of intensity in swimming, and few works approaches the $P\text{-}t_{\text{Lim}}$ model in swimming. This study provided a way to assess the $P\text{-}t_{\text{Lim}}$ model in swimming, applying the load controlled environment in full-tethered condition. The physiological meaning for the description of heavy and severe domains was established from the relationships of critical velocity (CV - upper boundary of heavy domain) to maximal lactate steady state (MLSS, conflicting with VC to demarcate the upper boundary of heavy domain), and from the descriptive characterization of kinetic and amplitude parameters of VO_2 . In the first study, 24 swimmers with 16.5 ± 2.7 years and 67.7 ± 13.5 kg were undertaken to drag force (Fr) estimation ($\text{Fr} = A \times v^2$). The Fr at maximal crawl velocity was the load that was fractioned to build the sets, lasting 3-20min until exhaustion. CV was calculated from distance between 200-1500m. The linear (81.9W) and non-linear (71.1W) P_{TethCrit} were not different ($p \leq 0.05$) from the values of linear (108.2W) and non-linear (96.3W) PC estimative obtained from linear ($1.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and non-linear ($1.14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) CV through swim performance equation. It was concluded that PC_{Teth} was related to CV, and reliable to indexes aerobic capacity. The second work, did analyze ten male swimmers (16.6 ± 1.4 years and $69.8 \pm 9.5\text{kg}$) that were submitted to the measurements of the CP_{Teth} (linear and non-linear two parameters equation), CV (linear adjustment between time and velocity performance in the 200, 400 and 800m), P_{TethMLSS} (3 or 4 trials ranging from 95 to 105% of the load at non-linear PC_{Atada}), and v_{MLSS} (3 or 4 trials ranging from 85 to 95% of the 400-m crawl performance). The results shown that neither CV ($1.19 \pm 0.12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) nor the CP_{Teth} ($99.4 \pm 23.0\text{W}$) matches the statements for MLSS, once differences were observed to the v_{MLSS} ($1.17 \pm 0.11\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and P_{TethMLSS} ($89.2 \pm 15.1\text{W}$), respectively. In the last study, nine male well-trained swimmers ($68.6 \pm 9.1\text{kg}$, $21.0 \pm$

7.1 years, and $\text{VO}_{2\text{max}} = 3,999.2 \pm 726.0$ ml/min) were submitted to two independent tests protocols in order to measure the physiological conditioning indexes and VO_2 on-transition kinetics. The time course of VO_2 following the onset of exercise was described for each subject and exercise intensity using a bi-exponential model. Results showed that VO_2 kinetics just around respiratory compensation point (RCP) characterizing heavy and severe domains of exercise. The trial below $\sim 2.7\%$ of RCP was performed at $v36.8 \pm 8.5\%\Delta$ (about 1.28 ± 0.05 m/s or $91.4 \pm 2.2\%$ $v\text{VO}_{2\text{max}}$), eliciting VO_2 only to a sub-maximal rate (about $91.5 \pm 5.7\%\text{VO}_{2\text{max}}$), after a delayed steady-state (154s) of amplitude about 391 ml/min. The VO_2 in the trial above $\sim 2\%$ of RCP ($v71.1 \pm 17.1\%\Delta$, about 1.34 ± 0.05 m/s or $96.1 \pm 2.4\%$ $v\text{VO}_{2\text{max}}$) has delayed (188s) amplitude of 399 ml/min trunked at its maximum rate ($104.57 \pm 9.48\%\text{VO}_{2\text{max}}$). Then, applying RCP as the boundary between heavy and severe domain diminished the amount of test to determine exercise domains, and the protocol variability associated to the determination of critical power. A general view point out the appropriateness of fully-tether swimming for the assessments of swimmer aerobic status, and the dissociation of the parameters CV (or CP) and MLSS regard lactate profile, and probably with respect to VO kinetics, since the closest relationship between RCP and CV (or CP).

Key words: free crawl style, tethered swim, critical power and velocity, VO_2 on-kinetics, exercise domains.

Lista de Figuras

Figura 2.1	Parâmetros do modelo tri-exponencial utilizado para descrever a cinética do VO_2 . Retirado de Scheuermann et al. (2001)	32
Figura 4.1	Aplicação do modelo $d_{\text{Lim}}-t_{\text{Lim}}$ de ajuste linear (A) e do modelo $v-t_{\text{Lim}}$ de ajuste não linear (B) para o Sujeito 08. Aplicação do modelo $P_{\text{Atada}}-t_{\text{Lim}}$ de ajuste linear (C) e de ajuste não linear (D) para o Sujeito 17	61
Figura 4.2	(A) Diferença não significativa ($p = 0,195$) entre os valores de PC_{Atada} linear e não-linear; (B) Diferença não significativa ($p = 0,247$) entre os valores de VC linear e não-linear. (C) Diferença não significativa ($p = 0,285$) entre os valores de PC_{Atada} observada e PC estimada e pelo método linear e entre os valores de PC_{Atada} observada e PC estimada pelo método não-linear ($p = 0,128$); e (D) Diferença não significativa ($p = 0,159$) entre os valores de VC linear observada e estimada e entre os valores de VC não-linear observada e estimada ($p = 0,053$)	61
Figuras 5.1	Sistema de nado atado (a); forma como o nado ocorre quando associado ao sistema (b) e modo de acoplamento do nadador no sistema (c e d)	77
Figura 5.2	Tipos de ajustes para os modelos $P-t_{\text{Lim}}^{-1}$ e $d-t_{\text{Lim}}^{-1}$ em crawl-atado (A) e desimpedido (B) para o sujeito 03	79
Figura 5.3	Comparação entre os valores de potência no crawl-atado e de velocidade no crawl desimpedido em máxima fase estável de lactato (MFEL) e nos modelos $P-t_{\text{Lim}}$ e $v-t_{\text{Lim}}$	80
Figura 5.4	Dispersão e coeficiente de similaridade entre os parâmetros de (A) potência e (B) desempenho no modelo tempo-limite e em máxima fase estável de lactato (MFEL)	81
Figura 5.5	Dispersão e limites de confiança entre os parâmetros de desempenho (A) e potência (B) no modelo tempo-limite e em máxima fase estável de lactato (MFEL), utilizando a análise Bland e Altman	81
Figuras 6.1	Ilustra o uso do equipamento pelo nadador (a); e a forma de sua aplicação durante o nado (b)	101
Figura 6.2	Comparação do perfil do VO_2 nas transições ao redor de PCR para o	

	sujeito 01 (A) e 06 (B). A linha de base para o VO_2 em cada intensidade está ilustrada nos 30s anteriores ao início do exercício (tempo zero)	104
Figura 6.3	Ajuste da cinética do VO_2 nas transições ao redor do ponto de compensação respiratória (PCR) para o sujeito 01 (A e B) e 06 (C e D). Em “C” são apresentados os elementos do ajuste bi-exponencial da cinética do VO_2 , e em “D” estão identificadas as linhas utilizadas nos gráficos	104

Lista de Tabelas

Tabela 4.1	Características da composição corporal	58
Tabela 4.2	Características do desempenho máximo de nado e parâmetros da hidrodinâmica de nado	58
Tabela 4.3	Variação percentual da força de arrasto ativo nos intervalos de tempo previstos para a exaustão	58
Tabela 4.4	Tempo de exaustão no <i>crawl</i> -atado nas frações de Fr_{Max}	59
Tabela 4.5	Parâmetros do modelo $P_{Atada}-t_{Lim}$ de ajuste linear e não linear	59
Tabela 4.6	Valores de PC estimados pela equação geral do desempenho de nado, a partir de VC de ajuste linear e não linear	59
Tabela 4.7	Parâmetros do modelo $d_{Lim}-t_{Lim}$ de ajuste linear e não linear	60
Tabela 4.8	Valores de VC_{Est} estimados pela equação geral do desempenho de nado, a partir de PC_{Atada} de ajuste linear e não linear	60
Tabela 4.9	Coefficiente de linearidade entre os valores de PC e de VC obtida pelos métodos linear e não-linear e entre os valores destas variáveis estimados pela equação do desempenho	62
Tabela 5.1	Parâmetros temporais e de potência/desempenho associados aos modelos $P-t_{Lim}^{-1}$ e $v-t_{Lim}^{-1}$ aplicados ao nado <i>crawl</i> -atado e desimpedido. Valores são média e (desvio-padrão)	78
Tabela 5.2	Parâmetros de lactacidemia e de potência/desempenho associados ao modelo MFEL aplicado ao nado <i>crawl</i> -atado e desimpedido. Valores são média e (desvio-padrão)	79
Tabela 5.3	Coefficientes de Pearson para os parâmetros das avaliações em máxima fase estável de lactato (MFEL), potência crítica (PC) e velocidade crítica (VC) no nado <i>crawl</i> -atado e desimpedido	82
Tabela 6.1	Parâmetros do teste incremental. $n = 9$	102
Tabela 6.2	Valores de referência e desempenhados nas transições ao redor do ponto de compensação respiratória (PCR). $n = 9$	102
Tabela 6.3	Parâmetros da cinética do VO_2 ao redor do ponto de compensação respiratória (PCR). $n = 9$	104

Lista de Abreviaturas

Lista de abreviaturas empregadas no texto, descritas em ordem alfabética

Sigla	Descrição	Sigla	Descrição
A	constante de proporcionalidade na equação do arrasto	$F_{p_{Total}}$	força produzida pelos elementos contráteis na execução da braçada
A_0	amplitude da assíntota da fase cárdio-dinâmica	Fr_{max}	força de arrasto em velocidade máxima de nado
A_0'	valor da amplitude do VO_2 na fase cárdio-dinâmica	F_{sp}	força de sustentação propulsiva
A_1	amplitude da assíntota da segunda exponencial da resposta do VO_2	IAT	limiar anaeróbio individual
A_1'	valor da amplitude do VO_2 na segunda exponencial da resposta	LL	limiar de lactato
A_2	amplitude da assíntota da terceira exponencial da resposta do VO_2	L_s	comprimento da braçada relativo ao nadador no nado atado
A_2'	valor da amplitude do VO_2 na terceira exponencial da resposta	LV	limiar ventilatório
Ad	quantidade de trabalho por unidade de distância percorrida	MAOD	déficit máximo acumulado de oxigênio
As	quantidade de trabalho por braçada	MFEL	máxima fase estável do lactato sanguíneo
$Carga-t_{Lim}$	modelo carga-tempo limite	MRT	resposta de tempo relevante da cinética do VO_2
CTA	capacidade de trabalho anaeróbio	P	potência mecânica
$C_{X_{Body}}$	coeficiente de arrasto para todo o corpo	P_{Atado}	potência mecânica produzida pela mão no <i>crawl-atado</i>
$C_{X_{Hidrof}}$	coeficiente de arrasto do hidrofólio	$P_{AtadaMFEL}$	potência atada correspondente à MFEL
$\% \Delta$ (delta)	diferença % entre o VO_2 no LL e o VO_{2max} ($\Delta VO_{2LL} - VO_{2max}$)	PC_{Est}	transformação de VC em PC
d_B	distância percorrida por braçada	$P-I/t_{Lim}$	modelo potência-tempo limite por ajuste linear
$d_{Lim}-t_{Lim}$	modelo distância – tempo limite	ρ	densidade da água
DAP	distância percorrida as expensas do metabolismo anaeróbio	P_u	potência mecânica externa útil a propulsão
DAN	distância anaeróbia de nado	P_{etO_2}	pressão expiratória final de O_2
ED	duração do exercício	P_{etCO_2}	pressão expiratória final de CO_2
e_{mec}	eficiência mecânica	$P_{Atado}-t_{Lim}$	modelo potência mecânica atada – tempo limite
E_{Total}	energia química total	PC	potência crítica
ep	eficiência propulsiva	PC_{Atado}	potência crítica atada
F_{rp}	força de arrasto propulsiva	PCR	ponto de compensação respiratória
f_B	número de ciclos de braçada por unidade de tempo	P_k	potência transferida para a massa de água
Fr	força de arrasto ativo	P_{max}	potência mecânica máxima

Sigla	Descrição	Sigla	Descrição
Po	potência mecânica muscular total	VC _{Es}	transformação de PC _{Atada} em VC
P-t _{Lim}	modelo potência – tempo limite	VE/VO ₂	equivalente ventilatório para o VO ₂
S _{Body}	área de secção transversal do corpo exposta ao fluido	VE/VCO ₂	equivalente ventilatório para o VCO ₂
S _{HidroF}	área de seção transversa do hidrofólio exposta ao fluido	V _{HidroF}	velocidade do hidrofólio
τ (tau)	constante de tempo da resposta do VO ₂	V _{HidroF}	volume do hidrofólio
τ ₀	constante de tempo da resposta cárdio-dinâmica	V _{max}	máxima velocidade de desempenho
τ ₁	constante de tempo da segunda exponencial	Ve	ventilação pulmonar por minuto
τ ₂	constante de tempo da terceira exponencial	V _{MFEL}	velocidade de nado correspondente à MFEL
t	Tempo	VO ₂	consumo pulmonar de oxigênio
t _{lim}	tempo limite do exercício até a exaustão	VO _{2máx}	potência aeróbia máxima
TD	tempo de retardo na resposta (<i>time delay</i>)	vVO _{2max}	velocidade correspondente a 100% do VO _{2máx}
TD ₁	início da segunda exponencial (fase primária) da cinética do VO ₂	v-t _{Lim}	modelo velocidade - tempo limite
TD ₂	início da terceira exponencial (fase do componente lento) da cinética do VO ₂	Vc	volume corporal
V	velocidade de desempenho	V ₄₀₀	velocidade respectiva ao desempenho máximo em 400 m no crawl desimpedido
VC	velocidade crítica		

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	O modelo potência/tempo limite ($P-t_{Lim}$)	19
2.2	O modelo velocidade ou distância/tempo limite ($v-t_{Lim}$, ou $d_{Lim}-t_{Lim}$)	22
2.3	Máxima fase estável do lactato sanguíneo (MFEL)	25
2.4	Cinética do consumo de oxigênio pulmonar (VO_2)	30
2.5	Fundamentos da mecânica de nado e suas implicações para o desempenho na natação desimpedida e atada	36
3	OBJETIVOS	45
4	ESTUDO 1	47
4.1	Introdução	49
4.2	Material e Método	53
	4.2.1 – Sujeitos	53
	4.2.2 - Delineamento Experimental	53
	4.2.3 - Procedimentos de Quantificação	54
	4.2.3.1 - Determinação da carga nos testes de exaustão em <i>crawl</i> -atado	54
	4.2.3.2 - Determinação da variável mecânica P_{Atada}	54
	4.2.3.3 - Determinação dos parâmetros do modelo $d_{Lim}-t_{Lim}$ linear e hiperbólico	55
	4.2.3.4 - Determinação dos parâmetros do modelo $P_{Atada}-t_{Lim}$ linear e hiperbólico	55
	4.2.3.5 - Conversão da VC em PC e de PC em VC pela equação geral do desempenho	56
	4.2.4 - Tratamento Estatístico	57
4.3	Resultados	57
4.4	Discussão	63
4.5	Conclusão	65
4.6	Referências	66
5	ESTUDO 2	68
5.1	Introdução	71
5.2	Material e Método	73
	5.2.1 – Sujeitos	73
	5.2.2 - Delineamento Experimental	74
	5.2.3 - Testes com cargas constantes e determinação das relações $P_{Atado}-t_{Lim}^{-1}$, e $v-$	

t_{Lim}^{-1}	74
5.2.4 - Determinação da MFEL no crawl atado e desimpedido	76
5.2.5 - Tratamento estatístico	77
5.3 Resultados	78
5.4 Discussão	82
5.4.1 - Considerações sobre a avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos	83
5.4.2 - Considerações sobre a resposta fisiológica nos parâmetros da avaliação aeróbia	83
5.4.3 - Considerações sobre os parâmetros de potência mecânica aeróbia	85
5.4.4 - Comparação entre as condições atada e desimpedida de nado	87
5.5 Referências	89
6 ESTUDO 3	92
6.1 Introdução	95
6.2 Material e Método	97
6.2.1 - Sujeitos	97
6.2.2 - Delineamento Experimental	98
6.2.3 - Protocolo Incremental	98
6.2.4 - Modelagem da cinética do VO_2	99
6.2.5 - Análise estatística	101
6.3 Resultados	101
6.4 Discussão	105
6.5 Referências	110
7 CONCLUSÃO	113
8 REFERÊNCIAS GERAIS	114
9 ANEXO	124
9.1 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	124
9.2 Aprovação pelo Conselho de Ética	125

1 - Introdução

A permuta de gases pulmonares relacionada à intensidade do esforço permite caracterizar os determinantes fisiológicos durante o exercício (WHIPP; WARD, 1990), ou o perfil metabólico para uma faixa de intensidades em um dado exercício (WHIPP; WASSERMAN, 1972). Parâmetros de intensidade que demarcam comportamentos metabólicos comuns delimitam domínios, tradicionalmente descritos pelo perfil da cinética do consumo de oxigênio (VO_2) e da concentração de lactato no sangue, na transição do repouso para o exercício de intensidade constante (JONES; POOLE, 2005).

Hill *et al.* (2002) demonstraram que além dos domínios moderado, pesado e severo, tradicionalmente descritos, haveria um quarto domínio, o extremo. Descrições fisiológicas destes domínios estão circunscritas pela cinética do consumo de oxigênio (VO_2). Define-se como exercício moderado aquele realizado abaixo do Limiar de Lactato (LL), que proporciona um aumento rápido com ajuste mono-exponencial do VO_2 até a sua estabilidade (fase estável) dentro de 2 - 3 min.; enquanto o exercício pesado (acima do LL) apresenta um componente lento da resposta do VO_2 , que se superpõe ao aumento rápido inicial e conduz tardiamente à estabilidade, ou aumenta progressiva e lentamente até o final do exercício (BURNLEY *et al.*, 2001; BARSTOW *et al.*, 1996; SAHLIN, *et al.*, 2005); o exercício severo é o único caracterizado pela indução à potência aeróbia máxima ($\text{VO}_{2\text{máx}}$), que pode ser sustentado por volta de 10 minutos (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996), sendo o VO_2 projetado exponencialmente ao seu valor máximo e a concentração de lactato sangüíneo aumentada abruptamente até a exaustão ocorrer (SMITH; JONES, 2001); o domínio extremo do exercício está associado ao surgimento da exaustão antes que o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ possa ser alcançado (HILL, *et al.*, 2002).

Isto sugere que o tempo limite do exercício até a exaustão (t_{lim}) depende da relação linear entre a velocidade (BILLAT *et al.*, 2000) e a potência fisiológica (HILL *et al.*, 2002) capaz de induzir ao $\text{VO}_{2\text{máx}}$. Há, portanto, um domínio da intensidade delimitado pela velocidade ou potência fisiológica abaixo da qual o VO_2 tende a estabilizar antes de atingir o máximo, ou acima da qual o tempo de exercício é curto o suficiente para não conduzir o VO_2 ao seu máximo (BILLAT *et al.*, 2000; HILL *et al.*, 2002). O limite mínimo tem sido demarcado pela velocidade crítica (VC –

derivada da relação não linear entre distância e tempo de exaustão, que é análoga à relação potência e tempo de exaustão – potência crítica, PC) (BILLAT *et al.*, 1999; BILLAT *et al.*, 2000), ou potência fisiológica crítica (PC_f – derivada da relação entre VO_2 e tempo para atingir o $VO_{2máx}$, que também é análoga à relação potência e tempo de exaustão) (HILL *et al.*, 2002). Em exercícios com intensidade acima da PC, o suprimento aeróbio de energia não se estabiliza, ao contrário manifesta um aumento gradual do VO_2 que atingirá o $VO_{2máx}$, em diferentes tempos de respostas (τ) (HILL *et al.*, 2002). Isso sugere que as fontes anaeróbias não suprem sozinhas a demanda de energia em intensidade acima da PC (MORTON, 2006). A definição de um ponto limítrofe máximo não apresenta um consenso, enquanto Billat *et al.* (2000) sugerem não ser diferente da velocidade correspondente a 100% do $VO_{2máx}$ (vVO_{2max}), Hill, *et al.* (2002) definiram este ponto em uma potência a 136% daquela observada no $VO_{2máx}$. e Caputo e Denadai (2008) em função do estado de treinamento.

Suporte teórico que indica PC (ou VC) como a demarcação entre os domínios pesado e severo são contraditórios devido à variabilidade entre as estimativas deste índice. De qualquer forma, alguns autores (CARTER *et al.*, 2002 and HOUSH *et al.*, 1991) denominam PC como limiar de fadiga, reportando ser este índice correspondente a 41% da diferença entre o VO_2 no LL e o $VO_{2máx}$ ($\Delta VO_{2LL-VO_{2max}}$), o que identifica a fronteira entre os domínios pesado e severo do exercício. Estudos têm examinado as respostas de parâmetros fisiológicos, como frequência cardíaca (FC) e VO_2 em intensidade correspondente à VC. Bull *et al.* (2008) reportaram variações entre 92 a 96% da FC_{max} (frequência cardíaca máxima) e de 76-90% do VO_{2max} neste índice, enquanto o tempo de exaustão não foi superior à 30-40 min, apresentando ao final uma concentração de lactato no sangue em torno de 8-10 mmol.L⁻¹ (DEKERLE, 2006).

A natação, foco de interesse do presente estudo, é um exemplo em que as variáveis potência e tempo não podem ser empregados para a aplicação deste modelo que tem o tempo como dependente da quantidade de trabalho ($P-t_{Lim}$). A aplicação do modelo de $P-t_{Lim}$ na natação tem empregado a potência fisiológica como parâmetro de intensidade. Relacionando o equivalente mecânico da potência fisiológica total (total de energia fornecido pelos metabolismos aeróbio e anaeróbio) ao tempo limite em 50, 100, 200, 400, 800 e 1500-m, Toussaint *et al.* (1998) modelaram a PC e capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) na natação empregando o modelo de 2-parâmetros. Contudo, como o custo energético na natação depende da velocidade ao cubo, da eficiência

mecânica bruta e da eficiência propulsiva ($E = (A \times v^3)/(e_b \times e_p)$), onde “ $A \times v^3$ ” é a potência mecânica útil à propulsão – P_o), que não são constantes na natação e, assim, o modelo $P-t_{Lim}$ parece não ser atendido quanto à sua pressuposição de que a eficiência mecânica deve ser constante ao longo de uma faixa de velocidade, como o é no ciclismo e na corrida (DiPrampero, 1999). A viabilidade do modelo $P-t_{Lim}$ foi suportada por Toussaint *et al.* (1998), pela demonstração da linearidade entre d_{Lim} e t_{Lim} e entre custo energético e t_{Lim} .

Aplicando a relação entre potência aeróbia (VO_2) e tempo de exaustão acima da PC, observou-se, em cicloergômetro e corrida, um comportamento hiperbólico que demonstrou ser a exaustão inversamente proporcional ao tempo para suscitar o $VO_{2máx}$ em exercício (HILL; FERGUSON, 1999; BILLAT *et al.*, 1999; BILLAT *et al.*, 2000). A partir desta relação pode-se prever a curva do tempo gasto em intensidades que suscitam o $VO_{2máx}$ (BILLAT *et al.*, 2000; HILL *et al.*, 2002), o tempo máximo do exercício em intensidade relativa ao $VO_{2máx}$ (MORTON; BILLAT, 2000), que, associados ao significado fisiológico de PC, têm determinado a potência (ou velocidade) que pode ser sustentada sem suscitar o $VO_{2máx}$, a participação anaeróbia até atingir o $VO_{2máx}$ e, principalmente, delimitado os domínios de intensidade para prever a participação ou interação dos metabolismos (HILL; FERGUNSON, 1999; MORTON; BILLAT, 2000; HILL *et al.*, 2002). Os parâmetros destes domínios têm servido aos propósitos de diagnóstico do desempenho, monitoramento da evolução do treinamento e prescrição do treinamento em conformidade à especificidade de seu requerimento energético.

Alternativamente, Wakayoshi *et al.* (1992) empregaram seis velocidades diferentes, em intervalos de 30-min, com a menor delas permitindo nadar por mais de 5-min. em um “flume” antes de exaustão, para caracterizar a relação entre tempo limite (t_{Lim}) e distância limite (d_{Lim}), que se apresentou, remarcadamente linear ($r^2 = 0,998$). Desta forma, puderam aplicar o conceito de PC à velocidade crítica (VC), que foi postulada como a velocidade que os nadadores poderiam sustentar por um período longo de tempo sem exaustão.

Por outro lado, a máxima fase estável da concentração do lactato sanguíneo (MFEL) tem sido proposta, ao invés de PC ou VC, como o limite entre os domínios pesado e severo do exercício (PRINGLE; JONES, 2002). A MFEL é determinada pela intensidade sustentável (carga ou velocidade) em que a concentração

de lactato atinge sua fase estável máxima ao longo do exercício (BENEKE, 2003), bem como é também considerada a intensidade limítrofe para a estabilidade do VO_2 e ponto de alteração do tipo de via metabólica, predominantemente, empregada na transferência energética (BILLAT *et al.*, 2003). A importância fisiológica de MFEL está em demarcar a intensidade do exercício acima da qual a contribuição do metabolismo anaeróbio começaria contribuir para a ressíntese de ATP demandada pelo exercício (PRINGLE; JONES, 2002).

Há, no entanto, resultados sugerindo que VC e MFEL representariam, muito provavelmente, o mesmo fenômeno fisiológico, ou uma atenuada diferença pelas similaridades na resposta da cinética do lactato durante exercícios realizados em VC (ou PC) e ao seu redor (pouco abaixo e pouco acima) (HOUSH *et al.*, 1991; WAKAYOSHI *et al.*, 1993; SMITH; JONES, 2001). Assim, VC (ou PC) demarcaria a transição entre os domínios pesado e severo do exercício, fornecendo uma estimativa não invasiva da MFEL, ao considerar o ponto limítrofe entre estes domínios como a intensidade que possibilitaria a máxima estabilidade da concentração de lactato e da resposta do VO_2 durante exercícios prolongados (JONES; DOUST, 1998).

A descrição destes domínios na natação pela relação $P-t_{\text{Lim}}$ e sua associação com o modelo $d_{\text{Lim}}-t_{\text{Lim}}$, não têm sido descritos na literatura. Em parte, pela limitação que o contexto de nado impõe aos recursos instrumentais e, por outro, pela necessidade em valer-se de modelos da mecânica de nado para assegurar o emprego de parâmetros seguros de intensidade. Este estudo teve por propósito descrever os domínios de intensidade pela relação $P-t_{\text{Lim}}$, analisando o parâmetro PC como delimitador do domínio pesado/severo. Para tanto, as características de força e da mecânica da braçada foram relacionadas para fornecer a potência mecânica em condições de nado atado (TOUSSAINT, 1990; WARING, 2003). Esta potência, designada como potência crítica atada (PC_{Atado}), quando referente à carga crítica obtida pela relação carga/tempo de exaustão ($\text{carga}-t_{\text{Lim}}$) no nado-atado, foi relacionada em termos fisiológicos e de desempenho aos parâmetros VC, MFEL e da cinética do VO_2 no nado desimpedido.

2 - Revisão de Literatura

2.1 – O modelo potência/tempo limite ($P-t_{lim}$)

Monod e Scherrer (1965) demonstraram que a taxa de força muscular apresenta uma relação hiperbólica com o tempo de exaustão, a qual fora, posteriormente, analisada e verificada por Moritani *et al.* (1981), para o exercício em cicloergômetro. Modelar a capacidade de trabalho pelo tempo de exaustão presume que o sistema é composto por dois compartimentos de suprimento da demanda energética, o aeróbio e o anaeróbio (MORTON, 2006). Segundo este autor, o índice do fornecimento aeróbio de energia é ilimitado em capacidade, mas limitado quanto à taxa de fornecimento, tendo a potência crítica (PC) como parâmetro limítrofe e sendo o tempo de exaustão em intensidades até PC infinitamente longo. A partir da PC, a participação aeróbia se estabilizaria demandando a participação anaeróbia, que por sua vez, é considerada limitada em sua capacidade e ilimitada em sua taxa temporal de fornecimento, sendo delimitada pela capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) (MORTON, 2006). Esse modelo de dois compartimentos é traçado a partir da regressão entre potência mecânica e tempo de exaustão, fornecendo, segundo Gaesser *et al.* (1995); Bull *et al.* (2000), Morton (2006):

$$P \times t = CTA + PC \times t \quad (1)$$

que, obedecendo à equação da reta, sugere que o intercepto retrata a CTA e que a inclinação expressa a PC, sendo ambos, portanto, constantes (BULL *et al.*, 2000; MORTON, 2006). A resolução da Equação 1 para o tempo (t), fornece:

$$t = \frac{CTA}{P - PC} \quad (2)$$

onde “P” é a potência mecânica empregada como intensidade do exercício e “t” é o tempo de exaustão, o que presume que $t \rightarrow \infty$ quando $P \rightarrow 0$, ou ainda que $P \rightarrow \infty$ se $t \rightarrow 0$, e que a exaustão ocorrerá quando $CTA = 0$ (BULL *et al.*, 2000; MORTON, 2006).

Pela perspectiva de que a potência mecânica é uma grandeza dependente do tempo, quando $t \rightarrow 0$, a potência mecânica tende a ser nula. Assim, o pressuposto de que a potência seria infinita para $t \rightarrow 0$ assumida pelo modelo não linear de 2-parâmetros

(Equação 2) para a relação entre potência e tempo de exaustão, não se sustenta. Ainda, presumir que em velocidades até a potência crítica (PC) o tempo de exaustão tende ao infinito e que acima de PC a fadiga é determinada pelo esgotamento da capacidade de trabalho anaeróbio (CTA), não condiz com os postulados fisiológicos que descrevem a exaustão, durante exercícios com estabilidade metabólica, como sendo proporcionada por fatores de controle da atividade contrátil, psicológicos e pelos limites das reservas de substratos (MORTON, 1996; 2006; SMITH; JONES, 2001). Alternativamente, Morton (1996) propôs uma reformulação para um modelo de 3-parâmetros, ajustando o antigo pressuposto, $PC < P < \infty$, para $PC < P \leq P_{\max}$ (MORTON, 1996; 2006), assumindo, segundo Bull *et al.* (2000), que se $t = k$ e $P = P_{\max}$ quando $t \rightarrow 0$, então:

$$k = -\left(\frac{CTA}{(P_{\max} - PC)}\right) \quad (3)$$

que, associada à Equação 2, forneceria:

$$t = \left(\frac{CTA}{P - PC}\right) - \left(\frac{CTA}{P_{\max} - CP}\right) \quad (4)$$

sendo “ $P_{\max}$ ” o valor do intercepto no eixo da potência, quando $t = 0$.

Além destes modelos, a relação entre potência e tempo pode de acordo com Gaesser *et al.* (1995), ser representada de forma linear, sendo:

$$P = \left(\frac{CTA}{t}\right) + PC \quad (5)$$

onde a “CTA” é caracterizada pela inclinação e “PC” é o intercepto. Ainda, a descrição deste modelo de forma exponencial tem possibilitado um melhor ajuste entre os dados em intensidades em que o tempo limite do exercício é menor do que três minutos (GAESSER *et al.*, 1995; BULL *et al.*, 2000; MORTON, 2006). A função “ $\exp(-t/\tau)$ ” atende à cinética mono exponencial apresentada pela contribuição aeróbia ao início da atividade até sua estabilização, ou valor máximo, em um intervalo de “ t ” entre 0 e 1 (WARD-SMITH, 1999; MORTON, 2006). Assim:

$$P = PC + (P_{\max} - PC) \times \left(e^{-(t/\tau)}\right) \quad (6)$$

A comparação entre estes modelos apresentou diferenças significativas entre os valores de PC (em watts), sendo o menor valor apresentado pelo modelo de 3-componentes e o maior pelo modelo exponencial. Quando os valores de PC são

comparados aos valores do limiar ventilatório para exercícios de longa duração (caracterizado como a maior intensidade que pode ser sustentada por 40 minutos sem aumento da ventilação entre o 20º e o 40º minuto), apenas o valor fornecido pelo modelo de 3-parâmetros não apresentava diferença significativa (GAESSER *et al.*, 1995). Bull *et al.* (2000) reproduziram a proposta destes últimos autores e chegaram à mesma conclusão, complementando que diversas outras referências compararam PC a outros índices da capacidade aeróbia, como OBLA (início do acúmulo sanguíneo de lactato) e o IAT (limiar anaeróbio individual), demonstrando ausência de diferenças significativas. Isso torna o intercepto fornecido pelo modelo de 3-parâmetros aquele que melhor atende ao significado de potência crítica na relação entre potência e tempo limite: intensidade que pode ser mantida por tempo infinitamente longo (GAESSER *et al.*, 1995; MORTON, 2006).

A capacidade de trabalho anaeróbio (CTA), que tem sido associada aos índices do rendimento anaeróbio, mostrou-se compatível com o déficit máximo acumulado de oxigênio (MAOD), cerca de 72 mlO₂.kg⁻¹, quando quantificada pelo modelo de 2-parâmetros, cerca de ~29kJ (assumindo 20,9 J.mlO₂⁻¹ e 1/3 da massa muscular ativa no modo de exercício) (GAESSER *et al.*, 1995). Enquanto que os modelos lineares e exponenciais subestimaram a CTA, o modelo de 3-parâmetros superestimou em mais de 50%. No entanto, ao considerar o balanço entre os metabolismos em suas inter-relações ao longo do tempo, que se constitui em uma das principais críticas à participação independente presumida pelo modelo de 2-parâmetros, verifica-se que a participação anaeróbia em eventos de longa duração (+1h) pode alcançar até 1% e tende a aumentar ao longo do tempo, podendo acumular ~43kJ, o que quase duplica a capacidade anaeróbia prevista pelo MAOD e torna o valor fornecido pelo modelo de 3-parâmetros menos irreal (GAESSER *et al.*, 1995). Apenas o modelo de 3-parâmetros pressupõe a participação parcial desta “reserva energética” e, assim, admite que a exaustão poderia ocorrer antes do esgotamento desta “reserva” (MORTON, 1996; 2006). Essas considerações tornam o modelo de 3-parâmetros mais propício para modelar a relação entre potência e tempo (de exaustão) limite, porém, há uma regra fundamental nos modelos de regressão: o modelo adequado é aquele que se ajusta ao tipo de comportamento entre as variáveis.

2.2 – O modelo velocidade ou distância/tempo limite (v - t_{Lim} ou d_{Lim} - t_{Lim})

Na teoria, qualquer modalidade de exercício em que o trabalho físico possa ser determinado, ou que envolva alguma forma de locomoção, oferece um campo de aplicação do conceito de PC (MORTON, 2006). Desta forma, parece atrativo, em termos práticos, valer-se da relação entre distância e tempo de locomoção para compor o modelo de desempenho baseado em dois componentes de suprimento energético (BILLAT *et al.*, 1999). Para tanto, o tempo limite pode ser relacionado à distância limite em uma equação análoga à relação entre potência e tempo limite:

$$d_{Lim} = a + b \times t_{Lim} \quad (7)$$

considerando, na equação 7, $d_{Lim} = v \times t_{Lim}$, a equação 7 pode ser rearranjada para “v”, fornecendo:

$$v = \left(a \times \frac{1}{t_{Lim}} \right) + b \quad (8)$$

onde “a” é o intercepto em y e definido como a capacidade anaeróbia em unidade de distância; e “b” é a inclinação que quando $t \rightarrow \infty$, $a/t_{Lim} \rightarrow 0$ e $v \rightarrow b$. O intercepto representa a distância percorrida as expensas do metabolismo anaeróbio (DAP). No caso da natação, por exemplo, seria resignada como distância anaeróbia de nado (DAN). A inclinação significa a velocidade mantida na máxima fração sustentável do metabolismo aeróbio (velocidade crítica, VC) (BULL *et al.*, 2008; DiPRAMPERO *et al.*, 2008).

Modelagens não lineares da VC, baseando-se na relação hiperbólica entre velocidade e tempo de exaustão são:

$$t = \left(\frac{DAP}{v - VC} \right) \quad (9)$$

A equação 9 é descrita como não-linear de 2-parâmetros, que foi obtida pela equação 8 resolvida para o tempo (t) (BULL *et al.*, 2008). Na equação 10, um parâmetro de velocidade máxima (v_{max}) é inserido, analogamente aos pressupostos assumidos pela Equação 4, compondo o modelo não-linear de 3-parâmetros para a relação distância ou velocidade/tempo limite. Assim, quanto $t \rightarrow 0$, $v \rightarrow v_{max}$:

$$t = \left[\frac{DAP}{(v - VC)} \right] - \left[\frac{DAP}{(v_{\max} - VC)} \right] \quad (10)$$

O ajuste exponencial para VC segue os mesmos princípios da Equação 6, obtendo:

$$v = VC + (v_{\max} - VC) \times \left(e^{\left(\frac{-t}{\tau} \right)} \right) \quad (11)$$

onde “ τ ” é uma constante de tempo.

Os diferentes ajustes na estimativa de VC fornecem valores com diferenças de 18 a 24% para locomoções terrestres (BULL *et al.*, 2000, BULL *et al.*, 2008). Na natação, as diferenças ainda não foram reportadas. Na estimativa de VC, os valores mais elevados foram fornecidos pelo ajuste exponencial, enquanto que o ajuste pela equação não-linear de 3-parâmetros fornece o valor mais baixo de VC dentre as possibilidades de ajuste. A análise da resposta do VO_2 em testes conduzidos até a exaustão na velocidade correspondente a VC, fornecida por cada equação de ajuste, mostrou aumentos variando entre 367-458 $\text{mLO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$, que diferem do aumento padrão do VO_2 de 200 $\text{mLO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ referente ao “drift de O_2 ”¹, e que sugerem, portanto, a ocorrência de um componente lento do VO_2 ao se exercitar em VC (BULL *et al.*, 2008).

Testes em VC suportaram sua validade enquanto índice representativo do desempenho de longa duração e seu significado fisiológico relacionado à intensidade correspondente à estabilidade de diferentes parâmetros metabólicos na natação (WAKAYOSHI *et al.*, 1992; WAKAYOSHI *et al.*, 1993; TOUSSAINT *et al.*, 1998; DEKERLE *et al.*, 2002) e na corrida (HILL; FERGUSON, 1999; BILLAT *et al.*, 1999; MORTON; BILLAT, 2000; SMITH; JONES, 2001).

Apesar de VC ser definida, teoricamente, como a intensidade de esforço que pode ser mantida indefinidamente, Dekerle (2006) aponta que esta definição é uma equivocada interpretação da capacidade de sustentar o exercício por longo período de tempo em VC. Alguns aspectos relevantes sobre VC são descritos por esta autora:

a) na natação, VC demonstra ser um bom indicador da capacidade do sistema aeróbio de energia, uma vez que se apresenta próxima à velocidade do teste de 30 minutos e

¹ Aumento do VO_2 de ~200 mLO_2/min observado no domínio moderado, tipicamente após uma hora ou mais de exercício, propiciado pelo aumento do trabalho ventilatório e cardíaco devido ao aumento da temperatura muscular e corporal e, assim, alteração da curva de dissociação do complexo oxi-hemoglobina (GAESSER; POOLE, 1996).

altamente correlacionada com a MFEL, com a velocidade média nos 400 metros e com o OBLA (ponto que demarca o início do acúmulo de lactato no sangue);

b) na natação e em outros esportes, os valores de VC são maiores do que aqueles observados para os índices MFEL e OBLA, mas inferiores daquele obtido ao final de um teste incremental, frequentemente identificado como velocidade aeróbia máxima (vVO_{2max});

c) o tempo de exaustão em VC tem previsão em torno de 30 - 40 min., o que se aproxima daqueles observado na MFEL;

d) VC pode ser considerada o limite superior do domínio pesado do exercício (a maior intensidade do exercício que não induz ao VO_{2max} em intensidade constante) e, assim, conduz a adaptação central e periférica nos sistemas cárdio-circulatório e respiratório com exercícios realizados em torno dela.

O emprego da relação carga-tempo limite tem sido estabelecida para averiguar as relações da força crítica de nado-atado com o limiar anaeróbio (IKUTA *et al.*, 1996), com o lactato sangüíneo e o consumo de oxigênio (ALMEIDA *et al.*, 2002) e com a velocidade crítica (PERANDINI *et al.*, 2006). Os resultados apresentaram controvérsias, pois enquanto Ikuta *et al.* (1996) e Perandini *et al.* (2006) evidenciaram as relações tematizadas, Almeida *et al.* (2002) não obtiveram resultados significativos. Isso se deve, principalmente, pelo parâmetro mecânico empregado, a força, que isoladamente não representa, na natação, a demanda imposta sobre os mecanismos contráteis e metabólicos dos músculos ativos. Ainda, a ausência de uma referência de carga individual compromete, nestes estudos, a ordem da estrutura lógica da quantidade de carga, que deve ser inerente ao protocolo para assegurar sua reprodutibilidade.

Pessôa Filho *et al.* (2007) modelaram a relação potência-tempo limite por ajuste linear ($P-1/t_{Lim}$), empregando a força de arrasto em velocidade máxima de nado ($Fr_{máx}$) como entidade mecânica de referência de carga, e a potência mecânica no crawl-atado como entidade mecânica representativa do estímulo demandado aos processos mecânicos e metabólicos dos músculos ativos. Seus resultados evidenciaram relações entre o tempo limite nos percentuais submáximos de $Fr_{máx}$ com o tempo em provas de 200, 400 e 800-m do crawl sem empecilhos. Porém, não traçaram relações com os índices VC e DAN, oriundos dos ajustes $d_{Lim}-t_{Lim}$ e $v-t_{Lim}$, que têm sido amplamente investigados na natação. Ainda, a utilidade da modelagem $P-t_{Lim}$ no crawl-atado não

está apenas em definir parâmetros mais inerentes à sistematização de demandas metabólicas específicas no treinamento, mas fazê-lo a partir de um exercício resistido.

2.3 – Máxima fase estável do lactato sanguíneo (MFEL)

Para Poole *et al.* (1988), o exercício realizado até a MFEL apresenta, como resposta fisiológica, elevação do VO_2 e das concentrações de lactato e íons H^+ , que ainda podem ser mantidas estáveis. Em exercícios acima da MFEL, ocorre aumento contínuo da concentração de lactato, ventilação pulmonar e do VO_2 , o qual pode ser conduzido ao seu valor máximo ($\text{VO}_{2\text{max}}$), caso a exaustão não aconteça antes. A concentração média do lactato na MFEL (4 mM) tende a ser atingida entre 2 a 5 min., dependendo do incremento de carga (em um teste progressivo, ou constante), massa muscular primariamente engajada na atividade e padrão motor da atividade, que possivelmente são fatores responsáveis pela alta variabilidade da concentração estável máxima entre indivíduos (2 – 8 mM) (JONES; DOUST, 1998, BENEKE *et al.*, 2000; SMITH; JONES, 2001; BILLAT *et al.*, 2003; PRINGLE; JONES, 2002; SMERKAL *et al.*, 2002; BENEKE, 2003).

A MFEL não é um parâmetro de sobrecarga de trabalho, mas de intensidade do exercício acima da qual o metabolismo altera-se qualitativamente (BENEKE *et al.*, 2000). Assim, ao se exercitar na MFEL, a exaustão ocorrerá pela incapacidade em fornecer energia, via glicogenólise, suficiente para atender a demanda contrátil dos músculos, ou seja, pela limitação das reservas de glicogênio, ao invés da perturbação da homeostase intracelular causada pelo acúmulo de íons H^+ (BENEKE, 2003). Por isso, sua avaliação em uma faixa de intensidade submáxima atende melhor aos propósitos de monitoramento das adaptações fisiológicas decorrentes de um programa de treinamento aeróbio, em relação ao seu uso como preditor do desempenho (JONES; DOUST, 1998). De fato, a intensidade correspondente à MFEL (velocidade – v-MFEL, ou carga – c-MFEL) é considerada o padrão de referência para a determinação da capacidade aeróbia e suas relações com demais índices representativos de limiares de respostas fisiológicas obtidos em testes incrementais, como as velocidades respectivas: (a) ao início do acúmulo do lactato no sangue (v-OBLA, $r = 0,82 - 0,93$); (b) ao ponto de incremento do lactato acima dos valores de repouso (LL, $r = 0,94$); (c) ao incremento

do equivalente ventilatório para o VO_2 (VE/VO_2) (VT1 , $r = 0,71$) e; (d) ao incremento do equivalente ventilatório para o VCO_2 (VE/VCO_2) (VT2 , $r = 0,65 - 0,77$) (JONES; DOUST, 1998; SMITH; JONES, 2001; BENEKE, 2003; DEKERLE *et al.*, 2003). Por outro lado, as correlações apresentadas por VC (ou PC) e pelo limiar anaeróbio individual (IAT) com a MFEL tem-se mostrado, contraditoriamente, em níveis bons (0,95 e 0,81, respectivamente) (BENEKE, 2003; PRINGLE; JONES, 2002) e ruins (0,41 e 0,61, respectivamente) (DEKERLE *et al.*, 2003; JONES; DOUST, 1998).

Os critérios de determinação da MFEL oferecem uma razoável fonte de erro entre os diferentes estudos. A definição de MFEL comumente empregada é a intensidade máxima do exercício produzindo uma concentração de lactato $\leq 1,0$ mM entre o 10° e 30° min. de um teste com intensidade constante (JONES; DOUST, 1998). Porém, a modulação da concentração de lactato no sangue resulta da interação entre vários fatores inerentes à intensidade e volume do exercício, como a taxa de ativação da glicólise, tamanho da reserva de glicogênio, volume de distribuição do lactato pelos compartimentos de água no corpo, mecanismos de transporte ativo/passivo do lactato pelos compartimentos, disponibilidade de O_2 nos tecidos, nível de treinamento e massa muscular primariamente engajada na atividade (BENEKE, 2003; BILLAT *et al.*, 2003; BARON *et al.*, 2007). Esses fatores explicam a variabilidade na concentração de lactato respectiva à MFEL entre indivíduos e entre os tipos de exercício (BENEKE, 2003).

Mas, dentre estes moduladores, a magnitude da influência da quantidade de massa muscular engajada na atividade se sobressai, preconizando que a intensidade do exercício determina a resposta do lactato, conforme:

$$La(t) = La_{rep} + \Delta La \times \left[1 - e^{-(k_2 \times t)} \right] \quad (12)$$

onde $La(t)$ é a concentração do lactato no instante t ; ΔLa é o aumento do lactato no sangue (diferença entre produção e remoção); e K_2 é a constante de tempo para o aumento da concentração ($=1/\tau$ por minuto) (BILLAT *et al.*, 2003). Se K_2 é sugerida como um fator preponderante no nível máximo em que o lactato sanguíneo estabiliza, e se a taxa de produção do lactato é medida em $\text{mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, então, MFEL é o resultado específico da relação entre potência metabólica e mecânica (BENEKE *et al.*, 2001). De fato, a relação linear entre transferência energética (demandada em uma dada intensidade submáxima do exercício) e a potência mecânica total gerada por unidade de massa muscular tem sido demonstrada em diferentes tipos de esportes (KANEKO,

1990; TOUSSAINT, 1990). Assim, para uma dada quantidade de potência mecânica, menor é a intensidade de ativação das fibras musculares quanto maior a massa muscular engajada na atividade e, conseqüentemente, uma menor taxa de incremento do lactato pela redução da ativação da glicólise e maior disponibilidade de O₂ para a oxidação do piruvato (BENEKE *et al.*, 2001; BENEKE, 2003).

Essa tendência também pode ser observada ao considerar a influência da eficiência mecânica (e_{mec}) sobre a demanda energética e a produção de potência mecânica pelos músculos. A interdependência entre energia total demandada (E_{Total}), eficiência mecânica (e_{mec}), potência muscular (Po) e desempenho (v) é estabelecida, conforme Pendergast *et al.* (2006), por:

$$v = \frac{E_{Total}}{Po / e_{mec}} \quad (13)$$

A equação 13 sugere que uma maior eficiência mecânica demanda um menor trabalho muscular para atender às exigências motoras do desempenho, assim, modulando a estabilidade entre produção e remoção do lactato (BENEKE, 2003). Para Pessoa Filho *et al.* (2008), a análise da eficiência total do desempenho (e_{mec}) aparece como um parâmetro integrador da organização motora e muscular na tarefa, ou seja, um índice biocinemático. Curiosamente, a relação entre e_{mec} e MFEL tem sido pouco investigada.

A inconveniência em adotar MFEL como teste de avaliação do nível de treinamento aeróbio, ou para prever o desempenho em eventos com duração entre 30 a 60 minutos, está no extenso protocolo em que consiste, além da obtenção de informações (amostras de lactato sanguíneo) por técnicas invasivas (BILLAT *et al.*, 2003). No sentido de amenizar a extensão temporal do protocolo, a relação entre MFEL e índices lactacidêmicos da aptidão aeróbia por protocolos progressivos tem sido proposta nos estudos de Jones e Doust (1998), Smith e Jones (2001) e Dekerle *et al.* (2003). Outros estudos, no entanto, preocuparam-se em estimar a MFEL por modelagem matemática, a partir de testes progressivos com o objetivo de minimizar a amplitude temporal do teste, como Billat *et al.* (1994), Beneke, 2003; e Smerkal *et al.* (2002). Mas, a relação entre MFEL com protocolos de campo, sem amostragens invasivas, como VC (ou PC), a tornaria mais usual no cotidiano (avaliação, predição e prescrição) (BARON *et al.*, 2005a), além de dirimir a disputa entre estes dois índices

pela indexação do limite superior do domínio severo do exercício (PRINGLE; JONES, 2002).

A comparação direta entre os parâmetros VC (ou PC) e MFEL determinados independentemente indica, pela ausência de diferenças estatísticas, que representam, provavelmente, o mesmo fenômeno fisiológico (SMITH; JONES, 2001). Para estes mesmos autores, um discreto aumento de $0,5 \text{ km.h}^{-1}$ na velocidade de corrida correspondente à MFEL resulta em um contínuo acúmulo de lactato ao longo da atividade. Pringle e Jones (2002) verificaram que, quando seus sujeitos pedalarão em uma potência maior que aquela correspondente a MFEL ($>P\text{-MFEL}$, $241 \pm 24\text{W}$) e muito próxima à PC ($242 \pm 25\text{W}$), houve um aumento significativo da concentração sanguínea de lactato, da ventilação pulmonar (VE) e do VO_2 , conduzindo muitos dos sujeitos à exaustão antes dos 30 minutos.

A comparação entre os tempos de exaustão durante o exercício nestes dois índices fisiológicos tem sido verificada como marcadamente diferentes, prevendo a exaustão em 44 ± 10 min em MFEL, podendo atingir 63 ± 12 min. com o treinamento (BILLAT *et al.*, 2004). Enquanto em VC (ou PC), o tempo de exaustão tem-se observado estar entre 30 e 40 min em diferentes esportes (BRICKLEY *et al.*, 2002; DEKERLE, 2006), ou ainda menor (~ 22 a 33 min), segundo Housh *et al.* (1991). Outra importante diferença é observada na intensidade relativa ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ demandada em MFEL e em VC (ou PC): $71,3 \pm 5,2\%$ e $85,4 \pm 4,8\%$, respectivamente (BARON *et al.*, 2005b).

Estas discrepâncias seriam suficientes para diferenciar exercícios realizados com suprimento energético predominantemente provindo dos sistemas oxidativos daqueles cuja ativação anaeróbia contribui parcialmente para o fornecimento energético total, o que classicamente tem sido identificado como limiar, ou área de transição, entre os metabolismos de ressíntese energética nos músculos em trabalho (SMERKAL *et al.*, 2002).

Mas o quão amplas deveriam ser as diferenças entre as intensidades correspondentes a MFEL e VC (ou PC) para promover alterações do perfil fisiológico e caracterizar domínios distintos do exercício? Uma característica do domínio pesado do exercício é a ocorrência de um componente adicional do VO_2 que se sobrepõe à cinética exponencial primária, que lenta e progressivamente aumenta até atingir uma estabilidade tardia (XU; RHODES, 1999; WHIPP *et al.*, 2005) e que se constata

associar com o acúmulo de lactato (XU; RHODES, 1999). A normalização da intensidade do exercício que delimita a transição para este tipo de resposta corresponde, segundo Smith e Jones (2001), á 50% da faixa entre o LL e o VO_{2max} (conceito de % delta - Δ). O componente lento na cinética do VO_2 tem sido comumente observado entre a MFEL e VC (ou PC), porém pode-se evidenciar a ocorrência da MFEL em % Δ ($51 \pm 14\%$) (SMITH; JONES, 2001) similares àqueles estimados para VC (ou PC) (41 – 55%) (PRINGLE; JONES, 2002).

Apesar de ser postulado que o exercício em PC não é sustentado sem um aumento na concentração do lactato, Jones e McConnell (1999) observaram que a comparação entre a corrida e o ciclismo realizados a 50% Δ proporcionava a ocorrência do componente lento do VO_2 entre o 3º minuto e o final de ambas as atividades, totalizando $10 \pm 3\%$ e $6 \pm 1\%$ da resposta do VO_2 na atividade, respectivamente, no ciclismo e corrida. Mas enquanto as diferenças para o componente lento do VO_2 foram consideradas significativas, a concentração de lactato ao final de cada exercício foi considerada semelhante (corrida = $5,5 \pm 1,6$ mM; ciclismo = $5,9 \pm 1,5$ mM). Essas concentrações não são diferentes daquelas apresentadas por Baron *et al.* (2007) ao final de um exercício em MFEL ($6,18 \pm 2,5$ mM), por Brickley *et al.* (2002) na exaustão ($29:34 \pm 8:32$ min) em PC ($7,3 \pm 1,6$ mM), e por Dekerle *et al.* (2005) em velocidade muito próxima à VC ($5,9 \pm 1,9$ mM). Ainda, o exercício em 50% Δ demanda uma intensidade respectiva a 86% do VO_{2max} , que corresponde melhor com VC e, a partir do qual, se verifica um aumento contínuo do VO_2 (BILLAT *et al.*, 1998), que tende a se estabilizar tardiamente (3 a 6 min.), ou progredir até exaustão voluntária, sem, contudo, conduzir ao VO_{2max} (PRINGLE; JONES, 2002). Para Carter *et al.* (2002), a indução ao VO_{2max} é uma característica observada em exercícios realizados entre 80 a 100% Δ .

O componente lento tem sido um comportamento do VO_2 circunscrito ao domínio pesado do exercício (JONES; McCONNELL, 1999; WHIPP *et al.*, 2005), observado na corrida (CARTER *et al.*, 2002), ciclismo (KOPPO; BOUCKAERT, 2002), e natação (DEMARIE *et al.*, 2001), que é caracterizado por uma resposta exponencial do VO_2 sobreposta à resposta primária, com amplitude <250 e <600 $mlO_2 \times min^{-1}$, com *time delay* (TD) >100 e <180s (BILLAT *et al.*, 1998; JONES; McCONNELL, 1999; SCHEUERMANN *et al.*, 2001; CARTER *et al.*, 2002; PRINGLE *et al.*, 2003), e cujos fatores determinantes são o aumento da concentração de lactato e de catecolaminas, o trabalho dos músculos ventilatórios e cardíaco, elevação da

temperatura corporal, ativação de músculos acessórios e recrutamento de fibras brancas menos eficientes (XU; RHODES, 1999; WHIPP *et al.*, 2005).

No caso específico do recrutamento das fibras brancas, têm-se hipotetizado que a ativação em velocidades sub-ótimas de contração diminui sua eficiência contrátil, demandando um aumento do ganho na relação entre fornecimento energético versus cargas (VO_2/carga) durante atividades constantes, bem como aumentando a produção de lactato (CARTER *et al.*, 2002), que por si seria suficiente para aumentar o metabolismo, devido ao aumento do processo de remoção do lactato nos músculos ativos e em outros tecidos e pela maior desoxigenação do complexo HbO_2 e MbO_2 (XU; RHODES, 1999). No entanto, evidências da influência destes dois parâmetros não são conclusivas (KOPPO; BOUCKAERT, 2002; WHIPP *et al.*, 2005). Algumas especulações apontam para a redução da eficiência mecânica do músculo pela perturbação do padrão motor causada pelo acúmulo do lactato, o que demandaria uma maior produção energética (componente lento) para a manutenção da potência requerida para a atividade (DEMARIE *et al.*, 2001). Entretanto, a influência das variações na eficiência mecânica, ou no custo energético de transporte (economia de movimento), sobre o comportamento do lactato e cinética do VO_2 em intensidades correspondentes a MFEL e VC (ou PC), não foram investigadas.

2.4 – Cinética do consumo de oxigênio (VO_2)

Assume-se que a resposta do VO_2 em exercício é uma função mono-exponencial equacionada como:

$$y(t) = y_{BSL} + \text{Amp} \left[1 - e^{-(t-TD)/\tau} \right] \quad (14)$$

onde “ $y(t)$ ” representa a variável em um dado tempo (t); “ y_{BSL} ” é a linha de base de y ; “Amp” é a amplitude da curvatura exponencial; “ τ ” é a constante de tempo (ou, o tempo necessário para atingir 63% da assíntota de resposta do VO_2 para uma intensidade do exercício); “TD” é o tempo de resposta; e “ e ” é a base dos logaritmos naturais (GURD *et al.*, 2005; BURNLEY *et al.*, 2001).

A resposta exponencial inicial do VO_2 , denominada componente cardiodinâmico, está excluída na equação acima (SAHLIN *et al.*, 2005). Assim, o decurso da resposta imediata do VO_2 após o início do exercício seria mais bem descrito por:

$$VO_2(t) = VO_{2b} + A_0 \left[1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau_0}\right)} \right] + A_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{t-TD_1}{\tau_1}\right)} \right] \quad (15)$$

A Equação 15 descreve duas fases da reposta do VO_2 : a primeira exponencial, ou componente cárdio-dinâmico, começa no início do exercício e termina quando a segunda fase tem origem (TD_1), sendo o valor para o tempo (t_0) fornecido por $A_0' = A_0(1 - e^{-(TD_1/t_0)})$; durante a segunda fase, denominada componente primário, a amplitude relevante (A_1') é definida como o aumento no VO_2 desde a linha de base até o valor da amplitude da assíntota da segunda exponencial (A_1), caso o componente lento do VO_2 não for considerado no modelo.

O modelo mono-exponencial é razoável para a interpretação da cinética do consumo de oxigênio pulmonar (VO_2) após o início do exercício de intensidade moderada (abaixo do limiar de lactato, LL), na qual a fase-estável do VO_2 é atingida em 2-3 minutos (BURNLEY *et al.*, 2001; BARSTOW *et al.*, 1996). Em exercícios de intensidade pesada, a elevação do VO_2 continua por alguns minutos até que uma fase-estável tardia seja alcançada, ou permanece aumentando vagarosamente até o final do exercício (SAHLIN, *et al.*, 2005). Este aumento lento no VO_2 suplementa o traço da cinética mono-exponencial inicial com uma exponencial independente, caracterizando o modelo matemático trifásico da resposta do VO_2 ao exercício constante em intensidade pesada. Uma nova função pode, então, ser descrita como:

$$VO_2(t) = VO_{2b} + A_0 \left[1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau_0}\right)} \right] + A_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{t-TD_1}{\tau_1}\right)} \right] + A_2 \left[1 - e^{-\left(\frac{t-TD_2}{\tau_2}\right)} \right] \quad (16)$$

onde a terceira exponencial, ou componente lento, tem a amplitude determinada pelo VO_2 desde TD_2 até o final do exercício (A_2'), ao invés do VO_2 fornecido pelo valor da assíntota desta exponencial (A_2) (BURNLEY *et al.*, 2001; BARSTOW *et al.*, 1996).

A Figura 2.1 ilustra um exemplo do ajuste exponencial contendo todos os componentes da cinética.

Figura 2.1: Parâmetros do modelo tri-exponencial utilizado para descrever a cinética do $\dot{V}O_2$. Retirado de Scheuermann *et al.* (2001).

A fase lenta da cinética do $\dot{V}O_2$ tem sido observada na natação. Em velocidade possível de ser sustentada além de seis minutos, correspondente a $96\%\dot{V}O_{2pico}$, Demarie *et al.* (2001) mensuraram a amplitude média do componente lento em $114\%\dot{V}O_{2pico}$ (algo em torno de $498 \pm 356 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$), empregando o modelo tri-exponencial. Machado *et al.* (2006) mostraram que o emprego da função tri-exponencial é capaz de ajustar os valores da resposta transitória do $\dot{V}O_2$ no exercício de intensidade pesada, independentemente da amplitude da fase lenta.

A origem do excesso de $\dot{V}O_2$ tem sido relacionada à redução da eficiência mecânica durante o exercício, sugerindo que os eventos intramusculares responsáveis são: a alteração do aproveitamento energético dos substratos, alteração do tipo de fibra recrutada, aumento da temperatura muscular e da acidose láctica, promovendo um ganho no $\dot{V}O_2$ a partir dos 100-180s até 360-600s de exercício (GRASSI, 2001; POOLE *et al.*, 1994; SAHLIN *et al.*, 2005).

Apesar de ser a acidose postulada como causa do componente lento do $\dot{V}O_2$, esta relação mostra-se coincidente em vez de causal, uma vez que a infusão direta de lactato em um modelo de perfusão sanguínea no músculo não causou alteração na taxa $\dot{V}O_2$ /força durante as contrações (POOLE *et al.*, 1994). Sahlin *et al.* (2005) mostraram que a amplitude do componente lento não está relacionada com a

concentração de lactato muscular no exercício moderado, e que a elevação na concentração muscular ou sanguínea de lactato previamente ao exercício moderado aumenta a amplitude da assíntota imediata de resposta do VO_2 (A_1'), atenuando o componente lento do VO_2 (A_2') e, assim, reduzindo a eficiência mecânica bruta no exercício. Estes autores concluíram, no entanto, que o efeito da acidose sobre a cinética do VO_2 não pode ser refutada, uma vez que esta remanesce como um mediador possível da redução da capacidade de trabalho e, assim, de uma maior demanda de oxigênio no exercício.

A acidose poderia modular a resposta do componente imediato (primário) do VO_2 (A_1') em direção a uma amplitude alvo, aumentando a oferta de O_2 sem, necessariamente, alterar a taxa de ajuste do VO_2 à A_1' , muito menos às exigências de potência mecânica externa (BURNLEY *et al.*, 2001). Assim, o ganho ($\Delta\text{VO}_2/\Delta$ taxa de trabalho) do componente A_1' é aumentado, sendo uma evidência irrefutável da alteração da eficiência mecânica bruta (Δ taxa de trabalho / ΔVO_2), apesar de Poole *et al.* (1994) indicarem que o ganho aparenta ser invariável com a graduação do trabalho do domínio moderado ao severo do exercício.

Mas em exercícios até a exaustão, uma acidose pronunciada está associada à fadiga por perturbar o ambiente bioquímico dos músculos em atividade (BILLAT, 1996). Neste domínio severo do exercício, frações próximas a 100% $\text{VO}_{2\text{max}}$ são exigidas, que podem ser sustentadas por aproximadamente dez minutos (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996), e no qual o VO_2 é projetado exponencialmente para o $\text{VO}_{2\text{max}}$ e a concentração de lactato sanguíneo aumenta abruptamente até que a exaustão aconteça (SMITH; JONES, 2001). O vínculo com o metabolismo anaeróbio nesta intensidade resulta em restrições na capacidade do músculo em produzir força e potência mecânica (WEYAND; BUNDLE, 2005). Nesta circunstância, o excesso de O_2 demandado é consistente com o aumento no custo de ATP da geração de força (GARLAND *et al.*, 2006). Uma vez que as fibras de contração rápida demandam um elevado custo energético por unidade de força, tem sido postulada que sua ativação tardia contribui para a ocorrência e perfil do componente lento do VO_2 , apesar da ausência de evidência para sustentar esta hipótese (BARSTOW *et al.*, 1996; GARLAND *et al.*, 2006).

Este cenário, entretanto, reflete alterações na quantidade de trabalho realizado em relação ao fornecimento energético (ou seja, na eficiência mecânica) com

o aumento na velocidade de deslocamento, como estabelecido por Kaneko (1990), para a corrida. Na natação, a relação entre custo energético e velocidade é marcadamente determinada pela capacidade técnica em transferir a potência mecânica gerada pelos músculos (P_o) em potência propulsiva (P_d – a potência útil na superação do arrasto ativo contra o corpo e propulsão do nadador na água) (TOUSSAIN *et al.*, 2006). Para estes autores, a fração entre estas duas potências mecânicas é definida como eficiência propulsiva² ($ep = P_d/P_o$), que se constitui em um dos componentes da equação teórica do desempenho de nado, que ao desconsiderar a influência da energia metabólica (demonstrada pela Eq. 13) pode ser descrita como:

$$v = \sqrt[3]{(P_o \times ep) / A} \quad (17)$$

onde “A” é o coeficiente de proporcionalidade presente na equação do arrasto (Eq. 21).

Quando o nadador torna-se exausto, alterações na técnica conduzem a um aumento no arrasto ativo contra o corpo e uma diminuição na eficiência propulsiva (ep), resultando em uma adaptação na frequência de braçada (f_B – número de ciclos de braçada por unidade de tempo) para atender à força propulsiva requerida, e assim, realizar uma maior quantidade de trabalho por unidade de distância percorrida (Ad)³ (TOUSSAIN, 1990; TOUSSAIN *et al.*, 2006), uma vez que:

$$Ad = \frac{Fd}{ep} \leftrightarrow Ad = \frac{P_o}{v} \rightarrow P_o = \frac{Pd}{ep} \quad (18)$$

Em primeira instância, é razoável considerar “Ad” como um índice que relaciona aos parâmetros fisiológicos aos mecânicos do desempenho. De forma similar, a economia de movimento (a quantidade de energia gasta para percorrer uma dada distância) não tem sido analisada nos estudos sobre a resposta transitória do VO_2 . Na natação, os estudos têm analisado a resposta transitória apenas durante exercícios em intensidade pesada. Na natação, o esforço em intensidades próximas à VC promove alterações na relação $\Delta VO_2/\Delta Ad$. VC é um parâmetro estimado por modelos matemáticos diferentes, relacionando o tempo de exaustão (t_{Lim}) à velocidade (v), ou à distância total (d_{Lim}) (BULL, *et al.*, 2008).

² Maiores detalhes sobre “ep” estão descritos no subitem subsequente (2.5).

³ A da dinâmica da braçada é descrita em maiores detalhes no subitem subsequente (2.5).

Fundamentos teóricos que indicam a VC como a demarcação entre os domínios pesado e severo do exercício tem sido limitados pela variabilidade das estimativas de VC. Contudo, alguns autores (CARTER *et al.*, 2002 and HOUSH *et al.*, 1991) designam a VC como um limiar de fadiga, indicando que ela corresponde a 41% da diferença entre o VO_2 no Limiar de Lactato (LL) e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\Delta\text{VO}_{2\text{LT}} - \text{VO}_{2\text{max}}$), que identifica o ponto limítrofe dos domínios pesado e severo. Bull *et al.* (2008) examinaram a frequência cardíaca (FC) e a resposta do VO_2 em intensidade correspondente à VC, reportando valores entre 92 a 96% da FC_{max} , e 76-90% do $\text{VO}_{2\text{max}}$. Estes valores estão de acordo com a noção de que VC não corresponde á uma intensidade sustentável, uma vez que não pode ser mantida por períodos superiores a 30-40 min. e que a concentração de lactato no sangue arterial pode atingir 8-10 mmol/L (DEKERLE, 2006). Algumas evidências recentes sugerem que VC está compreendida no domínio pesado do exercício, na qual o componente lento do VO_2 está presente, mas não conduz ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ (BULL *et al.*, 2007). Esta noção está de acordo com o fato de VC corresponder á uma intensidade inferior àquela referente à máxima em um teste incremental (em torno de 92-96% da velocidade nos 400 m em nadadores treinados), mas conflitante com o fato de ser a VC uma referência do limite superior do domínio pesado do exercício.

A resposta fisiológica real em VC, e ao seu redor, deve ser apropriadamente analisada para se obter uma boa discriminação destes estímulos. Além disto, sem uma referência confiável sobre os mecanismos básicos do controle metabólico no nado em VC, e ao seu redor, a compreensão do metabolismo energético muscular e das limitações à tolerância ao exercício não serão adequadamente viáveis para sustentar a VC como uma ferramenta confiável para acessar o perfil fisiológico, para fornecer recomendações para o treinamento, e para predizer o desempenho. A resposta do VO_2 é apreciavelmente significativa para traçar inferências sobre os determinantes subjacentes aos domínios do exercício. Para discernir a resposta do exercício em intensidade próxima à VC, os parâmetros da cinética de VO_2 devem ser estabelecidos e, conseqüentemente, o controle fisiológico obtido durante o nado.

2.5 – Fundamentos da mecânica de nado e suas implicações para o desempenho na natação desimpedida e atada

Princípios mecânicos para o hidrofólio postulam que os movimentos contra uma quantidade de água sempre resulta em uma fração desperdiçada de potência que é maior quanto menor é a diferença de pressão entre os lados do hidrofólio, a qual, por sua vez, é induzida pela velocidade deste hidrofólio (deGROOT; INGEN SCHENAU, 1988). Assim, em cada braçada, a força aplicada (F) causa uma alteração da velocidade (Δv) em certa massa de água (M_w). Esta potência transferida para a massa de água (P_k) não é usada para a propulsão (deGROOT; INGEN SCHENAU, 1988; TOUSSAINT *et al.*, 1983) e equivale a:

$$P_k = f \cdot \frac{1}{2} M_w \cdot \Delta v^2 \quad (19)$$

onde “f” é a frequência de braçada. Entretanto, a medida que o hidrofólio (principalmente a mão) possui uma velocidade para trás, em relação à água, a diferença de pressão formada entre as porções frontal e posterior induz à uma força de reação, frequentemente denominada de força de arrasto propulsiva (Frp) (SCHLEIHAULF, 1979; TOUSSAINT *et al.*, 1983; BERGER *et al.*, 1997), correspondente à:

$$F_{rp} = \frac{1}{2} Cx_{Hydrof} \cdot \rho \cdot S_{Hydrof} \cdot u^2 \quad (20)$$

onde “ Cx_{Hydrof} ” é o coeficiente de arrasto para o hidrofólio, “ ρ ” é a densidade da água e “ S_{Hydrof} ” é a área plana do hidrofólio.

Para o nado desimpedido, no início do deslocamento, a força propulsiva (Frp) deve exceder a força de arrasto ativo (Fr) o quanto possível (MARTIN *et al.*, 1981). Mas, à medida que a velocidade do nadador aumenta, a força de arrasto ativo também aumenta (de forma quadrática, uma vez que Fr é relacionada ao quadrado da velocidade de nado, como mostra a Equação 21) até que um estado estável da velocidade é alcançado. Assumindo uma alteração uniforme do momento de uma massa de água, levando-a a se deslocar para trás em uma mesma velocidade em cada e toda braçada, e uma velocidade constante do nadador para frente, pode-se postular que a força de arrasto ativo (opositiva) iguala-se a força propulsiva (deGROOT; INGEN SCHENAU, 1988):

$$F_{rp} = Fr = \frac{1}{2} Cx_{Body} \times \rho \times S_{Body} \times v^2 \quad (21)$$

na qual, “ Cx_{Body} ” é o coeficiente de arrasto para todo o corpo, “ ρ ” é a densidade da água, “ S_{Body} ” é a área de secção transversal do corpo exposta ao fluido, e “ v^2 ” é a velocidade do nadador ao quadrado.

A força de arrasto ativo total é determinada, na natação, pelas resistências de pressão e atrito, como também pela resistência de onda. De acordo com Miller (1975) e Barthels (1977), os conceitos teóricos das resistências são: (a) a resistência de pressão, que é determinada principalmente pela área de secção transversa do nadador. Esta resistência é o resultado da separação das camadas de fluido limítrofes adjacentes à superfície corporal, que revertem seu fluxo e ondulam adiante, causando uma turbulência de fluxo irregular próximo às porções inferiores do corpo. Isto cria uma zona de maior pressão nas superfícies das partes frontais do corpo quando comparada às partes posteriores, resultando assim em um efeito de sucção, cuja magnitude depende do tamanho, formato, velocidade e posição do nadador em relação à superfície do fluido; (b) a resistência de atrito é aquela que depende da fricção entre a pele e a água e que, teoricamente, aumentará à medida que a superfície total da pele aumenta. Essa se refere a uma força retardadora que atua sobre o nadador pelas camadas limítrofes da água fluindo para trás ao longo da superfície do corpo, que se move para frente através da água; e (c) o mecanismo de formação de ondas, que é o resultado da tendência da água em se amontoar em frente do nadador e pela depressão formada atrás dele, gerando uma resistência adicional pela deformação da superfície e formação dos arcos de onda. A passagem da onda pelo corpo altera o padrão de fluxo ao seu redor, bem como aumenta o estresse de parede da onda que se move com a movimentação desalinhada no fluido. Com isso, a formação de turbulência nas camadas limítrofes do corpo também aumenta, proporcionando um aumento na quantidade de força de arrasto ativo (BARRET *et al.*, 1999).

A relação entre as equações das forças propulsivas (Eq. 20) e de arrasto (Eq. 21) fornece uma aproximação do postulado da eficiência propulsiva, assim:

$$\frac{1}{2} Cx_{Hidrof} \times \rho \times S_{Hidrof} \times \mu^2 = \frac{1}{2} Cx_{Body} \times \rho \times S_{Body} \times v^2 \quad (22)$$

or

$$\frac{\mu}{v} = \sqrt{\frac{Cx_{Body} \times S_{Body}}{Cx_{Hidrof} \times S_{Hidrof}}}$$

A equação acima mostra a noção de como o mecanismo de propulsão usa apenas uma parte da potência total gerada pelo nadador na superação do arrasto ativo (P_u), e que uma outra parte é dissipada (P_k) fornecendo aceleração à massa de água. Sendo, que a força propulsiva (F_{rp}) gerada pelo nadador é, em condições de equilíbrio dinâmico, proporcional à força de arrasto ativo (F_r) oferecida pelo fluido contra a trajetória de deslocamento do corpo (TOUSSAINT *et al.*, 1998), como postula a equação 21, então, a potência mecânica externa útil (P_u) à propulsão corresponderia, segundo Toussaint *et al.* (1998), a:

$$P_u = F_r \times v \quad (23)$$

Uma vez que a ação do hidrofólio faz com que a água adquira energia cinética (DeGROOT; INGEN SCHENAU, 1988), na natação a P_o corresponderia a:

$$P_o = P_u + P_k \quad (24)$$

A magnitude de P_u depende da capacidade do hidrofólio em reduzir P_k , obtendo um melhor aproveitamento de P_{ext} ; e não, necessariamente, de uma maior atividade muscular (TOUSSAINT *et al.*, 1998; DeGROOT; INGEN SCHENAU, 1988). Assim, uma abordagem rudimentar da eficiência propulsiva (ep) pode ser definida pela razão entre a potência útil (P_u) e o total de potência gerado (P_o) (DeGROOT; INGEN SCHENAU, 1988; TOUSSAINT *et al.*, 1983; BERGER *et al.*, 1997)

$$e_p = \frac{P_u}{P_o} = \frac{F_r \cdot v}{(F_r \cdot v) + P_k} \quad (25)$$

Sugere-se que ep seja um índice da habilidade técnica de nado, obtida como resultado de um grande vetor orientado no sentido do deslocamento do corpo na água e, assim, sendo altamente efetivo na propulsão e associado ao baixo custo energético (BERGER *et al.*, 1997).

Por ser a relação entre aproveitamento e desperdício de P_o caracterizada pela eficiência propulsiva (ep) (TOUSSAINT *et al.*, 1983), esta seria estimada por:

$$P_o = \frac{P_u}{ep} \quad (26)$$

A estimativa de ep em diferentes velocidades de nado é inviabilizada, em parte, pela limitação que o contexto de nado impõe aos recursos instrumentais e, por

outro, pelo elevado custo financeiro, como também pela ausência de consenso em torno dos pressupostos assumidos.

Para avaliar diferenças na força e no padrão da braçada, Toussaint (1990) propôs que os registros das características da braçada [distância por braçada (d_B) e frequência de braçada (f_B)] fossem relacionados, no nado desimpedido, à mecânica de nado, para fornecer o trabalho por braçada (As) e o trabalho por distância (Ad), aplicando as fórmulas:

$$As = \frac{Po}{fs} \quad (27)$$

e

$$Ad = \frac{As}{ds} \quad (28)$$

Uma vez que a dimensão de “Ad” pode ser anotada em Newton, esse parâmetro pode ser reescrito como:

$$Fp_{Total} = \frac{Frp(N)}{ep(decimal)} \quad (29)$$

Assume-se que “Ad” ou Fp_{Total} seja a quantidade de força produzida pelos elementos contráteis na execução da braçada (TOUSSAINT, 1990). Análoga à equação 29, o parâmetro “ds” da Equação 28 pode ser substituído pelo comprimento da braçada relativo ao nadador (Ls), atendendo, segundo Pessoa Filho e Denadai (2008a), em ordem a condição de nado atado. Então:

$$As = \left(\frac{Frp}{ep} \right) \times Ls \quad (30)$$

e

$$\left(\frac{Frp}{ep} \right) \times Ls = \frac{Po}{fs} \rightarrow Po = \left(\frac{Frp}{ep} \right) \times (Ls \times fs) \quad (31)$$

Como $Ls \times fs$ equivale à velocidade do hidrofólio, então a equação 31 fornece:

$$Po = \left(\frac{Frp}{ep} \right) \times v_{Hidrof} \quad (32)$$

Esta equação satisfaz, quantitativamente, o total de potência mecânica gerada pelos músculos ativos na natação atada, assim como esta potência seria uma aproximação daquela produzida em condições de nado desimpedido, à medida que F_{rp} no nado atado atendesse a especificidade de superar uma resistência similar ao arrasto ativo em condições de nado desimpedido (PESSÔA FILHO; DENADAI, 2008a).

Devido à dificuldade em modelar a relação $P-t_{Lim}$ na natação pela ausência de procedimentos de estimativa da potência mecânica externa (P_o) em uma faixa de velocidade de nado variando entre submáxima à máxima, a variável mecânica de maior significado fisiológico, na natação, para compor o modelo $P-t_{Lim}$ seria fornecida pela Equação 32, em condições de nado atado.

De acordo com Toussaint *et al.* (22), a condição de nado atado pode ser considerada, a partir da perspectiva do nado desimpedido, uma carga externa que aumenta a força contra a direção do corpo do nadador, proporcionando: (a) redução da velocidade de nado, a qual pode se aproximar de zero à medida que a potência mecânica, utilizada benéficamente para superar o arrasto ativo, seja fornecida à massa de água para alterar sua energia cinética; e, então, (b) se nenhuma propulsão for gerada, a e_p tende também à zero.

Por isso, a natação atada é evocada como o teste mais amplamente usado para mensurar a força da braçada realizada durante o nado (YATER *et al.*, 1981; DOPSAJ *et al.*, 2000), uma vez que esta condição é considerada esporte-específica para simular as características da natação com respeito ao ambiente (HUIJING *et al.*, 1983), mecânica da braçada (CABRI *et al.*, 1988), aspectos fisiológicos (HOLMÉR, 1983) e a influência dos parâmetros antropométricos e morfológicos do corpo (tamanho, formato, estatura e peso corporal) sobre a formação de forças propulsivas e de arrasto (CLARYS, 1979). Para estabelecer a condição atada completa, a carga adicionada no sistema deve impedir que o nadador se desloque para frente ($v = 0$) (CLARYS, 1979). Conforme Martin *et al.* (1981), esta condição é descrita como:

$$F_t + F_r - F_p = 0 \quad (33)$$

onde F_t é a força atada, isto é, a carga externa acoplada ao nadador e que se contrapõe ao deslocamento para frente do corpo na água; F_r é a força de arrasto ativo, que é originada pelo deslocamento do corpo do nadador na superfície do fluido, opondo-se ao movimento para frente; e F_p é a força propulsiva do hidrofólio, que é a impulsão

originada durante o movimento para trás da braçada, propelindo o corpo do nadador à frente, superando F_r e contrabalanceando F_t .

A força (atada) máxima registrada em velocidade nula é reconhecida como uma medida da força propulsiva máxima que, teoricamente, corresponde à força (propelidora) necessária para sobrepor a resistência (F_r) em velocidade máxima de nado desimpedido (CLARYS, 1979). Entretanto, há uma tendência em considerar a força atada como uma versão exagerada da força propelidora que o nadador é capaz de alcançar, uma vez que a velocidade para trás do hidrofólio, em relação à água, diminui à medida que a velocidade do corpo à frente aumenta (MARTIN *et al.*, 1981), causando uma redução na força propulsiva (PESSÔA FILHO; DENADAI, 2008)

Apesar disto, algumas observações em nado completamente atado e em intensidade entre 85-100% da frequência de braçada máxima concluíram que os padrões eletromiográficos dos músculos do braço eram semelhantes àqueles induzidos no nado desimpedido (BOLLENS *et al.*, 1988). Ainda, Yater *et al.* (1981) mostraram a existência de relações entre a força máxima em nado atado e a velocidade do crawl e; Costill *et al.* (1983) encontraram uma correlação significativa ($r = 0,84$) entre a potência de nado medida na água pelo sistema de nado atado e o desempenho de nado em 25 jardas. Por fim, Kjendlie e Thorsvald (2006) reportaram que o nado atado é um método confiável para estimar a força atada máxima de nado, uma vez que medidas de teste e re-teste produziram elevados coeficientes de correlação; e baixos coeficientes de variação para desempenhos realizados em dias e períodos diferentes, por nadadores de alta e média habilidade, sob condições familiarizada e não-familiarizada com a tarefa.

Assim, para considerar a especificidade da equação 32 assume-se, conforme Pessoa Filho e Denadai (2008a), a partir de uma análise dedutiva do mecanismo de produção de força do hidrofólio:

- a) redução da velocidade da mão relativa ao corpo do nadador; se a velocidade do hidrofólio (u) com relação à velocidade do corpo do nadador (v) é $u + v$, então sem qualquer movimento do corpo à frente u é reduzida e isto também resulta em uma menor quantidade de potência desperdiçada (P_k), porque a variação da velocidade da massa de água seria também reduzida (DeGROOT; INGEN SCHENAU, 1988);
- b) uma parcela do total de potência mecânica é empregada beneficemente na superação da resistência oferecida pela carga;

c) outra parcela altera a energia cinética de uma massa de água, como resultado do movimento para trás do hidrofólio durante a braçada;

d) a intensidade da resistência externa deve induzir a uma sobrecarga de força conhecida em condições de nado desimpedido, e apenas a carga respectiva ao arrasto ativo (F_r) em uma dada velocidade de nado atenderia ao pressuposto de paralelismo da força entre as condições de nado;

O nado atado tem sido considerado apropriado enquanto atividade específica de treinamento para o desenvolvimento da força, apesar da ausência de relação entre o aumento da força e a melhora do desempenho de nado ser o principal argumento que restringe a utilização do sistema atado, ou outro método de treinamento da força (exemplo: treinamento de força em terra, no banco isocinético de nado, ou sistemas convencionais de peso). Outro fator é relativo à referência de carga e seus ajustes de intensidade no nado atado para atender à especificidade das exigências de força propulsiva em diferentes velocidades e frequências de braçada no nado desimpedido (PESSÔA FILHO; DENADAI, 2008).

Contudo, o nado atado pode ser considerado um ambiente controlador da força, que assegura uma melhor distribuição da força e velocidade do hidrofólio durante o ciclo da braçada. Esta condição controladora da força, contextualizada dentro (VORONTSOV *et al.*, 2006; ROUARD *et al.*, 2006) ou fora da piscina (PETRIAIEV *et al.*, 2006), tende a melhorar as características da dinâmica da braçada, resultando na habilidade de converter o potencial muscular de gerar potência em potência específica da braçada (isto é, potência útil à propulsão). Uma diminuição no comprimento da braçada, com nenhuma ou pequeno aumento na frequência de braçada, e uma tendência em tornar linear a trajetória do hidrofólio para trás, são observados na condição de nado atado, quando comparado à braçada em nado desimpedido (MAGLISCHO *et al.*, 1985). Interessantemente, estas alterações são também verificadas com o aumento da velocidade no nado desimpedido (CHATARD *et al.*, 1990), mas as adaptações técnicas da braçada parecem ser diferentes nas condições de nado atado e desimpedido para atender às exigências de força e manter o desempenho inalterado (YATER *et al.*, 1981; CHATARD *et al.*, 1990). Na condição de nado atado, uma grande taxa de desenvolvimento da força é capaz de ser alcançada em um dado tempo na fase propulsiva (DOPSAJ *et al.*, 2000), enquanto a superposição dos braços no nado desimpedido é o fator relacionado a uma melhor produção de potência e é decisivo para

prolongar a fase de empurrada da braçada (MILLET *et al.*, 2002). Estas diferenças limitam uma efetiva transferência dos ganhos de força no treinamento atado ao aumento da força propulsiva no nado desimpedido (MAGLISCHO *et al.*, 1985).

Pessôa Filho e Monteiro (2005) planejaram aplicar a força de arrasto (Fr) referente à máxima velocidade de nado como parâmetro de carga para o treinamento com pesos em sistema de nado atado, visando melhorar o desempenho no nado desimpedido. Neste estudo, doze nadadores foram submetidos ao treinamento em nado atado e desimpedido por dez semanas. Em condições de nado atado, foram 10 séries, pausa de 30 s, com frequência de braçada e carga respectiva à condição de mensuração da força de arrasto (desempenho máximo em 50 m); e o treinamento em condições de nado desimpedido, para o grupo controle, seguiu o protocolo regular na piscina. Esses autores reportaram aumento na velocidade de nado desimpedido (1,37%) e na frequência de braçada (4,12%) para o grupo treinado com o nado atado; e, ainda, este grupo apresentou redução da força de arrasto ativo (Fr : -6,76%), distância percorrida por braçada (d_B : -2,33%) e do coeficiente de arrasto (Cx : -9,04%). A partir disto concluíram que as alterações foram específicas ao aprimoramento da técnica e do desempenho de nado; e que, assim, Fr pode ser considerado um parâmetro de carga adequado ao treinamento com pesos na natação. Estes resultados mostraram-se compatíveis àqueles apresentados por Toussaint e Vervoorn (1990) com um protocolo de treinamento da força no “MAD-system” (sistema de mensuração de Fr) em nado desimpedido. A melhora evidenciada foi de 2,28% na velocidade máxima do crawl em 50 m para o grupo treinado por 10 semanas. Baseado nos resultados obtidos, Pessôa Filho e Monteiro (2005) atribuíram o aumento na velocidade ao pequeno aumento na frequência de braçada (f_B), associado a nenhuma, ou sutil, redução na d_B . Enquanto Toussaint e Vervoorn (1990) explicaram o aumento na velocidade do crawl desimpedido como resultado da capacidade em realizar mais trabalho por braçada, uma vez que a potência específica (Pu) aumentou e f_B diminuiu. Por considerar f_B como um índice indicativo da quantidade de força propulsiva (TOUSSAINT *et al.*, 2006), ambos os estudos atribuíram as alterações decorrentes do treinamento à habilidade técnica que, segundo Wakayoshi *et al.* (1995), traduz-se no aumento de d_B no nado em velocidade submáxima dado ao aumento na eficiência propulsiva, ou redução do arrasto ativo durante o deslocamento do corpo.

Por fim, a especificidade da resistência e a magnitude e distribuição da força propulsiva em uma faixa de padrão de braçada parecem ser diferentes no nado atado quando comparado ao nado desimpedido. Estas diferenças não são marcadamente diferentes, como apontado por Schleihauß (1983) e Olbrecht e Clarys (1983) ao estudar o treinamento de força em terra, indicando que a linha de movimento em condições atada simula com razoável aproximação grande parte do padrão de braçada (OLBRECHT; CLARYS, 1983; CRAIG; BOOMER, 1980) e da ativação muscular (BOLLENS *et al.*, 1988) encontrada no nado desimpedido. De qualquer forma, enquanto uma aplicação regular da força é uma característica do padrão de braçada no nado atado devido à natureza constante da sobrecarga externa, o que difere do nado desimpedido, a carga respectiva à força de arrasto ativo, ou uma fração dela, iria configurar uma maior semelhança no manejo da força entre as condições (PESSÔA FILHO, DENADAI, 2008).

3 - Objetivos

Modelar a relação potência mecânica/tempo limite ($P-t_{Lim}$) na natação, empregando o nado crawl completamente atado como modalidade de exercício, e a força máxima de arrasto (Fr_{max}) no crawl desimpedido como parâmetro modulador da intensidade de carga. Contextualizar a condição fisiológica identificada por PC_{Atada} , estabelecendo relações entre esta variável e sua recíproca no nado desimpedido (VC); comparando PC_{Atada} com valores de potência e lactato na referência padrão da capacidade aeróbia (MFEL), também obtidos em condições de nado atado e desimpedido; e caracterizando a cinética do VO_2 durante o nado desimpedido em zonas de intensidade do exercício que abrangem VC (ou PC) e MFEL para obter um referencial da margem de intensidade que induz padrões de resposta fisiológica distintos.

Para a obtenção destes propósitos, foram realizados três estudos que contemplaram os seguintes objetivos:

Estudo 1 – Teve por objetivo modelar a relação potência mecânica e tempo de exaustão no nado crawl atado, sem deslocamento, tendo a força máxima de arrasto ativo como referencial de carga; bem como sua validação pela recíproca mecânica da variável de desempenho (velocidade) obtida pelas relações entre distância e a velocidade com seus respectivos tempo limite no exercício;

Estudo 2 – Teve por objetivo a comparação dos valores de potência e da concentração de lactato, respectivos à MFEL em nado atado e desimpedido, tendo a força máxima de arrasto ativo como referencial de carga nos testes de cargas constantes; assim como analisar as diferenças e relações da potência e velocidade em MFEL com os respectivos parâmetros obtidos pelos modelos potência/tempo de exaustão e velocidade/tempo limite;

Estudo 3 – Teve por objetivo analisar os parâmetros temporais da cinética e a amplitude de resposta do VO_2 durante a transição repouso/exercício no nado desimpedido, ao redor do limite entre os domínios pesado e severo do exercício.

4 - Artigo do Estudo 1

(Revista Brasileira de Ciências do Esporte, 29(2): 95-114, 2008)

VALIDAÇÃO DO MODELO POTÊNCIA-TEMPO LIMITE NO *CRAWL*-ATADO
PELAS RELAÇÕES COM OS MODELOS DISTÂNCIA/TEMPO LIMITE E
VELOCIDADE/TEMPO LIMITE

VALIDITY OF THE POWER-TIME TO EXHAUSTION MODEL IN THE
TETHERED-CRAWL SWIM FROM RELATIONSHIPS TO THE DISTANCE AND
VELOCITY-TIME TO EXHAUSTION MODELS

VALIDACIÓN DEL MODELO POTENCIA-TIEMPO DE EXHAUSTIÓN EN EL
CRAWL-ATADO POR LAS RELACIONES COM LOS MODELOS DISTANCIA-
TIEMPO DE EXHAUSTIÓN Y VELOCIDAD-TIEMPO DE EXHAUSTIÓN

Resumo:

Vinte e quatro nadadores, com $16,5 \pm 2,7$ anos e $67,7 \pm 13,5$ kg, submeteram-se à estimativa da força de arrasto, por: $F_r = A \times v^2$. F_r , encontrada em máxima velocidade, foi fracionada para compor quatro estágios de teste, com tempos de exaustão entre 3-20 min em *crawl*-atado. A VC, foi estimada empregando quatro distâncias entre 200-1500m. A potência no *crawl*-atado (P_{Atada}), a velocidade e a distância foram relacionadas aos tempos de exaustão por ajustes lineares e hiperbólicos. A PC_{Atada} linear (81,9W) e não linear (71,1W) não se diferenciaram ($p \leq 0,05$) dos valores de PC linear (108,2W) e não linear (96,3W) estimados por v_{crit} linear ($1,2m.s^{-1}$) e não linear ($1,14m.s^{-1}$) através da equação do desempenho. Conclui-se que PC_{Atado} é correlata a VC, podendo representar a capacidade aeróbia.

Palavras Chaves: Potência crítica, Velocidade crítica, Nado *crawl*-atado e Equação do desempenho de nado.

Abstract:

Twenty four swimmers with 16.5 ± 2.7 years and 67.7 ± 13.5 kg were undertaken to drag force (F_r) estimation from: $F_r = A \times v^2$. F_r at maximal crawl velocity was the load whose fractions built the sets leading to exhaustion between 3-20 min. Critical velocity (CV) was calculated from distance between 200-1500m. Power delivered from tethered-crawl (CP_{Teth}), velocity and distance were fitted to time do exhaustion by linear and hyperbolic functions. The linear (81.9W) and non linear (71.1W) CP_{Teth} were not different ($p \leq 0.05$) from the values of linear (108.2W) and non linear (96.3W) CP estimative taken from linear ($1.2m.s^{-1}$) and non linear ($1.14m.s^{-1}$) CV through swim performance equation. It was conclude that CP_{Teth} was related to CV, and reliable to indexes aerobic capacity.

Keywords: Critical power, Critical velocity, Tethered-crawl swim, and Swim performance equation.

Resumen:

Veinte y cuatro nadadores, con $16,5 \pm 2,7$ años y $67,7 \pm 13,5$ kg, fueron sometidos a la evaluación de la fuerza del arrasto, por: $F_r = A \times v^2$. F_r hallada en máxima velocidad fue fraccionada para componer cuatro test, con tiempos de exhaustión entre 3-20 min. en *crawl*-atado. VC, fue estimada por cuatro distancias entre 200-1500m. Potencia en el *crawl*-atado (P_{Atada}), velocidad y distancia fueron asociadas con los tiempos de exhaustión por ajustes lineares y hiperbólicos. PC_{Atada} linear (81,9W) y no linear (71,1W) no se diferenciaron ($p \leq 0,05$) del PC_{crit} linear (108,2W) y no linear (96,3W) estimados por VC linear ($1,2m.s^{-1}$) y no linear ($1,14m.s^{-1}$) por la ecuación del desempeño. La conclusión es que PC_{Atada} se correlaciona con la VC, pudiendo representar la capacidad aeróbica.

Palabras llave: Potencia crítica, Velocidad crítica, Nado *crawl*-atado y Ecuación del desempeño a nado.

4.1 - INTRODUÇÃO

Modelar a capacidade de trabalho muscular pelo tempo de exaustão presume a demarcação de dois domínios diferentes de intensidade: o aeróbio e o anaeróbio, parametrizados, respectivamente, pela potência crítica (PC) e pela capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) (MORTON, 2006). A obtenção destes índices tem servido à avaliação fisiológica do atleta, à alteração da sobrecarga de treinamento, ao monitoramento dos efeitos do treinamento e à predição do desempenho (DEKERLE et al., 2002). Na natação, a determinação de índices fisiológicos é limitada tecnicamente pelas restrições de aplicação das rotinas de avaliação no meio líquido, elevando a demanda por testes de campo. A modelagem da relação entre potência mecânica (P) e tempo de exaustão (t_{Lim}), é, de acordo com Morton (2006), matematicamente caracterizada pela equação:

$$P \times t = \alpha + \beta \times t \quad (34)$$

O parâmetro β representa o limite superior para uma taxa constante de força muscular, referida como potência crítica (PC) e postula que quando $P \leq PC$, $t \rightarrow \infty$. O fornecimento anaeróbio de energia, limitado e fixo, é representado por α e referido como capacidade de trabalho anaeróbio (CTA), postulando que quando $P > PC$, $t < \infty$ (MORTON, 2006).

Alternativamente, P pode ser relacionada, linearmente, a t pela equação:

$$P = CTA \times t^{-1} + P_{crit} \quad (35)$$

e não linearmente a t , resolvendo a Eq. 35 para o tempo:

$$t = \frac{CTA}{P - PC} \quad (36)$$

que presume que $t \rightarrow \infty$ quando $P \rightarrow 0$, ou ainda, que $P \rightarrow \infty$ se $t \rightarrow 0$, ocorrendo a exaustão quando $CTA = 0$ (MORTON, 2006).

A PC tem sido descrita como um índice com valor diferente, mas relacionado aos índices da capacidade de desempenho aeróbio, como o limiar ventilatório, o limiar de lactato e o limiar de fadiga estimado por eletromiografia (HILL; STEWARD; LANE et al., 1995). Por sua vez, a capacidade de trabalho anaeróbia (CTA), que tem sido associada aos índices do rendimento anaeróbio, mostrou-se compatível com o déficit máximo acumulado de oxigênio (MAOD), cerca de 72

mlO₂.kg⁻¹, quando quantificada pelo modelo não linear de 2-parâmetros, ou seja ~29KJ (assumindo 20,9 J.mlO₂⁻¹) (TOUSSAINT et al., 1998).

A dificuldade em modelar a relação P-t_{Lim} na natação reside na ausência de procedimentos de estimativa da potência mecânica externa (P_{ext}) em uma faixa de velocidade de nado variando entre submáxima à máxima. Na natação, a força propulsiva (F_p) gerada pelo nadador é, em condições de equilíbrio dinâmico, proporcional à força de arrasto ativo (F_r) oferecida pelo fluido contra a trajetória de deslocamento do corpo (TOUSSAINT; ROSS; KOLMOGOROV, 2004), assim:

$$F_p = F_r = \frac{1}{2} C_x \times \rho \times S \times v^2 \quad (37)$$

onde C_x é o coeficiente de arrasto para o corpo; ρ a densidade da água; S a área e seção transversa do nadador exposta ao fluido; e v², a velocidade de nado ao quadrado. A potência mecânica externa útil (P_u) a propulsão corresponderia, segundo Toussaint et al. (1983), a:

$$P_u = F_r \times v \quad (38)$$

Uma vez que a ação do hidrofólio faz com que a água adquira energia cinética (DeGROOT; INGEN SCHENAU, 1988), na natação a P_{ext} corresponde a:

$$P_{ext} = P_u + P_{H_2O} \quad (39)$$

onde P_{H₂O} é a parcela de P_{ext} transferida ao fluido e não útil à propulsão. A magnitude de P_u depende da capacidade do hidrofólio em reduzir P_{H₂O}, obtendo um melhor aproveitamento de P_{ext}; e não, necessariamente, de uma maior atividade muscular (TOUSSAINT et al., 1983). Por ser a relação entre aproveitamento e desperdício de P_{ext} caracterizada pela eficiência propulsiva (ep):

$$ep = \frac{P_u}{P_u + P_{H_2O}} \quad (40)$$

a variável mecânica de maior significado fisiológico, na natação, para compor o modelo P-t_{Lim} seria estimada por:

$$P_{ext} = \frac{P_u}{ep} \quad (41)$$

A estimativa de ep em diferentes velocidades de nado é inviabilizada, em parte, pela limitação que o contexto de nado impõe aos recursos instrumentais e, por outro, pelo elevado custo financeiro, como também pela ausência de consenso em torno dos pressupostos assumidos.

Alternativamente, Wakayoshi et al. (1992) empregaram seis velocidades diferentes, em intervalos de 30 min., com a menor delas permitindo nadar por mais de 5-min. em um *flume* antes de exaustão, para caracterizar a relação entre tempo limite (t_{Lim}) e distância limite (d_{Lim}), que se mostrou remarcadamente linear ($r^2 = 0,998$). Desta forma, puderam aplicar o conceito de PC à velocidade crítica (VC), que foi postulada como a velocidade que os nadadores poderiam sustentar por um período longo de tempo sem exaustão. Para tanto, o tempo limite foi relacionado à distância limite em uma equação análoga à relação entre potência e tempo limite:

$$d_{Lim} = a + b \times t_{Lim} \quad (42)$$

considerando, na Eq. 42, $d_{Lim} = v \times t_{Lim}$, a Eq. 42 pode ser rearranjada para “v”, fornecendo:

$$v = \left(\frac{a}{t_{Lim}} \right) + b \quad (43)$$

onde “a” é o intercepto em y e definido como a capacidade anaeróbia em unidade de distância (DAN, distância anaeróbia de nado, em metros); e “b” é a inclinação que quando $t \rightarrow \infty$, $a/t_{Lim} \rightarrow 0$ e $v \rightarrow b$.

Testes em VC suportaram sua validade enquanto índice representativo do desempenho de longa duração e seu significado fisiológico relacionado à intensidade correspondente à estabilidade de diferentes parâmetros metabólicos na natação (DEKERLE, et al., 2002) e na corrida (SMITH; JONES, 2001).

A aplicação do modelo de $P-t_{Lim}$ na natação tem empregado a potência fisiológica como parâmetro de intensidade. Toussaint et al. (1998) modelaram a PC e CTA na natação pelos ajustes linear e não linear de 2-parâmetros, relacionando o equivalente mecânico da potência fisiológica total ao tempo limite em 50, 100, 200, 400, 800 e 1500-m. Contudo, como o custo energético na natação depende da velocidade ao cubo, da eficiência mecânica bruta e da eficiência propulsiva ($E = (A \times v^3)/(e_b \times e_p)$), onde “ $A \times v^3$ ” é a potência mecânica útil à propulsão – P_u), que não são

constantes na natação, o modelo $P-t_{Lim}$ não é atendido em sua pressuposição de que a eficiência mecânica deve ser constante ao longo de uma faixa de velocidade, como admite-se ser no ciclismo e na corrida (SMITH; JONES, 2001). A viabilidade do modelo $P-t_{Lim}$ foi suportada, em Toussaint et al. (1998), pela demonstração da linearidade entre d_{Lim} e t_{Lim} e entre custo energético e t_{Lim} . Neste estudo, os autores compararam a potência crítica com a velocidade crítica pela equação do desempenho de nado, concluindo que estes índices estão relacionados conforme:

$$PC = \frac{A \times VC^3}{ep} \quad (44)$$

A necessidade em valer-se de modelos da mecânica de nado para assegurar o emprego de parâmetros seguros de intensidade remete ao emprego do nado atado. Em termos motores, a atividade muscular no *crawl*-atado evidencia um diagrama de eletromiografia similar aquele observado no *crawl* sem empecilhos, o que denota a semelhança no padrão de contração entre ambas as atividades (BOLLENS et al., 1988). Quanto à mecânica, no *crawl*-atado sem deslocamento corporal, F_r não existe, uma vez que a velocidade corporal na água não está contida no contexto; assim, a força propulsiva (F_p) é contrabalançada pela carga e, portanto, o balanço de forças durante a braçada corresponderia à $F_{Total} = Carga + F_p$ (MARTIN; YEATER; WHITE, 1981).

O emprego da relação carga-tempo limite tem sido estabelecida para averiguar as relações da força crítica de nado-atado com o limiar anaeróbio (IKUTA; WAKAYOSHI; NOMURA, 1996), com o lactato sangüíneo e o consumo de oxigênio (ALMEIDA et al., 2002) e com a velocidade crítica (PERANDINI et al., 2006). Os resultados apresentaram controvérsias, pois enquanto Ikuta; Wakayoshi; Nomura (1996) e Perandini et al. (2006) evidenciaram as relações tematizadas, Almeida et al. (2002) não obtiveram resultados significativos. Isso se deve, principalmente, pelo parâmetro mecânico empregado, a força, que isoladamente não representa, na natação, a demanda imposta sobre os mecanismos contráteis e metabólicos dos músculos ativos. Ainda, a ausência de uma referência de carga individual compromete, nestes estudos, a ordem da estrutura lógica da quantidade de carga, que deve ser inerente ao protocolo para assegurar sua reprodutibilidade.

Pessoa Filho; Silva; Denadai. (2007) modelaram a relação potência-tempo limite por ajuste linear ($P-1.t_{Lim}^{-1}$), empregando a força de arrasto em velocidade

máxima de nado ($Fr_{\max}$) como entidade mecânica de referência de carga, e a potência mecânica no *crawl*-atado como entidade mecânica representativa do estímulo demandado aos processos mecânicos e metabólicos dos músculos ativos. Seus resultados evidenciaram relações entre o tempo limite nos percentuais submáximos de $Fr_{\max}$ com o tempo em provas de 200, 400 e 800-m do *crawl* sem empecilhos. Porém, não traçaram relações com os índices v_{crit} e DAN, oriundos dos ajustes $d_{\text{Lim}}-t_{\text{Lim}}$ e $v-t_{\text{Lim}}$, que têm sido amplamente investigados na natação. (1) Ainda, a utilidade da modelagem $P-t_{\text{Lim}}$ no *crawl*-atado não está apenas em definir parâmetros mais inerentes à sistematização de demandas metabólicas específicas no treinamento, mas fazê-lo a partir de um exercício contra resistência. Deste modo, este estudo teve por propósito descrever a relação $P-t_{\text{Lim}}$ por ajustes lineares e não lineares, estabelecendo a validade do emprego da potência mecânica no *crawl*-atado (P_{Atado}) como variável dependente da função com o tempo de exaustão, a partir de suas relações com os parâmetros fornecidos pelos modelos $d_{\text{Lim}}-t_{\text{Lim}}$ e $v-t_{\text{Lim}}$.

4.2 - MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 – Sujeitos:

Foram analisados 24 nadadores de ambos os sexos, com idade $16,46 \pm 2,69$ anos, estatura de $171,52 \pm 8,68$ cm e massa corporal de $67,66 \pm 13,46$ kg, em treinamento por pelo menos doze meses no Centro de Treinamento Olímpico da Secretaria Municipal de Esporte de Presidente Prudente – SEMEPP - (SP). Os sujeitos assinaram um termo de consentimento livre e espontâneo para participação. Esta pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da FC – UNESP/Bauru, sob o protocolo 003551, processo 517/46/01/07.

4.2.2 - Delineamento Experimental:

Os sujeitos foram, primeiramente, submetidos aos testes antropométricos. Após 24 horas foram desempenhados os teste de velocidade durante a sessão diária de treinamento, após a fase de aquecimento. Os dados antropométricos e de velocidade forneceram valores para a determinação da carga nos testes de exaustão, como abaixo detalhado. A referência de carga foi fracionada e o tempo de exaustão de nado *crawl*-

atado (sem deslocamento) foi registrado no momento em que o nadador não se mostrou capaz de manter a posição e, então, foi tracionado para trás pelo sistema, deixando com que o quadril ultrapasse a linha que, inicialmente, demarcava seus pés; ou, simplesmente, desistisse. Os esforços com exaustão até 10 min. foram executados com intervalos de 30 minutos. Os esforços superiores a 10 min. foram realizados com intervalos de 24h. Após o término da coleta de informações em quatro testes de exaustão no sistema de nado atado, deu-se início aos quatro testes de tempo de nado nas distâncias previstas. Os esforços foram executados em intervalos de 24 horas durante as sessões de treinamento, após a fase inicial de aquecimento.

4.2.3 - Procedimentos de Quantificação

4.2.3.1 - Determinação da carga nos testes de exaustão em *crawl*-atado:

A carga anexada ao sistema de tração para o *crawl*-atado foi determinada pela estimativa da força de arrasto ativo (N), em cada sujeito, pela Eq. 45. Nesta equação, à máxima velocidade de nado ($v_{\max}$) foi observada pelo registro manual do tempo médio para percorrer uma distância de 13m. A força de arrasto em $v_{\max}$ foi convertida em quilograma e considerada a carga, ou força máxima (100%), cujas frações supramáximas ou submáximas representaram a intensidade do esforço nos quatro estágios do teste, ajustando-se aos tempos de exaustão pré determinados. Está variável da mecânica de nado foi determinada, conforme Toussaint et al (1998), pela equação:

$$Fr = A \times v^2 \quad (45)$$

onde A é a constante de proporcionalidade, que foi estimada em cada sujeito, a partir do algoritmo $[(0,35 \times \text{massa corporal}) + 2]$, empregando a massa corporal dos sujeitos analisados.

4.2.3.2 - Determinação da variável mecânica P_{Atada} :

A variável mecânica que foi relacionada ao t_{lim} de nado é a potência mecânica produzida pela mão no *crawl-atado* (P_{Atada}), determinada em todos os sujeitos pela equação.

$$P_{Atada}(W) = C \arg a(N) \times v_{Hidrof} \quad (46)$$

onde v_{Hidrof} corresponde à velocidade do hidrofólio, que em condições de nado atado, pode ser estimada, segundo DeGroot; Ingen Schenau (1988), por:

$$v_{Hidrof} = \left(c \arg a(N) / (0,5 Cx_{Hidrof} \times S_{Hidrof} \times \rho) \right)^{1/2} \quad (47)$$

onde Cx_{Hidrof} é o coeficiente de arrasto do hidrofólio, estimado em 2,2 e proposto como uma constante ao longo das diferentes intensidades de nado (SCHLEIHAUF; GRAY; DEROSE, 1983); “ ρ ” é a densidade da água, considerada em 1000 kg/m^3 ; S_{Hidrof} a área de seção transversa do hidrofólio do nadador exposta ao fluido, determinada pelo volume do hidrofólio elevado à dois terços ($V_{Hidrof}^{2/3}$); e $Carga$ (N) refere-se aos percentuais da força de arrasto ativo obtidos pela Eq. 45 e que foi anexada ao sistema de polias de base móvel (dispositivo de nado atado). Este sistema foi composto por cordas paralelas, com cinco roldanas fixas no ápice e quatro móveis na base, formando a talha exponencial, com carga final referente à 1/5 (um quinto) daquela anexada. O $V_{Hidrof}^{2/3}$ foi determinado pela massa e densidade da mão e do antebraço, obtidos pela massa corporal de cada sujeito, empregando o modelo antropométrico de Hatez, descrito em Enoka (1994).

4.2.3.3 - Determinação dos parâmetros do modelo $d_{Lim}-t_{Lim}$ linear e hiperbólico:

O tempo do desempenho nas distâncias de 200, 400, 800 e 1500-m em nado *crawl* sem empecilhos foi registrado e a relação entre $d_{Lim}-t_{Lim}$ foi determinada seguindo as recomendações estabelecidas em Wakayoshi et al. (1992), que ajustaram a distância, como variável dependente, e o tempo nas distâncias de nado, enquanto variável independente, conforme a Eq. 42. A relação $v-t_{Lim}$, por sua vez, foi traçada pela Eq. 43, seguindo as proposições descritas em Hill; Steward; Lane (1995). Esses ajustes forneceram VC (m.s^{-1}) e a DAN (m).

4.2.3.4 - Determinação dos parâmetros do modelo $P_{Atada}-t_{Lim}$ linear e hiperbólico:

O modelo $P_{Atada}-t_{Lim}$ foi análogo aos modelos P-Linear (Eq. 35) e hiperbólico de dois parâmetros (Eq. 36), propostos em Morton (2006). O protocolo prevê esforços contínuos, em intensidade constante e com tempo de exaustão entre 3 a

5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20-min, não excedendo os limites temporais mínimos e máximos propostos por Dekerle et al (2002); e sendo a quantidade de esforços satisfatória para analisar a relação entre $P_{Atada-t_{lim}}$ por métodos lineares e não lineares, conforme Morton (2006). Esses ajustes forneceram PC_{Atada} (W) e a CTA (kJ).

4.2.3.5 - Conversão da VC em PC e de PC em VC pela equação geral do desempenho:

A Eq. 44 será empregada para a obtenção dos índices VC_{Est} ($m.s^{-1}$) e PC_{Est} (W), a partir, respectivamente, dos índices PC_{Atada} (W) e VC ($m.s^{-1}$). Afim de que PC_{Atada} tenha sua validade analisada pela relação direta com índice da mesma grandeza mecânica, obtido pela transformação de VC em PC_{Est} ; e por uma relação indireta, relacionando seu recíproco, VC_{Est} , à VC.

Para tanto, a eficiência propulsiva (ep) no nado *crawl* foi estimada, conforme o método proposto por DeGroot; Ingen Schenau (1988). Esse método, aplicado aos segmentos propulsores (braço e mão = hidrofólio), assume que a pressão dinâmica gerada pela diferença de pressão do fluxo de água, que é pressionado pela superfície plana do hidrofólio (com velocidade = μ), equivale à $1/2 \times \rho \times \mu^2$. A força de arrasto que atua sobre o hidrofólio, gerando propulsão (dada à sua orientação) seria:

$$Frp = \frac{1}{2} Cx_{Hidrof} \times \rho \times S_{Hidrof} \times \mu^2 \quad (48)$$

onde Frp é a força de arrasto propulsiva que atua sobre o hidrofólio.

Nesta condição de braçada, a força de arrasto ativo que atua sobre o corpo (Fr) é proporcional à Frp (ou à Fp), pressupondo um deslocamento do corpo em equilíbrio dinâmico e uma componente normal (força de sustentação propulsiva, Fsp) pouco significativa para a propulsão. Assim, igualando as equações 37 e 48 e resolvendo para μ/v , obtém-se:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} Cx_{Hidrof} \times \rho \times S_{Hidrof} \times \mu^2 &= \frac{1}{2} Cx_{Corpo} \times \rho \times S_{Corpo} \times v^2 \\ \text{ou} \\ \frac{\mu}{v} &= \sqrt{\frac{Cx_{Corpo} \times S_{Corpo}}{Cx_{Hidrof} \times S_{Hidrof}}} \end{aligned} \quad (49)$$

A partir da Eq. 49, o valor da ep de braçadas com trajetórias retilíneas pode ser estimado:

$$ep_{(R)} = \frac{Fr \times v}{Fr \times v + Frp \times \mu} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{Cx_{Corpo} \times S_{Corpo}}{C_{Hidrof} \times S_{Hidrof}}}} \quad (50)$$

O coeficiente de arrasto do corpo (Cx_{Corpo}) foi estimado a partir da determinação do coeficiente de proporcionalidade (A), obtido pela Eq. 45 e aplicado na igualdade $A = 0,5Cx_{Corpo} \times \rho \times S_{Corpo}$ resolvida para Cx_{Corpo} . A variável S_{Corpo} foi estimada pelo volume corporal elevado a dois terços ($Vc^{2/3}$ - admitindo que ρ do nadador poderá ser estimada pelo método de dobras cutâneas, seguindo os protocolos de três dobras específicos para homens e mulheres propostos por Jackson; Pollock (1985).

4.2.4 - Tratamento Estatístico:

As comparações de semelhança entre as variáveis $PC_{Atada} - PC_{Est}$ (linear e não linear), $VC - VC_{Est}$ (linear e não linear) e entre o t_{Lim} no *crawl*-atado e sem empecilhos foram realizadas pelo teste de Mann-Whitney, devido à relatada variabilidade dos dados que compõem os modelos $d_{Lim}-t_{Lim}$, $v-t_{Lim}$ e $P-t_{Lim}$. O coeficiente de linearidade (r de Pearson) foi averiguado para as relações entre PC_{Atada} e VC , e entre PC_{Atada} e VC observadas e estimadas. O pacote LAB Fit (SILVA; SILVA, 2003) foi empregado para traçar a regressão linear simples e hiperbólica. O pacote SPSS foi empregado para averiguar as semelhanças, linearidade e similaridades entre as médias das variáveis. Em todas as análises adotou-se nível de significância em $p \leq 0,05$.

4.3 - RESULTADOS

As características do formato corporal dos sujeitos podem ser observadas pelos componentes da composição corporal apresentados na Tabela 4.1. Os parâmetros da mecânica de nado (Tabela 4.2) são compatíveis com $Fr = 25,21v^2$, que é considerada a referência de força hidrodinâmica, em condições de equilíbrio dinâmico, para o nado *crawl*. O tempo de exaustão no nado *crawl*-atado exigiu frações de 100, 90, 80 e 75% de Fr_{max} (Tabela 4.3) para se ajustar aos intervalos de tempo pré-determinado. Todavia,

os nadadores femininos demandam frações mais elevadas de Fr_{max} , em comparação com os nadadores masculinos, para atingir a exaustão nos intervalos de tempo analisados.

Tabela 4.1: Características da composição corporal.

	Geral	Mulheres	Homem
Densidade (g/cm ³)	1,074±0,020	1,042±0,016	1,083±0,009
%Gordura	10,54±8,13	23,33±7,24	7,17±3,930
Massa Magra (kg)	60,47±12,51	43,22±5,20	65,01±9,47
Massa Gorda (kg)	7,19±5,59	13,88±6,14	5,43±3,98

Tabela 4.2: Características do desempenho máximo de nado e parâmetros da hidrodinâmica de nado.

Parâmetros	Geral	Mulheres	Homem
Tempo 15-m (s)	9,55±1,03	11,22±0,40	9,11±0,59
v_{max} (m.s ⁻¹)	1,59±0,16	1,34±0,05	1,65±0,11
A (adimensional)	25,68±4,71	21,99±3,83	26,65±4,51
Fr_{max} (N)	66,72±22,13	39,43±7,50	73,90±18,76
Pu_{max} (W)	108,96±44,63	52,86±10,71	123,73±37,62
Cx (adimensional)	0,324±0,016	0,304±0,012	0,329±0,014
ep_{HidroF} (decimal)	0,43±0,01	0,43±0,01	0,42±0,01
$P_{AtadoMax}$ (W)	135,73±44,93	74,61±10,48	151,82±35,28

Obs: v_{max} é a velocidade máxima de nado *crawl* na distância de 13-15m; A é o coeficiente de proporcionalidade; Fr_{max} é a força de arrasto ativo máxima no nado *crawl*; Pu_{max} é o potência mecânica máxima útil à propulsão; Cx é o coeficiente de arrasto ativo; ep_{HidroF} é a eficiência propulsiva do hidrofólio na ação propulsiva; e $P_{AtadoMax}$ é a potência mecânica máxima do nado *crawl*-atado

Tabela 4.3: Variação percentual da força de arrasto ativo nos intervalos de tempo previstos para a exaustão.

Intervalo de Exaustão	%Fr _{max}		
	Geral	Mulheres	Homem
180-300s	97,39±13,47 %	106,00±13,42 %	95,00±12,83 %
300-600s	89,04±13,15 %	97,00±13,04 %	86,95±12,69 %
600-900s	80,22±11,63 %	89,00±12,45 %	77,78±10,46 %
900-1200s	75,21±11,84 %	83,00±12,55 %	73,16±11,08 %

Os tempos de exaustão no *crawl*-atado para as frações de Fr_{max} apresentam variabilidade moderada para os intervalos curto (180-300s) e médios (300-600s; 600-900s) de tempo de esforço previsto (Tabela 4.4). No intervalo longo de esforço (900-1200s), a variabilidade do tempo de exaustão é baixa, evidenciando a

variável $Fr_{\max}$ como parâmetro adequado para normalizar a intensidade carga no sistema de nado atado.

Tabela 4.4: Tempo de exaustão no *crawl*-atado nas frações de $Fr_{\max}$.

	Percentual da $Fr_{\max}$			
	97,39±13,47%	89,04±13,15%	80,22±11,63%	75,21±11,84%
Média	231,63s	420,48s	685,13s	969,15s
DP	51,73s	91,18s	86,22s	50,54s
CV	22,33	21,68	12,58	5,22

Os parâmetros do modelo $P_{\text{Atado}}-t_{\text{Lim}}$ de ajuste linear ($P_{\text{Atada}}-1/t$) e não linear ($P_{\text{Atado}}-t$) estão apresentados na Tabela 4.5. Os valores de PC estimados pela equação geral do desempenho (Tabela 4.6), a partir dos valores de VC de ajuste linear (distância-tempo, Tabela 4.7) e não linear (velocidade-tempo, Tabela 4.7), apresentam elevado coeficiente de variação: 0,59 para PC estimada por VC de ajuste linear e 0,53 para PC estimada por VC de ajuste não linear. Esses valores são considerados elevados, enquanto os valores de 0,32 para PC_{Atada} de ajuste linear e de 0,33 para PC_{Atada} não linear são considerados moderados. O coeficiente de determinação (r^2) apresentou valores elevados para ambos os tipos de ajuste entre P_{Atada} e tempo de exaustão e entre distância e velocidade com seus respectivos tempos de exaustão.

Tabela 4.5: Parâmetros do modelo $P_{\text{Atada}}-t_{\text{Lim}}$ de ajuste linear e não linear.

		Geral	Mulheres	Homem
Linear	CTA (kJ)	12,90±6,61	8,33±2,40	14,10±6,87
	PC_{Atada} (W)	81,90±26,29	45,17±4,40	91,57±20,14
	r^2	0,93±0,06	0,93±0,04	0,93±0,07
Não Linear	CTA (kJ)	19,47±8,18	12,78±4,38	21,23±8,09
	PC_{Atada} (W)	71,10±23,66	38,40±4,67	79,70±18,32
	r^2	0,96±0,03	0,95±0,04	0,96±0,03

Tabela 4.6: Valores de PC estimados pela equação geral do desempenho de nado, a partir de VC de ajuste linear e não linear.

	Geral	Mulheres	Homens
PC_{Est} (Linear)	108,19±63,80	53,73±10,07	125,21±64,05
PC_{Est} (Não linear)	96,33±51,18	50,70±9,22	110,59±50,59

Tabela 4.7: Parâmetros do modelo $d_{Lim}-t_{Lim}$ de ajuste linear e não linear.

		Geral	Mulheres	Homem
Linear	DAN (m)	54.32±23.85	58.90±21.33	52.89±25.06
	VC (m.s ⁻¹)	1.18±0.16	1.02±0.02	1.23±0.15
	R ²	0.998±0.002	0.998±0.003	0.997±0.002
Não Linear	DAN (m)	80.95±28.97	73.35±34.63	83.33±27.82
	VC (m.s ⁻¹)	1.14±0.15	1.00±0.02	1.19±0.14
	r ²	0.865±0.203	0.930±0.055	0.845±0.229

A estimativa de VC pela equação geral do desempenho (Tabela 4.8), realizada pelos valores de PC_{Atada} de ajuste linear (potência-tempo⁻¹, Tabela 4.5) e não linear (potência-tempo, Tabela 4.5), apresentam baixo coeficiente de variação: 0,08 para VC estimada por PC_{Atada} de ajuste linear e 0,09 para VC estimada por PC_{Atada} de ajuste não linear. Esses valores são considerados baixos, assim como os valores de 0,14 para VC de ajuste linear e de 0,13 para VC não linear.

Tabela 4.8: Valores de VC_{Est} estimados pela equação geral do desempenho de nado, a partir de PC_{Atada} de ajuste linear e não linear.

	Geral	Mulheres	Homens
VC (Linear)	1,10±0,09	0,96±0,04	1,13±0,07
VC (Não linear)	1,04±0,10	0,91±0,06	1,08±0,07

Os ajustes lineares e não lineares entre potência-tempo, distância-tempo e velocidade-tempo são apresentados na Figura 4.1. A Figura 4.2 permite observar a ausência de diferenças entre os valores de PC_{Atada} e entre os valores de VC linear e não linear, bem como a ausência de diferenças significativa entre esses parâmetros e os valores de potência crítica e velocidade crítica estimados pela equação geral do desempenho.

Figura 4.1: Aplicação do modelo $d_{Lim}-t_{Lim}$ de ajuste linear (A) e do modelo $v-t_{Lim}$ de ajuste não linear (B) para o Sujeito 08. Aplicação do modelo $P_{Atada}-t_{Lim}$ de ajuste linear (C) e de ajuste não linear (D) para o Sujeito 17.

Figura 4.2: (A) Diferença não significativa ($p = 0,195$) entre os valores de PC_{Atada} linear e não-linear; (B) Diferença não significativa ($p = 0,247$) entre os valores de VC linear e não-linear. (C) Diferença não significativa ($p = 0,285$) entre os valores de PC_{Atada} observada e PC estimada e pelo método linear e entre os valores de PC_{Atada} observada e PC estimada pelo método não-

linear ($\rho = 0,128$); e (D) Diferença não significativa ($\rho = 0,159$) entre os valores de VC linear observada e estimada e entre os valores de VC não-linear observada e estimada ($\rho = 0,053$).

A existência de coeficiente de linearidade significativo entre a potência crítica observada e estimada e entre a velocidade crítica observada e estimada ($\rho \leq 0,01$ em todas as relações, Tabela 4.9) denota a similaridade entre as condições que representam. Isto torna a PC_{Atada} um índice com o mesmo papel fisiológico que VC.

Tabela 4.9: Coeficiente de linearidade entre os valores de PC e de VC obtida pelos métodos linear e não-linear e entre os valores destas variáveis estimados pela equação do desempenho.

		Observada			
		PC_{Atada} (Linear)	PC_{Atada} (não Linear)	VC (Linear)	VC (não Linear)
Estimada	PC (Linear)	0,816**			
	PC (não linear)		0,819**		
	VC (Linear)			0,716**	
	VC (não Linear)				0,680**

*Significativo em $\rho \leq 0,05$. ** Significativo em $\rho \leq 0,01$

4.5 - DISCUSSÃO

O resultado principal deste estudo foi comprovar o emprego da força de arrasto ativo máxima ($Fr_{\max}$) como parâmetro de ordem na determinação da intensidade de carga a ser empregada no sistema atado de nado em testes de exaustão. Assim como, verificar a compatibilidade da potência crítica em *crawl-atado* (PC_{Atada}) enquanto índice da intensidade de nado que pode ser sustentada por longa duração, a partir de suas relações com a velocidade crítica (VC). Outro ponto relevante, foi assegurar a validade do valor de força fornecido pela equação do coeficiente de proporcionalidade apresentada por Toussaint et al. (1990), que se trata de um procedimento simples para a obtenção de $Fr_{\max}$.

A estimativa de Fr apresentou valores semelhantes aos valores de $Fr = 26v^2$ obtidos por Toussaint; Ross; Kolmogorov (2004) com o uso do Mad-system. No entanto, mostram-se superiores aos valores de $Fr = 16v^2$ encontrados por estes mesmos autores pelo procedimento de Perturbação da Velocidade. Isto era aguardado, uma vez que o procedimento adotado para determinar Fr exigia, primeiramente, o cálculo do

coeficiente de proporcionalidade, que foi equacionado por Toussaint et al. (1990) a partir de mensurações de Fr no Mad-system em diferentes fases da maturação biológica de nadadores de ambos os sexos.

Os valores encontrados de $Fr_{\max}$ fornecem a referência de carga (kg) para os testes de exaustão e a referência de força (N) para o cálculo da velocidade da mão e, assim, componente decisivo do valor da potência em *crawl*-atado (P_{Atada}). Ressalta-se, por isso, que o uso de $Fr = Av^2$ requer desempenho máximo para não subestimar o valor de $Fr_{\max}$. A ausência de uma estimulação adequada durante o nado do *crawl* em 13 - 15 metros pode ter sido a principal causa da elevada variabilidade dos valores de força (N) (>50%) para a obtenção da exaustão nos intervalos de tempo previstos por Pessoa Filho; Silva; Denadai. (2007) e, conseqüentemente, dos tempos de exaustão (35 a 50%) apresentados por estes autores. Fato este que não ocorreu no presente estudo, como mostram as Tabelas 4.3 e 4.4. Outra restrição, que conduziria ao mesmo problema, seria a aplicação deste procedimento em nadadores pouco experientes e treinados, pela elevada redução da proficiência de nado em esforços máximos e também pelas limitações do aparato contrátil e do sistema metabólico em esforços máximos (WAKAYOSHI et al., 1995). No entanto, pressupor que a força de arrasto ativo varia de acordo com $Fr = Av^2$ é uma limitação matemática deste estudo, pois, segundo Toussaint; Ross; Kolmogorov (2004), o expoente desta relação tem-se mostrado diferente de dois, sendo menor que dois em condições submáximas e maior em condições máximas de nado, o que forneceria, provavelmente, valores de Fr diferentes daqueles obtido no presente estudo. Uma alternativa para superar esta restrição seria a análise cinemática da mão para uma determinação precisa da velocidade da mão em condições de nado atado.

A validação de um procedimento simples na determinação da força de arrasto ativo (Fr) fornece confiabilidade para aplicação deste parâmetro no cotidiano de nadadores, uma vez que a redução de Fr em uma dada velocidade de nado é uma observação sugestiva do aprimoramento da técnica de nado (TOUSSAINT et al., 1990).

Os valores médios de P_{Atada} em $100\%Fr_{\max}$ ($PC_{AtadaMax}$) são similares aqueles relatados para condições do *crawl* sem empecilhos ($P_{ext} = \{[(21,33v^{2,34})v]/ep\}$) em velocidade média de $1,53m.s^{-1}$, isto é, cerca de 156,7W ao empregar 60% como valor de referência para ep, segundo Toussaint et al. (1998), sendo muito semelhante ao valor da média de $P_{AtadaMax}$ apresentada pelos nadadores masculinos. No entanto, ao

utilizar o valor médio de ep encontrado para os sujeitos deste estudo, a P_{ext} é de 218,7W, sendo apenas próxima aquela apresentada pelos sujeitos 7 e 17. Comparar a potência externa mecânica em nado atado (P_{Atada}) com a potência mecânica externa total no nado sem empecilhos (P_{ext}) faz sentido matemático, pois se $P_{ext} = P_u/ep$ em nado sem empecilhos, em condições atada, sem deslocamento, toda a potência muscular é desperdiçada por não haver propulsão, então, $P_{ext} = P_{H_2O}$ (TOUSSAINT; ROSS; KOLMOGOROV., 2004), sendo $P_{H_2O} = \text{Carga (N)} * v_{mão}$. De fato, não há evidências de diferenças na disponibilidade energética entre as condições, conforme analisado por Martin; Yeater; White (1981), quanto ao VO_2 em intensidades submáximas. Todavia, diferenças cinemáticas, gestuais e eletromiográficas têm sido relatadas em algumas intensidades de nado (BOLLENS et al, 1988).

Isso torna válida a comparação entre as condições de nado pela equação geral do desempenho. Desta forma, os valores médios de PC_{Atada} linear e não linear (Tabela 4.5) que se apresentam próximos, mas não semelhantes, aos valores médios de 114,4W e de 114,5W para PC estimados em piscina e no *flume*, respectivamente, por Toussaint et al. (1998), podem, apropriadamente, ser comparados ao seu recíproco em VC e vice-versa, ou seja, VC pode ser comparada a PC pelo seu recíproco em PC. A necessidade em valer-se deste recurso é que a determinação de v_{crit} por relações lineares ou não lineares tem a validade e a fidedignidade de seus protocolos na natação assegurados desde Wakayoshi et al. (1992) e Hill; Steward; Lane (1995), enquanto que a potência mecânica de nado é uma entidade com grande discrepância entre os pressupostos assumidos em seu cálculo. Assim, os valores médios de v_{crit} observados no presente estudo (Tabela 4.7), além de mostram-se muito semelhantes aos valores reportados por Hill; Steward; Lane (1995) de $1,215 \text{ m.s}^{-1}$ (modelo $d_{Lim}-t_{Lim}$) e $1,212 \text{ m.s}^{-1}$ (modelo $v-t_{Lim}$) para a faixa de idade entre 14 – 18 anos, apresentam-se, quando transformados em P_{crit} (Tabela 4.6), mais próximos aos valores de PC apresentados por Toussaint et al (1998), em comparação com os valores de PC observados no presente estudo. Todavia, a Figura 1 revela não haver diferença significativa entre os valores observados (PC_{Atada}) estimados (PC_{Est}) de potência crítica, o que assegura a paridade entre os modelos $d_{Lim}-t_{Lim}$ e $v-t_{Lim}$ com os modelos $P_{Atado}-1/t_{Lim}$ (reavaliado no presente estudo) e $P_{Atada}-t_{Lim}$ (propostos no presente estudo).

Corroborando este resultado, verifica-se que a v_{crit} linear e não linear estimadas por PC_{Atada} linear e não linear (Tabela 4.8) apresentaram valores médios

pouco abaixo dos valores de Hill; Steward; Lane et al. (1995) acima descritos, mas não diferentes, estatisticamente (Figura 4.1), com os valores de VC linear e não linear observados no presente estudo. Bem como, o elevado coeficiente de linearidade (Tabela 4.9) denota a similaridade entre as condições de esforço retratadas por PC_{Atada} e VC. Este é outro ponto favorável à sensibilidade da entidade mecânica utilizada como parâmetro carga.

Os valores médios de CTA mostram equiparáveis aos valores ($18,14 \pm 6,50\text{kJ}$) apresentados por Pessoa Filho, Silva, Denadai (2007), porém são superiores aos 1184J e aos 1462J para CTA avaliados por Toussaint et al (1998). Por sua vez, os valores de DAN mostraram-se superiores aos relatados na literatura (WAKAYOSHI et al., 1992; HILL; STEWARD; LANE, 1995). Contudo, as diferenças podem ter sido causadas pelo protocolo empregado, onde o uso de distâncias curtas tende a reduzir o valor de DAN. Verifica-se, no entanto, que todos os ajustes empregados no presente estudo apresentam um elevado coeficiente de determinação (r^2), assegurando a precisão das estimativas.

O modelo de potência crítica examina a função metabólica em exercício, a partir de uma perspectiva corporal-total, apresentando como característica fundamental um único elemento responsável pela demanda sobre os processos bioenergéticos (MORTON, 2006). Assim, sendo capaz de caracterizar a relação entre a bioenergética e o desempenho (MORTON, 2006), ou ainda, identificar deficiências para uma distância específica da competição, quanto às demandas metabólicas ou habilidosas (TOUSSAINT et al., 1998). A aplicação do modelo de PC no crawl-atado permite reunir características mais propícias ao delineamento do treinamento por assegurar maior especificidade dos fatores determinantes do desempenho, como ambiente da prática, intensidade da força, padrões cinemáticos, volume do exercício e demanda metabólica.

4.6 - CONCLUSÃO

Conclui-se que PC_{Atada} apresenta elevado potencial para exercer a função de parâmetro integrador das relações entre demanda metabólica e mecânica na natação. As comparações entre PC e VC pela equação geral do desempenho mostra-se pertinente ao acompanhamento das adaptações fisiológicas e evoluções técnicas em contextos reais

de nado (sem empecilhos), onde se manifesta a obtenção da meta mais pronunciada com o treinamento: a capacidade de gerar força e a habilidade para aproveitá-la na propulsão. Sugere-se, em futuras pesquisas, relacionar os valores de PC_{Atada} com índices tradicionais da capacidade aeróbia, como o limiar ventilatório e de lactato.

4.6 – REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.G.; CUNHA, F.A. P.; ROSA, M.R.R.; KOKUBUN, E. Força crítica em nado atado: relações com o lactato sangüíneo e o consumo de oxigênio. **Rev Bras Ciên Esporte**. v. 24, p. 47-59, 2002.

BOLLENS, E.; ANNEMANS, L.; VAES, W.; CLARYS, J. P. Periferical EMG comparison between fully tethered and free front crawl swimming. In: UNGERECHTS, B.E., WILKE, K., REISCHLE, K. (eds). **Swimming Science V**. v. 18, p. 183-189, 1988.

DeGROOT, G.; INGEN SCHENAU, G.V. Fundamentals mechanics applied to swimming: technique and propelling efficiency. In: UNGERECHTS, B.E.; WILKE, K.; REISCHLE, K. (eds) **Swimming Science V**. v. 18, p. 17-30, 1988.

DEKERLE, J.; SIDNEY, M.; HESPEL, J.M.; PELAYO; P. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. **Int J Sports Med**.v. 23, p. 86-92, 2002.

ENOKA, R. M. **Neuromechanical Basis of Kinesiology**. Human Kinetics: Champaign, 1994.

HILL, D.W.; STEWARD JR, R.P.; LANE, C.J. Application of the critical power concept to young swimmers. **Pediatr Exerc Sci**. v. 7, p. 281-293, 1995.

IKUTA, Y.; WAKAYOSHI, K.; NOMURA, T. Determination and validity of critical swimming force as performance index in tethered swimming. In: TROUP, J.P.; HOLLANDER, A.P.; STRASSE, D.; TRAPPE, S.W.; CAPPAERT, J.M.; TRAPPE, T.A. (eds) **Biomechanics and Medicine in Swimming VII**. London: E FN Spon, p. 146-151, 1996.

JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. Practical assessment of body composition. **Phys Sportsmed**. v. 13, n. 5, p. 88-95, 1985.

MARTIN, R.B.; YEATER, R.A.; WHITE, M.K. A simple analytical model for the crawl stroke. **J Biomech**. v. 14, n. 8, p. 539-548, 1981.

MORTON, R.H. The critical power and related whole-body bioenergetic models. **Eur J Appl Physiol**. v. 96, p. 339-354, 2006.

PERANDINI, L.A.B.; OKUNO, N.M.; KOKUBUN, E.; NAKAMURA, F. Y. Correlações entre a força crítica e a velocidade crítica e suas respectivas frequências de

braçada na natação. **Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum.** v. 8, n. 4, p. 59-65, 2006.

PESSÔA FILHO, D.M.; SILVA, M.A.; DENADAI, B.S. Modelamento da relação potência/tempo limite no *crawl*-atado pela força de arrasto ativo. **XII Congresso Brasileiro de Biomecânica.** (Anais) Águas de São Pedro (SP), 2007.

SCHLEIHAUF, R.E.; GRAY, L.; DEROSE, J. Three dimensional analysis of hand propulsion in the sprint front crawl stroke. In: HOLLANDER, A.; HUIJING, P.; DeGROOT, G. (eds) **Biomechanics and Medicine in Swimming III.** Champaign: Human Kinetics. p. 184-191, 1983.

SILVA, W.P.E.; SILVA, C.M.D.P.S. **LAB Fit Ajuste de Curvas.** V 7.2.14 c, 2003. www.angelfire.com/rnb/labfit/index_p.h.

SMITH, C.G.M.; JONES, A.M. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. **Eur J Appl Physiol.** v. 85, p. 19-26, 2001.

TOUSSAINT, H.M.; ROSS, P.E.; KOLMOGOROV, S. The determination of drag in front crawl swimming. **J Biomech.** v. 37, p. 1655–1663, 2004.

TOUSSAINT, H.M.; WAKAYOSHI, K.; HOLLANDER, A.P.; OGITA, F. Simulated front crawl swimming performance related to critical speed and critical power. **Med Sci Sports Exerc.** v. 30, n. 1, p. 144-151, 1998.

TOUSSAINT, H.M.; DE LOOZE, M.; van ROSSEM, B.; LEUDEKKERS, M.; DIGNUM, H. The effect of growth on drag in young swimmers. **Int J Sport Biomech.** v. 6, p. 18-28, 1990.

TOUSSAINT, H.M.; van der HELM, F.C.T.; ELZERMAN, J.R.; HOLLANDER, A.P.; de GROOT, G.; van INGEN SCHENAU, G.J.A Power Balance Applied to Swimming. In: HOLLANDER, A.P.; HUIJING, P.A.; DeGROOT, G (eds) **Biomechanics and Medicine in Swimming III.** Champaign: Human Kinetics. v. 14, p. 258-263, 1983.

WAKAYOSHI, K.; D'ACQUISTO, L.J.; CAPPAERT, J.M.; TROUP, J.P. Relationship Between oxygen Uptake, Stroke Rate and Swimming Velocity in Competitive Swimming. **Int J Sports Med.** v. 16, p. 19-23, 1995.

WAKAYOSHI, K.; IKUTA, K.; YOSHIDA, T.; UDO, M.; MOTITANI, T.; MUTOH, Y.; MIYASHITA, M. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. **Eur J Appl Physiol.** v.; 64, p. 153-157, 1992.

5 - Artigo do Estudo 2

“DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MECÂNICA CORRESPONDENTE À MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO NO NADO-ATADO: DELINEAMENTO DO PROTOCOLO E RELAÇÕES COM A POTÊNCIA CRÍTICA ATADA”

“APPROACHING THE MECHANICAL POWER OUTPUT AT MAXIMAL LACTATE STEADY-STATE IN TETHERED- SWIMMING: PROTOCOL DESIGN AND RELATIONSHIP TO TETHER CRITICAL POWER”

Resumo:

Os objetivos deste estudo foram: a) acessar e comparar a potência crítica atada (PC_{Atado}) e a potência na máxima fase estável ($P_{AtadaMFEL}$) e; b) comparar a PC_{Atado} e a $P_{AtadaMFEL}$ com seus respectivos índices determinados em nado desimpedido (velocidade Crítica [VC] e velocidade em MFEL [v_{MEL}], respectivamente). Dez nadadores ($16,6 \pm 1,4$ anos, $69,8 \pm 9,5$ kg, $175,8 \pm 4,6$ cm) foram submetidos às estimativas de PC_{Atado} (ajuste da potência-atada pelo tempo por equações lineares e hiperbólica de 2-parâmetros), VC (ajuste linear do tempo pela velocidade nos desempenhos de 200, 400 e 800m), $P_{AtadaMFEL}$ (3 ou 4 esforços entre 95 a 105% da carga em PC_{Atada} hiperbólica) e à v_{MFEL} (3 ou 4 esforços entre 85 a 95% da velocidade máxima do crawl nos 400m). Uma margem entre 75 a 100% da força de arrasto ativo (Fr) foi aplicada para manipulação da carga na condição de nado completamente atado. Os esforços em nado constante foram realizados até a exaustão, perdurando entre 3 a 15 minutos. Os testes para a determinação de MFEL perduraram 30 minutos, sendo MFEL considerada a maior fração que não propiciou um aumento superior à 1 mmol.L^{-1} entre o 10º e 30º minuto. A estimativa de PC_{Atada} e $P_{AtadaMFEL}$ foi realizada equação da força atada multiplicada pela velocidade do hidrofólio. O coeficiente de Pearson relacionou as variáveis, enquanto a diferença entre duas médias foi analisada pelo test-t pareado. O nível e significância foi de $p \leq 0.05$. Os resultados apontam que tanto VC ($1,19 \pm 0,12 \text{ m.s}^{-1}$) quanto PC_{Atada} ($99,4 \pm 23,0 \text{ W}$) não atendem aos pressupostos para MFEL, uma vez que foram observadas diferenças com v_{MFEL} ($1,17 \pm 0,11 \text{ m.s}^{-1}$) e $P_{AtadaMFEL}$ ($89,2 \pm 15,1 \text{ W}$), respectivamente. Uma correlação significativa foi observada entre todas as variáveis. Assim, VC ou PC_{Atada} não atenderam aos princípios de MFEL, como a maior intensidade constante sustentada sem progressão da concentração de lactato ao longo do tempo. Apesar da correlação entre as variáveis, o uso indiscriminado de uma pela outra parece inadequado.

Palavras-chaves: potência atada crítica; máxima fase estável de lactato; nado atado; hidrodinâmica de nado.

Abstract :

The purposes of this study were: a) to access and to compare tether critical power (CP_{Teth}) and power at maximal lactate steady state ($P_{TethMLSS}$) and; b) to compare CP_{Teth} and $P_{TethMLSS}$ with their respective parameters during free swimming (critical velocity [CV] and velocity at MLSS [v_{MLSS}], respectively). Ten male swimmers (16.6 ± 1.4 years, 69.8 ± 9.5 kg, 175.8 ± 4.6 cm) were submitted to the measurements of the CP_{Teth} (plotting thetethered-power against time by linear and non-linear two parameters equation), CV (linear adjustment between time and velocity performance in the 200, 400 and 800m), $P_{TethMLSS}$ (3 or 4 trials ranging from 95 to 105% of the load at non-linear PC_{Atada}), and v_{MLSS} (3 or 4 trials ranging from 85 to 95% of the 400-m crawl performance). A range of 75-100% of the active drag force (Fr) was applied to manager load in the full-tethered swimming conditions. Constant effort swim tests were performed to exhaustion, lasting 3-15 minutes. Tests with duration of 30 minutes were applied do MLSS evaluation, which was considered the greatest fractions that did not elicit a lactate accumulation above 1 mmol.L^{-1} between 10th and 30th minutes. The measurement of CP_{Teth} and $P_{TethMLSS}$ was approached to the tethered-force equation times hydrofoil velocity. Pearson's coefficient did correlate the variables, and the difference between two means was checked by paired t-test. Significance was set at $p \leq$

0.05. The results shown that neither CV ($1.19 \pm 0.12 \text{m.s}^{-1}$) nor the CP_{Teth} ($99.4 \pm 23.0 \text{W}$) matches the statements for MLSS, once differences were observed to the v_{MLSS} ($1.17 \pm 0.11 \text{m.s}^{-1}$) and $\text{P}_{\text{TethMLSS}}$ ($89.2 \pm 15.1 \text{W}$), respectively. A significantly relationship was observed between all endurance variables. Then, neither CV nor the CP_{Teth} matched the assumption for MLSS, as the highest constant intensity that can be maintained without a progressive increase in blood lactate concentration over time. Despite the relationship between variables, the interchangeable use of them seems unreliable.

Keywords: tether critical power; maximal lactate steady-state; tethered swimming; swimming hydrodynamics

5.1 – INTRODUÇÃO

A importância fisiológica da máxima fase estável da concentração do lactato sanguíneo (MFEL) está em demarcar a intensidade do exercício acima da qual o metabolismo anaeróbio começaria contribuir para a ressíntese de ATP demandada pelo exercício (PRINGLE; JONES, 2002). Ao se exercitar na MFEL, a exaustão ocorrerá pela incapacidade em fornecer energia, via glicogenólise, suficiente para atender a demanda contrátil dos músculos (BENEKE et al., 2000). Além do tamanho da reserva de glicogênio, outros determinantes modulam a concentração de lactato para uma dada intensidade do exercício em MFEL, como o nível de treinamento aeróbio e massa muscular primariamente engajada na atividade (BENEKE et al., 2001). É evidente que a melhora nos processos de transporte dentro e entre as células com treinamento aeróbio seria o fator preponderante no aumento da intensidade de esforço relacionada à MFEL (BILLAT et al., 2003). Por esses motivos, considera-se MFEL a referência padrão para a determinação da capacidade aeróbia.

Devido à grande variabilidade da concentração de lactato em MFEL (2,2 – 6,7 mmol.L⁻¹) e ao extenso protocolo para sua determinação (BILLAT et al., 2003; BENEKE, 2003), a intensidade correspondente à MFEL (velocidade – v-MFEL, ou carga – c-MFEL) tem sido relacionada a diferentes limiares de lactato obtidos em testes incrementais (JONES; DOUST, 1998), e particularmente com a velocidade crítica ou potência crítica (SMITH; JONES, 2001; DEKERLE et al., 2003). Em atletas, a VC (assíntota da relação velocidade-tempo) pode ser facilmente obtida durante sessões de treinamento (3 a 4 cargas preditivas), tornando mais frequente a possibilidade da sua aplicação na avaliação e prescrição do treino aeróbio.

Na natação, a relação entre tempo limite (t_{Lim}) e distância limite (d_{Lim}) se apresentou marcadamente linear ($r^2 = 0,998$) (Wakayoshi et al., 1992) e associada aos índices da capacidade aeróbia, como a velocidade do teste de 30 minutos, a intensidade correspondente à MFEL, à velocidade média nos 400 metros e ao OBLA (ponto referente à concentração de 4 mmol.L⁻¹ de lactato no sangue) (DEKERLE, 2006). No entanto, têm-se observado maiores valores de VC (8%) do que de MFEL (DEKERLE et al., 2005). Além disso, durante o exercício na VC verifica-se aumento da lactacidemia (superior a 1 mmol.L⁻¹ durante o exercício) e do VO_2 (induzindo ao VO_{2max} em alguns casos) (DEKERLE et al., 2009). Observou-se também uma alteração na organização gestual da braçada em intensidade acima de MFEL. Esta alteração mostra que a MFEL

é coincidente ao ponto de pico do deslocamento obtido por braçada (Db, em metros por ciclo), sugerindo sua aplicação também para controle e aprimoramento da técnica de nado (DEKERLE et al., 2005).

Para a obtenção dos índices MFEL e VC e suas respectivas respostas fisiológicas, a manipulação da intensidade do exercício tem sido realizada pelo controle da velocidade e dos parâmetros gestuais da braçada (Db e frequência de braçada - Fb, em ciclos por minuto). O uso de controladores da velocidade por estímulos visuais e sonoros favorecem a manutenção de uma velocidade e ritmo gestual constante, sobretudo em estágios com intensidade muito baixa ou alta de protocolos retangulares ou progressivos (KJENDLIE; STALLMAN, 2006). Entretanto, existe uma oscilação da velocidade linear de nado em cada ciclo de braçada (denominada de variação intra-ciclo da velocidade), a qual aumenta com o incremento da velocidade. Estas oscilações podem comprometer a uniformidade da velocidade e consequentemente a estabilidade metabólica e o gestual da braçada (UNGERECHTS, 1988; D'AQUISTO; COSTILL, 1998). A importância de controladores é observada em condições que diferem daquela habitual em treinamento, demandando recursos externos para atender as premissas de uma avaliação do perfil lactacidêmico: (a) manutenção de uma mesma taxa de conversão da energia fisiológica em mecânica (eficiência mecânica); (b) engajamento de uma mesma quantidade de massa muscular ao longo do exercício em uma mesma intensidade; e (c) suprimento energético realizado, predominantemente, pela glicólise/glicogenólise e oxidação do piruvato (BENEKE, 2003; MORTON, 2006; KJENDLIE; STALLMAN, 2006).

O nado atado é reportado como um método confiável para estimar a força atada de nado, uma vez que medidas de teste e re-teste produziram elevados coeficientes de correlação, e baixos coeficientes de variação para desempenhos realizados em dias e períodos diferentes (KJENDLIE; THORSVALD, 2006). É considerado também um ambiente controlador da força, pois assegura uma melhor distribuição da força e velocidade do hidrofólio durante o ciclo da braçada. Esta condição na piscina tende a melhorar as características da dinâmica da braçada, resultando na habilidade de converter o potencial muscular de gerar potência em potência específica da braçada (i.e., potência útil à propulsão) (VORONTSOV et al., 2006; ROUARD et al., 2006). A potência mecânica externa obtida em nado atado tem-se mostrado relacionada ao desempenho de velocidade máxima do crawl em nadadores jovens (RIA et al., 1990;

KLENTROU; MONTPETIT, 1991) e adultos (JOHNSON et al., 1993). Outros estudos verificaram que a intensidade em watts correspondente ao limiar ventilatório e à PC obtidas em banco de nado, correlacionaram-se com o tempo nas distâncias de 400 (SWAINE, 1994) e 1500 metros (SWAINE, 1996) em nado crawl.

A aplicação do modelo potência-tempo limite ($P-t_{Lim}$) na natação tem revelado coeficientes de ajustes elevados no banco de nado (SWAINE, 1996), no nado atado (IKUTA et al., 1996; PESSÔA FILHO et al., 2008) e no canal de nado (TOUSSAINT et al., 1998). O parâmetro da inclinação desta relação tem mostrado elevada correlação com a velocidade correspondente à concentração de 4mmol.L^{-1} de lactato (IKUTA et al., 1996) e, desta forma, propicia ao delineamento do treinamento aeróbico (TOUSSAINT et al., 1998; PESSÔA FILHO et al., 2008). Entretanto, não há estudos que tenham comparado os possíveis efeitos moduladores da força propulsiva no nado-atado sobre o comportamento do lactato em MFEL e sobre a diferença da intensidade do exercício neste índice e em VC/PC.

Com base nestes dados, os principais objetivos deste estudo foram: a) analisar a viabilidade do nado atado como recurso externo de controle da intensidade da potência de nado, em protocolos com cargas constantes, para determinar a potência propulsiva em MFEL ($P_{AtadaMFEL}$), analisando-a em relação à potência propulsiva crítica (PC_{Atado}) e; b) comparar a PC_{Atado} e a $P_{AtadaMFEL}$ com seus respectivos índices determinados em nado desimpedido (VC e v_{MEL} , respectivamente). Tem-se, por hipótese, que as diferenças entre as potências em MFEL e PC no crawl-atado tendem a apresentar maior magnitude que aquelas observadas entre a velocidade em MFEL e VC no nado livre. Contudo, não se tem a expectativa de encontrar diferenças na concentração de lactato em MFEL no crawl-atado e livre, assumindo assim similaridades na resposta fisiológica contextualizada por ambas as condições de nado.

5.2 - MATERIAL E MÉTODO

5.2.1 – Sujeitos:

Foram analisados 10 nadadores do sexo masculino ($16,6 \pm 1,4$ anos, $69,8 \pm 9,5\text{kg}$, $175,8 \pm 4,6$ cm e $7,0 \pm 4,0\%$ de gordura corporal), regularmente engajados em treinamento para natação e familiarizados com o nado atado. Os sujeitos assinaram um

termo de consentimento livre e espontâneo para participação. Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da FC – UNESP/Bauru.

5.2.2 - Delineamento Experimental:

Os sujeitos inicialmente foram submetidos aos testes antropométricos e de velocidade máxima de nado. Os dados antropométricos e de velocidade máxima determinaram a carga nos testes de exaustão para a obtenção da relação $P-t_{Lim}$. A referência de carga foi fracionada e o tempo de exaustão de nado crawl atado (sem deslocamento) foi registrado no momento em que o nadador não se mostrou capaz de manter a posição e, então, foi tracionado para trás pelo sistema, ou, simplesmente, desistiu. Após o término dos testes de exaustão no sistema de nado atado, deu-se início aos três testes de desempenho de nado desimpedido nas distâncias previstas para compor o modelo $v-t_{Lim}^{-1}$. Os esforços foram executados em intervalos de 24 horas durante as sessões de treinamento, após a fase inicial de aquecimento. A determinação da MFEL foi realizada por quatro testes constantes com duração de 30 min, em cada condição de nado (atado e desimpedido). A referência inicial foi a velocidade no desempenho em 400m para o nado desimpedido e a PC_{Atada} (potência mecânica produzida pela mão no *crawl-atado*) por ajuste hiperbólico no nado-atado. Todos os testes foram precedidos por três semanas de treinamento para evitar que as adaptações decorrentes deste subestimasse a intensidade (carga ou velocidade) durante os testes. Os testes foram aplicados no período preparatório básico do treinamento, uma vez que avaliam aptidão aeróbia dos nadadores, não concorrendo assim, com o tipo de estímulo empregado no treinamento.

5.2.3 - Testes com cargas constantes e determinação das relações $P_{Atado}-t_{Lim}^{-1}$, e $v-t_{Lim}^{-1}$:

O protocolo foi composto por 3 a 4 esforços contínuos, em intensidades constantes e com duração prevista entre 3 a 15 min para a maior e menor intensidade de nado, respectivamente (BISHOP et al., 1998). A variável mecânica PC_{Atada} foi determinada seguindo as recomendações de Pessoa Filho et al. (2008) e Pessoa Filho e Denadai (2008). Para estes autores, a força de arrasto ativo (Fr , parâmetro de força quando a velocidade de nado é constante), pode ser determinada, conforme Toussaint et al. (1998), pela equação:

$$Fr = A \times v^2 \quad (51)$$

onde A é a constante de proporcionalidade, que é estimada em cada sujeito, a partir do algoritmo $[(0,35 \times \text{massa corporal}) + 2]$, empregando a massa corporal dos sujeitos analisados. A variável mecânica P_{Atado} , derivada da Eq. 51 foi quantificada pela equação.

$$P_{Atado}(W) = C \arg a(N) \times v_{Hidrof} \quad (52)$$

onde v_{Hidrof} corresponde à velocidade do hidrofólio, que em condições de nado atado, pode ser estimada, segundo DeGroot; Ingen Schenau (1988), por:

$$v_{Hidrof} = \left(c \arg a(N) / (0,5 Cx_{Hidrof} \times S_{Hidrof} \times \rho) \right)^{1/2} \quad (53)$$

onde Cx_{Hidrof} é o coeficiente de arrasto do hidrofólio, estimado em 2,2 e proposto como uma constante ao longo das diferentes intensidades de nado (SCHLEIHAUF et al., 1983); “ ρ ” é a densidade da água, considerada em 1000kg/m^3 ; S_{Hidrof} a área de seção transversa do hidrofólio do nadador exposta ao fluido, determinada pelo volume do hidrofólio elevado à dois terços ($V_{Hidrof}^{2/3}$); e $Carga$ (N) refere-se aos percentuais da força de arrasto ativo obtidos pela Eq. 51 e que será anexada ao sistema de polias de base móvel (sistema de nado atado). Este sistema é composto por cordas paralelas, com cinco roldanas fixas no ápice e quatro móveis na base, formando a talha exponencial, com carga final ajustada para 1/5 (um quinto) daquela anexada. O $V_{Hidrof}^{2/3}$ foi determinado pela massa e densidade da mão e do antebraço, obtidos pela massa corporal de cada sujeito, empregando o modelo antropométrico de Hatz.

A obtenção dos parâmetros $P-t_{Lim}$ e CTA deu-se pelos modelos de ajuste linear (Eq. 54) e hiperbólico de 2-parâmetros (Eq. 55), propostos em Bishop et al. (1998).

$$P = \left(CTA \times \frac{1}{t_{Lim}} \right) + PC \quad (54)$$

e

$$t = \frac{CTA}{P - PC} \quad (55)$$

O tempo do desempenho nas distâncias de 200, 400 e 800m em nado *crawl* sem empecilhos foi registrado e a relação entre $v-t_{Lim}$ determinada seguindo as

recomendações descritas em Hill *et al.* (1995), empregando o ajustes linear (Eq. 56) para fornecer VC (m.s^{-1}) e DAN (m).

$$v = \left(DAN \times \frac{1}{t_{Lim}} \right) + VC \quad (56)$$

5.2.4 - Determinação da MFEL no crawl atado e desimpedido:

Os nadadores realizaram quatro esforços de 30 min., em nado crawl-atado, com cargas relativas a 95, 97,5, 100 e 102,5% da PC_{Atada} determinada pelo ajuste hiperbólico de 2-parâmetros. No nado crawl desimpedido, a velocidade nos quatros testes de 30 min esteve entre 85,5% a 95% do desempenho máximo em 400m (v_{400}), com incrementos de 2,5% na velocidade, conforme Dekerle et al. (2005).

Em ambos os testes, a intensidade foi desempenhada de forma aleatória e os esforços interrompidos duas vezes, ao 10º e 30º min para a coleta de sangue. A MFEL ocorreu na maior intensidade (potência ou velocidade de nado) em que a concentração de lactato não se mostrou superior a 1 mmol.L^{-1} entre os 10º e 30º min. Quando houve exaustão antes do 30º min, a intensidade imediatamente anterior foi considerada, em ambos os protocolos, a MFEL. Em cada coleta foram obtidos 25µl de sangue arterializado. As amostras foram armazenadas em tubos de 5ml calibrados com 50µl de NaF1% e congelados, quando não imediatamente analisados no lactímetro STAT 2300 da Yellow Spring®.

As Figuras 5.1 a, b, c e d ilustram o sistema de nado atado e a forma de uso deste sistema.

Figuras 5.1: Sistema de nado atado (a); forma como o nado ocorre quando associado ao sistema (b) e modo de acoplamento do nadador no sistema (c e d).

5.2.5 - Tratamento estatístico:

As amostras das variáveis $P_{AtadaMFEL}$, PC_{Atada} , v_{MFEL} e VC foram testadas quanto à normalidade de suas distribuições pelo teste de Levene. Posteriormente, adotou-se: (a) teste-t (pareado, bi-caudal) para averiguar as diferenças entre os pares de potência, velocidade e concentrações de lactato; (b) Bland-Altman para analisar a semelhança entre os parâmetros fornecidos pelos testes em nado-atado e desimpedido; (c) coeficiente de Pearson (r) correlacionou as amostragens de $P_{AtadaMFEL}$, PC_{Atada} , v_{MFEL} , e VC . A relação funcional entre $P_{AtadaMFEL}$ e PC_{Atada} e entre v_{MFEL} e VC foram testadas por análise de dispersão. Em todas as análises, o nível de significância foi $p \leq 0,05$.

5.3 – RESULTADOS

Os valores médios dos parâmetros Fr ($70,3 \pm 8,9\text{N}$), Pu ($116,8 \pm 15,9\text{W}$) e ep ($45,0 \pm 1,8\%$) são referentes ao desempenho máximo do crawl-desimpedido ($v_{\max}$, $1,63 \pm 0,07 \text{ m.s}^{-1}$) e equivalentes a constante $26,4 \pm 3,3v^2$. A velocidade considerada como o referencial da potência aeróbia máxima (v_{400}), teve valor médio de $1,29 \pm 0,11 \text{ m.s}^{-1}$.

A avaliação de MFEL em crawl-atado e desimpedido e sua comparação com os modelos P- t_{Lim} e v- t_{Lim} está apresentada nas Tabelas 5.1 e 5.2. Evidencia-se que frações entre ~85 a 100% de $Fr_{\max}$ associam-se à exaustão entre ~3 a 12 min. ($r^2 = 0,973$) na mesma magnitude com que as velocidades nas distâncias de 200, 400 e 800 m ($r^2 = 0,975$) se relacionaram com o tempo de desempenho. O ajuste entre as variáveis de intensidade do esforço (potência e velocidade) e o tempo desempenho máximo do crawl é demonstrado pela Figura 5.2. Contudo, o tempo de exaustão nas frações de $Fr_{\max}$ e o tempo de desempenho máximo nas distâncias 200, 400 e 800-m guardam proximidade (t-teste pareado) apenas no esforço mais longo ($p = 0,449$), mas não nos demais ($p = 0,000$ e $p = 0,045$, respectivos a comparação entre os dois esforços mais curtos).

Tabela 5.1: Parâmetros temporais e de potência/desempenho associados aos modelos P- t_{Lim}^{-1} e v- t_{Lim}^{-1} aplicados ao nado crawl-atado e desimpedido. Valores são média e (desvio-padrão).

Modelo	Parâmetros	Valores		
*P- t_{Lim}	%Fr _{Max}	97,5 (7,1)	90,80 (7,4)	84,5 (7,9)
	Tempos de exaustão (s)	225,6 (48,9)	405,6 (87,9)	697,3 (75,4)
	P _{Atada} (W)	135,4 (23,7)	121,74 (21,87)	109,2 (20,3)
*v- t_{Lim}	Distância (m)	200	400	800
	Tempos de desempenho (s)	147,5 (12,4)†	312,3 (27,7)†	658,6 (66,0)
	Velocidade (m.s ⁻¹)	1,36 (0,1)	1,29 (0,11)	1,23 (0,12)

*Obs.: O modelo P- t_{Lim}^{-1} de ajuste linear apresentou um coeficiente médio de $R^2 = 0,973 \pm 0,033$. O coeficiente para o ajuste linear do modelo v- t_{Lim}^{-1} foi de $0,975 \pm 0,033$. † $p < 0,05$ em relação ao nado crawl – atado.

Figura 5.2: Tipos de ajustes para os modelos $P-t_{Lim}^{-1}$ e $d-t_{Lim}^{-1}$ em crawl-ataado (A) e desimpedido (B) para o sujeito 03.

As concentrações de lactato correspondentes a MFEL no nado crawl-ataado ($3,84 \pm 0,6 \text{ mmol.L}^{-1}$) e desimpedido ($3,6 \pm 0,9 \text{ mmol.L}^{-1}$) foram estatisticamente similares. A análise da estabilidade em cada intensidade pelo delta (variação da concentração entre os instantes de coleta), não apresentou diferença entre as condições de teste ($p = 0,632$; $0,244$ e $0,316$ entre os testes 1, 2 e 3, respectivamente, de cada condição). Ausência de diferença também foi observada para a comparação entre as concentrações de lactato ao final (30º minuto) do 2º e 3º testes entre as condições ($p = 0,055$ e $0,590$), exceção à concentração no primeiro teste ($p = 0,000$) (Tabela 5.2).

Tabela 5.2: Parâmetros de lactacidemia e de potência/desempenho associados ao modelo MFEL aplicado ao nado crawl-ataado e desimpedido. Valores são média e (desvio-padrão).

Modelo		Valores		
MFEL: crawl – atado	*% Carga crítica _{Atada}	97,5 (2,3)	100,7 (2,9)	104,0 (3,9)
	*Lactato _{final}	3,2 (0,5)	4,4 (1,4)	5,3 (1,8)
	*ΔLactato (mmol.L ⁻¹)	0,21 (0,1)	0,6 (0,5)	1,0 (0,4)
MFEL: crawl - desimpedido	%v ₄₀₀	86,9 (2,2)	90,3 (1,8)	92,8 (1,8)
	Lactato _{final}	2,1 (0,8)†	3,2 (1,1)	5,0 (1,1)
	ΔLactato (mmol.L ⁻¹)	0,2 (0,1)	0,5 (0,2)	1,3 (0,5)

*Obs: %Carga crítica_{Atada} - fração da força (N) correspondente a potência crítica no crawl-ataado determinada por ajuste hiperbólico de 2-parâmetros; Lactato_{final} - concentração de lactato ao 30º minuto; ΔLactato - variação da concentração de lactato entre 10º e 30º minutos do esforço. † $p < 0,05$ em relação ao nado crawl – atado.

Foram constatadas diferenças ao comparar os valores de potência e de velocidade obtidos em MFEL e pelos modelos $P-t_{Lim}$ e $v-t_{Lim}$, nas condições atada e desimpedida de nado, respectivamente (Figura 5.3). Em termos percentuais, a comparação entre os valores de potência e velocidade em MFEL, relativos aos seus recíprocos nos modelos $P-t_{Lim}$ e $v-t_{Lim}$, mostraram-se diferentes, revelando que a localização percentual de $P_{AtadaMFEL}$ em relação à PC_{Atada} ($89,2 \pm 7,9\%$) é menor que aquela entre V_{MFEL} e VC ($98,4 \pm 2,3\%$).

Figura 5.3: Comparação entre os valores de potência no crawl-atado e de velocidade no crawl desimpedido em máxima fase estável de lactato (MFEL) e nos modelos $P-t_{Lim}^{-1}$ e $v-t_{Lim}^{-1}$.

As relações entre os parâmetros ($P-t_{Lim}^{-1} \times v-t_{Lim}^{-1}$ e $P_{AtadaMFEL} \times V_{MFEL}$) (Figura 5.3 e Tabela 4.3) demonstram elevada compatibilidade entre as condições no crawl-atado e desimpedido. Estes resultados sugerem que os procedimentos em nado-atado são confiantes com aqueles em nado desimpedido. A concordância entre os testes de MFEL e das relações $P-t_{Lim}^{-1}$ e $v-t_{Lim}^{-1}$ foi analisada em cada condição de nado (atado e desimpedido). As equivalências entre as avaliações não são aceitáveis (Figura 4.4), evidenciando que os parâmetros obtidos em MFEL e pelos modelos $P-t_{Lim}^{-1}$ e $v-t_{Lim}^{-1}$ não podem ser usados em substituição um ao outro, tanto no crawl-atado como desimpedido.

Figura 5.4: Dispersão e coeficiente de determinação entre os parâmetros de (A) potência e (B) desempenho no modelo tempo-limite e em máxima fase estável de lactato (MFEL).

Figura 5.5: Dispersão e limites de confiança entre os parâmetros de desempenho (A) e potência (B) no modelo tempo-limite e em máxima fase estável de lactato (MFEL), utilizando a análise Bland e Altman.

Tabela 5.3: Coeficientes de Pearson para os parâmetros das avaliações em máxima fase estável de lactato (MFEL), potência crítica (PC) e velocidade crítica (VC) no nado crawl-atado e desimpedido.

	VC (m.s ⁻¹)	PC _{Atada} (W.kg ⁻¹)	V _{MFEL} (m.s ⁻¹)
PC _{Atada} MFEL (W.kg ⁻¹)	0,862**	0,763**	0,756**
V _{MFEL} (m.s ⁻¹)	0,974**	0,615*	
PC _{Atada} (W.kg ⁻¹)	0,724**		

* P < 0,05; ** P < 0,01.

5.4 - DISCUSSÃO

Pode-se constatar a viabilidade do emprego da força de arrasto ativo (Fr) como parâmetro de carga capaz suscitar estímulos metabólicos diferentes, em testes de intensidade constante no crawl-atado. O uso de frações ao redor de 100% da carga respectiva à PC_{Atada} determinada por ajuste hiperbólico atendeu, por esses resultados, à expectativa de proporcionar intensidades com demanda submáxima à máxima da estabilidade do lactato. Assim, permitiu a determinação da potência mecânica correspondente à MFEL em um contexto de nado muito próximo à realidade da modalidade.

Esta potência agrega outras considerações em sua avaliação, para além de se constituir em outro índice da capacidade aeróbia do nadador. Destaca-se a consideração de ser o protocolo em nado atado com maior controle da intensidade, em relação ao parâmetro velocidade no nado desimpedido, o que ocorre pela melhor distribuição da força e velocidade do hidrofólio durante o ciclo da braçada (VORONTSOV et al., 2006; ROUARD et al., 2006). Desta forma, assegura o preceito da estabilidade das respostas fisiológicas na determinação de MFEL e confere à variável P_{Atada}MFEL, como hipótese básica deste estudo, maior potencial para normalizar a intensidade limítrofe do estado estável do lactato. Ademais, a comparação entre P_{Atada}MFEL e PC (representada por PC_{Atada}) seria outra consideração oportuna para examinar a representatividade destes parâmetros na indexação do limite entre os domínios pesado e severo do exercício.

5.4.1 - Considerações sobre a avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos:

Valores para a força de arrasto (F_r) e para a potência mecânica útil a propulsão (P_u), obtidos por este estudo (Tabela 1) durante o desempenho do crawl em velocidade máxima, mostram-se compatíveis aos valores registrados para homens ($F_r = 30v^2$) e mulheres ($F_r = 24v^2$) correspondentes às velocidades de 1,86 e 1,63 m.s⁻¹, respectivamente (TOUSSAINT et al., 2004). Em uma comparação entre os principais métodos de determinação da força de arrasto (sistema de mensuração do arrasto - *MAD-System*, e método de perturbação da velocidade – VPM), Toussaint et al. (2004) encontraram a referência de $21,33v^{2.34}$ para a força de arrasto, que proporcionaria uma diferença de 3,4% entre os procedimentos. Para uma velocidade média de 1,63 m.s⁻¹, a força de arrasto seria 66,9N, que é muito próxima à média apresentada neste estudo. A partir desta mesma referência, a potência associada à média de 1,63 m.s⁻¹ seria de 109,1W, que é próxima aquela observada em nossos sujeitos. Os valores da eficiência mecânica (ep) correspondem aos valores ($47,8 \pm 7,1\%$) encontrados por Cappert et al. (1992) em nadadores de $16 \pm 1,5$ anos em desempenhos de 50 e 100 metros. Estas semelhanças asseguram a validade do procedimento adotado para a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos, que indexaram a intensidade do nado nas avaliações aeróbia em condições atada.

5.4.2 - Considerações sobre a resposta fisiológica nos parâmetros da avaliação aeróbia:

Tem-se postulado que a concentração de lactato em 3 mmol.L⁻¹ seria um valor adequado para a MFEL na natação (TAKAHASHI et al., 2009). A observação direta da concentração correspondente à MFEL na natação apresenta valores médios de $2,8 \pm 1,2$ mmol.L⁻¹, correspondente a $88,4 \pm 2,9\%$ da velocidade aeróbia máxima de nadadores homens entre $20,4 \pm 1,9$ anos (DEKERLE et al., 2005). Estes valores são menores, mas na faixa de variação daqueles apresentados para a MFEL em nado atado ($3,84 \pm 0,60$ mmol.L⁻¹) e desimpedido ($3,61 \pm 0,97$ mmol.L⁻¹) no presente estudo. Também estão próximas aos valores reportados na literatura a velocidade em MFEL ($1,17 \pm 0,11$ m.s⁻¹) e sua localização em relação à velocidade limite em 400 metros ($90,75 \pm 2,19\%$), que representaria a velocidade de nado na potência aeróbia máxima (MVA) (OGITA et al., 2003; TROUP et al., 1992).

Wakayoshi et al. (1993) verificaram estabilidade na concentração de lactato em torno de $3,2 \text{ mmol.L}^{-1}$ em esforços intermitentes de 400 metros desempenhados na velocidade respectiva à 100% da VC ($1,43 \pm 0,02 \text{ m.s}^{-1}$). Esta tendência de analisar a concentração MFEL pela resposta fisiológica ao redor da VC também pode ser observada em outros estudos. Valores finais da concentração de lactato em $3,8 \pm 1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ foram observados em intensidade compatível a MFEL, que correspondia à VC estimada pelo desempenho de nado em 300 metros (TAKAHASHI et al., 2009). Para Martin e Whyte (2000) a concentração de $3,2 \text{ mmol.L}^{-1}$, demandada em VC ($1,23 \pm 0,10 \text{ m.s}^{-1}$) e estimada em triatletas de elite (26 ± 4 anos) pelo modelo distância-tempo limite de ajuste linear ($d-t_{\text{Lim}}$, em 100, 200, 400, 800 e 1500m), representaria uma intensidade capaz de induzir uma pequena acidose, mas que não causaria exaustão antes da depleção de substratos. No entanto, Filipatou et al. (2006) e Dekerle et al. (2009) observaram estabilidade da concentração de lactato somente em velocidade de nado abaixo da VC. Segundo esses autores, em velocidade 5% abaixo daquela correspondente às suas respectivas velocidades críticas ($1,34 \pm 0,04 \text{ m.s}^{-1}$ e $1,25 \pm 0,06 \text{ m.s}^{-1}$) os desempenhos intermitentes (4 x 400m) e constantes (até exaustão) resultaram em variações entre $3,8 \pm 0,91 \text{ mmol.L}^{-1}$ a $4,6 \pm 1,03 \text{ mmol.L}^{-1}$ (FILIPATOU et al., 2006) e entre $4,0 \pm 1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ a $3,8 \pm 1,9 \text{ mmol.L}^{-1}$ (DEKERLE et al., 2009).

A comparação direta entre os parâmetros VC (ou PC) e MFEL determinados no presente estudo sugere essa mesma tendência. As diferenças mostraram-se significativas entre as velocidades e as potências mecânicas correspondentes à MFEL e ao modelo $v-t_{\text{Lim}}$ e $P-t_{\text{Lim}}$ (Figura 5.3), o que corrobora os achados de Filipatou et al (2006) e Dekerle et al (2009). A diferença entre os parâmetros v_{MFEL} e VC foi de apenas $1,68 \pm 2,17\%$, mas o suficiente para concordar com Toubekis et al. (2006) sobre a pressuposição de pequenas diferenças na velocidade de nado ao redor do ponto de máxima estabilidade do lactato podem corresponder à uma dramática diferença na resposta deste ânion; ou ainda com a afirmação de Smith e Jones (2001) sobre a resposta de contínuo acúmulo de lactato ao longo da atividade frente à um discreto aumento de $0,5 \text{ km.h}^{-1}$ na velocidade de corrida correspondente à MFEL. Porém, para esses autores, não houve diferença estatística para a velocidade (VC = $14,4 \pm 1,1 \text{ km.h}^{-1}$; $v_{\text{MFEL}} = 13,8 \pm 1,1 \text{ km.h}^{-1}$) e para o VO_2 em VC ($3,5 \pm 0,50 \text{ l.min}^{-1}$, $89\%\text{VO}_{2\text{max}}$) e em v_{MFEL} ($3,39 \pm 0,53 \text{ l.min}^{-1}$, $86\%\text{VO}_{2\text{max}}$), mas ressaltam o erro

significante na estimativa de uma variável pela outra, quando considerada a discordância pelo teste de Bland-Altman.

Na natação, testes contínuos com 20 minutos de duração, em intensidade correspondente a VC ($1,15 \pm 0,14 \text{ m.s}^{-1}$, representando $93,5 \pm 2,5\%$ da MVA), mostraram valores da concentração de lactato superiores a 1 mmol.L^{-1} entre os pontos de coleta ($4,5 \pm 1,9 \text{ mmol.L}^{-1}$ e $6,5 \pm 3,6 \text{ mmol.L}^{-1}$) (CLIPET et al., 2003). Outra comparação entre VC e v_{MFEL} foi realizada por Dekerle et al. (2005), mostrando diferenças na intensidade ($v_{\text{MFEL}} = 1,24 \pm 0,10 \text{ m.s}^{-1}$, $88,4 \pm 2,9\%$ MVA; VC = $1,31 \pm 0,15 \text{ m.s}^{-1}$, $92,7 \pm 2,6\%$ MAS) e na comparação entre as duas variáveis ($0,07 \pm 0,13 \text{ m.s}^{-1}$) por Bland-Altman. O presente estudo demonstra boa concordância com as relações e comparações evidenciadas acima, pois a análise Bland-Altman também foi procedida no presente estudo entre os índices de velocidade e potência (Figura 5.5) e evidenciam, de forma semelhante, discordância entre as variáveis.

5.4.3 - Considerações sobre os parâmetros de potência mecânica aeróbia:

Referências de potência mecânica no crawl desimpedido em intensidade que não elicit o acúmulo de lactato são escassas. Valores de potência, pela relação entre VO_2 e a adição de cargas em uma piscina anular, para a velocidade de $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ são de 78,9W (potência propulsiva, P_u) e 154,9W (potência externa, P_o), considerando a eficiência propulsiva equivalente a 51% no nado completo (ZAMPARO et al., 2005). Shimonagata et al. (2003) avaliaram a potência em nado desimpedido adicionando um artefato com força de tração previamente calibrada. Os valores médios de velocidade ($1,29 \text{ m.s}^{-1}$) e de potência (74,1W) aeróbios são baseados em coeficientes de redução da velocidade e potência máximas em um teste de exaustão. A potência média de $115,4 \pm 18,4\text{W}$ foi reportada por Swaine (1994) como respectiva ao limiar ventilatório (LV) e correspondente a $84,3 \pm 9,6\%$ do $\text{VO}_{2\text{pico}}$ obtido em um teste progressivo em banco de nado isocinético. A referência de potência correspondente a intensidade de MFEL, em nado completamente atado, obtida no presente estudo (Tabela 2), não parece extensivamente diferente dos valores acima descritos. Porém, a comparação direta fica restrita pelos diferentes protocolos e ergômetros empregados na mensuração desta potência mecânica.

O valor de PC em banco de nado tem sido reportado em $120,7 \pm 9,4W$ e demonstrado que a relação entre potência e tempo de exaustão na simulação do ciclo gestual de nado é linear ($r = 0,998$), bem como apresenta correlação com o desempenho de nado em longas distâncias (1500 metros, $r = -0,89$) (SWAINE, 1992). Ikuta et al. (1996) determinaram a força crítica no nado completamente atado, que apresentou valores de $6,8 \pm 1,0$ kg e demonstrou que a relação entre impulso ($i = \text{kg/s}$) e tempo de exaustão no nado crawl atado permite um ajuste linear extremamente satisfatório ($r = 0,996$). Estes autores evidenciaram que o parâmetro de carga crítica apresenta correlações com v_{400} ($r = 0,70$, $p < 0,01$), VC ($r = 0,69$, $p < 0,01$) e com v_{OBLA} ($r = 0,68$, $p < 0,05$ - velocidade correspondente à concentração de lactato fixa em 4mmol.L^{-1}), constituindo-se, por isso, em um índice que pode ser adotado para acessar a capacidade aeróbia de nadadores e que sua correspondência com MFEL não pode ser descartada. Essa modelagem em nado atado é muito próxima àquela simulada por PESSÔA FILHO et al. (2008), que obtiveram valores de $91,5 \pm 20,1W$ para nadadores masculinos com idade entre $16,46 \pm 2,69$ anos e VC correspondente a $1,23 \pm 0,15 \text{ m.s}^{-1}$. No presente estudo, os valores de PC e VC (Tabela 1 e 2) apresentam concordância com os valores descritos por Pessôa Filho et al. (2008), para nadadores na mesma faixa etária, mas evidenciam diferenças ainda mais pronunciadas que aquelas observadas na comparação entre as velocidades em cada um destes índices. A potência crítica em nado atado (PC_{Atada}) mostrou-se $8,61 \pm 10,22\%$ maior que a potência em MFEL ($P_{AtadaMFEL}$) obtida no nado atado.

A maior diferença entre os índices aeróbios obtidos no nado atado poderia ser atribuída ao pressuposto de ser o ambiente em nado atado capaz de reduzir as variações na velocidade e força do hidrofólio durante a braçada, que resulta na habilidade de evitar o desperdício de potência e, assim, converter um maior percentual da potência muscular em potência específica da braçada (VORONTSOV et al., 2006; ROUARD et al., 2006), que neste caso seria empregada para manter o equilíbrio dinâmico com a carga.

No ciclismo, a potência correspondente à MFEL (239W) mostrou-se diferente daquela respectiva à PC (278W), assim como suas respectivas frações (74,3% e 85,4%) do $VO_{2\text{max}}$, não sendo observadas correlações de PC com MFEL (DEKERLE et al., 2003). Nossos resultados tornam essas diferenças ainda mais evidentes no nado

atado, apesar da ausência de uma informação direta da resposta lactacidêmica em PC_{Atada} .

5.4.4 - Comparação entre as condições atada e desimpedida de nado:

Pressupostos mecânicos para o perfil lactacidêmico em uma tarefa motora apontam para a dependência de MFEL em relação à especificidade da demanda de potência por unidade de massa muscular (BENEKE et al., 2001). Os valores de potência mecânica observados em MFEL no nado atado ($89,2 \pm 15,1W$) não se mostraram diferentes daqueles previstos, pela equação da proporcionalidade mecânica ($P_{MFEL} = (A \cdot v_{MFEL}^3)/\rho$, proposta por TOUSSAINT et al., 1998), para o nado desimpedido ($94,8 \pm 17,2W$), tanto em termos absolutos ($\rho = 0,241$) quanto relativos ($\rho = 0,224$) à massa engajada no crawl atado e desimpedido ($3,88 \pm 0,71 W.kg^{-1}$ e $4,17 \pm 1,04 W.kg^{-1}$, respectivamente), proporcional à 1/3 do peso corporal (CAPELLI et al., 1998).

A comparação entre a concentração de lactato em v_{MFEL} e $P_{AtadaMFEL}$ não evidenciou diferenças significativas. Para Beneke et al. (2001) a concentração de lactato respectiva à MFEL, obtida por protocolo de 30 minutos e com pontos de coletas ao 10^o e 30^o minutos, quantifica a intensidade do exercício. Assim, pode-se argumentar que a padronização de MFEL realizada em nado atado forneceu um parâmetro de carga que conduz a uma intensidade similar à modelagem de MFEL em nado desimpedido. No entanto, ao considerar a força na condição de nado atado uma versão exagerada daquela observada em nado desimpedido (VORONTSOV et al., 2006), que implicaria no emprego de uma menor fração da força gerada pelo hidrofólio no nado atado para uma mesma intensidade em ambas as condições, haveria de se esperar diferenças na lactacidemia demandada em nado atado e desimpedido. Haja visto que, segundo Beneke et al. (2001), uma menor intensidade de ativação das fibras musculares resultaria em redução da ativação da glicólise e maior disponibilidade de O_2 para a oxidação, diante da contextualização de uma mesma massa muscular engajada em um padrão motor similar de atividade.

Particularidades do ciclo gestual de nado sugerem que se o trabalho por braçada ($As = Po/Fb$) diminui no nado atado pela redução de Po (potência muscular), por outro lado, o trabalho por comprimento de braçada ($Ad = As/Lb$) aumenta, devido à

redução do comprimento da braçada (Lb), ao considerar a mecânica gestual da braçada no nado atado (PESSÔA FILHO; DENADAI, 2008). Essa redução em Lb é acompanhada de ligeiro aumento em Fb e associada à tendência de um deslocamento retilíneo do hidrofólio para trás do nadador. Assim, não há vantagem fisiológica no nado atado pela deteriorização de sua mecânica de braçada (redução de Db) em comparação com o nado desimpedido, que reduz a economia à medida que o custo gestual é maior (ZAMPARO et al., 2005). Essa é uma limitação do presente estudo, uma vez que as diferenças na mecânica gestual e no seu controle comprometem uma efetiva transferência das adaptações mecânicas e fisiológicas em nado atado para o desempenho no nado desimpedido.

Então, apesar das especificidades na mecânica de nado, as evidências de similaridades nas características do padrão motor da braçada contextualizado no nado atado e desimpedido podem ser atribuídas, segundo Beneke et al. (2001), à massa muscular primariamente engajada na atividade, à coordenação intermuscular e ao recrutamento dos tipos de fibras, uma vez que a variabilidade individual e entre as atividades observadas na concentração relativa à MFEL ocorreriam pelas adaptações individuais à atividade e ao treinamento.

Conclui-se que não há diferenças entre a condição modelada em nado atado e desimpedido respectiva a MFEL, ao considerar a produção de potência por quilograma de massa muscular envolvida no nado e a resposta lactacidêmica. Por isso, a aplicação de MFEL em nado atado para acessar o desempenho aeróbio do nadador é promissora, mas enquanto recurso de treinamento ainda requer investigação. No entanto, o uso indiscriminado dos parâmetros em MFEL e no modelo tempo-limite para representar o mesmo fenômeno fisiológico, tornou-se menos recomendável na condição de nado atado.

5.5 – REFERÊNCIAS

BENEKE, RM; HÜTLER, M; LEITHÄUSER, RM. Maximal lactate steady-state independent of performance. **Med. Sci. Sports Exerc.** v. 32, n. 06: p. 1135-1139, 2000.

BENEKE, R; LEITHÄUSER, RM; HÜTLER, M. Dependence of the maximal lactate steady-state on the motor pattern of exercise. **Br. J. Sports. Med.** v. 35: p. 192-196, 2001.

- BENEKE, R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. **Eur. Appl. Physiol.** v. 88, p. 361–369, 2003.
- BILLAT, VL; SIRVENT, P; PY, G; KORALSZTEIN, J-P; MERCIER, J. The concept of maximal lactate steady state a bridge between biochemistry, physiology and sport science. **Sports Med.** v. 33, n. 6, p. 407-426, 2003.
- BISHOP, D; JENKINS, DG; HOWARD, A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. **Int. J. Sports Med.** v. 19: p. 125-129, 1998.
- CAPELLI, C.; PENDERGAST, D. R.; TERMIN, B. Energetics of swimming at maximal speeds in humans. **Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.** v. 78, n. 5, p. 385-393, 1998.
- CAPPAERT, JM; BONE, M; TROUP, JP. Intensity and performance related differences in propelling and mechanical efficiencies (p. 49 – 53). In: MACLAREN, D; REILLY, T; LEES, A. **Biomechanics and medicine in swimming VI.** E & Fn Spon, London, 1992.
- CHATARD, JC; COLLOMP, C; MAGLISCHO, EW. Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. **Int J Sports Med** 1990; 11: 156-161.
- CLIPET, B; DEKERLE, J; PELAYO, P; SIDNEY, M. Critical swimming speed and critical stroke rate in intermittent aerobic exercise. (p. 319-323). In: CHATARD, J-C. **Biomechanics and medicine in swimming IX.** Saint-Etienne, 2003.
- deGROOT, G; INGEN SCHENAU, GV. Fundamentals mechanics applied to swimming: technique and propelling efficiency. In: Ungerechts BE, Wilke K, Reischle K. (eds.) **Swimming Science V**, v. 18, p. 17-30, 1988.
- DEKERLE, J; BARON, B; DUPONT, L; VANVELCENAHAR, J; PELAYO, P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **Eur. J. Appl. Physiol.** v. 89, p. 281–288, 2003.
- DEKERLE, J; PELAYO, P; CLIPET, B; DEPRETZ, G; LEFEVRE, T; SIDNEY, M. Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. **Int. J. Sport Med.** v. 26, p. 524–530, 2005.
- DEKERLE J. The use of critical velocity in swimming: a place for critical stroke rate? In: VILAS-BOAS JP, ALVES F, MARQUES A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming X.** **Rev. Port. Ciênc. Desp.** v. 6, n. 2, p. 201-205, 2006.
- DEKERLE, J; BRICKLEY, G; ALBERTY, M; PELAYO, P. Characterizing the slope of the distance-time relationship in swimming. **J. Sci. Med. Sport.** 2009.
- FILIPATOU, E; TOUBEKIS, A; DOUDA, H; PILIANIDIS, T; TOKMAKIDIS, S. Lactate and heart rate responses during swimming at 95% and 100% of the critical velocity in children and young swimmers. In: VILAS-BOAS JP, ALVES F, MARQUES A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming X.** **Rev. Port. Ciênc. Desp.** v. 6, n. 2, p. 201-205, 2006.

IKUTA, Y; WAKAYOSHI, K; NOMURA, T. Determinations and validity of critical swimming force as performance index in tethered swimming. (p. 146-151). In: TROUP, JP; HOLLANDER, AP; STRASSE, D; TRAPPE, SW; CAPPAERT, JM; TRAPPE, TA. **Biomechanics and Medicine in Swimming VII**. E & FN SPON, London, 1996.

MARTIN, L;WHYTE, GP. Comparison of critical swimming velocity and velocity at lactate threshold in elite triathletes. **Int. J. Sports Med.** v. 21: p. 366–368, 2000.

PESSÔA FILHO, DM; NASCIMENTO, EP; DENADAI, BS. Validação do modelo potência-tempo limite no crawl-atado pelas relações com os modelos distância/tempo limite e velocidade/tempo limite. **Rev. Bras. Ciênc. Esp.** v. 29, n. 2, p. 95-114, 2008.

PESSÔA FILHO, DM; DENADAI, BS. Mathematical basis for modeling swimmer power output in the front crawl tethered swimming: an application to aerobic evaluation. **The Open Sports Science Journal**. v. 7, p. 31-37, 2008.

PRINGLE, JS; JONES, AM. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. **Eur. J. Appl. Physiol.** v. 88, p. 214–226, 2002.

OGITA, F; ONODERA, T; TAMAKI, H; TOUSSAINT, H; HOLLANDER, P; WAKAYOSHI, K. Metabolic profile during exhaustive arm stroke, leg kick, and whole body swimming lasting to 15s to 10min. (361-366). In: MACLAREN, D; REILLY, T; LEES, A. **Biomechanics and medicine in swimming VI**. E & FN Spon, London, 1992.

RIA, B; FALGAIRETTE, G; ROBERT, A. Assessment of the mechanical Power in the young swimmer. **J. Swim. Res.** v. 06; n. 03: p. 11-15, 1990.

ROUARD, AH; AUJOUANNET, YA; HINTZ, F; BONIFAZI, M. Isometric force, tethered force and power ratios as tools for the evaluation of technical ability in freestyle swimming. In: VILAS-BOAS, JP; ALVES, F; MARQUES, A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming X**. **Rev. Port. Ciênc. Desp.** v. 6, n. 2, p. 249-250, 2006.

SCHLEIHAUF, R.E.; GRAY, L.; DEROSE, J. Three dimensional analysis of hand propulsion in the sprint front crawl stroke. In: HOLLANDER, A.; HUIJING, P.; DeGROOT, G. (eds) **Biomechanics and Medicine in Swimming III**. Champaign: Human Kinetics. p. 184-191, 1983.

SHIMONAGATA, S; TAGUCHI, M; MIURA, M. Effect of swimming Power, swimming Power endurance and dry-land Power on 100m Freestyle performance. (p. 391-396). In: CHATARD, J-C. **Biomechanics and medicine in swimming IX**. Saint-Etienne, 2003.

SMITH, CGM; JONES, AJ. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. **Eur. J. Appl. Physiol.** v. 85, p. 19-26, 2001.

SWAINE, IL. The relationship between physiological variables from a swim bench ramp test and middle-distance swimming performance. **J. Swim. Res.** v. 10: p. 41-48, 1994.

SWAINE, IL. The relationship between 1500 m swimming performance and critical Power using an isokinetic swim bench. (p. 229-233). In: TROUP, JP; HOLLANDER, AP; STRASSE, D; TRAPPE, SW; CAPPAERT, JM; TRAPPE, TA. **Biomechanics and Medicine in Swimming VII**. E & FN SPON, London, 1996.

TAKAHASHI, S; WAKAYOSHI, K; HAYASHI, A; SAKAGUCHI, Y; KITAGAWA, K. A method for determining critical swimming velocity. **Int J Sports Med**. v. 30: p. 119–123, 2009.

TOUBEKIS, AG; TSAMI, AP; TOKMAKIDIS, SP. Critical velocity and lactate threshold in young swimming. **Int J Sports Med**. v. 27: p. 117-123, 2006.

TOUSSAINT, HM. Performance determining factors in front crawl swimming. (p. 13 – 32). In: MACLAREN, D; REILLY, T; LEES, A. **Biomechanics and medicine in swimming VI**. E & FN Spon, London, 1992.

TOUSSAINT, H.M.; WAKAYOSHI, K.; HOLLANDER, A.P.; OGITA, F. Simulated front crawl swimming performance related to critical speed and critical power. **Med. Sci. Sports Exerc**. v. 30, n. 1, p. 144-151, 1998.

TOUSSAINT, HM; ROOS, PE; KOLMOGOROV, S. The determination of drag in front crawl swimming. **J. Biomech**. v. 37, p. 1655–1663, 2004.

VORONTSOV, A; POPOV, O; BINEVSKY, D. DYRKO, V. The assessment of specific strength in well-trained male athletes during tethered swimming in the swimming flume. In: Vilas-Boas, JP; Alves, F; Marques, A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming X**. **Rev. Port. Ciênc. Desp**. v. 6, n. 2, p. 275-277, 2006.

WAKAYOSHI, K; YOSHIDA, T; UDO, M; HARADA, T; MORITANI, T; MUTOH, Y; MIYASHITA, M. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? **Eur. J. Appl. Physiol**. v. 66, p. 90–95, 1993.

ZAMPARO, P; BONIFAZI, EM; FAINA, M; MILAN, A; SARDELLA, F; SCHENA, F; CAPELLI, C. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. **Eur. J. Appl. Physiol**. (2005) 94: 697–704.

6 - Artigo do Estudo 3

“CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÊNIO AO REDOR DO PONTO DE
COMPENSAÇÃO RESPIRATÓRIA NA NATAÇÃO”

“OXYGEN UPTAKE KINETICS AROUND THE RESPIRATORY
COMPENSATION POINT IN SWIMMING”

Resumo

A importância do limite entre domínios pesado e severo está em delimitar uma mudança considerável na tolerância ao exercício. O limite superior para o domínio pesado é definido como a maior intensidade de exercício no qual o consumo de oxigênio (VO_2) e a concentração de lactato [lactato] podem ser mantidos em um nível elevado, mas estável. A finalidade deste estudo foi descrever a cinética VO_2 ao redor do limite entre os domínios pesado e severo no nado crawl, considerando o ponto de compensação respiratória (PCR) como o parâmetro limítrofe. Nove nadadores ($68,6 \pm 9,1$ kg; $178,2 \pm 6,4$ cm; $21,0 \pm 7,1$ anos; $13,1 \pm 4,0\%$ de gordura corporal e $\text{VO}_{2\text{max}} = 3999,2 \pm 726,0$ $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) foram submetidos a dois testes independentes para medir os índices de condicionamento fisiológico e a cinética de transição do VO_2 . Durante os testes, a permuta de gás pulmonar foi determinada respiração a respiração com um sistema automatizado portátil (K4b2, Cosmed, Roma, Itália), que foi conectado ao nadador por um tubo respiratório especial e sistema de válvula. O primeiro teste envolveu a determinação do limiar ventilatório (LV), PCR e $\text{VO}_{2\text{max}}$. O segundo teste envolveu duas sessões de nado, cada qual com duas transições retangulares nas intensidades de $2,5\%$ abaixo ($v_{-2,5\%}$) e acima ($v_{+2,5\%}$) da velocidade em PCR, correspondentes a $36,3 \pm 7,0$ e $74,0 \pm 11,3$ do delta entre velocidades em LV e $\text{VO}_{2\text{max}}$. O perfil do VO_2 após o início do exercício foi descrito, para cada sujeito e intensidade do exercício, por um modelo bi-exponencial que forneceu os valores dos tempos de respostas, constantes de tempo e amplitudes, excluindo o componente cardio-dinâmico inicial. Os resultados mostraram que a cinética do VO_2 em torno de PCR caracteriza os domínios pesado e severo do exercício. As transições $\sim 2,7\%$ abaixo de PCR foram realizadas em $v_{36,8 \pm 8,5\% \Delta}$ (aproximadamente $1,28 \pm 0,05$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ou $91,4 \pm 2,2\%$ $v\text{VO}_{2\text{max}}$), conduzindo o VO_2 apenas a uma taxa submáxima (aproximadamente $91,5 \pm 5,7\%$ $\text{VO}_{2\text{max}}$), após um componente lento (154s) de amplitude equivalente a 391 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$. O VO_2 nas transições aproximadamente 2% acima de RCP ($v_{71,1 \pm 17,1\% \Delta}$, cerca de $1,34 \pm 0,05$ m/s ou $96,1 \pm 2,4\%$ $v\text{VO}_{2\text{max}}$) apresentou componente lento (188s) com amplitude de 399 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ limitada em sua taxa máxima ($104,5 \pm 9,4\%$ $\text{VO}_{2\text{max}}$). Assim, algumas das tendências relatadas para as alterações no perfil de resposta do VO_2 nos domínios pesado e severo também foram observadas neste estudo. Assim, aplicar PCR como o limite entre domínios pesado e severo possibilita diminuir a quantidade de testes para determinar os parâmetros dos diferentes domínios do exercício, além da variabilidade associada à determinação da potência crítica para delimitar o limite superior do exercício pesado.

Palavras-chave: cinética do VO_2 , domínios pesado e severo, ponto de compensação respiratória.

Abstract

The importance of the boundary between heavy and severe domains is it demarcating a considerable change in exercise tolerance. The upper boundary for the heavy domain is defined as the highest exercise intensity in which VO_2 and [lactate] can be maintained at an elevated but steady level. The purpose of this study was to describe VO_2 kinetics throughout the heavy and severe exercise intensity domains during crawl swimming, considering RCP as the transition parameter. Nine male well-trained swimmers (68.6 ± 9.1 kg, 178.2 ± 6.4 cm, 21.0 ± 7.1 years, $13.1 \pm 4.0\%$ body fat, and $\text{VO}_{2\text{max}} = 3,999.2 \pm 726.0$ ml/min) were submitted to two independents tests protocols in order to measure the physiological conditioning indexes and VO_2 on-transition kinetics. During the

exercise tests, pulmonary gas exchange was determined breath-by-breath with a portable automated system (K4b2, Cosmed, Roma, Italy) connected to the swimmer by a special respiratory snorkel and valve system. The first stage involved the determination of VT, RCP and $\dot{V}O_{2\max}$. The second stage involved two swimming sessions with the subjects performing two repetitions of square-wave transitions, from rest to one of two exercise intensities set at 2.5% below ($v_{-2.5\%}$) and above ($v_{+2.5\%}$) the velocity at RCP, corresponding to 36.3 ± 7.0 and 74.0 ± 11.3 of the delta between velocity at VT and $\dot{V}O_{2\max}$. The time course of O_2 following the onset of exercise was described for each subject and exercise intensity using a bi-exponential model that provides an estimate of the on-transients: amplitudes, time delays and time constants, excluding the initial cardiodynamic component. Results showed that $\dot{V}O_2$ kinetics just around RCP characterizing heavy and severe domains of exercise. The trial below $\sim 2.7\%$ of RCP was performed at $v_{36.8 \pm 8.5\% \Delta}$ (about 1.28 ± 0.05 m/s or $91.4 \pm 2.2\%$ $v\dot{V}O_{2\max}$), eliciting $\dot{V}O_2$ only to a sub-maximal rate (about $91.5 \pm 5.7\% \dot{V}O_{2\max}$), after a delayed steady-state (154s) of amplitude about 391 ml/min. The $\dot{V}O_2$ in the trial above $\sim 2\%$ of RCP ($v_{71.1 \pm 17.1\% \Delta}$, about 1.34 ± 0.05 m/s or $96.1 \pm 2.4\%$ $v\dot{V}O_{2\max}$) has delayed (188s) amplitude of 399 ml/min trunked at its maximum rate ($104.57 \pm 9.48\% \dot{V}O_{2\max}$). Thus, some of trends reported for changes in the $\dot{V}O_2$ response profiles on treadmill across heavy and severe domains were also seemed in this study. Then, applying RCP as the boundary between heavy and severe domain diminished the amount of test to determine exercise domains, and the protocol variability associated to the determination of critical power.

Key-word: $\dot{V}O_2$ kinetics, heavy and severe domains, respiratory compensation point.

6.1 - INTRODUÇÃO

A resposta do consumo de oxigênio pulmonar (VO_2) e o estado da relação ácido-base no sangue durante exercícios com intensidade constante têm sido utilizados para definir os domínios de intensidade do exercício (BURNLEY; JONES, 2007). Três domínios são comumente descritos. O exercício moderado, que engloba intensidades do exercício abaixo do limiar de lactato (LL), no qual a concentração de lactato no sangue ([lactato]) não é elevada e o VO_2 projeta-se mono-exponencialmente a uma fase estável (JONES; POOLE, 2005). O domínio pesado do exercício situa-se entre o LL e a potência crítica (PC), resultando em uma elevada, mas estável, [lactato] ao longo do tempo e o VO_2 atinge um estado estável tardio, após a presença de um aumento adicional do VO_2 (componente lento, $\text{VO}_{2\text{CL}}$) ao valor alcançado por sua assíntota inicial (WHIPP; ROSSITER, 2005). No domínio severo (entre CP e $\text{VO}_{2\text{max}}$), o $\text{VO}_{2\text{CL}}$ falha em estabilizar e, caso o exercício seja sustentado, pode atingir o valor máximo do VO_2 , enquanto a [lactato] aumenta continuamente até ao final do exercício (BURNLEY; JONES, 2007).

A caracterização da cinética do VO_2 em múltiplos componentes exponenciais sugere a presença de três fases de resposta do VO_2 , após o início do exercício de intensidade constante (WHIPP; ROSSITER, 2005). A primeira fase, ou componente cardiodinâmico, é marcada por um rápido aumento no VO_2 , que já é verificado na primeira respiração e representa o aumento da extração de O_2 alveolar pelo maior fluxo sanguíneo pulmonar, causado pelo aumento do débito cardíaco (Q) (JONES; POOLE, 2005). A fase subsequente, ou componente primário, ainda envolve a resposta não estável do VO_2 e resulta do aumento da extração de O_2 na mistura venosa. Para Whipp e Rossiter (2005), esta fase representa o consumo de O_2 pelos músculos (QO_2) ativos e mantém equivalência com a permuta de O_2 no leito capilar pulmonar (VO_2). A terceira fase ocorre com a estabilidade no débito cardíaco e na extração de O_2 pelos músculos. Entretanto, segundo Jones e Poole (2005), em intensidades elevadas o alcance deste estado-estável pode ser tardio, ou ausente. Para estes autores, o platô definido na terceira fase é alcançado dentro de 3 minutos, enquanto o excesso de VO_2 (componente lento, $\text{VO}_{2\text{CL}}$), além daquele previsto para a intensidade, ocorre após o terceiro minuto até o final da atividade com a exaustão.

O componente lento atinge sua maior magnitude, limitada ao $\text{VO}_{2\text{max}}$, justamente após o limite superior do domínio pesado, assim sua consequência está em

desassociar a escala de intensidade de uma fração em relação ao VO_{2max} ($\%VO_{2max}$), e em associar a máxima fração da intensidade aeróbia ($100\%VO_{2max}$) à uma margem de intensidade acima do domínio pesado (WHIPP; ROSSITER, 2005). Desta forma, a importância do limite entre os domínios pesado e severo é delimitar uma mudança considerável na tolerância ao exercício, sendo menor quanto mais rápido o VO_{2CL} projeta-se ao VO_{2max} . Isto é, atingir antecipadamente o VO_{2max} torna a exaustão eminente, uma vez que o VO_{2SC} pode estar associado à taxa de utilização anaeróbia e ao acúmulo de metabólitos (BURNLEY; JONES, 2007).

De acordo com JONES e POOLE (2005), o limite superior do domínio pesado é definido como a maior intensidade de exercício no qual VO_2 e [lactato] podem ser mantidos em um nível elevado, mas estável. Pelas definições, ambos PC (a inclinação da relação entre a potência (P) e o tempo (t), que é o parâmetro limítrofe para o fornecimento aeróbico e compreende a noção de que, se $P \leq PC$, o fornecimento anaeróbia não é necessário e o tempo em exercício é infinitamente longo – MORTON, 2006) e a máxima fase estável de lactato (MFEL: maior carga ou velocidade constante que pode ser mantida ao longo do tempo sem contínuo acúmulo de lactato no sangue – BENEKE, 2003) correspondem às respostas fisiológicas observadas no limite superior do domínio pesado. No entanto, a intensidade em PC não pode ser mantida sem um aumento substancial da concentração de lactato no sangue e de outros parâmetros fisiológicos (PRINGLE; JONES, 2002; DEKERLE et al, 2003). Comparações entre a PC e a potência associada à MLSS sugerem que a PC e MLSS são diferentes e não devem ser usadas em reciprocidade (PRINGLE; JONES, 2002).

Na natação, o perfil do VO_2 na transição do repouso ao exercício de intensidade constante tem sido descrita, mas em frações do VO_2 próximas à máxima, ou em frações distantes do delta (Δ) entre o LL e o VO_{2max} , o que possibilita comparações preliminares, sem um entendimento elucidativo do controle da cinética do VO_2 . Pesquisas anteriores concentraram-se nas mensurações da amplitude de resposta do componente lento em intensidade correspondente ao domínio severo, empregando cálculos pontuais (DEMARIE et al., 2001) e funções exponenciais (MACHADO et al., 2006). Para Demarie et al. (2001), a existência do VO_{2SC} durante o nado pode estar associada à perturbação da técnica de braçada com a eminência da exaustão, causando redução da eficiência mecânica pelo aumento da força de arrasto e pelo recrutamento de fibras de contração rápida. Enquanto Machado et al. (2006) limitaram-se em

demonstrar, em um estudo piloto, que o modelo tri-exponencial é capaz de ajustar os valores da cinética do VO_2 em exercício de intensidade pesada, independentemente da amplitude da fase lenta.

Além disso, a análise do limite superior do domínio pesado na natação tem sido realizada pela cinética da [lactato] e pelo VO_2 após o esforço, empregando a velocidade crítica (VC, inclinação da relação entre a distância (d) e o tempo (t)). Para Dekerle et al. (2009), a VC situa-se no domínio severo, com as respostas fisiológicas caracterizando o domínios pesado e severo quando a intensidade de nado é alterada 5% mais lenta e 5% mais rápida que VC. Contudo, a dependência da relação P-t para com a escolha dos esforços de predição pode explicar a interpretação equivocada da sua definição matemática como o maior intensidade que pode ser sustentada por longo período de tempo sem fadiga (BISHOP et al., 1998). Por isso, parâmetros correspondentes à VC (ou PC) têm sido analisados. O exercício em 50% da diferença entre o modo específico da intensidade em LL e $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($50\%\Delta\text{VO}_2$) é um índice alternativo para a transição entre os domínios pesados e severo (SMITH; JONES, 2001). Surpreendentemente, enquanto LL tem sido estimado por trocas gasosas como limiar ventilatório (LV: aumento na curva V_E/VO_2 sem alteração da resposta V_E/VCO_2 – BEAVER et al., 1986), o ponto de compensação respiratória (PCR: ponto da relação V_E vs VCO_2 , na qual a V_E aumenta mais rapidamente em uma relativa hiperventilação - BEAVER et al., 1986) para a acidose metabólica e os eventos do tamponamento nos tecidos, não é empregado para demarcar o limite superior do domínio pesado. Por não terem sido constatadas diferenças significativas entre o VO_2 e a potência mecânica obtidas em PC e PCR na natação (DEKERLE et al., 2003), o objetivo deste estudo foi descrever a cinética do VO_2 em torno dos domínios de intensidade pesado e severo do exercício no nado crawl, considerando PCR como o parâmetro de transição. A premissa é que a transição do repouso ao exercício em intensidades constantes ao redor de PCR demande comportamento fisiológico diferente e característico dos domínios pesado e severo do exercício, quando analisado pela cinética do VO_2 .

6.2 – MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 – Sujeitos:

Nove nadadores bem condicionados ($68,6 \pm 9,1$ kg, $178,2 \pm 6,4$ cm, $21,0 \pm 7,1$ anos, $13,1 \pm 4,0\%$ gordura corporal e $VO_{2\max} = 3999,2 \pm 726,0$ ml.min⁻¹) foram submetidos a dois protocolos independentes para a obtenção dos índices fisiológicos limítrofes dos domínios do exercício e da cinética do VO_2 na transição do repouso ao exercício. Os nadadores receberam informações sobre os protocolos e preencheram um termo de consentimento esclarecido. Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética local.

6.2.2 - Delineamento Experimental:

Os sujeitos realizaram três etapas experimentais. A primeira etapa envolveu a determinação dos parâmetros fisiológicos LV, PCR e $VO_{2\max}$, limítrofes dos domínios de exercício. Na segunda foram realizadas duas sessões de nado crawl, cada qual com duas repetições de intensidade constante, em transição do repouso ao exercício. A intensidade foi definida em 2,5% abaixo ($v_{-2.5\%}$) e acima ($v_{+2.5\%}$) da velocidade correspondente a PCR, que respectivamente situaram-se em $36,3 \pm 7,0\%$ e $74,0 \pm 11,3$ do delta entre a velocidade em LV e $VO_{2\max}$ ($v\%\Delta$). Apenas duas transições foram concluídas no mesmo dia, respeitando-se um intervalo de recuperação de 1h entre as transições. O estudo foi concluído no prazo de 3 a 4 semanas para todos os sujeitos. Todos os testes foram realizados em piscina coberta de 50 m. Durante os testes, a permuta gasosa pulmonar foi determinada respiração a respiração, empregando um sistema automatizado portátil (K4b2, Cosmed, Roma, Itália), que foi calibrado antes de cada teste e conectado ao nadador por um tubo (*snorkel*) respiratório especial e sistema de válvulas, anteriormente validado por Keskinen et al. (2002).

6.2.3 - Protocolo Incremental:

Os sujeitos desempenharam um teste incremental contínuo (300 m por estágio) até a exaustão. Os incrementos de velocidade foram delineados em quatro a cinco estágios com intensidade em percentual da velocidade máxima de nado nos 400 m ($\%v400$). O $VO_{2\max}$ foi calculado como o valor médio mais alto alcançado durante o teste incremental (POOLE et al., 2008). A curva de VO_2 respiração a respiração foi suavizada e obtida a média em intervalos de 30s para cada estágio. A velocidade

correspondente ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$) foi definida como a menor velocidade associada ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ (DEMARIE et al, 2001).

Os limites superior e inferior para o domínio pesado do exercício foram determinados pelas respostas gasosas, obtendo-se LV e PCR, respectivamente, conforme as recomendações de Beaver et al (1986). LV e PCR foram examinados visualmente, usando as respostas dos parâmetros $V_E/V\text{CO}_2$, V_E/VO_2 , P_{ETCO_2} e P_{ETO_2} . Os critérios para LV foram: aumento na curva da relação V_E/VO_2 e na P_{ETO_2} , sem alteração da relação $V_E/V\text{CO}_2$ e na P_{ETCO_2} . Para PCR, o critério adotado foi o aumento contínuo na curva das relações V_E/VO_2 e $V_E/V\text{CO}_2$ associada à diminuição da P_{ETCO_2} . Os pontos de localização LV e PCR foram detectados por dois observadores independentes. Quando houve discordância, um terceiro observador foi consultado. A velocidade (m.s^{-1}) de nado em LV e PCR correspondeu ao estágio do teste incremental na qual os parâmetros LV e PCR foram detectados. O maior VO_2 em intervalos de 30s nestes estágios foi considerado o VO_2 em LV e PCR.

6.2.4 - Modelagem da cinética do VO_2 :

A duração do exercício em cada transição foi de 7 minutos (ou 420s), ou até limite de tolerância para a intensidade. Em todas as transições, o exercício foi precedido por um aquecimento de 3 - 4 minutos na menor velocidade possível de nado, seguido de uma recuperação de 5 minutos. As intensidades de nado foram definidas em 2,5% abaixo e acima da velocidade em PCR, sendo controlada por informação verbal à beira da piscina

O VO_2 obtido respiração a respiração foi alinhado ao tempo de cada transição nas duas velocidades analisadas. Em seguida, cada curva de resposta foi analisada manualmente para a exclusão de pontos extremos, que representam eventos fisiológicos não característicos da resposta do VO_2 em exercício (OZYENER et al., 2001). Estes pontos foram definidos como valores maiores que três desvios-padrões da média local (4 – 5 respirações) (WHIPP; ROSSITER, 2005). Posteriormente, os dados foram interpolados para fornecer valores a cada segundo para cada sujeito em cada transição e, então, obtida a média das transições para fornecer uma única resposta em cada intensidade analisada (CARTER et al., 2002).

A descrição matemática da cinética do VO_2 nas transições foi realizada empregando o modelo bi-exponencial (equações 1), que forneceu a estimativa das amplitudes (A_1 e A_2), tempo de respostas (TD_1 e TD_2) e constantes de tempo (τ_1 e τ_2) nas velocidades analisadas. O componente cárdio-dinâmico inicial foi ignorado, eliminando-se os 20s iniciais da resposta ao exercício (OZYENER et al., 2001). A linha de base do VO_2 foi definida como a média do VO_2 medido durante 30s de repouso antes do início de cada transição, com o nadador submerso na água ao nível do pescoço.

$$\text{VO}_2(t) = \text{VO}_{2b} + A_1 \left[1 - \ell^{\left(\frac{t - \text{TD}_1}{\tau_1} \right)} \right] + A_2 \left[1 - \ell^{\left(\frac{t - \text{TD}_2}{\tau_2} \right)} \right] \quad (57)$$

O aumento fisiologicamente relevante do VO_2 é a amplitude da fase I (A_1'), ou componente "primário" da resposta, que deve refletir estritamente a cinética de extração do O_2 pelo músculo esquelético, que foi calculada a partir:

$$A_1' = A_1 \left(1 - \ell^{\left(\frac{(\text{TD}_2 - \text{TD}_1)}{\tau_1} \right)} \right) \quad (58)$$

Dado que o valor da assíntota da fase II (A_2) pode representar um valor maior que aquele realmente alcançado no final do exercício, o valor do VO_2 do componente exponencial lento ao final do exercício foi definido como (A_2'):

$$A_2' = A_2 \left(1 - \ell^{\left(\frac{(\text{ED} - \text{TD}_2)}{\tau_2} \right)} \right) \quad (59)$$

onde "ED" é a duração total do exercício.

As Figuras 6.1 a e b retratam o equipamento e o procedimento de coleta à borda da piscina.

Figuras 6.1: Ilustra o uso do equipamento pelo nadador (a); e a forma de sua aplicação durante o nado (b).

6.2.5 - Análise estatística:

Os dados estão expressos como média $\pm$ DP. A diferença estatística entre as médias de dados pareados foi analisada pelo teste-t de Student (bi-caudal). A análise pela função bi-exponencial foi realizada pelo método dos quadrados mínimos residuais. O nível de significância foi fixado $p \leq 0,05$. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico SPSS 17.

6.3 - RESULTADOS

As variáveis apresentadas na Tabela 6.1 mostram os parâmetros fisiológicos e de desempenho relacionados ao limite superior para os domínios moderado (VT), pesado (PCR) e severo (VO_{2max}) do exercício. Nota-se que o valor médio de PCR está localizado na metade do delta entre LV e VO_{2max} , mas há grande variabilidade associada a esse resultado.

Tabela 6.1: Parâmetros do teste incremental. n = 9.

	VO ₂ (ml.min.kg ⁻¹)	VO _{2max} (%)	Velocidade (m.s ⁻¹)	Delta (%Δ)
VO _{2max}	57,98 (±5,10)	100	1,40 (±0,03)	100
LV	41,10 (±7,27)	70,52 (±8,04)	1,21 (±0,06)	0
PCR	49,89 (±5,50)	85,99 (±4,89)	1,32 (±0,05)	50,99 (±16,51)

Obs.: “LV” é o limiar ventilatório; “PCR” é o ponto de compensação respiratória; e “VO_{2max}” é o consumo pulmonar máximo de oxigênio. Os procedimentos de determinação destes parâmetros estão descritos no capítulo Material e Métodos.

Não foram observadas diferenças estatísticas entre as velocidades de referência e realizada na primeira e segunda transições ($p = 0,538$ e $0,776$, respectivamente), tão pouco para os deltas das transições ($p = 0,427$ e $0,784$, respectivamente) (Tabela 6.2). A ausência de diferença entre a intensidade pré-determinada e aquela desempenhada durante as transições, assegura o controle efetivo das circunstâncias de teste. Ressalta-se também que a diferença observada entre as duas intensidades ficou pouco abaixo dos 5% estipulados.

Tabela 6.2: Valores de referência e desempenhados nas transições ao redor do ponto de compensação respiratória (PCR). n = 9.

	Transição	Velocidade (m.s ⁻¹)	Relativo a RCP	Delta (%ΔLV-VO _{2max})
Referência				
	1	1,35 (±0,05)	2,5%	74,07 (±11,37)
	2	1,28 (±0,05)	-2,5%	36,35 (±7,00)
Desempenhado				
	1	1,34 (±0,05)	2,03 (±1,21)	71,13 (±17,15)
	2	1,28 (±0,05)	-2,74 (±0,78)	36,81 (±8,52)

Os parâmetros temporais da cinética do VO₂ não apresentaram diferenças ao comparar as intensidades em torno de PCR, com exceção de TD1 ($p = 0,034$) (Tabela 6.3). Os parâmetros de amplitude da assíntota do VO₂ apresentam considerável diferença entre cada condição analisada, caracterizando a distinção entre as intensidades. A amplitude do componente primário, o VO₂ ao final do exercício (EEVO₂) e o VO₂ total (TotalVO₂) revelaram-se diferentes em cada intensidade (valores de p em 0,001, 0,001 e 0,000, respectivamente) (Tabela 6.3). A tendência do componente lento (VO_{2CL}) em ocorrer mais cedo com o exercício realizado abaixo de PCR (153,78s), em

comparação com o exercício realizado acima (188,44s), não pode ser confirmada estatisticamente. Bem como não se mostrou distinta a amplitude do VO_{2CL} abaixo e acima de PCR (valores de A_2' em 391,24 e 399,40 $ml \cdot min^{-1}$, respectivamente), o que também se evidenciou para a contribuição relativa do VO_{2CL} para a $EEVO_2$ observada abaixo e acima de PCR (12,38% e 10,52%, respectivamente) (Tabela 6.3).

Nenhum dos sujeitos atingiu a exaustão durante as transições em intensidade abaixo e acima de PCR, mas em consequência do VO_{2CL} foram observados valores para o parâmetro $TotalVO_2$ de 91,58% e 104,57% do VO_{2max} nas transições realizadas abaixo e acima de PCR, respectivamente. Por ser a amplitude (A_2') do VO_{2CL} da transição com intensidade acima PCR limitada ao VO_{2max} e pelo fato de A_2' da transição abaixo de PCR não ter atingido o VO_{2max} , pode-se inferir que as respostas do VO_2 pulmonar refletiram o comportamento fisiológico dos domínios severo e pesado ao nadar logo acima e abaixo de PCR. A cinética do VO_2 acima e abaixo de PCR está ilustrada para dois nadadores nas Figuras 6.2 e 6.3.

Figura 6.2: Comparação do perfil do VO_2 nas transições ao redor de PCR para o sujeito 01 (A) e 06 (B). A linha de base para o VO_2 em cada intensidade está ilustrada nos 30s anteriores ao início do exercício (tempo zero).

Tabela 6.3: Parâmetros da cinética do VO_2 ao redor do ponto de compensação respiratória (PCR). $n = 9$.

	Parâmetros	
	2,5% abaixo PCR	2,5% acima PCR
$\text{VO}_{2\text{Base}}$ ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$)	$474,90 \pm 91,24$	$523,78 \pm 79,08$
TD_1 (s)	$17,63 \pm 3,30^\dagger$	$13,99 \pm 5,64^\dagger$
t_1 (s)	$17,78 \pm 7,09$	$16,11 \pm 4,85$
A_1' ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$)	$2784,93 \pm 616,02^\dagger$	$3247,04 \pm 669,99^\dagger$
R^2	$0,969 \pm 0,021$	$0,934 \pm 0,041$
TD_2 (s)	$153,78 \pm 42,53$	$188,44 \pm 97,23$
t_2 (s)	$99,49 \pm 82,20$	$73,82 \pm 67,43$
A_2' ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$)	$391,24 \pm 236,61$	$399,40 \pm 270,49$
R^2	$0,694 \pm 0,255$	$0,662 \pm 0,226$
EEVO_2 ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$)	$3176,17 \pm 647,01^\dagger$	$3646,45 \pm 823,11^\dagger$
$A_2' \% \text{EEVO}_2$	$12,38 \pm 7,28$	$10,52 \pm 5,33$
Total VO_2 ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$)	$3651,07 \pm 660,36^\dagger$	$4170,23 \pm 810,11^\dagger$
$\% \text{VO}_{2\text{max}}$	$91,58 \pm 5,70^\dagger$	$104,57 \pm 9,48^\dagger$

EEVO_2 é o aumento do VO_2 acima da linha do repouso ao final do exercício. † Diferenças observadas entre os pares de variáveis.

Figura 6.3: Ajuste da cinética do VO_2 nas transições ao redor do ponto de compensação respiratória (PCR) para o sujeito 01 (A e B) e 06 (C e D). Em “C” são apresentados os elementos do ajuste bi-exponencial da cinética do VO_2 , e em “D” estão identificadas as linhas utilizadas nos gráficos.

6.4 - DISCUSSÃO

Este estudo confirmou que a cinética de VO_2 nas transições ao redor de PCR caracterizou os domínios pesado e severo do exercício no nado crawl. O limítrofe entre estes dois domínios do exercício não tinha sido, anteriormente, analisado pela cinética do VO_2 na natação. No entanto, Dekerle et al. (2009) concluíram, ao observar a concentração de lactato no sangue e o VO_2 atingido após o exercício, que a velocidade crítica (VC: a inclinação do ajuste linear entre distância e tempo) também situa-se no limite entre os domínios de intensidade pesado e severo, demandando respostas fisiológicas características destes domínios ao nadar em um intervalo de intensidade 5% abaixo e acima de VC. Seus resultados mostraram que, em velocidade 5% abaixo de VC, permaneceram estáveis o VO_2 (atingindo $87 \pm 14\% \text{VO}_{2\text{pico}}$) e a concentração de lactato no sangue; e ao nadar 5% acima de VC houve aumento progressivo do lactato no sangue e do VO_2 (atingindo o valor de pico). Dados do presente estudo corroboram essa tendência do VO_2 nos domínios pesado e severo de nado, ao analisar sua cinética em um intervalo de intensidade de nado ainda menor (menos de 5% de diferença entre as intensidades das transições) ao redor de PCR.

No presente estudo, a tendência da cinética do VO_2 na transição abaixo ($\sim 2,7\%$) de PCR, que correspondeu à intensidade de $v_{36,8} (\pm 8,5) \% \Delta$ (cerca de $91,4 \pm 2,2\% v\text{VO}_{2\text{max}}$), demandou uma elevação submáxima e estável do VO_2 ($91,5 \pm 5,7\% \text{VO}_{2\text{max}}$) após a ocorrência do componente lento com início em $\sim 154\text{s}$ e amplitude média de $391,0 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$. Para Ozyener et al (2001), o aumento suplementar do VO_2 à sua resposta inicial, com estabilidade tardia, é uma particularidade do domínio pesado do exercício. Na natação, não existem dados da cinética do VO_2 no domínio pesado do exercício, o que impossibilita uma comparação direta. Dados de triatletas em cicloergômetro, realizando transições na potência de pedal correspondente a $25\% \Delta$, foram obtidos por Reis et al. (2010) utilizando o sistema de snorkel e válvula acoplado ao analisador portátil. Seus resultados apresentam valores médios de $2484,0 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ e $209,3 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ para a amplitude do VO_2 na resposta primária e componente lento, respectivamente. Esses valores, associados ao VO_2 de base para a transição, fornecem uma amplitude total situada em $83\% \text{VO}_{2\text{pico}}$. Em comparação com os resultados do presente estudo estes valores são menores, provavelmente devido à menor fração do delta empregado por Reis et al. (2010) para assegurar as respostas do VO_2 no domínio

pesado, como também às respostas fisiológicas específicas do modo de exercício. Apesar de não haver estudos comparando as diferenças na cinética do VO_2 entre a natação e o ciclismo nos domínios do exercício, Roels et al. (2005) observaram diferenças inter-testes para o valor do $\text{VO}_{2\text{max}}$ obtido por nadadores e triatletas na piscina e no cicloergômetro, em decorrência do padrão de treinamento realizado pelos atletas de cada modalidade.

Para a transição realizada acima (2%) de PCR, em intensidade de $v_{71,1} (\pm 17,1) \% \Delta$ (aproximadamente $96,1 \pm 2,4\% v\text{VO}_{2\text{max}}$), a fase estável da cinética do VO_2 mostrou-se limitada ao seu valor máximo ($104,5 \pm 9,4\% \text{VO}_{2\text{max}}$), após a ocorrência do componente lento com início em $\sim 188\text{s}$ e amplitude de $399,0 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$. O aumento contínuo do VO_2 , suplementar à resposta primária, conduz ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ e caracteriza o domínio severo de intensidade (JONES; BURNLEY, 2009). Assim, na natação, PCR parece exercer o papel de parâmetro de “limiar de fadiga”, tão bem quanto suposto para VC na natação (DEKERLE et al. 2009) e PC no ciclismo ou corrida (WHIPP; ROSSITER, 2005). Isso pelo fato da projeção do VO_2 ao seu valor máximo durante o exercício no domínio severo estar associada aos mecanismos metabólicos determinantes da exaustão muscular: ineficiência oxidativa com a ativação precoce de fibras tipo II, acúmulo de lactato em decorrência da ativação do metabolismo láctico e aumento do custo energético da contração muscular (BERGER et al., 2006).

Na natação, os parâmetros de amplitude da cinética do VO_2 obtidos por Querido et al. (2006) equivaleram a $3001,9 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ e $560,5 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ para a resposta exponencial primária e componente lento, respectivamente, no domínio severo. Apesar de estes dados terem sido observados nos dois únicos nadadores homens da amostragem destes autores, com características antropométricas ($\sim 74,6\text{kg}$ e $\sim 176,0\text{cm}$) compatíveis com a amostragem do presente estudo e em intensidade de nado dentro do domínio severo (correspondente a $v\text{VO}_{2\text{max}}$ obtida em teste progressivo), a semelhança por comparação direta é prejudicada pela ausência de informação sobre o nível de condicionamento dos nadadores e a exata magnitude da intensidade de nado, em $\% \text{VO}_{2\text{max}}$, $v\% \Delta$ ou $\text{VO}_2\% \Delta$. Isso porque o estado de treinamento modifica a relação entre o VO_2 e a intensidade do esforço, bem como a margem entre a mínima e a máxima velocidade capaz de elicitar o $\text{VO}_{2\text{max}}$ (BURNLEY; JONES, 2007).

A comparação dos parâmetros temporais da cinética do VO_2 no domínio severo entre o presente estudo e os dois nadadores reportados por Querido et al. (2006),

revela que o tempo de início da resposta primária ($TD_1 = 14,3s$) e do componente lento ($TD_2 = 100,0s$), bem como para suas respectivas constantes de tempo de ajuste da resposta do VO_2 ($\tau_1 = 20,9s$ e $\tau_2 = 36,9s$) são diferentes daqueles apresentados em 2,0% acima de PCR. A aplicação da teoria da cinética do VO_2 na compreensão destas diferenças nos permite identificar uma resposta primária mais lenta e a ocorrência precoce do componente lento na condição de nado de Querido et al. (2006). Segundo Jones e Poole (2005) a resposta primária mais lenta está associada a um maior déficit de O_2 pela baixa oferta/extração de O_2 e ativação elevada da glicólise anaeróbia, que é observada entre indivíduos com níveis de treinamento diferentes na mesma condição de esforço, ou entre intensidades diferentes de exercício. Neste último caso, a instabilidade entre oferta e demanda de O_2 conduziria o VO_2 ao patamar máximo precocemente, o que é uma característica do exercício em intensidade próxima ao limite superior do domínio severo e que parece retratar melhor a condição analisada por Querido et al. (2006).

Desta forma, os dados do presente estudo na natação corroboram a tendência de análise da cinética do VO_2 , que é identificar perfis metabólicos distintos entre os domínios do exercício, e dinâmica de resposta diferente dentro do mesmo perfil metabólico, ao comparar diferentes sujeitos ou intensidades dentro do mesmo domínio. Algumas das tendências da cinética do VO_2 descritas por Carter et al. (2002), durante a corrida, nos domínios pesado e severo do exercício também foram observadas no presente estudo. De acordo com estes autores, a cinética do VO_2 na corrida apresenta aumento da amplitude da resposta primária e do componente lento com o incremento da intensidade (VO_2 em 80 e 100%LV e VO_2 em 20, 40, 60, 80 e 100% Δ), exceção à amplitude do componente lento entre as duas últimas intensidades maiores, nas quais, contudo, o VO_{2max} é atingido. Ainda segundo Carter et al. (2002), o padrão de resposta dos parâmetros temporais da cinética do VO_2 após LV apresenta constantes de tempo (τ_1) para o componente primário inalterado, mas tempos de início da reposta (TD_1) cada vez menores com a progressão da intensidade. Com relação ao tempo de início da resposta (TD_2) do componente lento, esses autores evidenciam a ocorrência mais precoce com o aumento da intensidade. Ao projetar o VO_2 nas intensidades desempenhadas no presente estudo ($\sim 37\%\Delta$ e $\sim 71\%\Delta$), pela amplitude da resposta primária da cinética do VO_2 (SCHEUERMANN et al., 2001), verifica-se que as intensidades equivaleram a $\sim 38\%\Delta VO_2$ (ou $83,0 \pm 5,7\%VO_{2max}$) e $\sim 82\%\Delta VO_2$, (ou 95,0

$\pm 6,5\%VO_{2max}$), respectivamente. Nestas intensidades, observou-se aumento das amplitudes da resposta do VO_2 (A_1' , $EEVO_2$ e $TotalVO_2$) com a mudança de domínio, exceção à magnitude constante do componente lento (A_2'). Os parâmetros temporais da cinética, não evidenciaram diferenças entre os domínios, exceção ao menor tempo de início da resposta primária do VO_2 (TD_1) no domínio severo. A diferença com relação ao estudo de Carter et al. (2002) até $80\%\Delta VO_2$ é observada apenas no componente lento, que não apresentou tendência no presente estudo em ocorrer mais cedo com a progressão da intensidade.

Em relação às respostas do componente lento do VO_2 nos domínios pesado e severo foram observadas tendências distintas quanto à ocorrência precoce e ao aumento da contribuição absoluta e relativa do componente lento para a amplitude final do VO_2 com a progressão da intensidade (OZYENER et al., 2001; CARTER et al., 2002; PRINGLE et al., 2003). No presente estudo, o componente lento esteve presente em considerável e inalterada magnitude absoluta em ambos os domínios analisados, tendo sua ocorrência mais tardia ($\sim 188s$) no domínio severo, porém rápida ($\sim 74s$) elevação à fase estável que esteve limitada ao valor máximo do VO_2 . Este perfil do VO_2 na natação pode estar associado a diferentes fatores, como (a) maior fração de ocorrência de LV e PCR em relação ao VO_{2max} , com conseqüente redução da margem de desenvolvimento do componente lento; e (b) em decorrência do treinamento aeróbio intensivo, que torna a resposta primária mais rápida e, desta forma, reduz o déficit de O_2 e a magnitude do componente lento (JONES; BURNLEY, 2009).

Resultados semelhantes para a ocorrência do componente lento na natação foram observados por Demarie et al (2001) com penta-atletas, cuja magnitude elevou o VO_2 a $114 \pm 10\%VO_{2pico}$ em velocidade de nado correspondente a $96\%VO_{2pico}$. Enquanto Fernandes et al. (2003) observaram valores de $274,1 \pm 152,8 \text{ ml.min}^{-1}$ para o componente lento em nadadores de alto nível, em velocidade equivalente a vVO_{2max} . Apesar destes dois estudos não empregarem o modelo de múltiplas exponenciais, os valores apresentados são coerentes com aqueles observados no presente estudo.

Desta forma, a prescrição da intensidade de nado em 2,5% abaixo e acima da velocidade em PCR apresentou alterações da cinética do VO_2 representativas dos domínios pesado e severo do exercício. Verificou-se também a compatibilidade destas intensidades com aquelas a 40 e $80\%\Delta VO_2$, que contextualizaram os domínios

pesado e severo do exercício em outras modalidades, como na corrida (CARTER et al., 2002) e no ciclismo (OZYENER et al, 2001). O PCR situou o limítrofe entre estes dois domínios a $\sim 51\% \Delta \text{VO}_2$ (ou $\sim 86\% \text{VO}_{2\text{max}}$), que é próximo ao limítrofe contextualizado em $\sim 85\% \text{VO}_{2\text{max}}$ pela potência crítica (CARTER et al., 2002), ou por $50\% \Delta \text{VO}_2$ em $\sim 87\% \text{VO}_{2\text{max}}$ (SCHEUERMANN et al., 2001).

Observa-se que a intensidade caracterizada por PCR aproxima-se daquela contextualizada por PC (ou VC) em outros estudos. A proximidade com a intensidade respectiva à PC (ou VC) é apropriada para analisar a resposta da cinética do VO_2 em intensidades abaixo ou até PCR, quando o exercício é sustentado até a exaustão. Para Jones e Poole (2005), o exercício em intensidade até CP (ou VC) projeta o VO_2 a um estado estável elevado e de ocorrência tardia, mas sem atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$, mesmo quando é conduzido até a exaustão. Pringle e Jones (2002) relataram que em intensidade equivalente à PC houve aumento significativo da concentração de lactato, da ventilação e do VO_2 ao longo de 30 minutos de ciclismo, o que provocou a exaustão voluntária em alguns sujeitos antes do tempo preconizado para a atividade, porém em nenhum caso o VO_2 atingiu seu valor máximo. No entanto, para esses últimos autores, essas repostas fisiológicas mostraram-se diferentes daquelas observadas em intensidade respectiva à MFEL. Também no ciclismo, Dekerle et al. (2005) encontraram diferenças na intensidade em CP ($85,4\% \text{VO}_{2\text{max}}$) e em PCR ($85,3\% \text{VO}_{2\text{max}}$) para com a intensidade em MFEL ($74,3\% \text{VO}_{2\text{max}}$), mas PC e PCR não apresentaram diferenças entre si. Apesar de PC (ou VC) e MFEL não ter sido estimada no presente estudo, a intensidade caracterizada por PCR ($86\% \text{VO}_{2\text{max}}$) não difere daqueles reportados na literatura, sugerindo que a cinética do VO_2 em PCR apresenta uma tendência de resposta semelhante aquela observada em PC (ou VC), mas possivelmente difere daquela em MFEL.

Contudo, os resultados apresentados por Dekerle et al. (2009), em velocidade de nado correspondente à VC, revelam instabilidade da concentração de lactato ($\Delta 1,37 \text{ mmol.L}^{-1}$) e baixa tolerância (24,3 min), sendo o VO_2 ao final do exercício ($95\% \text{VO}_{2\text{max}}$) não diferente do $\text{VO}_{2\text{max}}$. Desta forma, apenas a comparação direta entre VC e PCR responderia à questão sobre a intensidade contextualizada por VC na natação, de acordo com os diferentes modelos matemáticos, além de sua provável correspondência com à intensidade caracterizada pelo PCR. Por isso e pelos resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que ao empregar PCR como o

limite superior do domínio pesado reduz-se a quantidade de testes utilizados para estabelecer os limites dos domínios do exercício, como também a inerente variabilidade de determinação deste ponto, quando obtido pela potência crítica.

6.5 - REFERENCIAS

BEAVER, WL; WASSERMAN, K; WHIPP, BJ. A new method for detecting threshold by gas exchange. **J Appl Physiol**. 60 (6): 2020-2027, 1986.

BENEKE, R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. **Eur J Appl Physiol**. 88: 361–369, 2003.

BISHOP, D; JENKINS, DG; HOWARD, A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. **Int J Sports Med**. 19: 125-129, 1998.

BERGER, NJA; TOLFREY, K; WILLIAMS, AG; JONES, AM. Influence of Continuous and Interval Training on Oxygen Uptake On-Kinetics. **Med Sci Sports Exerc**. 38(3): 504-512, 2006.

BURNLEY, M; JONES, AM. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **Eur J Sport Sci**. 7 (2): 63–79, 2007.

CARTER, H; PRINGLE, JSM; JONES, AM; DOUST, JH. Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. **Eur J Appl Physiol**, 86: 347–354, 2002.

DEKERLE, J; BARON, B; DUPONT, L; VANVELCENAHAR, J; PELAYO, P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **Eur J Appl Physiol**, 89: 281–288, 2003.

DEKERLE, J; BRICKLEY, G; ALBERTY, M; PELAYO, P. Characterizing the slope of the distance-time relationship in swimming. **J Sci Med Sport**. 2009.

DEMARIE, S; SARDELLA, F; BILLAT, V; MAGINI, W; FAINA, M. The VO₂ slow component in swimming. **Eur J Appl Physiol**, 84: 95-99, 2001.

FERNANDES, RJ; CARDOSO, CS; SOARES, SM; ASCENSÃO, A; COLAÇO, PJ; VILAS-BOAS, JP. Time limit and VO₂ slow component at intensities corresponding to VO₂max in swimmers. **Int J Sport Med**, 24: 576-581, 2003.

JONES, AM; POOLE, DC. Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline. (03-36). In JONES, AM; POOLE, DC. (eds) **Oxygen uptake kinetics in sports, exercise and medicine**. Routledge: Abingdon, 2005.

JONES, AM; BURNLEY, M. Oxygen uptake kinetics: An underappreciated determinant of Exercise performance. **Int J Sports Physiol Perform**. 4: 524-532, 2009.

KESKINEN, KL; RODRÍGUEZ, FA; KESKINEN, OP. Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming. **Scand J Med Sci Sports**, 13:322–329, 2003.

MACHADO, L; QUERIDO, A; KERSKINEN, KL; FERNANDES, R; VILAS-BOAS, JP. Mathematical modelling of the slow component of oxygen uptake kinetics in front crawl. In: VILAS-BOAS JP, ALVES F, MARQUES A. (eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming X. **Rev Port Cienc Desp**, 6 (2): 144-146, 2006.

MORTON, R.H. The critical power and related whole-body bioenergetic models. **Eur J Appl Physiol**, 96: 339-354, 2006.

OZYENER, F; ROSSITER, HB; WARD, SA; WHIPP, BJ. Influence of exercise intensity on the on- and off-transients kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. **J. Physiol.** 533, 891-902, 2001.

POOLE, CP; WILKERSON, DP; JONES AM. Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercises tests. **Eur J Appl Physiol**. 102: 402-410, 2008.

PRINGLE, JS; JONES, AM. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. **Eur J Appl Physiol**, v 88: 214–226, 2002.

PRINGLE, JSM; DOUST, JH; CARTER, H; TOLFREY, T; CAMPBELL, IT; JONES, AM. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity ‘submaximal’ exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. **Eur J Appl Physiol**. 89: 289–300, 2003.

QUERIDO, A; MACHADO, L; KESKINEN, KL; VILAR, S; CARDOSO, C; CRUZ, A; VILAS-BOAS, JP; FERNANDES, R. Comparison between different methods for the assessment of the VO₂ slow component of Freestyle elite swimmers. In: VILAS-BOAS JP, ALVES F, MARQUES A. (eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming X. **Rev Port Cienc Desp**, 6 (2): 165-167, 2006.

REIS, JF, MILLET, GP, MALATESTA, V; ROELS, B; BORRANI, F; VLECK, VE; ALVES, FB. Are oxygen uptake kinetics modified when using 1 a respiratory snorkel? **Int J Sports Physiol Perform**. No prelo

ROELS, B; SCHMITT, L; LIBICZ, S; BENTLEY, D; RICHALET, J-P; MILLET, G. Specificity of VO_{2max} and the ventilatory threshold in free swimming and cycle ergometry: comparison between triathletes and swimmers. **Br J Sports Med** 39:965-968, 2005.

SCHEUERMANN, BW; HOELTING, BD; NOBLE, ML; BARSTOW, TJ. The slow component of O₂ uptake is not accompanied by changes in muscle EMG during repeated bouts of heavy exercise in humans. **J. Physiol.** 531, 245-256, 2001.

SMITH, CGM; JONES, AJ. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. **Eur J Appl Physiol**, 85: 19-26, 2001.

WHIPP, BJ; ROSSITER, HB. The kinetics of oxygen uptake: physiological inferences from the parameters. (62-94). In JONES, AM; POOLE, DC. (eds) **Oxygen uptake kinetics in sports, exercise and medicine**. Routledge: Abingdon, 2005.

7 - Conclusão

Observou-se a semelhança entre os parâmetros do modelo $P \cdot t_{\text{Lim}}^{-1}$ e $v \cdot t_{\text{Lim}}^{-1}$ no nado atado e livre. Semelhança igual também foi evidenciada ao comparar a concentração de lactato entre ambas as condições de nado. Isso permite caracterizar o nado atado como um contexto de grande especificidade na avaliação aeróbia do nadador e, provavelmente, como ferramenta auxiliar na preparação de base do atleta.

Contudo, as diferenças entre a intensidade correspondente a MFEL e a VC (ou PC) tende a aumentar quando as condições de teste são mais bem controladas, como foi constatado ao comparar os valores obtidos no nado atado e no nado livre. As implicações desta diferença são observadas diretamente na avaliação e prescrição do treinamento do nadador, pois o limite superior para o domínio pesado do exercício tende a não ser contemplado pelos parâmetros em MFEL e em VC (ou PC), uma vez que esses tendem a estar no do domínio pesado e severo, respectivamente.

A análise do limite superior do domínio pesado do exercício pelo PCR mostrou-se satisfatória, contemplando as respostas previstas para os domínios pesado e severo ao nadar em intensidade acima e abaixo, respectivamente, porém muito próxima à PCR. Contudo, esse resultado não confere facilidade ao trabalho do técnico, por ser a avaliação de PCR dependente de procedimentos e equipamentos pouco acessíveis ao uso diário. Torna-se, por isso, necessário estudos complementares da cinética do VO_2 e do perfil do lactato nas intensidades respectivas à PCR, VC (ou PC) e MFEL para melhor confirmar as semelhanças e as diferenças entre estas intensidades.

8 - Referências Gerais

- ALMEIDA, AG; CUNHA, FAP; ROSA, MRR; KOKUBUN, E. Força crítica em nado atado: relações com o lactato sangüíneo e o consumo de oxigênio. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**. v. 24, p. 47-59, 2002.
- BARON, B; DEKERLE, J; DEPRETZ, S, LEFEVRE, T; PELAYO, P. Self selected speed and maximal lactate steady state in swimming. **Journal of Sport Medicine and Physical Fitness**, v. 41, n. 1, p. 1-6, 2005a.
- BARON, B; DEKERLE, J; ROBIN, S, NEVIERE, R; DUPONT, L. Physiological responses during exercise performed to exhaustion at critical power. **Journal of Human Movement Studies**, v. 49, p. 169-180, 2005b.
- BARON, B; NOAKES, TD; DEKERLE, J; MOULLAN, F; ROBIN, S; MATRAN, R; PELAYO, P. Why does exercise terminate at the maximal lactate steady state intensity? **British Journal of Sports Medicine**, 2007.
- BARRET, DS; TRIANTAFYLLOU, MS; YUE, DKP. Drag reduction in fish-like locomotion. **Journal of Fluid Mechanics**. v. 392, p. 183-212, 1999.
- BARSTOW, TJ; JONES, AM; NGUYEN, PH; CASABURI, R. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 81, n. 4, p. 1642-1650, 1996.
- BARTHEL, KM. Swimming biomechanics: resistance and propulsion. **Swimming Technique**. v. 14, p. 66-72, 1977.
- BEAVER, WL; WASSERMAN, K; WHIPP, BJ. Improved detection of lactate threshold during exercise using log-log transformation. **Journal Applied Physiology**, v. 59, p. 1936-1940, 1985.
- BENEKE, R; HÜTLER, M; LEITHÄUSER, R. Maximal lactate steady-state independent of performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 32, p. 1135-1139, 2000.
- BENEKE, R. Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. **European Journal of Applied Physiology**. v. 88, p. 361-369, 2003.
- BENEKE, R; LEITHÄUSER, R; HÜTLER, M. Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. **British Journal of Sports Medicine**. v. 35, p. 192-196, 2001.
- BERGER, MAM; HOLLANDER, AP; DEGROOT G. Technique and energy losses in front crawl swimming. **Medicine Science and Sports Exercise**. v. 29, n. 11, p. 1491-1498, 1997.
- BILLAT, VL; DALMAY, F; ANTONINI, MT; CHASSAIN, AP. A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of

submaximal exercise. **European Journal of Applied Physiology**. v. 69, p. 196-202, 1994.

BILLAT, LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training: recommendations for long-distance running. **Sports Medicine**, v. 22, n. 3, p. 157-175, 1996.

BILLAT, LV; KORALSZTEIN, JP. Significance of the velocity at VO_{2max} and time to exhaustion at this velocity. **Sports Medicine**, v. 22, n. 2, p. 90-108, 1996.

BILLAT, VL; RICHARD, R; BINSSE, VM; KORALSZTEIN, JP; HAOUZI, P. The VO_2 slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. **Journal of Applied Physiology**. v. 85, p. 2118-2124, 1998.

BILLAT, VL; BLONDEL, N; BERTHOIN, S. Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. **European Journal Applied Physiology**, v. 80, p. 159-161, 1999.

BILLAT, LV; KORALSZTEIN, JP; MORTON, RH. Time in human endurance models: from empirical models to physiological models. **Sports Medicine**. v. 27, p. 359-379, 1999.

BILLAT, VL; MORTON, RH; BLONDEL, N; BERTHOIN, S; BOCQUET, V; KORALSZTEIN, JP; BARSTOW, TJ. Oxygen kinetics and modeling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. **European Journal Applied Physiology**, v. 82, p. 178-187, 2000.

BILLAT, VL; SIRVENT, P; PY, G; KORALSZTEIN, J-P; MERCIER, J. The concept of maximal lactate steady state a bridge between biochemistry, physiology and sport science. **Sports Medicine**. v. 33, n. 6, p. 407-426, 2003.

BILLAT, V; SIRVENT, P; LEPRETRE, PM; KORALSZTEIN, JP. Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance runners. **Pflugers. Arch.** v. 447, p. 875-883, 2004.

BISHOP, D; JEMKINS, DG; HOWARD, A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. **International Journal of Sports Medicine**, v. 19, p. 125-129, 1998.

BOLLENS, E; ANNEMANS, L; VAES, W; CLARYS, JP. Periferical EMG comparison between fully tethered and free front crawl swimming. In: UNGERECHTS, BE; WILKE, K; REISCHLE, K. (eds.) **Swimming Science V**. v. 18, p. 173-182, 1988.

BRICKLEY, G; DOUST, J; WILLIAMS, CA. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. **European Journal of Applied Physiology**. v. 88, p. 146-151, 2002.

BULL, AJ; HOUSH, TJ; JOHNSON, GO; RANA, SR. Physiological response at five estimates of critical velocity. **European Journal of Applied Physiology**. v. 102, n. 06, p. 711 - 720, 2008.

- BULL, AJ; HOUSH, TJ; JOHNSON, GO; PERRY, SR. Effect of mathematical modeling on the estimation of critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, p. 526-530, 2000.
- BURNLEY, M; DOUST, JH; CARTER, H; JONES, AM. Effects of prior exercise and recovery duration on oxygen uptake kinetics during heavy exercise in humans. **Experimental Physiology**, v. 86, n. 3, p. 417-425, 2001.
- CABRI, JMH; ANNEMANS, L; CLARYS, JP. The relation of stroke frequency, force, and emg in front crawl tethered swimming. In: UNGERECHTS, BE; WILKE, K; REISCHLE, K. (eds). **Swimming Science**. v. 1988: 18:183-189.
- CAPUTO, F; DENADAI, BS. The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. **European Journal of Applied Physiology**. v. 103, p. 47-57, 2008.
- CARTER, H; PRINGLE, JSM; JONES, AM; DOUST, JH. Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. **European Journal of Applied Physiology**, v. 86, p. 347-354, 2002.
- CHATARD, JC; COLLOMP, C; MAGLISCHO, EW. Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. **International Journal of Sports Medicine**. v. 11, p. 156 – 161, 1990.
- CLARYS, JP. Human morphology and hydrodynamics. In: TERAUDS, J; BEDINGFIELD, EW. (eds). **Swimming III**. v. 8, p. 3-41, 1979.
- COSTILL, DL; KING, DS; HOLDREN, A. HARGREAVES, M. Sprint speed vs. swimming power. **Swimming Technique**. v. 20, p. 20-22, 1983.
- CRAIG, AB; BOOMER, WF. Relationship between tethered and free swimming the front crawl stroke. **Journal of Biomechanics**. v. 13, 1980.
- DeGROOT G; INGEN SCHENAU, GV. Fundamentals mechanics applied to swimming: technique and propelling efficiency. In: UNGERECHTS BE, WILKE K, REISCHLE K (eds.) **Swimming Science V. International Series on Sports Sciences**. v. 18, p. 17-30, 1988.
- DEKERLE, J. The use of critical velocity in swimming: a place for critical stroke rate? In: VILAS-BOAS, JP; ALVES F; MARQUES A. (eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming X. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**; v. 6; n. 2; p. 201-205, 2006.
- DEKERLE, J; SIDNEY, M; HESPEL, J.M; PELAYO, P. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. **International Journal of Sports Medicine**, v. 23, p. 86-92, 2002.
- DEKERLE, J; BARON, B; DUPONT, L; VANVELCENAHAR, J; PELAYO, P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **European Journal of Applied Physiology**. v. 89, p. 281–288, 2003.

- DEKERLE, J; PELAYO, P; CLIPET, B; DEPRETZ, G; LEFEVRE, T; SIDNEY, M. Critical Swimming Speed Does not Represent the Speed at Maximal Lactate Steady State. **International Journal of Sport Medicine**. v. 26, p. 524–530, 2005.
- DEMARIE, S; SARDELLA, F; BILLAT, V; MAGINI, W; FAINA, M. The VO₂ slow component in swimming. **European Journal of Applied Physiology**. v. 84, p. 95-99, 2001.
- DiPRAMPERO, PE; PENDERGAST, DR; WILSON, DW; RENNIE, DW. Energetics of Swimming in Man. **Journal of Applied Physiology**, v. 1, n. 37, p. 1-5, 1974;
- DIPRAMPERO, PE. The concept of critical velocity: a brief analysis. **European Journal Applied Physiology**, v. 80, p. 162-164, 1999.
- DiPRAMPERO, PE; DEKERLE, J; CAPELLI, C; ZAMPARO, P. The critical velocity in swimming. **European Journal of Applied Physiology**. v. 102, n. 2, p. 165 – 171, 2008.
- DOPSAJ, M; MATKOVIC, I; ZDRAVKOVIC, I. The relationship between 50m – freestyle results and characteristics of tethered forces in male sprint swimmers: a new approach to tethered swimming test. **Physical Education and Sports**. v. 1, n. 7, p. 15-22, 2000.
- ENOKA, R. M. **Neuromechanical Basis of Kinesiology**. Human Kinetics: Champaign, 1994.
- GAESSER, GA; CARNEVALE, TJ; GARFINKEL, A; WALTER, DO; WOMACK, CJ. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 27, p. 1430-1438, 1995.
- GAESSER, GA; POOLE, DC. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Medicine and Science in Sport and Exercise**. v. 24, p. 35–71, 1996.
- GARLAND, SW; WANG, W. WARD, SA. Indices of electromyographic activity and the slow component of oxygen uptake kinetics during high-intensity knee-extension exercise in humans. **European Journal of Applied Physiology**, v. 97, p. 413 - 423, 2006.
- GRASSI, B. Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? **Exercise and Sport Science Review**. v. 29, n. 3, p. 134-138, 2001.
- GURD, BJ; SCHEUERMANN, BW; PETERSON, DH; KOWALCHUCK, JM. Prior heavy-intensity exercise speeds VO₂ kinetics during moderate-intensity exercise in young adults. **Journal of Applied Physiology**, v. 98, p. 1371-1378, 2005.
- HILL, DW; STEWARD JR, RP; LANE, CJ. Application of the critical power concept to young swimmers. **Pediatric Exercise Science**. v. 7, p. 281-293, 1995.
- HILL, DW; FERGUSON, CS. A physiological description of critical velocity. **European Journal Applied Physiology**, v. 79, p. 290-293, 1999.

HILL, DW; POOLE, DC; SMITH, JC. The relationship between power and the time to achieve VO_{2max} . **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, p. 709-714, 2002.

HOLMÉR, I. Physiology of Swimming Man. **Exercise Sport Sciences Review**: HUTTON; MILLER (eds.), v. 7, p. 87-123, 1979.

HOLMÉR, I. Energetics and Mechanical Work in Swimming. In: HOLLANDER, AP; HUIJING, PA; DeGROOT, G. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming**, Human Kinetics, Champaign, IL, p. 154-164, 1983;

HOUSH, TJ; DeVRIES, HA; HOUSH, DJ; TICHY, MW; SMYTH, KD; TICHY, AM. The relationship between critical power and the onset of blood lactate accumulation. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 31, p. 31-36, 1991.

HUIJING, PA; HOLLANDER, AP; DeGROOT, G. Efficiency and specificity of training in swimming: an Editorial. In: HOLLANDER AP., HUIJING PA., DEGROOT G. (eds.) **Biomechanics and Medicine Swim** 1983; 14: 1-6.

IKUTA, Y; WAKAYOSHI, K; NOMURA, T. Determination and validity of critical swimming force as performance index in tethered swimming. In: TROUP, JP; HOLLANDER, AP; STRASSE, D; TRAPPE, SW; CAPPAERT, JM; TRAPPE, TA. (eds): **Biomechanics and Medicine in Swimming VII**. London: E FN Spon, p. 146-151, 1996.

JACKSON, A.S.; POLLOCK, M.L. Practical assessment of body composition. **Physiological Sportsmedicine**. v. 13, n. 5, p. 88-95, 1985.

JONES, AM; DOUST, JH. The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 30, p. 1304–1313, 1998.

JONES, AM; MCCONNELL, AM. Effect of exercise modality on oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **European Journal of Applied Physiology**. v. 80, p. 213–219, 1999.

JONES, AM; POOLE, DC. Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline. (03-36). In JONES, AM; POOLE, DC. (eds) **Oxygen uptake kinetics in sports, exercise and medicine**. Routledge: Abingdon, 2005.

KANEKO, M. Mechanics and energetics in running with special reference to efficiency. **Journal of Biomechanics**. v. 23, n. 1, p. 57-63, 1990.

KESKINEN, KL; RODRÍGUEZ, FA; KESKINEN, OP. Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 13, p. 322 – 329, 2003.

KJENDLIE, P-L; THORSVALD, K. A tethered swimming power test is high reliable. In: VILAS-BOAS, JP; ALVES, F; MARQUES, A. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming X**. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto, v. 6, n. 2, p. 231-235, 2006.

KOLMOGOROV, SV; DUPLISHCHEVA, OA. Active Drag, Useful Mechanical Power Output and Hydrodynamic Force Coefficient in Different Swimming Strokes at Maximal Velocity. **Journal of Biomechanical**, v. 25, n. 3, p. 311-318, 1992;

KOPPO, K; BOUCKAERT, J. The Decrease in the VO_2 slow component induced by prior exercise does not affect the time to exhaustion. **International Journal of Sport Medicine**. v. 23, p. 262–267, 2002.

MACHADO, L; QUERIDO, A; KERSKINEN, KL; FERNANDES, R; VILAS-BOAS, JP. Mathematical modelling of the slow component of oxygen uptake kinetics in front crawl. In: VILAS-BOAS, JP; ALVES, F; MARQUES, A. (eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming X. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**. v. 6, n. 2, p. 201-205, 2006.

MAGLISCHO, EW; MAGLISCHO, CW; ZIER, DJ. The effect of sprint-assisted and sprint-resisted swimming on stroke mechanics. **Journal of Swimming Research**. v. 1, n. 2, p. 27 - 33, 1985.

MARTIN, RB; YEATER, RA; WHITE, MK. A simple analytical model for the crawl stroke. **Journal of Biomechanics**. v. 14, n. 8, p. 539-48, 1981.

MILLER, DI. Biomechanics of Swimming. In: WILMORE, JH; KOEGH, JF. (eds.) **Exercise Sports Science Review**. v. 03, 1975.

MILLET, GP; CHOLLET, D; CHALIES, S. Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. **International Journal of Sports Medicine**. v. 23, p. 99 - 104, 2002.

MONOD, H; SCHERRER, J. The work capacity of a synergistic muscular group. **Ergonomics**, v. 8, p. 329-338, 1965.

MORITANI, T; NAGATA, A; DeVRIES, HA; MURO, M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, v. 24, p. 339-350, 1981.

MORTON, RH; HODGSON, DJ. (1996) The relationship between power output and endurance: a brief review. **European Journal of Applied Physiology**. v. 73, p. 491–502, 1996.

MORTON, RH. The critical power and related whole-body bioenergetic models. **European Journal Applied Physiology**, v. 96, p. 339-354, 2006.

MORTON, RH; BILLAT, V. Maximal endurance time at $\text{VO}_{2\text{max}}$. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, p. 1496-1504, 2000.

MORTON, RH. A 3-parameter critical power model. **Ergonomics**, v. 39, p. 661-619, 1996.

OLBRECHT, J; CLARYS, JP. EMG of specific dry land training for the front crawl. In: HOLLANDER, AP; HUIJING, PA; DeGROOT, G. (eds). **Biomechanics and Medicine in Swimming**. Champaign: Human Kinetics. v. 14, p. 136 - 141, 1983.

PENDERGAST, DR; CAPELLI, C; CRAIG, Jr, AB; DiPRAMPERO, PE; MINETTI, AE; MOLLENDORF, J; TERMIN, A; ZAMPARO, P. Biophysics in swimming. In: VILAS-BOAS, JP; ALVES, F; MARQUES, A. (eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming X. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**. v. 6, p. 185-189, 2006.

PERANDINI, LAB; OKUNO, NM; KOKUBUN, E; NAKAMURA, FY. Correlações entre a força crítica e a velocidade crítica e suas respectivas frequências de braçada na natação. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**. v. 8, n. 4, p. 59-65, 2006.

PESSÔA FILHO, DM; MONTEIRO, HL. Efeitos da força muscular sobre a mecânica de nado e sobre a velocidade do crawl após treinamentos com peso.. In: **XI Congresso Brasileiro de Biomecânica, 2005**. João Pessoa. Anais do XI Congresso Brasileiro de Biomecânica, 2005.

PESSÔA FILHO, DM; NASCIMENTO, EP; DENADAI, BS. Validação do modelo potência-tempo limite no crawl-atado pelas relações com os modelos distância/tempo limite e velocidade/tempo limite. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**. v. 29, n. 2, p. 95-114, 2008.

PESSÔA FILHO, DM; DENADAI, BS. Mathematical basis for modeling swimmer power output in the front crawl tethered swimming: an application to aerobic evaluation. **The Open Sports Science Journal**. v. 7, p. 31-37, 2008.

PETRIAIEV, A; KLESHNEV, I. Diagnostic, training and realization of strength condition of swimmer with use of feedback diagnostic simulator art. In: VILAS-BOAS, JP; ALVES, F; MARQUES, A. (eds.) Biomechanics and Medicine in Swimming X. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**. v. 6, n. 2, p. 244 – 246, 2006.

POOLE, DC; WARD, SA; GARDNER, G; WHIPP, BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. **Ergonomics**. v. 31, p. 1265–1279, 1988.

POOLE, DC; BARSTOW, TJ; GAESSER, GA; WILLIS, WT; WHIPP, BJ. VO₂ slow component: physiological and functional significance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 26, n. 11, p. 1354-1358, 1994.

POOLE, CP; WILKERSON, DP; JONES AM. Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercises tests. **European Journal of Applied Physiology**. v. 102, p. 402-410, 2008.

PRINGLE, JS; JONES, AM. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. **European Journal of Applied Physiology**. v. 88, p. 214–226, 2002.

PRINGLE, JS; DOUST, JH; CARTER, H; TOLFREY, K; CAMPBELL, IT; SAKKAS, GK; JONES, AM. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity “submaximal” exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. **European Journal of Applied Physiology**. v. 89, p. 289–300, 2003.

ROUARD, AH; AUJOUANNET, YA; HINTZ, F; BONIFAZI, M. Isometric force, tethered force and power ratios as tools for the evaluation of technical ability in freestyle swimming. In: VILAS-BOAS, JP; ALVES, F; MARQUES, A. (eds.)

Biomechanics and Medicine in Swimming X. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**. v. 6, n. 2, p. 249-250, 2006.

SAHLIN, K; SORENSEN, JB; GLADDEN, LB; ROSSITER, HB; PEDERSEN, PK. Prior heavy exercise eliminates VO_2 slow component and reduces efficiency during submaximal exercise in humans. **Journal of Physiology**, v. 563, n. 3, 765-773, 2005.

SCHEUERMANN, BW; HOELTING, BD; NOBLE, ML; BARSTOW, TJ. The slow component of O_2 uptake is not accompanied by changes in muscle EMG during repeated bouts of heavy exercise in humans. **Journal of Physiology**, v. 531, p. 245-256, 2001.

SCHLEIHAUF, RE. A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In TERAUDS, J; BEDINGFIELD, EW. (eds.). **Swimming III**. v. 3, 1979.

SCHLEIHAUF, RE. Specificity of Strength Training in Swimming: a Biomechanical Viewpoint. In: HOLLANDER, AP; HUIJING, PA; DEGROOT, G. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming**. Human Kinetics, Champaign, IL. p. 184-191, 1983.

SCHLEIHAUF, RE; GRAY, L; DEROSE, J. Three dimensional analysis of hand propulsion in the sprint front crawl stroke. In: HOLLANDER, A.; HUIJING, P.; DEGROOT, G. (eds) **Biomechanics and Medicine in Swimming III**. Champaign: Human Kinetics. p. 184-191, 1983.

SILVA, W.P.E.; SILVA, C.M.D.P.S. **LAB Fit Ajuste de Curvas**. v 7.2.14 c, 2003. www.angelfire.com/rnb/labfit/index_p.h.

SMERKAL, G; SCHARL, A; VON DUVILLARD, SP; POKAN, R; BACA, A; BARON, R; TSCHAN, H; HOFMANN, P; BACHL, N. Accuracy of neuro-fuzzy logic and regression calculations in determining maximal lactate steady-state power output from incremental tests in humans. **European Journal of Applied Physiology**. v. 88, p. 264-274, 2002.

SMITH, CGM; JONES, AM. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. **European Journal Applied Physiology**, v. 85, p. 19-26, 2001.

TOUSSAINT HM, VAN DER HELM, FCT; ELZERMAN, JR. A power balance applied to swimming. In: HOLLANDER, AP, HUIJING, PA, DeGROOT, G. (eds.) **Biomechanics and Medicine in Swimming**. International Series on Sport Science, Champaign: Human Kinetics. v. 14, p. 258-263, 1983.

TOUSSAINT, HM. Differences in Propelling Efficiency Between Competitive and Triathlon Swimmers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 22, n. 03, p. 409-415, 1990.

TOUSSAINT, HM; VERVOORN, K. Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. **International Journal of Sports Medicine**. v. 11, p. 228 - 233, 1990.

TOUSSAINT, HM; WAKAYOSHI, K; HOLLANDER, AP; OGITA F. Simulated front crawl swimming performance related to critical speed and critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, p. 144-151, 1998.

TOUSSAINT, HM; ROSS, PE; KOLMOGOROV, S. The determination of drag in front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*. v. 37, p.1655 – 1663, 2004.

TOUSSAINT, HM; CAROL, A; KRANENBORG, H; TRUIJENS, MJ. Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 38, n. 9, p. 1635 – 1642, 2006.

WAKAYOSHI, K; IKUTA, K; YOSHIDA, T; UDO, M; MOTITANI, T; MUTOH, Y; MIYASHITA, M. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. **European Journal Applied Physiology**, v. 64, p. 153-157, 1992.

WAKAYOSHI, K; YOSHIDA, T; UDO, M; HARADA, T; MORITANI, T; MUTOH, Y; MIYASHITA, M. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? **European Journal of Applied Physiology**, v. 66, p. 90–95, 1993.

WAKAYOSHI, K; D'ACQUISTO, LJ; CAPPAERT, JM; TROUP, JP. Relationship Between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. **International Journal of Sports Medicine**. v. 16, p. 19-23, 1995.

WEYAND, PG; BUNDLE, MW. Energetics of high-speed running: integrating classical theory and contemporary observations. **American Journal of Physiology and Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**. v. 288, R956 - R965, 2005.

VORONTSOV, A; POPOV, O; BINEVSKY, D. DYRKOV, V. The assessment of specific strength in well-trained male athletes during tethered swimming in the swimming flume. In: Vilas-Boas, JP; Alves, F; Marques, A. (eds.) *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 6, n. 2, p. 275-277, 2006.

WARD-SMITH, A.J. Aerobic and anaerobic energy conversion during high-intensity exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, p. 1855-1860, 1999.

WARING, J. Drag is not enough. **Swimming Technique**, v. 39, n. 4, 2003;

WHIPP, BJ; WARD, SA. Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 22, p. 62-71, 1990.

WHIPP, BJ; WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. **Journal of Applied Physiology**, v. 33, p. 351-356, 1972.

WHIPP, BJ; WARD, SA; ROSSITER, HB. Pulmonary O₂ uptake during exercise: conflating muscular and cardiovascular responses. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, p. 1574–1585, 2005.

XU, F; RHODES, EC. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports Medicine**, v. 27, p. 313-27, 1999.

YEATER, RA; MARTIN, RB; WHITE, MK; GILSON, KH. Tethered swimming forces in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. **Journal of Biomechanics**. v. 14, n. 8, p. 527-37, 1981.

9 - Anexo

9.1 - Termo de consentimento livre e esclarecido

Rio Claro, _____ de _____ de 20 _____

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O protocolo de pesquisa que ora o Senhor(a) será submetido(a) visa estabelecer a relação entre tempo do exercício até a exaustão e intensidade de carga atada ao nadador. A necessidade em estabelecer esta relação está voltada à efetividade do treinamento, pois ao determinar cargas individuais de treinamento pode-se estruturar um treinamento resistido específico para nadadores, sem riscos de sobrecargas musculares e lesões. O treinamento resistido é o nome que nas pesquisas científicas se dá à musculação. O sistema utilizado para este treinamento na piscina é o nado-atado e, no caso desta pesquisa, será nadado o crawl. Espera-se, enquanto benefício, melhorar a força propulsiva de nado e, assim, o desempenho em competições.

O sistema não oferece riscos de lesão, pois as cargas serão determinadas individualmente, respeitando a condição de força de cada nadador. Não há perigo de se machucar com a carga, porque o nado é realizado distante 5 a 7 metros do local onde está o sistema com as cargas anexadas.

Os métodos invasivos para a coleta de dados serão realizados para a coleta da amostras de sangue, totalizando um volume de 25ul por série de análises. Além do lactato, o consumo de O₂ e o tempo de nado serão registrados. Algumas medidas antropométricas serão coletadas para se obter noções de tamanho e formato corporal, através de procedimentos usuais e indolores.

Durante o teste, o nadador deverá nadar, sem deslocamento, contra uma carga até não agüentar mais, ou até o comando de interrupção dado pelo professor, técnico ou pesquisador. Fica resguardado seu direito de desistir de participar desta pesquisa, em qualquer momento durante sua realização e sem qualquer aviso prévio. Todas as informações coletadas serão divulgadas em veículos próprios de difusão de estudos acadêmicos, sem que seja sua identidade revelada.

Todo e qualquer dano provocado pelo protocolo de pesquisa será reparado pelo pesquisador responsável

Eu, abaixo assinado, declaro que li e concordo em participar, de forma livre e espontânea, do protocolo experimental da pesquisa intitulada **Modelamento da relação entre potência metabólica e tempo de exaustão no crawl-atado e sua aplicação na caracterização dos domínios de intensidade de nado**, sob a supervisão dos professores Dalton Muller Pessoa Filho e Benedito Sérgio Denadai. Declaro ainda, que autorizo a divulgação dos resultados em veículos especializados na área de interesse da pesquisa.

(assinatura do voluntário)
(RG)

Prof. Ms. Dalton Müller Pessoa Filho
(responsável pela pesquisa)

Prof. Dr. Benedito Sérgio Denadai
(responsável pela pesquisa)

9.2 - Aprovação do Comitê de Ética Local:

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista – UNESP, em sua 42ª Reunião Ordinária realizada no dia 04 de Junho de 2008, no Prédio do STI da Faculdade de Ciências da UNESP, Campus de Bauru, às 09h00, após análise do parecer emitido pelo relator **APROVA** o projeto "Modelamento da relação entre potência metabólica e tempo de exaustão no crawl-atado e sua aplicação na caracterização de domínios de intensidade de nado", Processo nº 876/46/01/08, sob responsabilidade do Professor MSc. Dalton Müller Pessoa Filho.

Bauru (SP), 04 de Junho de 2008

PROF. DR. PAULO NORONHA LISBOA FILHO
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa