

**Carlos Augusto Kalva Filho**

**VALIDAÇÃO DE UM TESTE ESPECÍFICO PARA DETERMINAÇÃO DO  
MÁXIMO DÉFICIT ACUMULADO DE OXIGÊNIO (MAOD) E DA MÁXIMA  
FASE ESTÁVEL DE LACTATO EM NADO ATADO**

**Presidente Prudente**

**2013**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Presidente Prudente

**Carlos Augusto Kalva Filho**

**VALIDAÇÃO DE UM TESTE ESPECÍFICO PARA DETERMINAÇÃO DO  
MÁXIMO DÉFICIT ACUMULADO DE OXIGÊNIO (MAOD) E DA MÁXIMA  
FASE ESTÁVEL DE LACTATO EM NADO ATADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT/UNESP, campus de Presidente Prudente, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Papoti  
Coorientador: Prof. Dr. Alessandro Moura Zagatto

**Presidente Prudente  
2013**

## FICHA CATALOGRÁFICA

K22v Kalva-Filho, Carlos Augusto.  
Validação de um teste específico para determinação do máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) e da máxima fase estável de lactato em nado atado / Carlos Augusto Kalva-Filho. – Presidente Prudente: [s.n.], 2013  
166 f.

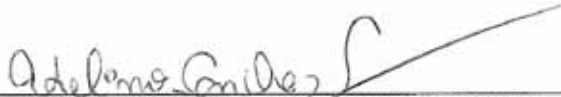
Orientador: Marcelo Papoti  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Inclui bibliografia

1. Máximo déficit acumulado de oxigênio. 2. Teste de lactato mínimo. 3. Esforço máximo de três minutos. 4. Nado atado. I. Papoti, Marcelo II. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Validação de um teste específico para determinação do máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) e da máxima fase estável de lactato em nado atado.

**BANCA EXAMINADORA**



PROF. DR. MARCELO PAPOTI  
(ORIENTADOR)



PROF. DR. ADELINO SANCHEZ RAMOS DA SILVA  
(USP/RIBEIRÃO PRETO)



PROF. DR. RÔMULO ARAÚJO FERNANDES  
(FCT/UNESP)



CARLOS AUGUSTO KALVA FILHO

PRESIDENTE PRUDENTE (SP), 14 DE JUNHO DE 2013.

RESULTADO: APROVADO

---

Dedicatória

Dedico esta dissertação as pessoas mais importantes da minha vida,  
meu pai Carlos Augusto Kalva, minha mãe Marlene Gomes Kalva e minhas  
irmãs Anne Caroline Kalva e Denielle Cristyane Kalva Borato,  
que durante toda a minha formação não mediram esforços para que eu  
chegasse a mais esta conquista.



Há tanto a agradecer...

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me proporcionado as condições necessárias para que a minha vida chegasse a este ponto, por ter colocado em meu caminho as pessoas certas, por todas as conquistas alcançadas até aqui e, principalmente, por continuar guardando e protegendo todos que eu amo e tenho carinho.

Muito obrigado meu Deus por mais esta etapa concluída e pelo momentos tão singulares que eu pude viver até este momento da minha vida.

Agradeço ao meu pai Carlos Augusto Kalva, que sempre foi um exemplo de caráter e honestidade, a você eu devo grande parte do homem que me tornei, meu eterno agradecimento por nunca ter desistido da vida! À minha mãezinha querida, Marlene Gomes Kalva, que além de uma educação exemplar sempre me proporcionou um exemplo de como uma pessoa deve ser trabalhadora, a você mãezinha meus eternos agradecimentos, principalmente por ter aguentado e perdoado, todos os meus desvios de conduta desde a época de colégio até a faculdade.

Agradeço também as minhas irmãs Danielle Cristyane Kalva Borato e Anne Caroline Kalva, que ao longo destes anos tem ajudado tanto na formação do meu caráter como na minha formação acadêmica, a vocês gorduchas eu agradeço, além de tudo por serem minhas amigas, por sempre estarem comigo em todas as alegrias e dificuldades. Preciso agradecer também ao meu cunhado Ricardo Borato, por proporcionar uma das maiores alegrias recentes de nossa família, o nascimento da Camille, que deu novos rumos as nossas existências.

Como poderia deixar de agradecer meus amigos de longa data, que mesmo com minha ausência permaneceram ao meu lado e também fazem parte da minha formação pessoal, Carlos Maurício Zaremba (Zab), Guilherme



Vinícius Zaremba (Gui), Carlos Maciel Endler Lima (Carlinhos), Alexandre Horie (Horimel), Cassiano Schultz Garcia da Luz (Schultão), Cassiano Moro Piekarski (Cassimel), Eduardo Iglez Machado (Dudu Palmeira), Bruno Henrique de Oliveira (Sucesso), Bruno Remus Malaquias (Brunão), Lucas Antonio Bueno Vieira (Lucão), Bruno Silva Vieira (...) e Vanessa Holtz Franco (Vana). Queria agradecer especialmente o João Paulo Loures (Paulinho), por ter me aguentado em Presidente Prudente por tanto tempo e ao Prof. Edson Itaru Kaminagakura (Japa) por ter sido o meu primeiro orientador, acreditando na minha capacidade desde o primeiro contato, sendo sempre um amigo a quem já devo muito na vida, tanto em bens materiais como espirituais. Agradeço também a todos os novos amigos que fiz em presidente prudente, não correndo o risco de esquecer vários nomes, aponto para todos que conheço na UNESP e para os integrantes do Pulga, Barraco e, especialmente, Capim Canela. A todos meus sinceros agradecimentos e por vezes espero que aceitem minhas desculpas.

Aos meus amigos de laboratório José Gerosa Neto (Netera), Fabrício Rossi (Guinominho), Camila Dantas Brum (Camilinha), Pablo Barreto (Pablão), Ronaldo Bucken Gobbi (Ronaldão), Rafael Gavassa de Araújo (Rafinha), Guilherme Navarro Schneider (“jogadô”), Fabio Milioni (Fabinho), Ricardo Barbieri (Rica), Eduardo Sangali (Dudu), Eduardo Campos (Duzão) e, aqueles que eu tentei contribuir mais incisivamente para a formação acadêmica, Monique Yndawe Castanho de Araújo (Moniquinha) e Vitor Luiz de Andrade (Vitão). Também agradecimentos especiais a Maria Souza Silva (Mary), por ter aceitado morar comigo e por ter garantido a minha sobrevivência nas fases iniciais dessa jornada. A todos muito obrigado por me aguentarem durante o cotidiano e por terem grande influencia na minha formação acadêmica, contem sempre comigo.

Gostaria de agradecer imensamente ao meu orientador Marcelo Papoti, por tanta paciência, dedicação e tempo gastos para a minha evolução acadêmica. Devo muito a você, tanto em questões profissionais como por ser um exemplo de educação, cordialidade e igualdade. Espero ter demonstrado competência para fazer jus a todas as oportunidades que você me deu, justificando assim toda a sorte que tive. Agradeço também ao meu coorientador Alessandro Moura Zagatto, principalmente pela sinceridade característica a pessoa, que por alguns anos tem me ajudado a não perder o foco.

Aos professores, Pedro Balikian Junior, Ismael Forte Freitas Junior, Rômulo Araujo Fernandes, Manoel Carlos Spiguel Lima e Carlos Marcelo Pastre, pela ajuda incondicional para a realização do presente trabalho ou pelos ensinamentos sempre necessários. Também não poderia deixar de agradecer os técnicos Elvancir Pereira do Nascimento, Cristiano Maurício da Silva e Maria da Silva, bem como os atletas participantes, pela imensa disponibilidade e vontade com que participaram do presente trabalho.

Além disso, é de extrema importância os agradecimentos a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por ter apoiado financeiramente a execução da presente dissertação (processo: 2011/ 05357-9).



“A tarefa não é tanto ver o que ninguém viu, mas pensar o que ainda ninguém  
pensou sobre aquilo que todo mundo vê”

Arthur Schopenhauer

“O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é aquele  
que faz as verdadeiras perguntas”

Claude Lévi-Strauss

## SUMÁRIO

APOIO FINANCEIRO-----	I
LISTA DE FIGURAS-----	II
LISTA DE TABELAS E QUADROS-----	V
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS-----	VII
RESUMO-----	IX
ABSTRACT-----	X
1. INTRODUÇÃO-----	1
2. REVISÃO DA LITERATURA-----	6
2.1. Capacidade vs potência-----	6
2.2. Capacidade aeróbia-----	6
2.2.1. Máxima fase estável de lactato (MFEL)-----	7
2.2.2. Determinação da MFEL por meio de esforços incrementais-----	9
2.2.3. Determinação da MFEL por meio do teste de lactato mínimo-----	13
2.3. Capacidade anaeróbia-----	16
2.3.1. Biópsia muscular-----	17
2.3.2. Máximo déficit acumulado de O <sub>2</sub> (MAOD)-----	17
2.3.3 MAOD determinado maneira reduzida (MAOD <sub>RED</sub> )-----	22
2.4. Métodos indiretos para a determinação das capacidades aeróbia e anaeróbia: Modelo de potência crítica-----	27
2.4. Capacidades aeróbia e anaeróbia na natação-----	30
2.5. Considerações sobre os métodos de avaliação apresentados -----	33
3. OBJETIVOS -----	36
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	36
4. MATERIAIS E MÉTODO-----	36
4.1. PLANO DE TRABALHO-----	36
4.2. ESTUDOS PILOTO-----	37
4.2.1 INTRODUÇÃO DOS ESTUDOS PILOTO-----	37
4.2.2. MATERIAIS E MÉTODO DOS ESTUDOS PILOTO-----	39

<b>4.2.3. RESULTADOS DOS ESTUDOS PILOTO-----</b>	<b>42</b>
<b>4.2.4. CONSIDERAÇÕES PARTICIAIS A PARTIR DOS RESULTADOS PROVENIENTES DOS ESTUDOS PILOTO -----</b>	<b>45</b>
<b>4.3. PROJETO DE PESQUISA-----</b>	<b>47</b>
<b>4.3.1. MATERIAIS E MÉTODO-----</b>	<b>47</b>
<b>4.3.2 RESULTADOS-----</b>	<b>59</b>
<b>5. DISCUSSÃO-----</b>	<b>79</b>
<b>6. CONCLUSÕES-----</b>	<b>95</b>
<b>7. CONSIDERAÇÃO FINAL-----</b>	<b>96</b>
<b>8. REFERÊNCIAS-----</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS-----</b>	<b>118</b>

## **APOIO FINANCEIRO**

A presente dissertação de mestrado e todos os estudos vinculados a este projeto de pesquisa tiveram o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo: 2011/ 05357-9

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Determinação da máxima fase estável de lactato (MFEL) a partir das concentrações sanguíneas de lactato ([Lac]) observadas durante esforços constantes realizados em dias distintos.----- 8
- Figura 2.** Comportamento das concentrações sanguíneas de lactato ([Lac]) em função da intensidade durante um teste incremental. OBLA: capacidade aeróbia determinada por meio do método de concentração fixa em 4 mM.-----11
- Figura 3.** Comportamento das concentrações sanguíneas de lactato ([Lac]) em função da intensidade durante um teste incremental e determinação do limiar anaeróbio (LAN) por meio do método bi-segmentado.----- 12
- Figura 4.** Comportamento das concentrações sanguíneas de lactato ([Lac]) em função da intensidade durante um teste incremental realizado após indução prévia a hiperlactacidemia (teste de lactato mínimo). ILM: intensidade correspondente ao lactato mínimo.----- 14
- Figura 5. A.** Exemplo de regressão e extrapolação linear, dos pontos obtidos da relação entre o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) e as velocidades submáximas (50-95%  $vVO_{2MAX}$ ), realizados para obtenção demanda energética teórica (Ce110%). **B.** Consumo de oxigênio acumulado (COA) observado durante o teste supra- máximo e determinação do MAOD (Ce110% - COA).----- 19
- Figura 6.** Comportamento da força obtida durante o esforço máximo de três minutos realizado em nado atado (média correspondente aos círculos abertos e desvio padrão correspondente às linhas tracejadas).----- 43
- Figura 7.** Análise da concordância entre os tempos até a exaustão ( $T_{lim}$ ) observados nas intensidades correspondentes a 100 e 110% da  $FP_{TI}$  (i.e. força pico observada durante o teste incremental).----- 45



- Figura 8.** Relação entre o peso lido e o peso colocado resultante do experimento realizado para testar a linearidade do sistema de mensuração da força.----- 49
- Figura 9.** Desenho esquemático do posicionamento do nadador e dos equipamentos utilizados para a mensuração da força durante o esforço máximo de três minutos.----- 50
- Figura 10.** Demandas de  $O_2$  para os valores de força observados a cada segundo de teste, determinadas por meio da extrapolação da relação  $VO_2$ -intensidade (símbolos vazios) e o consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ ) observado durante todo o esforço máximo (símbolos cheios). O máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) foi assumido como a diferença entre a integral das demandas de  $O_2$  para os valores de força e a integral do  $VO_2$  ( $VO_2$  acumulado).----- 54
- Figura 11.** Comportamento do consumo de oxigênio nas fases de repouso (linha base), esforço supra-máximo e pós-exercício, evidenciando o consumo excessivo de  $O_2$  (EPOC).----- 56
- Figura 12.** Relação linear entre as intensidades submáximas (relativas à força pico do teste incremental;  $FP_{TI}$ ) e o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) observado nos dez esforços submáximos, nas situações teste e reteste. O desvio padrão (DP) tanto do  $VO_2$  (DP teste= 0,5 até 1,3 L; DP reteste= 0,5 até 0,9 L) como do %  $FP_{TI}$  (DP teste= 10,8 até 19,7; DP reteste= 9,8 até 16,7 %) foram omitidos para uma melhor visualização da relação  $VO_2$ -intensidade.----- 60
- Figura 13.** Valores individuais das diferenças percentuais, observadas entre os valores de  $MAOD_{RED}$ , determinados na situação teste (A) e reteste (B), e o  $MAOD$  convencional.  $MAOD_{RED}$ : máximo déficit acumulado de oxigênio determinado por meio de um único esforço máximo.----- 66
- Figura 14.** Análise da concordância entre o máximo déficit acumulado de  $O_2$  determinado de maneira convencional ( $MAOD$ ) e por meio de um único esforço

exaustivo (MAOD<sub>RED</sub>), nas situações de teste (A e C) e reteste (B e D). As linhas cheias horizontais representam as diferenças médias entre as duas situações e as linhas tracejadas os limites superior e inferior do intervalo de confiança de 95%.----- 67

**Figura 15.** Comportamento das concentrações de lactato ([Lac]) durante a fase incremental do teste de lactato mínimo nas situações teste e reteste. A equação polinomial resultante da situação teste ( $y = (0,004 \cdot x^2) - 0,64x + 27,37$ ;  $R^2=0,99$ ) teve derivada zero equivalente a 76,5% e a da situação reteste ( $y = (0,01 \cdot x^2) - 0,90x + 34,49$ ;  $R^2= 0,96$ ) foi de 72,4 %. %PF<sub>GET</sub>: percentual da força pico atingida no teste incremental.----- 69

**Figura 16.** Relação entre o limiar anaeróbio (LAN) e a intensidade correspondente ao lactato mínimo (ILM), além da análise de concordância entre estas metodologias de determinação da capacidade aeróbia.----- 72

**Figura 17.** (A) Comportamento da força durante o esforço máximo de três minutos nas situações teste e reteste. (B) Força desenvolvida durante o esforço máximo de três minutos expressa por médias a cada 15s. \* diferença significativa entre as situações teste e reteste ( $p < 0,05$ ). O desvio padrão (DP) do painel (A) foi omitido para melhor visualização do comportamento (teste: DP= 9,1 até 20,3 N; reteste: DP= 8,35 até 19,3 N).----- 73

**Figura 18.** Comportamento médio da força durante o esforço máximo de três minutos realizado em nado atado. O desvio padrão (DP) foi omitido para a melhor visualização do comportamento (variação do DP= 11,9 a 28,5) As linhas tracejadas representam a força relativa a força pico atingida no teste incremental (FP<sub>TI</sub>) e ao limiar anaeróbio (LAN).----- 75

**Figura 19.** Comportamento médio e desvio padrão da força observada durante o esforço máximo de três minutos realizado em nado atado.----- 77

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

- Tabela 1.** Coeficientes de correlação entre os parâmetros provenientes do esforço máximo de três minutos (Força pico, força média, índice de fadiga, força crítica ( $FC_{3MIN}$ ), área do trabalho realizado acima da  $FC_{3MIN}$  ( $W'_{3MIN}$ , impulso aeróbio e impulso total) e os índices fisiológicos estudados.----- 44
- Tabela 2.** Coeficientes de correlação obtidos entre a Força crítica ( $FC_{NA}$ ), capacidade de nado anaeróbio ( $W'_{NA}$ ), força pico (FP), força média (FM) e o índice de fadiga (IF) determinados em nado atado por meio do esforço máximo de três minutos e as velocidades médias nas distâncias de 200 (T200m) e 400m (T400m).----- 44
- Tabela 3.** Valores médios (desvio padrão), erro típico (ET), coeficiente de variação (CV%) e correlação intraclasse (ICC), da força máxima atingida durante o teste incremental ( $FP_{TI}$ ) e dos parâmetros provenientes da relação  $VO_2$ -intensidade, nas situações de teste e reteste.----- 59
- Tabela 4.** Valores médios (desvio padrão), erro típico (ET), coeficiente de variação (CV%) e correlação intraclasse (ICC), das variáveis observadas durante o esforço máximo, nas situações teste e reteste.----- 61
- Tabela 5.** Valores individuais e médios (desvio padrão), dos valores de MAOD demonstrados de maneira absoluta (L) e relativa a massa corporal total ( $mL.kg^{-1}$ ), nas situações de teste e reteste.----- 62
- Tabela 6.** Valores médios (desvio padrão), efeito do tamanho (ES), erro típico (ET), coeficiente de variação (CV%) e correlações intraclasse (ICC), para as variáveis do esforço exaustivo e para os parâmetros envolvidos na determinação das contribuições anaeróbias, nas situações de teste e reteste. --  
----- 64
- Tabela 7.** Valores individuais, média, desvio padrão (MD (DP)) e diferença percentual ( $\Delta$ ), do máximo déficit acumulado de  $O_2$  determinado por meio de

um único esforço exaustivo ( $MAOD_{RED}$ ) demonstrado de maneira absoluta (L) e relativa ao peso corporal total ( $mL \cdot kg^{-1}$ ), nas situações teste e reteste.----- 65

**Tabela 8.** Valores individuais, média (desvio padrão) (MD (DP)) e diferença absoluta (N) e percentual, para a intensidade correspondente ao lactato mínimo (ILM), observada nas situações teste e reteste.----- 70

**Tabela 9.** Valores individuais, média (desvio padrão) (MD (DP)) e diferença absoluta (N) e percentual, para os valores de limiar anaeróbio (LAN) e intensidade correspondente ao lactato mínimo (ILM).----- 71

**Tabela 10.** Valores médios (desvio padrão), effect size (ES), erro típico (ET), coeficiente de variação (CV%) e índices de correlação intracasse (ICC), para os parâmetros provenientes do esforço máximo de três minutos realizado em nado atado, nas situações teste e reteste.----- 74

**Tabela 11.** Comparações e correlações da força crítica determinada pelo esforço máximo de três minutos ( $FC_{3MIN}$ ) e os índices aeróbios provenientes do teste incremental. ----- 75

**Tabela 12.** Média, desvio padrão (DP), e intervalo de confiança de 95% (IC95%), das variáveis provenientes do esforço máximo de três minutos realizado em nado atado.----- 78

**Tabela 13.** Coeficientes de correlação observados entre as variáveis provenientes do esforço máximo de três minutos e o máximo déficit acumulado de  $O_2$  (MAOD).----- 79

**LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

LAN: limiar anaeróbio

FP<sub>TI</sub>: máxima força atingida no teste incremental

VO<sub>2</sub>: consumo de oxigênio

VO<sub>2</sub>-intensidade: relação entre o VO<sub>2</sub> e a intensidade submáxima

FC<sub>3MIN</sub>: força crítica

W'<sub>3MIN</sub>: força realizada acima da FC<sub>3MIN</sub>

MAOD<sub>RED</sub>: MAOD determinado por meio de apenas um esforço máximo

ILM: intensidade de lactato mínimo

MAOD: máximo déficit de oxigênio acumulado

DeT: demanda energética teórica

EPOC<sub>RAP</sub>: componente rápido do consumo excessivo de oxigênio observado após o exercício

VO<sub>2MAX</sub>: potência aeróbia máxima

MFEL: máxima fase estável de lactato

[Lac]: concentrações sanguíneas de lactato

CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono

OBLA: “*onset blood lactate accumulation*”

ILM: intensidade de lactato mínimo

Ce110%: energética teórica para a intensidade de 110% da relativa ao VO<sub>2MAX</sub>

COA: Consumo de oxigênio acumulado

Amp: amplitude

*t*: constante tempo

VO<sub>2(t)</sub>: é o consumo de oxigênio no tempo *t*,

VO<sub>2REP</sub>: é o consumo de oxigênio em repouso,

A: amplitude,

Δ: tempo de atraso,

W<sub>PCR</sub>: contribuições anaeróbias aláticas

W<sub>[La]</sub>: contribuições anaeróbias lácticas

CM: carga metabólica

β: energia láctica equivalente ao acúmulo de lactato

T<sub>lim</sub>: tempo até a exaustão

VO<sub>2PICO</sub>: consumo de oxigênio pico

W<sub>ANA</sub>: Contribuição anaeróbia total;

FP: força pico

FM: força média

IF: índice de fadiga

PC: peso colocado

PL: peso lido pelo dinamômetro.

[Lac]<sub>PICO</sub>: concentrações pico de lactato;

PSE: percepção subjetiva de esforço.

VO<sub>2ACU</sub>: integral do consumo de oxigênio pelo tempo de esforço

ICC: correlação intraclasse

ET: erro típico

CV%: coeficiente de variação

DP desvio padrão

DM: diferenças médias

PCrit: potência crítica determinada pelo modelo convencional

W': curvatura constante determinada pelo modelo convencional

## RESUMO

Os objetivos do presente trabalho de pesquisa foram validar metodologias de avaliação aeróbia e anaeróbia em nado atado. Para isso 23 nadadores ( $17 \pm 2$  anos) foram submetidos a um teste incremental para a determinação do limiar anaeróbio (LAN), da máxima força atingida neste teste ( $FP_{TI}$ ), a dez esforços submáximos (50-95% da  $FP_{TI}$ ) para a construção da relação entre o consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ ) e a intensidade ( $VO_2$ -intensidade), a um esforço exaustivo a 100% da  $FP_{TI}$  para a determinação do máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD), a um esforço máximo de três minutos para a determinação da força crítica ( $FC_{3MIN}$ ) e da força realizada acima da  $FC_{3MIN}$  ( $W'_{3MIN}$ ) e ao protocolo de lactato mínimo. Todos os esforços foram realizados em nado atado e repetidos para testar a reprodutibilidade das medidas. A relação  $VO_2$ -intensidade e o MAOD, apresentaram elevada reprodutibilidade. O MAOD determinado por meio de apenas um esforço máximo ( $MAOD_{RED}$ ) não foi uma metodologia reprodutível quando determinada em nado atado e não foi relacionado ao MAOD. A intensidade de lactato mínimo (ILM) apresentou boa reprodutibilidade, além de ser fortemente relacionada ao LAN. Dentre os parâmetros do esforço máximo de três minutos, apenas a  $W'_{3MIN}$  não foi reprodutível. Além disso, esta variável não foi associada ao MAOD. Por outro lado, a  $FC_{3MIN}$  apresentou elevada reprodutibilidade e foi associada ao LAN. Desse modo, pode-se concluir que 1) o MAOD pode ser determinado em nado atado; 2) o  $MAOD_{RED}$  não deve ser utilizado para avaliação anaeróbia de nadadores; 3) a ILM pode ser utilizada para a determinação da capacidade aeróbia em nado atado; 4) a relação força-tempo observada em nado atado é semelhante a potência-tempo evidenciada em ciclo ergômetro, permitindo a determinação dos parâmetros provenientes do esforço máximo de três minutos de maneira específica a nadadores; 5) A  $W'_{3MIN}$  não deve ser utilizada para avaliação anaeróbia de nadadores; 6) A  $FC_{3MIN}$  apresenta-se como uma ferramenta promissora para avaliação do metabolismo aeróbio de nadadores.

**Palavras chave:** máximo déficit acumulado de oxigênio; teste de lactato mínimo; esforço máximo de três minutos; nado atado.

## VALIDATION OF A SPECIFIC TEST FOR DETERMINATION OF MAXIMUM ACCUMULATED OXYGEN DEFICIT (MAOD) AND MAXIMAL LACTATE STEADY STATE IN TETHERED SWIMMING

### ABSTRACT

The main purpose this work was to validate the methodologies of assessment aerobic and anaerobic in tethered swimming. 23 swimmers ( $17 \pm 2$  years) underwent an incremental test to determine the anaerobic threshold (LAN) maximum force achieved in this test ( $PF_{GET}$ ), ten submaximal efforts (50-95% of  $FP_{TI}$ ) to build the relationship between  $O_2$  uptake ( $VO_2$ ) and intensity ( $VO_2$ -intensity) and an exhaustive effort (100% of  $FP_{TI}$ ) to determine the maximal accumulated oxygen deficit (MAOD), an All-Out 3-min test to determine critical force ( $CF_{3MIN}$ ), work done above  $CF_{3MIN}$  ( $W'_{3MIN}$ ) and the lactate minimum protocol. All efforts have been made in tethered swimming and repeated to test the reproducibility of the measurements. The  $VO_2$ -intensity relationship and MAOD, showed high reproducibility. The MAOD determined by only one maximum effort ( $MAOD_{RED}$ ) is not a reproducible when determined in tethered swimming and was not related with MAOD. The lactate minimum intensity (ILM) showed good reproducibility besides being strongly related to the LAN. Among the All-Out 3-min test parameters, only  $W'_{3MIN}$  isn't reproducible. Moreover, this variable wasn't associated with MAOD. On the other hand,  $FC_{3MIN}$  showed high reproducibility and was also related with LAN. Thus, it can be concluded that 1) MAOD can be determined in tethered swimming; 2)  $MAOD_{RED}$  cannot be used to evaluate anaerobic capacity in swimmers; 3) ILM can be used to determine aerobic capacity in tethered swimming; 4) the force-time relationship observed in tethered swimming is similar to power-time relationship evidenced in a cycle ergometer allowing the determine the All-Out 3-min parameters in a specific way for swimmers; 5)  $W'_{3MIN}$  should not be used to assess anaerobic parameters in swimmers; 6) The  $FC_{3MIN}$  seems to be a promising tool for evaluating aerobic metabolism in swimmers.

**Keywords:** maximum accumulated oxygen deficit, lactate minimum test; All-Out 3-min test; tethered swimming.



## 1. INTRODUÇÃO

Os protocolos utilizados na natação para avaliação de parâmetros anaeróbios, não são tão bem desenvolvidos como os que avaliam o metabolismo oxidativo, mesmo sendo necessária uma boa aptidão anaeróbia para a evolução do nadador (SMITH et al., 2002). O máximo déficit de oxigênio acumulado (MAOD) é atualmente considerado o método padrão ouro para avaliação da capacidade anaeróbia (MEDBO et al., 1988) pela fundamentação teórica que o envolve (GASTIN, 1994). O MAOD é determinado pela diferença entre a demanda energética teórica (DeT) e o real consumo de oxigênio ( $VO_2$  acumulado) observado durante o esforço supra-máximo. A DeT é obtida através da regressão e posteriormente extrapolação linear da relação existente entre o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) vs intensidades submáximas (35-100%; abaixo do  $VO_{2MAX}$ ) (MEDBO et al., 1988). A validade do MAOD, se baseia em sua sensibilidade ao treinamento predominantemente anaeróbio (WEBER e SCHNEIDER., 2002) sendo o indicador mais confiável da capacidade anaeróbia (REIS et al., 2005).

Com o intuito de analisar indiretamente a validade do MAOD, alguns pesquisadores verificaram o seu nível de associação com outros testes anaeróbios. Scott et al. (1991) constataram que o MAOD se correlaciona significativamente com os índices proporcionados pelo teste de Wingate (potência de pico  $r = 0,69$ ; potência média  $r = 0,64$ ), com o trabalho total de um exercício realizado em esteira com duração próxima a 120-130 segundos ( $r = 0,62$ ) e com tempo na corrida de 300 m ( $r = - 0,76$ ). Além disso, o MAOD é freqüentemente utilizado como referência para a validação de outras metodologias, que tem como objetivo avaliar a aptidão anaeróbia (MAXWELL e NIMMO, 1996, BERTUZZI et al., 2009, ZAGATTO et al., 2011). Entretanto, a determinação do MAOD é de difícil introdução na rotina de treinamento, uma

vez que são necessários vários esforços (aproximadamente dez submáximos e pelo menos um supra-máximo) para sua determinação (MEDBO et al., 1988), tornando sua aplicação na rotina dos treinamentos inviável. Recentemente foi proposto um novo método para determinação do MAOD de maneira “reduzida” por meio de um único esforço supra-máximo realizado até a exaustão (MAOD<sub>RED</sub>) (BERTUZZI et al., 2009). Esta proposta leva em consideração o conceito de que a capacidade anaeróbia é a máxima quantidade de energia que provêm apenas dos metabolismos anaeróbios (alático e lático) (GREEN e DAWSON, 1993). A quantidade de energia, advinda do metabolismo anaeróbio alático, pode ser obtida por meio da análise do componente rápido do consumo excessivo de oxigênio observado após o exercício (EPOC<sub>RAP</sub>) (BENEKE et al., 2004; BERTUZZI et al., 2007; DE CAMPOS MELLO et al., 2009), e a quantidade de energia obtida através do metabolismo anaeróbio lático é determinada pela diferença entre as concentrações de lactato observadas após o exercício e as de repouso, considerando que 1mM de lactato corresponde a 3 ml.O<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> (DI PAMPEIRO e FERRETTI, 1999; DI PRAMPERO, 1981). Desse modo, o MAOD<sub>RED</sub> pode ser determinado a partir da soma das quantidades de energia advindas dos metabolismos anaeróbios alático e lático.

Bertuzzi et al. (2009), não observaram diferenças significativas entre o MAOD e o MAOD<sub>RED</sub> e verificaram significativa correlação ( $r= 0,78$ ). Entretanto a determinação do MAOD e do MAOD<sub>RED</sub>, na natação, é limitada pela dificuldade na mensuração direta do consumo de oxigênio. Neste sentido, a utilização do modelo de nado atado pode ser uma alternativa vantajosa pela maior facilidade de obtenção de valores do consumo de oxigênio durante os esforços.

O modelo de potência crítica (PC), foi proposto inicialmente por Monod e Scherrer (1965) e validado por Moritani et al. (1981). As principais vantagens desse método é o fato de ser não invasivo, baixo custo e teoricamente possibilitar a determinação da capacidade aeróbia e capacidade de trabalho anaeróbio, em um único teste.

Foi demonstrado que a capacidade de trabalho anaeróbio ( $W'$ ) é sensível ao treinamento resistido (BISHOP e Jenkins, 1996) e a oito semanas de treinamento intervalado de alta intensidade (JENKINS e QUIGLEY, 1993), além de ser correlacionada significativamente com o teste de Wingate (JENKINS e QUIGLEY, 1991) e com o MAOD, demonstrando a validade anaeróbia deste parâmetro (GREEN et al., 1994, NEBELSICK-GULLETT et al., 1988).

Entretanto, a PC e a curvatura constante ( $W'$ ) são determinadas a partir da realização de vários (2 a 5) esforços máximos. Recentemente foi sugerida a determinação destes parâmetros por meio de um único teste máximo com duração de três minutos [ $E_{max_{3MIN}}$  (BURNLEY et al., 2006; DEKERLE et al., 2007; VANHATALO et al., 2007; VANHATALO e JONES et al., 2009; VANHATALO et al., 2008a; VANHATALO et al., 2008b)]. Neste modelo foi demonstrado que o parâmetro aeróbio ( $PC_{3MIN}$ ) é similar a PC determinada convencionalmente (VANHATALO et al., 2007; DEKERLE et al., 2007). O parâmetro anaeróbio ( $W'_{3MIN}$ ), corresponde a um estoque finito de energia que, em esforços máximos, é completamente depletado em aproximadamente 135 s (VANHATALO et al., 2007). Corroborando com esta teoria, Vanhatalo e Jones (2009) demonstraram que o esforço máximo de tres minutos, quando realizado após um esforço máximo de 30 s e um período de recuperação curto (2 min), fornece valores inferiores de  $W'_{3MIN}$  e não é alterado com relação a  $PC_{3MIN}$ , evidenciando que com este período de recuperação a  $W'_{3MIN}$  não foi completamente recuperada e a  $PC_{3MIN}$  é um parâmetro que parece não

dependem das fontes anaeróbias. Adicionalmente, tem sido demonstrado que o  $E_{max_{3MIN}}$ , além de ser reprodutível, pode ser utilizado para a obtenção da potência aeróbia máxima ( $VO_{2MAX}$ ), além de estimar satisfatoriamente a máxima fase estável de lactato por meio da  $PC_{3MIN}$  (BURNLEY et al., 2006). A  $PC_{3MIN}$  é sensível ao treinamento intervalado de alta intensidade, assim como  $PC$ , o que parece não ocorrer com os parâmetros anaeróbios destas metodologias (curvatura constante e  $W'_{3MIN}$ ) (VANHATALO, 2008b). Entretanto, ainda não são encontrados estudos que utilizaram o  $E_{max_{3MIN}}$  para avaliação de nadadores. Além disso, a validade da  $W'_{3MIN}$  e da  $W'$  para estimar a capacidade anaeróbia ainda é contraditória na literatura podendo (MIURA et al, 2000; HILL e SMITH, 1994; HILL e SMITH, 1993) ou não (BERTHOIN et al, 2003) apresentar relações com o MAOD. Adicionalmente em natação, não são encontrados na literatura relações entre estes parâmetros, principalmente pelas dificuldades de determinação do MAOD nestas condições.

Parâmetros aeróbios e anaeróbios também podem ser obtidos por meio do teste de lactato mínimo, que foi proposto inicialmente por Tegtbur et al. (1993). Esse teste consiste de uma fase de esforço anaeróbio (indução) e outra de teste incremental. Tem sido demonstrado que a máxima fase estável de lactato (MFEL), que é considerada o “padrão ouro” na avaliação da capacidade aeróbia (BENEKE et al, 1995), pode ser obtida por meio do teste de lactato mínimo (SOTERO et al., 2009; JOHNSON et al., 2009).

Apesar do lactato mínimo teoricamente possibilitar a avaliação de parâmetros anaeróbios durante a fase de indução a hiperlactacidemia, ainda não foi verificado na literatura estudos que utilizam esta metodologia para a determinação do MAOD na natação.

Como visto anteriormente os protocolos de avaliação da capacidade anaeróbia possuem dificuldades de aplicação na rotina de treinamento de

nadadores, principalmente pela metodologia envolvida na mensuração direta do  $VO_2$  e/ou utilização de ciclo ergômetro. Neste sentido, a piscina ergométrica (*swimming flume*) é muito utilizada pelo fácil controle da intensidade e mensuração do  $VO_2$  (HOLMER, 1972), porém a utilização de tal ergômetro não é acessível à maioria dos pesquisadores, devido ao seu alto custo (BONEN et al., 1980). Desse modo o modelo de nado atado é um ergômetro alternativo a *swimming flume*, principalmente pelo seu custo reduzido.

Os esforços realizados em nado atado são freqüentemente utilizados para a avaliação da aptidão aeróbia (PAPOTI et al., 2009a; PAPOTI et al., 2009b) e anaeróbia (JOHN et al., 1996; MARINHO e ANDRIES, 2001; PAPOTI et al., 2003; PAPOTI et al., 2005; PAPOTI et al., 2007a; PAPOTI et al., 2007b), são sensíveis ao treinamento (NEUFER et al., 1987; JOHNS et al., 1992; TRAPPE et al., 2001; PAPOTI et al., 2007a) e possuem uma boa reprodutibilidade (HOOPER et al., 1998; PAPOTI et al., 2003).

Neste sentido, o modelo de nado atado, utilizando células de carga como elemento sensor primário, parece vantajoso por oferecer valores de força e permitir a mensuração do consumo de oxigênio durante os esforços possibilitando assim, teoricamente, a determinação do MAOD e da MFEL de nadadores. Desse modo, o principal objetivo do presente estudo foi testar a validade das metodologias utilizadas para a determinação das capacidades aeróbias e anaeróbias determinadas em nado atado e suas possíveis relações com o desempenho de nadadores.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Para melhor contextualização sobre os métodos de avaliação das capacidades aeróbia e anaeróbia, é apresentada nesta sessão uma breve revisão da literatura sobre as vantagens e desvantagens das principais metodologias de avaliação aeróbia e anaeróbia utilizadas atualmente.

### **2.1. Capacidade vs potência**

Primeiramente, é importante destacar a diferença entre a capacidade fisiológica de um metabolismo energético e a sua relativa potência. Neste sentido, a capacidade pode ser definida como a quantidade total de energia que pode ser utilizada por cada sistema energético (KISS, 2003). Por outro lado, a potência é definida como a máxima quantidade de energia utilizada por unidade de tempo (KISS, 2003). Desse modo, os métodos de avaliação selecionados devem levar em consideração o metabolismo envolvido e a variável fisiológica a ser determinada (i.e. capacidade ou potência). Na presente revisão, serão abordados apenas os métodos para avaliação da capacidade dos metabolismos energéticos.

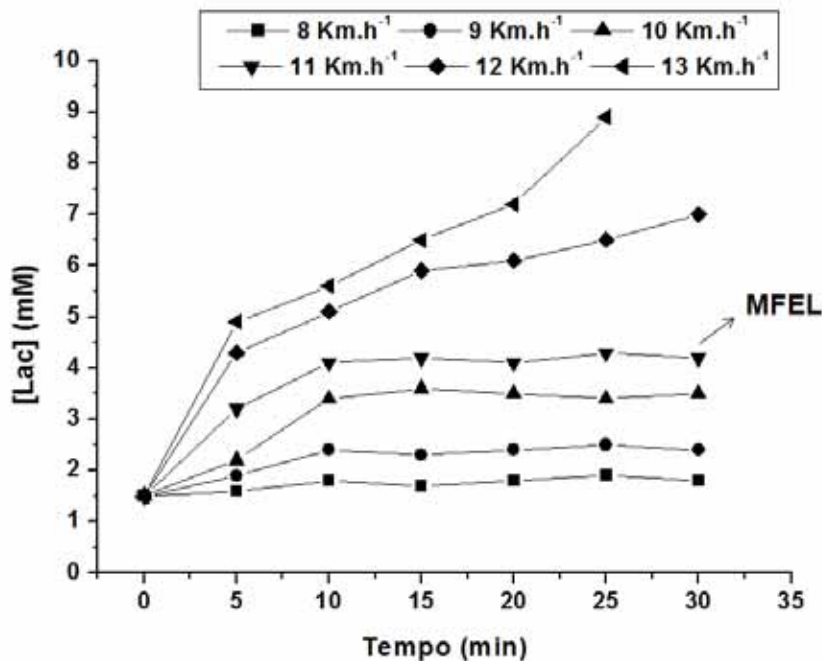
### **2.2. Capacidade aeróbia**

A capacidade aeróbia pode ser definida como a máxima intensidade de exercício onde ocorre um equilíbrio entre a produção e a remoção de lactato, indicando a máxima intensidade em que as demandas energéticas podem ser supridas sem uma significativa contribuição do metabolismo anaeróbio (BENEKE 1995; HECK et al. 1985). Embora existam várias contradições metodológicas e diferentes nomenclaturas, frequentemente o índice fisiológico que representa a capacidade aeróbia é denominado limiar anaeróbio (LAN) (BENEKE, 2003; BILLAT et al. 2004; KINDERMANN et al. 1979).

### **2.2.1. Máxima fase estável de lactato (MFEL)**

A intensidade correspondente à máxima fase estável de lactato (MFEL) é o índice que melhor representa a capacidade aeróbia, sendo considerado método “padrão ouro” para determinação do LAN (BENEKE, 2003; BILATT et al. 2003). Este método pode ser utilizada para a prescrição do treinamento (FAUDE et al. 2009), predição de desempenho aeróbio (PAPOTI et al. 2013; STOREN et al. 2012) e é frequentemente utilizada para a validação de metodologias alternativas de determinação da capacidade deste metabolismo (FAUDE et al. 2009; PAPOTI et al. 2010).

A MFEL é determinada a partir do comportamento das concentrações sanguíneas de lactato ([Lac]) durante esforços constantes, realizados em dias distintos, em diferentes intensidades e com duração de 30 min. Durante os esforços, coletas sanguíneas são realizadas a cada cinco minutos e a MFEL é assumida como a maior intensidade onde as [Lac] apresentam estabilidade nos últimos 20 min de esforço (i.e. variação entre o décimo e o trigésimo minutos inferior a 1 mM; Figura 1) (BENEKE 1995; HECK et al. 1985).



**Figura 1.** Determinação da máxima fase estável de lactato (MFEL) a partir das concentrações sanguíneas de lactato ([Lac]) observadas durante esforços constantes realizados em dias distintos.

Recentemente, Hauser et al. (2013) testaram a reprodutibilidade da MFEL determinada em ciclo ergômetro. Estes autores observaram baixos coeficientes de variação (3%) e significativas correlações entre as situações teste e reteste (ICC = 0,98), indicando a elevada reprodutibilidade deste parâmetro. Além disso, a MFEL parece ser influenciada pela idade cronológica assim como outros parâmetros ligados ao metabolismo oxidativo (i.e.  $VO_{2MAX}$ ; MATTERN et al. 2003), é alterada pelo nível de aptidão aeróbia (GRECO et al. 2012) e apresenta sensibilidade ao treinamento (MENDES et al. 2013; PHILP et al. 2008; BILLAT et al. 2004).

Mendes et al. (2013) observaram significativas alterações na intensidade correspondente a MFEL (~14,7%) em indivíduos não treinados, submetidos a seis semanas de treinamento (três sessões semanais com duração de 24-39 min e intensidade correspondente a MFEL). Resultados semelhantes foram



observados para corredores de longas distâncias após seis semanas de treinamento na intensidade correspondente a MFEL (duas sessões semanais com volume de 2532 a 7569m) (BILLAT et al 2004).

A intensidade correspondente a MFEL parece ser influenciada pela temperatura, apresentando valores significativamente inferiores em ambientes mais quentes (de BARROS et al. 2011) e também pelo padrão de movimento utilizado para a sua determinação (BENEKE et al. 2001). Com isso, para determinação da capacidade aeróbia, tanto as condições de avaliação como a especificidade dos movimentos, devem representar as demandas exigidas durante os treinamentos e competições.

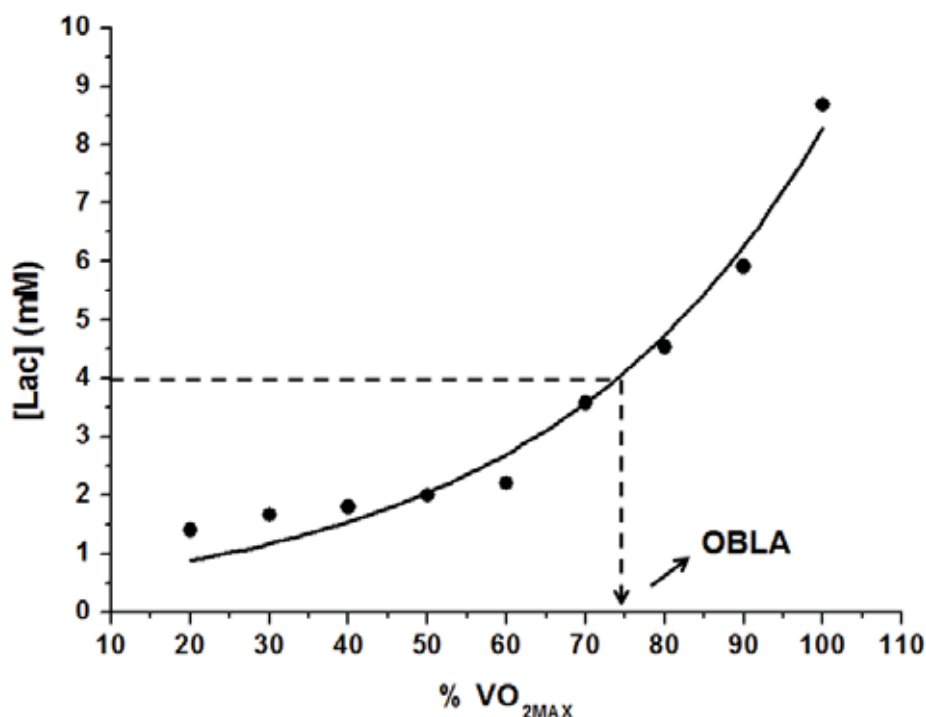
Entretanto, o grande número de sessões necessárias e os altos custos operacionais envolvidos na determinação da MFEL, dificultam a introdução desta metodologia durante a rotina de treinamento. Vários protocolos alternativos têm sido desenvolvidos para a determinação da capacidade aeróbia por meio de 1) esforços incrementais (FAUDE et al. 2009); 2) da cinética de lactato durante esforços progressivos realizados em acidose (i.e. teste de lactato mínimo; TEGTBUR et al. 1993) e; 3) de metodologias indiretas (WAKAYOSHI et al. 1993; BURNLEY et al. 2006).

### **2.2.2. Determinação da MFEL por meio de esforços incrementais**

Durante esforços incrementais, o metabolismo anaeróbio aumenta sua contribuição a partir da intensidade correspondente ao LAN, levando a um acúmulo nas [Lac]. Nestas intensidades, metabólitos envolvidos na diminuição do pH são tamponados pelo sistema bicarbonato, levando a uma produção exacerbada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e, conseqüentemente, a uma elevação da ventilação pulmonar WASSERMAN e MCLLROY, 1964).

Desse modo, parece ser possível a determinação do LAN durante testes incrementais tanto por meio da cinética das [Lac] (FAUDE et al. 2009) como pelo comportamento de variáveis ventilatórias (WASSERMAN e MCLLROY, 1964). Os métodos que utilizam as [Lac] são amplamente difundidos e podem ser obtidos a partir da fixação (HECK et al. 1985) ou não (PAPOTI et al. 2010) dos valores de lactato.

Kinderman et al. (1979) observaram que as [Lac] relativas as intensidades de LAN foram em torno de 4 mM, assim como no estudo de Sjodin e Jacobs (1981) que denominaram a intensidade correspondente a estas concentrações de “*onset blood lactate accumulation*” (OBLA). Heck et al. (1985) observaram que o OBLA, determinado por meio de um teste incremental com estágios de cinco minutos, foi muito fortemente correlacionado a MFEL ( $r= 0,98$ ) e foi identificado em [Lac] semelhantes (OBLA =  $4,05 \pm 0,86$  mM e MFEL =  $4,02 \pm 0,70$  mM). Desse modo, teoricamente, o LAN pode ser assumido como a intensidade correspondente a [Lac] de 4 mM (Figura 2).

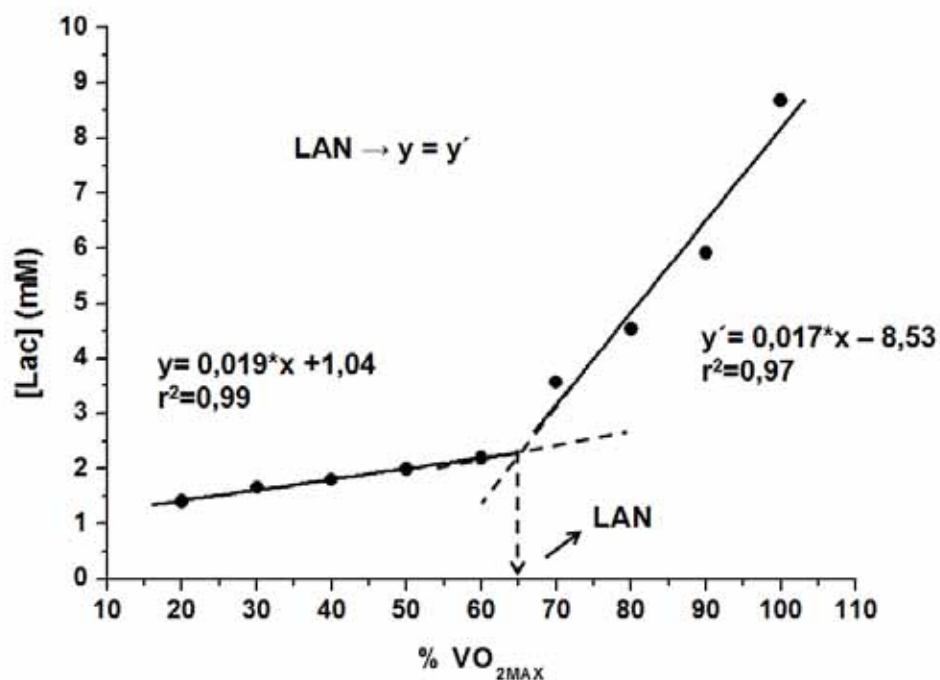


**Figura 2.** Comportamento típico das concentrações sanguíneas de lactato ([Lac]) em função da intensidade durante um teste incremental. OBLA: capacidade aeróbia determinada por meio do método de concentração fixa em 4 mM.

Concordando com estes achados, Denadai et al. (2005) observaram valores similares e significativas correlações ( $r=0,80$ ) entre as intensidades de MFEL e de OBLA determinadas em 20 jogadores de futebol. Jakeman et al (2012), evidenciaram significativas alterações na velocidade correspondente ao OBLA em triatletas após duas semanas de treinamento intervalado de alta intensidade. Semelhantemente, esta forma de determinação do LAN foi sensível a quatorze sessões de treinamento, divididas em seis semanas (30-45 min de exercício na frequência cardíaca correspondente ao OBLA), aplicadas a trinta jogadores de futebol (CHMURA et al. 2010). Levando em consideração os achados supracitados, o OBLA parece ser uma alternativa de fácil

aplicação, baixos custos e sensível ao treinamento, facilitando a determinação da capacidade aeróbia.

Além dos modelos de concentração fixa, a relação entre as [Lac] e a intensidade de exercício pode ser ajustada por meio do método bi-segmentado (PAPOTI et al. 2009; LIMA et al. 2006). Neste modelo, primeiramente a intensidade onde ocorre um aumento abrupto das [Lac] é determinada visualmente, dividindo o comportamento lactacidêmico em dois momentos que posteriormente são ajustados linearmente. O LAN é assumido como a intensidade correspondente a intersecção das duas retas (Figura 3).



**Figura 3.** Comportamento típico das concentrações sanguíneas de lactato ([Lac]) em função da intensidade durante um teste incremental e determinação do limiar anaeróbico (LAN) por meio do método bi-segmentado.

Papoti et al. (2009), observaram que o LAN determinado por meio do método bi-segmentado realizado em nado atado, não apresentou diferenças significativas e foi bem relacionado a MFEL. Este método também é correlacionado a outros índices de aptidão aeróbia (PAPOTI et al. 2009) e pode

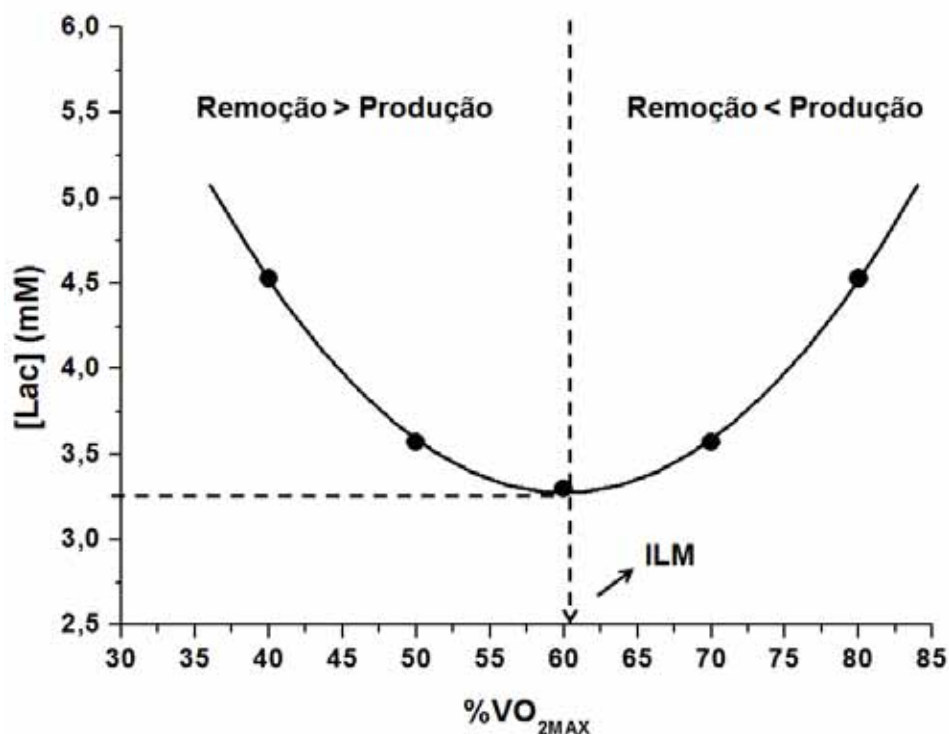
ser utilizado para a predição de desempenho em natação (100 a 400m; PAPOTI et al. 2009; PAPOTI et al. 2013). Com isso, o LAN determinado pelo método bi-segmentado parece ser uma alternativa que leva em consideração a cinética individual das [Lac] durante o teste incremental, podendo ser utilizado para avaliação do metabolismo aeróbio e predição do desempenho.

Entretanto, estudos tem demonstrado que as [Lac] relativas à MFEL podem apresentar grandes variações interindividuais (i.e. de 1,4 a 7,5 mM) (STEGMANN et al. 1981; HECK et al. 1985), podendo influenciar na determinação da capacidade aeróbia por meio do OBLA. Além disso, as [Lac] podem ser alteradas pelo estado nutricional e pelas quantidades de glicogênio muscular (PADOLIN et al. 1991), podendo influenciar na determinação do LAN pelo método bi-segmentado. Desse modo, alguns cuidados como a padronização do aquecimento, da intensidade inicial e do estado nutricional, devem ser tomados antes da aplicação dos testes incrementais para a determinação do LAN, o que nem sempre é possível durante a rotina de treinamento.

### **2.2.3. Determinação da MFEL por meio do teste de lactato mínimo**

A partir dos achados de David e Gass (1979), Tegtbur et al. (1993) propuseram a determinação da capacidade aeróbia por meio da intensidade de lactato mínimo (ILM). Para a determinação desta intensidade os participantes devem ser submetidos a um esforço de alta intensidade para a elevação das [Lac]. Após um intervalo passivo de oito minutos, os avaliados devem realizar um esforço progressivo para a determinação da capacidade aeróbia, que é assumida como a intensidade correspondente a mínima concentração de lactato. Para isso, espera-se uma diminuição nas [Lac] em intensidades mais baixas da fase incremental (indicando a maior remoção em relação à produção

de lactato) e um aumento progressivo destas concentrações em intensidades acima da ILM (produção maior que a remoção) (Figura 4).



**Figura 4.** Comportamento típico das concentrações sanguíneas de lactato ([Lac]) em função da intensidade durante um teste incremental realizado após indução prévia a hiperlactacidemia (teste de lactato mínimo). ILM: intensidade correspondente ao lactato mínimo.

Esta metodologia pode ser adaptada para várias modalidades (ZAGATTO et al. 2004; ARAÚJO et al. 2006; RIBEIRO et al. 2003; ROZEGUINI et al. 2006), fornece um índice anaeróbio (i.e. [Lac] pico), respeita a cinética individual das [Lac], apresenta menor subjetividade na determinação da capacidade aeróbia pela possibilidade de ajuste matemático e a ILM não é alterada pelas quantidades de glicogênio muscular (TEGTBUR et al. 1993).

Embora o teste de lactato mínimo apresente algumas vantagens para a determinação da capacidade aeróbia (TEGTBUR et al. 1993), poucos estudos

investigaram a reprodutibilidade da ILM. MacIntosh et al. (2002), observaram que a ILM determinada em ciclo ergômetro apresentou reprodutibilidade satisfatória. Strupler et al. (2009) ao testarem a reprodutibilidade da ILM por meio da realização de quatro testes em ciclo ergômetro, evidenciaram baixos valores de coeficiente de variação ( $CV\% = 6,8\%$ ) indicando a elevada reprodutibilidade desta variável.

Além disso, embora existam resultados conflitantes (JONES et al. 1998; JHONSON et al. 2009), vários estudos tem demonstrado que a ILM apresenta significativas relações com a MFEL (TEGTBUR et al. 1993; MACINTOSH et al. 2002; DOTAN et al. 2011; KNOEPFLI-LENZIN and BOUTELLIER, 2011). Knoepfli-lenzin and Boutellier (2011) avaliando 63 indivíduos, observaram fortes correlações ( $r = 0,87$ ) entre estas metodologias determinadas em ciclo ergômetro. Concordando com estes achados, Dontan et al. (2011) observaram correlações muito fortes entre a ILM, determinada por meio do modelo polinomial, e a MFEL ( $r = 0,93$ ) em 16 corredores. Entretanto, ambos os estudos observaram valores ligeiramente inferiores ( $p < 0,05$ ) de ILM em comparação a MFEL (DOTAN et al. 2011; KNOEPFLI-LENZIN and BOUTELLIER 2011).

Alguns fatores como as  $[Lac]_{PICO}$  observadas após a fase de indução, a duração da fase de recuperação e o protocolo utilizado na fase incremental, podem influenciar na determinação da ILM (MACINTOSH et al. 2002; STRUPLER et al. 2009). Johnson et al. (2008), embora tenham evidenciado elevadas relações entre a ILM e a MFEL, não observaram significativas correlações entre as  $[Lac]$  determinadas durante a fase incremental e esforços constantes realizados nas mesmas intensidades relativas. O estudo supracitado (JOHNSON et al. 2008) também demonstrou que a ILM pode ser

alterada pela utilização de diferentes grupamentos musculares durante a fase de indução.

Estes resultados em conjunto demonstram que as relações entre a ILM e a MFEL podem ser apenas um acaso (JONES et al. 1998; JOHNSON et al. 2008). Concordando com esta afirmação, Carter et al. (1999) não observaram alterações na ILM após seis semanas de treinamento, mesmo com a melhora da aptidão aeróbia. Desse modo, embora a ILM apresente vantagens em relação aos métodos realizados durante esforços progressivos, mais estudos são necessários para que a validade desta variável seja comprovada.

### **2.3. Capacidade anaeróbia**

A capacidade anaeróbia pode ser definida como a máxima quantidade de energia disponibilizada apenas pelos metabolismos anaeróbios durante um esforço máximo (GASTIN, 1994). Diferentemente da capacidade aeróbia, os métodos utilizados para a determinação da capacidade anaeróbia não são tão bem desenvolvidos (GASTIN, 2001). Além disso, as metodologias utilizadas são de difícil introdução na rotina de treinamento, principalmente pelo seu caráter invasivo (MEDBO e TABATA, 1993), pela realização de vários dias de avaliação (MEDBO et al. 1988) ou pela necessidade de mais estudos comprovando sua validade (BERTUZZI et al. 2010).

Dentre as metodologias utilizadas para a mensuração das contribuições anaeróbias durante esforços de alta intensidade e curta duração, destacam-se a biopsia muscular (SPRIET, 1995; MEDBO e TABATA, 1993), a determinação do máximo déficit acumulado de O<sub>2</sub> (MAOD) (MEDBO et al. 1988), a análise do consumo excessivo de O<sub>2</sub> pós-exercício (EPOC) (MARGARIA et al. 1933; BERTUZZI et al. 2010; ZAGATTO et al. 2011) e o acúmulo de lactato



sanguíneo (di PRAMPERO, 1999; BERTUZZI et al. 2010; ZAGATTO et al. 2011).

### **2.3.1. Biópsia muscular**

A biópsia muscular é a única técnica que permite a mensuração direta das alterações metabólicas (i.e. diminuição dos estoques de ATP, PCr e o acúmulo de lactato e piruvato) ocasionadas pelo exercício (GASTIN, 2001). Esta técnica tem sido utilizada para a estimativa das contribuições relativas aos metabolismos energéticos (MEDBO e TABATA, 1993), podendo ser aplicada na estimativa da capacidade anaeróbia (SPRIET, 1995).

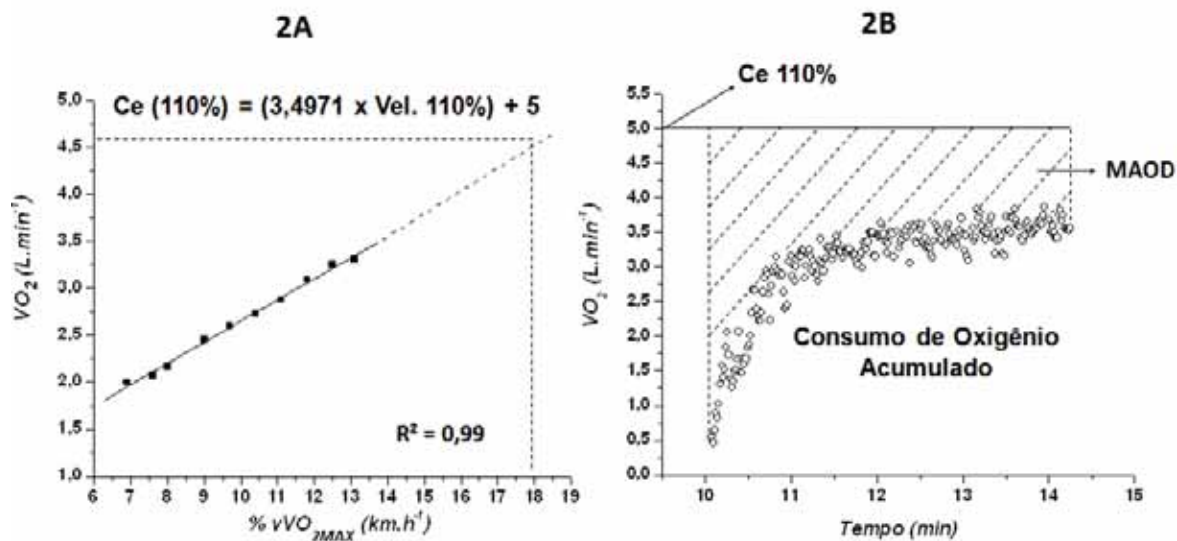
A determinação das relativas contribuições energéticas por meio de biópsia muscular, é um procedimento extremamente invasivo e com altos custos operacionais (GASTIN, 2001). Além disso, para a determinação das contribuições energéticas em todo o corpo, é necessária a estimativa da massa muscular ativa durante o exercício, o que é de difícil obtenção e pode influenciar nos resultados obtidos (GASTIN, 2001). Podem ocorrer também mudanças nas concentrações de certos metabólitos (i.e. PCr e lactato) entre a exaustão e o tempo necessário para a obtenção da amostra muscular (GASTIN, 2001). Desse modo, embora o Bangsbo et al. (1990) tenham resolvido a maioria dos problemas supracitados com a utilização de esforços com apenas uma perna em cadeira extensora, os achados obtidos por biópsia muscular devem ser interpretados com cautela.

### **2.3.2. Máximo déficit acumulado de O<sub>2</sub> (MAOD)**

O MAOD, apesar das críticas (BANGSBO et al., 1993; GASTIN et al., 1994; MEZZANI et al., 2006; PIZZA et al., 1996), parece ser uma metodologia válida (MEDBO et al. 1988) e reprodutível (WEBER e SCHNEIDER 2001;

MEZZANI et al., 2006), sendo atualmente considerado o método mais aceito para a estimativa da capacidade anaeróbia (NOORDHOF et al., 2010). Este método também é frequentemente utilizado como protocolo padrão na validação de outras metodologias anaeróbias (BERTUZZI et al., 2009, ZAGATTO et al., 2011, LIMA et al. 2011, ZAGATTO e GOBATTO 2012; KAMINAGAKURA et al. 2012).

O MAOD é assumido como a diferença entre a demanda energética teórica, determinada a partir das relações entre o consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ ) e intensidades submáximas ( $VO_2$ -intensidade), e o  $VO_2$  acumulado determinado durante um esforço exaustivo (MEDBO et al. 1988; NOORDHOF et al., 2010; WEBER e SCHNEIDER 2001; MEZZANI et al., 2006) (Figura 5). Para a determinação da demanda energética teórica, deve-se assumir que a relação  $VO_2$ -intensidade possui comportamento linear, sendo que o  $VO_2$  aumenta proporcionalmente aos incrementos de intensidade aplicados em esforços submáximos com duração de 6 a 10 min (MEDBO et al. 1988; NOORDHOF et al., 2010). O esforço exaustivo deve possuir duração superior a dois minutos para que o  $VO_2$  acumulado não seja subestimado, influenciando os valores finais de MAOD (MEDBO e TABATA, 1993).



**Figura 5. A.** Exemplo de regressão e extrapolação linear, dos pontos obtidos da relação entre o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) e as velocidades submáximas (50-95%  $vVO_{2MAX}$ ), realizados para obtenção demanda energética teórica (Ce110%). **B.** Consumo de oxigênio acumulado (COA) observado durante o teste supra- máximo e determinação do MAOD (Ce110% - COA).

Embora tenha grande aceitação científica (NOORDHOF et al., 2010), como não existe um método “padrão ouro” para a determinação da capacidade anaeróbia (GASTIN, 1994), a validade do MAOD é sustentada pela sua relação com outros fatores ligados ao metabolismo anaeróbio (WEBER e SCHNEIDER, 2002; TABATA et al., 1996 ; SCOTT, 2006; CHATAGNON et al. 2005; MAXWELL e NIMMO, 1996; SCOTT et al., 1991; MEDBØ et al., 1988; BELL et al. 2001; DOHERTY, 1998; OLESEN, 1992; MEDBO e BURGERS, 1990).

Os valores de MAOD parecem ser associados a outros testes de aptidão anaeróbia, como o teste de Wingate (SCOTT et al. 1991; CALBET et al. 1997), o teste corrida anaeróbia máxima (MAXWELL e NIMMO, 1996) e a curvatura constante determinada pelo modelo de potência crítica (CHATAGNON et al. 2005; HILL e SMITH, 1993; HILL e SMITH, 1994). Além disso, o MAOD parece

ser sensível ao treinamento de alta intensidade aplicado por um período de seis (TABATA et al. 1996; MEDBO e BURGERS, 1990) e oito semanas (WEBER e SCHNEIDER, 2002), não apresentando alterações ao treinamento predominantemente aeróbio (TABATA et al. 1996). o MAOD parece ser eficaz também em distinguir indivíduos com diferentes níveis de aptidão anaeróbia (MEDBO e BURGERS, 1990; GASTIN e LAWSON 1994; SCOTT et al. 1991).

A validade do MAOD também foi confirmada a partir das respostas observadas em ambientes de hipóxia (MEDBO et al. 1988; ROBERGS et al. 2003; FRIEDMANN et al. 2007) e das alterações induzidas pela suplementação com cafeína (DOHERTY et al. 1998; BELL et al. 2001), efedrina (BELL et al. 2001) e creatina (JACOBS et al. 1997). Medbo et al. (1988) não observaram diferenças significativas entre os valores de MAOD determinados em normóxia e em hipóxia ( $FiO_2 = 0,135$ ), assim como Friedmann et al. (2007) que não observaram alterações neste parâmetro após quatro horas de exposição a hipóxia ( $FiO_2 = 0,15$ ). O MAOD também parece ser sensível ao modelo de treinamento envolvendo hipóxia denominado “viver alto e treinar baixo” (i.e. exposição à hipóxia por 8-9 h.dia<sup>-1</sup> ( $FiO_2 0,163$ ) e treinamento realizado em normóxia) aplicado em ciclistas por 15 dias (ROBERGS et al. 2003).

Embora vários estudos demonstrem que o MAOD é uma metodologia válida para a estimativa da capacidade anaeróbia, alguns autores discordam desta afirmação (BANGSBO et al. 1993; GASTIN et al., 1994; MEZZANI et al., 2006; PIZZA et al., 1996). Neste sentido, os valores de MAOD parecem não ser correlacionados ao percentual de fibras do tipo II, responsáveis principalmente pela produção de energia anaeróbia (BANGSBO et al. 1993; GASTIN et al. 1995). Bangsbo et al. (1993) não observaram correlações negativas e significativas entre a capacidade de tamponamento muscular e enzimas ligadas

ao metabolismo aeróbio, concluindo que o MAOD parece não estar associado a produção de energia anaeróbia em esforços máximos.

Concordando com esta linha de pensamento, outros estudos não observaram correlações significativas entre o MAOD e outros testes anaeróbios como o Wingate (MINAHAN et al. 2007), o *running anaerobic sprint test* (RAST; KAMINAGAKURA et al. 2012), o teste de corrida anaeróbia máxima (ZAGATTO et al. 2011), as [Lac] pico (MEZZANI et al., 2006; PIZZA et al., 1996) e a curvatura constante proveniente do modelo de velocidade crítica (LOURES et al. 2012).

A divergência entre os resultados observados sobre a validade do MAOD pode ter sido ocasionada por diferentes protocolos utilizados para a determinação deste índice fisiológico (NOORDHOF et al., 2010). Neste sentido, um dos fatores que parece influenciar nos valores de MAOD é a forma com que a relação  $VO_2$ -intensidade é construída (BUCK E NAUGHTON, 1999; BUCK E NAUGHTON, 1999a). Embora Medbo et al. (1988) tenham proposto a utilização de até 20 esforços submáximos, estudos tem demonstrado que os parâmetros da relação  $VO_2$ -intensidade podem ser satisfatoriamente determinados por meio da utilização de dez esforços, com duração superior a seis minutos (BUCK E NAUGHTON, 1999; BUCK E NAUGHTON, 1999a).

O tempo até a exaustão ( $T_{lim}$ ) observado no esforço supramáximo é outro fator que pode influenciar nos valores de MAOD (MEDBO e TABATA, 1989). Neste sentido, em intensidades que a exaustão é atingida em tempo inferior a dois minutos, os valores do  $VO_2$  acumulado e a máxima contribuição anaeróbia parecem ser subestimados, portanto, influenciando o MAOD (MEDBO e TABATA, 1989; MEDBO e TABATA, 1993). Por outro lado, independentemente das intensidades utilizadas, quando o  $T_{lim}$  é superior a

dois minutos (2-5 min) os valores de MAOD parecem não apresentar modificações (MEZZANI et al. 2006; WEBER e SCHNEIDER, 2001).

Embora alguns estudos discordem da validade do MAOD, os resultados da maioria das investigações apontam para a validade desta metodologia em estimar a capacidade anaeróbia, principalmente por apresentar sensibilidade ao treinamento predominantemente anaeróbio, não ser alterada pela exposição aguda ao ambiente de hipóxia e pela eficácia em diferenciar indivíduos com diferentes níveis de aptidão anaeróbia. Além disso, para a determinação dos valores de MAOD de maneira robusta, é necessária a realização de pelo menos dez cargas submáximas com duração superior a seis minutos e um esforço supramáximo com duração superior a dois minutos.

### **2.3.3 MAOD determinado maneira reduzida (MAOD<sub>RED</sub>)**

Embora o MAOD possua grande aceitação científica e atualmente seja reconhecido como o método mais aceito para a estimativa da capacidade anaeróbia (NOORDHOF et al., 2010), sua introdução na rotina de treinamento é dificultada principalmente pelo elevado número de sessões necessárias para a sua determinação (BANGSBO et al. 1993).

Baseado nos achados de Margaria et al. (1993) e Di Prampero e Ferreti (1999), Bertuzzi et al. (2010) propuseram a determinação do MAOD por meio de um único esforço exaustivo (i.e. MAOD<sub>RED</sub>). Tendo em vista que a capacidade anaeróbia pode ser definida como a quantidade total de energia proveniente dos metabolismos anaeróbios durante um esforço exaustivo (GASTIN, 1994), o MAOD<sub>RED</sub> é assumido como a soma das contribuições anaeróbias aláticas ( $W_{PCR}$ ) e láticas ( $W_{[La]}$ ) relativas a um esforço supramáximo (BERTUZZI et al. 2010).

A  $W_{PCR}$  pode ser determinada por meio da análise do EPOC, como sugerido primeiramente por Margaria et al. (1993). Neste estudo os autores dividiram o EPOC em dois componentes, associando sua fase rápida ( $EPOC_{RAP}$ ) a recuperação do metabolismo anaeróbio alático (ressíntese de PCr e restauração dos estoques de  $O_2$  nas mioglobinas) e a fase lenta ao metabolismo láctico (remoção do lactato). Estas relações foram confirmadas por estudos posteriores que observaram significativas correlações entre a fase lenta do EPOC e a remoção das [Lac] (di PRAMPERO et al. 1989), sendo o  $EPOC_{RAP}$  relacionado a cinética de PCr observada pós esforço (McCREARY et al. 1996; ROSSITER et al. 2002). O  $EPOC_{RAP}$  pode ser obtido pelo ajuste bi-exponencial (equação 1) entre o  $VO_2$  e o tempo de recuperação, com a  $W_{PCR}$  sendo equivalente ao produto entre a amplitude (Amp) e a constante tempo ( $t$ ).

$$VO_{2(t)} = VO_{2REP} + A_1[e^{-(t-\bar{\delta})/t^1}] + A_2[e^{-(t-\bar{\delta})/t^2}] \quad (\text{Eq 1})$$

Onde:  $VO_{2(t)}$  é o consumo de oxigênio no tempo  $t$ ,  $VO_{2REP}$  é o consumo de oxigênio em repouso,  $A$  é a amplitude,  $\bar{\delta}$  é o tempo de atraso,  $t$  é a constante tempo (tau) e 1 e 2 são os componentes rápido e lento, respectivamente.

Para a determinação da  $W_{[La]}$ , conforme proposto pelos estudos de di Prampero (1981) e di Prampero e Ferretti (1999), é necessária a determinação da constante de produção para a energia láctica equivalente ao acúmulo de lactato ( $\beta$ ). A  $\beta$  pode ser assumida como o coeficiente angular da relação entre a carga metabólica (CM), determinada em esforços supramáximos com duração superior a 30s, e o acúmulo de lactato ( $\Delta[Lac] = [Lac] \text{ pico} - [Lac] \text{ em repouso}$ ). Neste modelo, a CM representa a energia transferida por unidade de tempo em esforços supramáximos e pode ser assumida como a soma entre os

componentes energéticos anaeróbios ( $\beta \cdot \Delta[\text{Lac}]$ ) e aeróbios (representados pelo consumo máximo de  $\text{O}_2$ ;  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ ) (Equação 2).

$$\text{CM} = \text{VO}_{2\text{MAX}} + \beta \cdot (\Delta[\text{Lac}]) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: CM é a carga metabólica ( $\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  é o consumo máximo de oxigênio ( $\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $\beta$  é a constante de produção para a energia láctica equivalente ao acúmulo de lactato ( $\text{mL de O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$ ) e  $\Delta[\text{Lac}]$  é a diferença entre as  $[\text{Lac}]$  pico e as  $[\text{Lac}]$  em repouso ( $\text{mM}$ ).

Di Prampero e Ferreitti (1999) observaram que quando o  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  é introduzido neste modelo em termos relativos à massa corporal ( $\text{mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ), os  $\beta$  determinados em esforços na bicicleta, em corrida e na natação foram 3,0; 2,7; e 2,8  $\text{mL O}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$ , respectivamente. Desse modo, estes autores sugeriram a fixação do  $\beta$  em 3  $\text{mL O}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$ , tornando possível a estimativa da  $W_{[\text{La}]}$  por meio da determinação das  $[\text{Lac}]$  pico (Equação 3)

$$W_{[\text{La}]} = ((\Delta[\text{Lac}] \cdot 3) \cdot \text{PC}) / 1000 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:  $W_{[\text{La}]}$  é a contribuição anaeróbia láctica ( $\text{L} \cdot \text{O}_2$ ),  $\Delta[\text{Lac}]$  é a diferença entre as  $[\text{Lac}]$  pico e as  $[\text{Lac}]$  no repouso ( $\text{mM}$ ), 3 é o valor fixo para  $\beta$  conforme sugerido por Di Prampero e Ferreitti (1999) ( $\text{mL O}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$ ) e PC é o peso corporal do participante ( $\text{Kg}$ ).

Estes métodos para a determinação da  $W_{\text{PCR}}$  e da  $W_{[\text{La}]}$ , são similares aos utilizados em vários estudos que determinaram as contribuições energéticas durante o exercício (BENEKE et al, 2002; ZAGATTO et al. 2008; BERTUZZI et al. 2010; ZAGATTO et al. 2011; ZAGATTO e GOBATTO 2012) ou durante atividades esportivas (de CAMPOS et al. 2009; CAMPOS et al. 2011).



Kilding et al. (2005) observaram que os valores da Amp e da constante tempo, evidenciadas após um esforço com intensidade equivalente a 80% do  $VO_{2MAX}$ , apresentaram elevada reprodutibilidade. Além disso, Zagatto e Gobatto (1012) não observaram diferenças significativas na  $W_{PCR}$ , na  $W_{[La]}$  e na contribuição anaeróbia total (i.e.  $MAOD_{RED}$ ), evidenciadas durante quatro esforços realizados até a exaustão (95 a 130% do  $VO_{2MAX}$ ). Estes resultados demonstram que as contribuições anaeróbias parecem atingir valores máximos (i.e. capacidade anaeróbia) em esforços exaustivos, não sendo modificadas pela intensidade ou pelo tempo até a exaustão.

Alguns fatores (e.g. fisiológicos e nutricionais) podem influenciar na determinação da  $W_{PCR}$  e, conseqüentemente, do  $MAOD_{RED}$ . Neste sentido, embora vários estudos tenham observado significativas relações entre a cinética do  $VO_2$  pós-exercício e a ressíntese de fosfocreatina (McCREARY et al. 1996; ROSSITER et al. 2002; YOSHIDA, 2002), o EPOC não está ligado somente a processos anaeróbios, sendo influenciado por vários mecanismos fisiológicos (GAESSER e BROOKS, 1984). Além disso, as relações entre o  $EPOC_{RAP}$  e a ressíntese da fosfocreatina podem ser modificadas em função do pH intramuscular (McCREARY et al. 1996), que é alterado em esforço exaustivos.

A utilização das  $[Lac]$  para a determinação da  $W_{[La]}$ , também apresenta algumas limitações. Jacobs, (1981) ao reduzir as quantidades de glicogênio muscular manipulando a dieta ou aplicando um esforço prolongado, observou que as  $[Lac]$  após um esforço exaustivo foram significativamente inferiores na situação experimental, em relação à situação controle. Além disso, durante um esforço intenso a musculatura menos ativa tem um importante papel na oxidação do lactato sanguíneo (GASSER e BROOKS, 1984; GRANIER et al. 1996), o que pode diminuir as  $[Lac]$  circulantes, subestimando a  $W_{[La]}$ . Levando

em consideração estes achados, o estado nutricional, a carga de treinamento realizada anteriormente e a gliconeogênese que ocorre durante o exercício, parecem exercer um significativo papel na cinética do lactato sanguíneo, influenciando a determinação da  $W_{[La]}$ .

Bertuzzi et al. (2010), mesmo com as possíveis limitações supracitadas, não observaram diferenças significativas entre o  $MAOD_{RED}$  e o MAOD determinados em ciclo ergômetro. Além disso, estes autores demonstraram significativas correlações ( $r=0,78$ ) e elevados níveis de concordância entre as duas metodologias (i.e. erro médio próximo a zero e amplitude dos limites de concordância menor do que 1,0 L). Adicionalmente, neste estudo (BERTUZZI et al. 2010) a  $W_{PCR}$  e a  $W_{[La]}$  observadas durante o  $MAOD_{RED}$  (22 e 78%, respectivamente), foram similares as observadas durante o MAOD (MEDBO et al. 1988; MEDBO e TABATA, 1993).

Embora esta metodologia pareça ser uma alternativa atraente para a determinação da capacidade anaeróbia, para nosso conhecimento, apenas o estudo de Bertuzzi et al. (2010) teve o objetivo de comparar os valores provenientes do  $MAOD_{RED}$  aos valores de MAOD determinados de maneira convencional (MEDBO et al. 1988). Além disso, ainda não são encontrados estudos sobre a reprodutibilidade do  $MAOD_{RED}$ .

Desse modo, mais investigações são necessárias para a validação do  $MAOD_{RED}$  como ferramenta de avaliação da capacidade anaeróbia, testando a sensibilidade desta metodologia aos efeitos do treinamento predominantemente anaeróbio, a eficácia na diferenciação de indivíduos em níveis de aptidão anaeróbia distintos e as possíveis alterações induzidas pela suplementação de creatina, cafeína ou efedrina.

## **2.4. Métodos indiretos para a determinação das capacidades aeróbia e anaeróbia: Modelo de potência crítica**

A determinação das capacidades aeróbia e anaeróbia por meio de apenas um único teste facilitaria a determinação destas variáveis durante a rotina de treinamento. Neste sentido, o modelo de potência crítica, tem sido muito estudado, principalmente por sua facilidade de aplicação, seu caráter não invasivo e pela possibilidade de avaliação aeróbia (i.e. potência crítica; PCrit) e anaeróbia (i.e. curvatura constante;  $W'$ ) (HILL et al. 1993).

Teoricamente, neste modelo a PCrit representa a máxima intensidade de exercício que pode ser sustentada por um longo período de tempo, sem a ocorrência de fadiga e a  $W'$  representa os estoques finitos de energia anaeróbia (HILL et al. 1993). Os primeiros pesquisadores que investigaram o modelo de potência crítica foram Monod e Scherrer (1965), que evidenciaram um comportamento hiperbólico da relação entre a potência gerada em esforços monoarticulares exaustivos e o Tlim.

Posteriormente percebeu-se que esta relação poderia ser linearizada, transformando-se em trabalho vs Tlim (HILL et al. 1993) ou potência vs inverso do Tlim ( $1/Tlim$ ) (WHIPP et al. 1982). Nestes modelos lineares a PCrit é assumida como a inclinação (trabalho vs Tlim) ou o intersepto-y (potência vs  $1/Tlim$ ) da reta de regreção formada. Apesar de algumas controvérsias (PRINGLE e JONES, 2002), vários estudos tem demonstrado que a PCrit é fortemente relacionada ao LAN determinado por meio de testes incrementais (KOKUBUM et al. 1996; WAKAYOSHYI et al. 1992), indicando que este parâmetro pode ser utilizado para avaliação da capacidade aeróbia.

Com relação a  $W'$ , este parâmetro parece ser sensível ao treinamento resistido (BISHOP e Jenkins, 1996) e a oito semanas de treinamento

intervalado de alta intensidade (JENKINS e QUIGLEY, 1993), parece ser correlacionadoa significativamente com o MAOD (HILL et al. 1993; NEBELSICK-GULLETT, 1988; DEKERLE et al. 2006) e com a quantidade total de trabalho realizada durante o teste de Wingate (NEBELSICK-GULLETT, 1988). Embora os estudos supracitados indiquem que a  $W'$  possa ser utilizada para avaliação da capacidade anaeróbia, esta afirmação é contestada por várias outras investigações (BERTHOIN et al. 2003; BOSQUET et al. 2007; PAPOTI et al. 2005; LOURES et al. 2012; ZAGATTO et al. 2013), demonstrando a necessidade de mais estudos sobre o tema.

Para a determinação das variáveis provenientes do modelo de potência crítica, devem ser realizados esforços exaustivos separados por um período de recuperação satisfatória, onde os critérios de exaustão devem ser bem definidos para a diminuição de possíveis erros de calculo (ZAGATTO et al. 2011). Hill (1993) evidenciou que no mínimo tres cargas exaustivas com duração entre 2-10 min, são necessárias para a determinação satisfatória das variáveis provenientes do modelo de potência crítica, o que pode comprometer a introdução deste método durante a rotina de treinamento.

Tendo em vista essa possível limitação, Vanhatalo, Doust e Burnley (2007) propuseram a determinação das variáveis provenientes do modelo de potência crítica por meio do esforço máximo de três minutos, utilizando apenas uma sessão de avaliação para a estimativa de parâmetros aeróbios e anaeróbios. (VANHATALO, DOUST e BURNLEY, 2007). Neste modelo, a potência gerada nos últimos 30s de esforço (potência final) é equivalente a PCrit ( $PC_{3MIN}$ ) e a área do trabalho realizado acima da  $PC_{3MIN}$  é considerada como o parâmetro anaeróbio ( $W'_{3MIN}$ ) (VANHATALO, DOUST e BURNLEY, 2007).

Apesar das críticas (SPERLICH et al. 2011; BERGSTROM et al. (2012); MCCLAVE et al. 2011), a  $PC_{3MIN}$  apresenta elevada reprodutibilidade (JOHNSON et al. 2011), é fortemente relacionada a máxima fase estável de lactato (BURNLEY, DOUST e VANHATALO, 2006), parece ser sensível ao treinamento de alta intensidade (VANHATALO, DOUST e BURNLEY, 2008) e pode ser utilizada para determinação das “zonas” ideais de treinamento (FRANCIS et al. 2009). Com isso, a potência crítica determinada por meio de apenas uma sessão, parece ser uma ferramenta bastante robusta e de fácil aplicação para a prescrição e o monitoramento do treinamento.

Burnley et al. (2006), observaram correlações muito fortes entre as situações teste e reteste (ICC= 0,99) e valores muito baixos de ET (~7 W) e de CV% (3%) para a potência gerada nos últimos trinta segundos de esforço máximo. Johnson et al. (2011) também evidenciaram elevados valores de reprodutibilidade da  $PC_{3MIN}$  determinada em ciclo ergômetro (ET= 15,3 W; CV% 6,7% e ICC=0,93). Embora os valores tenham sido inferiores, a reprodutibilidade deste parâmetro também foi confirmada em remo ergômetro (ET= 25W; CV%= 13,7% e ICC= 0,78; CHENG et al. 2011). Em conjunto estes resultados indicam uma elevada reprodutibilidade dos valores obtidos nos trinta segundos finais do esforço máximo de três minutos, independentemente do ergômetro utilizado.

Cheng et al. (2011) avaliando remadores treinados, não evidenciaram significativas correlações entre a  $W'_{MIN}$  e a  $W'$ . Além disso, estes autores observaram elevados CV% (30,1%) e moderadas correlações (ICC=0,63) entre as  $W'_{3MIN}$ , determinadas nas situações teste e reteste. Concordando com estes achados, Johnson et al. (2011) observaram que a  $W'_{3MIN}$  determinada em ciclo ergômetro, apresentou um CV% equivalente a 20,7%, um ET de 1456 W. Com

isso, parece que o parâmetro anaeróbio deste modelo não possui reprodutibilidade satisfatória.

Embora o esforço máximo tenha sido adaptado a corredores (PETTITT et al. 2011) e remadores (CHENG et al. 2011), mais estudos são necessários com objetivo de investigar esta metodologia em outros padrões de movimento (i.e. natação). Além disso, ainda não são encontrados estudos que investiguem as possíveis relações da  $W'_{3MIN}$  com o MAOD, reconhecido como método mais aceito para a estimativa da capacidade anaeróbia.

## **2.5. Capacidades aeróbia e anaeróbia na natação**

A determinação da intensidade correspondente à capacidade aeróbia é frequentemente realizada para a prescrição do treinamento em natação (OLBRECHT, 2000). Assim como ocorre em outras modalidades, a principal forma de avaliação da capacidade aeróbia em nadadores é por meio das relações entre a intensidade e as [Lac], que é realizada em várias faixas etárias (OLBRECHT, 2000; TOUBEKIS et al. 2006. FERNANDES et al. 2010; FERNANDES et al. 2011).

Entretanto, ao contrário do que parece ocorrer na corrida e no ciclismo (CHMURA et al. 2010; JAKEMAN et al. 2012; DENADAI et al. 2005), a determinação do LAN na natação por meio de modelos que utilizam [Lac] fixas (i.e. 3,5 ou 4,0 mM), parece superestimar a capacidade aeróbia (FERNANDES et al. 2011). Fernandes et al. (2011) observaram valores significativamente diferentes entre o LAN correspondente a [Lac] fixa de 4mM e os valores de intensidade determinados pelo modelo “bi-segmentado”, que teve [Lac] equivalentes a aproximadamente 2 mM. Estas [Lac] correspondentes ao LAN estão de acordo com outros estudos encontrados na literatura (MARTIN et al. 2000; PYNE et al. 2001).

A intensidade correspondente à capacidade aeróbia determinada por meio do comportamento individual das [Lac] em nadadores, parece não ser influenciada pelo tamanho dos estágios aplicados durante os testes incrementais. Fernandes et al. (2011) não observaram diferenças significativas entre o LAN determinado em três testes com sete estágios de 200, 300 ou 400m. Este estudo também não observou diferenças significativas entre o LAN, determinado nos três testes incrementais, e a MFEL. No entanto, as [Lac] relativas à intensidade de LAN evidenciadas no protocolo com estágios de 400m, foram significativamente inferiores em comparação aos outros testes incrementais. Desse modo, os autores concluíram que a capacidade aeróbia pode ser satisfatoriamente determinada por meio de protocolos incrementais com sete estágios de 200 a 300m (FERNANDES et al. 2011).

Ribeiro et al. (2003), investigando a possível influência do tamanho dos estágios aplicados durante a fase incremental do teste de lactato mínimo, observaram que a ILM não é modificada com a utilização de estágios com 200 ou 300m, sendo bastante próxima a MFEL. Com isso, embora poucos estudos tenham sido conduzidos sobre o tema, parece ser possível determinar a capacidade aeróbia por meio do teste de lactato mínimo em natação. Neste sentido, mais estudos são necessários para que a sensibilidade da ILM ao treinamento seja testada e a possível influência do estado nutricional sobre esta variável seja mais bem elucidada em natação.

Com relação à determinação da capacidade anaeróbia de nadadores, as metodologias não são tão bem desenvolvidas como as que avaliam a capacidade aeróbia, mesmo sendo imprescindível uma boa aptidão deste metabolismo para o desempenho do nadador (SMITH et al. 2002). Embora as [Lac] pico e a taxa de acúmulo de lactato sejam parâmetros frequentemente utilizados para avaliação do metabolismo anaeróbio (DEMENICE et al. 2007;

ASPENES et al. 2009), estes fatores podem ser influenciados pela quantidade de glicogênio muscular (JACOBS, 1981).

Além disso, a determinação do MAOD na natação é dificultada principalmente pela necessidade de determinação do  $VO_2$  durante o esforço, que normalmente é realizada por equipamentos de elevado custo financeiro. Neste sentido, os poucos estudos que determinaram o MAOD em nadadores realizaram os esforços na “swimming flume” (OGITA et al. 1996; OGITA et al. 1999; TRUIJENS et al. 2002), o que eleva consideravelmente os custos envolvidos na determinação desta variável fisiológica.

O modelo de potência crítica, quando aplicado em nado livre é chamado de velocidade crítica, sendo sensível ao treinamento periodizado (BARTHOLOMEU et al. 2009). Para a determinação dos parâmetros aeróbios e anaeróbios, o desempenho para uma série de distâncias é apicado, sendo que diferentes distâncias podem ocasionar diferentes valores fisiológicos (PAPOTI et al. 2005; GRECO et al. 2003).

Quando determinado em nado atado, o modelo de potência crítica pode ser chamado de força crítica. A força crítica por ser correlacionada a velocidade crítica (PERANDINI et al. 2006), ao limiar anaeróbio (IKUTA et al. 1996) e ao desempenho (PAPOTI et al., 2010), determinados em nado livre, tem sido considerada uma boa ferramenta para avaliação da aptidão aeróbia de nadadores (PERANDINI et al. 2006). A força crítica também apresenta boas correlações e valores similares estatisticamente ao limiar anaeróbio determinado em nado atado (PAPOTI et al. 2010).

Tendo em vista a importância do desenvolvimento da força para o desempenho em natação (GIROLD et al. 2006), a utilização da força crítica pode ser vantajosa para a prescrição das intensidades ideais do treinamento em nado atado, mais específico aos padrões motores realizados por nadadores



durante os treinamentos e competições, em comparação ao resistido realizado fora da água. Além disso, esforços em nado atado possuem uma característica mais contínua, sendo mais específicos para nadadores de águas abertas (i.e. triatletas) e possibilitando a realização do exercício com cargas conhecidas, como ocorre em ciclo ergômetro.

Desse modo, levando em consideração a importância do metabolismo anaeróbio para a evolução nesta modalidade, parece ser imprescindível a realização de mais estudos com objetivo de validar metodologias de fácil aplicação e baixos custos para a determinação da capacidade anaeróbia em nadadores, facilitando a determinação deste parâmetro fisiológico durante a rotina de treinamento. Neste contexto, a utilização do nado atado possibilita a determinação do  $VO_2$  durante o exercício, facilitando a determinação do MAOD e do MAOD<sub>RED</sub>, e pode ser utilizado para a realização de esforços contínuos, sendo possível a adaptação do esforço máximo de três minutos a natação.

## **2.6. Considerações sobre os métodos de avaliação apresentados**

A determinação da capacidade aeróbia parece ser de suma importância para a prescrição e monitoramento do treinamento em várias modalidades. Além disso, a MFEL é um método bastante aceito e reconhecido como “padrão ouro” para a determinação da capacidade aeróbia (BENEKE, 2003; BILATT et al. 2003), embora necessite de vários dias de avaliação, o que dificulta sua introdução na rotina de treinamento. O LAN pode ser satisfatoriamente determinado durante um teste incremental, por meio de métodos de concentração fixa (i.e. OBLA) ou levando em consideração a cinética individual das [Lac] (i.e. bi-segmentado) (PAPOTI et al. 2009; LIMA et al. 2006; CHMURA et al. 2010; JAKEMAN et al. 2012; DENADAI et al. 2005).

Em natação, a determinação da capacidade aeróbia também parece ser bem descrita na literatura, com métodos eficazes para a estimativa da MFEL de maneira satisfatória. Entretanto, para que a ILM apresente as mesmas vantagens observadas em outras modalidades, mais estudos devem ser realizados sobre esta variável determinada em natação (i.e. sensibilidade ao treinamento e influências das quantidades de glicogênio muscular) (TEGTBUR et al. 1993).

Os estudos supracitados utilizam o nado livre para a determinação da capacidade aeróbia e, conseqüentemente, para a prescrição das intensidades de treinamento, o que ocasiona um esforço menos contínuo em função das viradas. Neste sentido, estes modelos de avaliação podem não ser tão específicos aos padrões motores observados durante os treinamentos e competições de nadadores de águas abertas (e.g. triatletas e maratonistas) (PAPOTI et al. 2013). Embora pareçam ocorrer mudanças na mecânica de nado (MARTIN et al. 1981), a utilização de esforços em nado atado parece ser uma boa alternativa para respeitar a especificidade exigida por estas modalidades. Entretanto, poucos estudos tem o objetivo de validar métodos de determinação da capacidade aeróbia em nado atado (PAPOTI et al. 2009; PAPOTI et al. 2013; PAPOTI et al. 2010; IKUTA et al. 1996; PERANDINI et al. 2006).

Com relação à capacidade anaeróbia, a partir da literatura apresentada, fica evidente a necessidade de mais pesquisas sobre a validação de métodos fidedignos para a mensuração desta variável em natação. Embora tenham sido encontrados estudos que determinaram o MAOD em nadadores (OGITA et al. 1996; OGITA et al. 1999; TRUIJENS et al. 2002), a introdução desta metodologia durante a rotina de treinamento em natação é muito dificultada

principalmente pela necessidade de determinação do  $VO_2$  durante uma série de esforços (MEDBO et al. 1988).

Recentemente Pinna et al. (2012) demonstraram que esforços em nado atado podem ser utilizados para a determinação de variáveis cardiorrespiratórias em nadadores, de maneira mais específica. As variáveis cardiorrespiratórias determinadas em nado atado parecem ser reprodutíveis (HEINGENHAUSER e FAULKNER, 1978), são similares as determinadas em nado livre (BONEN et al.1980) e apresentam boas correlações com o desempenho (SHARP et al. 1981; DOPSAJ et al. 2000).

Com isso, a utilização do nado atado parece ser uma alternativa específica para a determinação do  $VO_2$  durante esforços na natação, de fácil aplicação e com custo reduzido em comparação ao *swimming flume*. Assim, embora ainda não sejam encontrados estudos que utilizem este modelo para a determinação da relação  $VO_2$ -intensidade, o nado atado pode ser uma alternativa viável para a determinação do MAOD em meio líquido.

Em resumo, embora os métodos de avaliação da capacidade aeróbia sejam bem desenvolvidos em nado livre, poucos estudos investigam a validação destas metodologias em nado atado, o que tornaria a determinação desta variável mais específica para nadadores de águas abertas e com custos reduzidos em comparação aos ergômetros comumente utilizados. Além disso, o nado atado parece ser uma boa alternativa para a determinação do  $VO_2$  durante os esforços em meio líquido, facilitando a introdução do MAOD durante a rotina de treinamento aplicada a nadadores.

Este modelo de esforço também pode ser utilizado para a determinação do  $MAOD_{RED}$ , diminuindo o número de sessões necessárias e aumentando ainda mais a praticidade de mensuração da capacidade anaeróbia em meio líquido. Tendo em vista que a relação força vs tempo tem um comportamento

similar a relação potência vs tempo, o nado atado também pode ser utilizado para a determinação da força crítica em apenas uma sessão de avaliação.

### **3. OBJETIVO**

Validar metodologias específicas para a determinação das capacidades aeróbia e anaeróbia em natação, utilizando o nado atado.

#### **3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Testar a reprodutibilidade do MAOD determinado em nado atado;
- ✓ Testar a reprodutibilidade do MAOD<sub>RED</sub>, determinado em nado atado;
- ✓ Investigar as possíveis relações entre o MAOD e o MAOD<sub>RE</sub>;
- ✓ Testar a reprodutibilidade da intensidade de lactato mínimo (ILM), determinada em nado atado;
- ✓ Investigar as possíveis relações entre a ILM e o LAN;
- ✓ Determinar as variáveis provenientes do esforço máximo de três minutos em nado atado, testando sua reprodutibilidade;
- ✓ Determinar as possíveis relações entre a variável anaeróbia do esforço máximo de três minutos ( $W'_{3MIN}$ ) e o MAOD;
- ✓ Investigar as relações entre a força crítica determinada pelo esforço máximo de três minutos e o LAN.

### **4. MATERIAIS E MÉTODO**

#### **4.1. PLANO DE TRABALHO**

Previamente ao período de avaliações, a padronização dos instrumentos de mensuração de força foi realizada. Além disso, estudos piloto com objetivo de padronizar tanto do esforço máximo de três minutos como do esforço supramáximo, necessário para a determinação do MAOD, foram realizados.

Adicionalmente, todos os participantes realizaram um período de adaptação ao nado atado que foi realizado por cinco sessões com 20min de duração e intensidades de moderada a forte.

Posteriormente, os atletas foram submetidos a um teste incremental para a determinação tanto do limiar anaeróbio (LAN) como da máxima força atingida neste teste ( $FP_{TI}$ ), a dez esforços submáximos (50-95% da  $FP_{TI}$ ) para a construção da relação entre o consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ ) e a intensidade ( $VO_2$ -intensidade), a um esforço exaustivo a 100% da  $FP_{TI}$  para a determinação do MAOD, a um esforço máximo de três minutos para a determinação da força crítica ( $FC_{3MIN}$ ) e do trabalho realizado acima da  $FC_{3MIN}$  ( $W'_{3MIN}$ ), e ao protocolo de lactato mínimo. Todos os esforços foram realizados em nado atado e repetidos para testar a reprodutibilidade das medidas. Embora ao todo vinte e três nadadores tenham participado do presente projeto de pesquisa, o número de participantes em cada fase foi diferente. Com isso, a quantidade de participantes e suas características, estão especificadas em cada sessão dos resultados.

## **4.2. ESTUDOS PILOTO**

### **4.2.1 INTRODUÇÃO DOS ESTUDOS PILOTO**

Embora o esforço máximo de três minutos tenha sido muito estudado em ciclo ergômetro (VANHATALO e JONES, 2008; FRANIS et al. 2010; DEKERLE et al; 2008; MCCLAVE et al. 2011; VANHATALO et al. 2007; CHENG et al. 2011; VANHATALO et al. 2010; SIMPSON et al. 2011; PETTIT et al. 2012, JOHNSON et al. 2011; BERGSTROM et al. 2012; SPERLICH et al. 2011; VANHATALO et al. 2006; VANHATALO et al. 2008; BURNLEY et al. 2006; BARKER et al. 2011), para nosso conhecimento este é o primeiro projeto de pesquisa que tem como objetivo validar esta metodologia para avaliação

específica a nadadores. Com isso, previamente ao período de avaliações, é necessária a padronização das técnicas exigidas. O objetivo do primeiro estudo piloto foi testar a hipótese de que a relação força vs tempo possui um comportamento semelhante à relação potência vs tempo, permitindo a determinação das variáveis do esforço máximo de três minutos assim como ocorre em ciclo ergômetro. Além disso, o primeiro estudo piloto também teve como objetivo testar as possíveis correlações dos parâmetros determinados pelo esforço máximo de três minutos ao desempenho em nado livre e a índices fisiológicos ligados aos metabolismos aeróbio e anaeróbio. Este estudo piloto foi convertido para a forma de artigo e está anexado ao final do presente trabalho, nas normas do periódico *Motriz*.

O  $T_{lim}$  observado durante o esforço supramáximo, é um fator que pode influenciar nos valores de MAOD (MEDBO e TABATA, 1989). Neste sentido, em intensidades onde o  $T_{lim}$  é inferior a dois minutos, o  $VO_2$  acumulado e a máxima contribuição anaeróbia parecem ser subestimados (MEDBO e TABATA, 1989; MEDBO e TABATA, 1993). Além disso, independentemente da intensidade utilizada, quando o  $T_{lim}$  é superior a dois minutos (2-5 min) os valores de MAOD não são alterados (MEZZANI et al. 2006; WEBER e Schneider, 2001). Desse modo, como ainda não encontramos um consenso na literatura sobre os valores de  $T_{lim}$  em intensidades supramáximas realizadas em nado atado, o objetivo do segundo estudo piloto foi determinar a intensidade ideal para que a exaustão ocorra entre 2 a 5 min, adicionando maior robustez aos valores encontrados de MAOD.

## 4.2.2. MATERIAIS E MÉTODO DOS ESTUDOS PILOTO

### *Participantes*

No primeiro estudo piloto 30 nadadores (9 mulheres e 21 homens) com idade de  $20 \pm 3$  anos, estatura de  $174,2 \pm 9,7$  cm e massa corporal de  $71,9 \pm 9,9$  kg participaram voluntariamente. No segundo estudo piloto, sete nadadores (4 mulheres e 3 homens) com idade de  $18 \pm 2$  anos, estatura de  $166,5 \pm 10,4$  cm e massa corporal de  $59,8 \pm 9,1$  Kg, participaram voluntariamente. Todos os procedimentos foram aprovados pelo comitê de ética em pesquisa para seres humanos. Os atletas e seus pais, quando necessário, foram informados dos riscos e benefícios do presente estudo e somente foram incluídos nas análises aqueles que assinaram o termo de compromisso livre e esclarecido.

### *Delineamento experimental*

**Estudo piloto 1.** Os participantes foram submetidos a cinco sessões de avaliação, separados por um intervalo mínimo de 24h. Na primeira sessão foi determinada a intensidade correspondente ao limiar anaeróbio, por meio do protocolo de lactato mínimo. Na segunda sessão, os atletas realizaram um esforço máximo de 400m para a determinação do consumo de oxigênio pico ( $VO_{2PICO}$ ) e a contribuição total do metabolismo anaeróbio (lático e alático). Na terceira sessão os participantes foram submetidos a um esforço máximo de três minutos realizado em nado atado para a determinação da força crítica ( $FC_{3MIN}$ ) e da área de trabalho realizado acima da  $FC_{3MIN}$  ( $W'_{3MIN}$ ). Na quarta e quinta sessão, os atletas realizaram esforços para as distâncias de 200 e 400m.

**Estudo piloto 2.** Os participantes foram submetidos a três sessões de avaliação, separadas por um intervalo mínimo de 48h. Na primeira sessão os

nadadores realizaram um teste incremental em nado atado para a determinação da  $FP_{TI}$ . Na segunda e terceira avaliações os participantes foram submetidos a esforços máximos a 110 e a 100% da  $FP_{TI}$ , respectivamente. Em ambos os esforços máximos o  $T_{lim}$  foi registrado.

**Condições de avaliação.** Todas as avaliações foram realizadas em piscina de 50 m, com temperatura da água em  $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Previamente a todos os testes os atletas realizaram aquecimento padrão, em nado livre, com intensidade moderada, determinada subjetivamente pelo próprio nadador.

#### ***Procedimentos experimentais: estudo piloto 1***

**Determinação do limiar anaeróbio (LAN).** A intensidade correspondente ao limiar anaeróbio (LAN) foi determinada por meio do teste de lactato mínimo (TEGTBUR et al, 1993), adaptado para a natação (RIBEIRO et al., 2003). A fase de indução a hiperlactacidemia foi realizada por meio de um esforço máximo de 200m. Após oito minutos de recuperação passiva, os nadadores foram submetidos a um esforço incremental composto por cinco estágios de 200m. O LAN foi assumido como a derivada zero do ajuste polinomial de segunda ordem. Para maiores detalhes sobre a determinação do LAN neste estudo, consultar o ANEXO I.

**Esforço máximo de 400m.** O esforço máximo de 400m foi realizado para a determinação do  $VO_{2PICO}$ , por meio da técnica de retroextrapolação (MONTPETIT et al.1981; JÜRIMÄE et al., 2007) e da contribuição anaeróbia total ( $W_{ANA}$ ), por meio da análise do consumo de oxigênio excessivo pós esforço e do acúmulo de lactato sanguíneo (BERTUZZI et al. 2010). Para



maiores detalhes sobre a determinação do  $VO_{2PICO}$  e da  $W_{ANA}$  neste estudo, consultar o ANEXO I.

**Esforço máximo de três minutos.** A força durante o esforço máximo de três minutos foi mensurada por meio de dinamômetro (HOMIS 2100, São Paulo-Brasil). Como variáveis do esforço máximo de três minutos foram determinadas a força pico (FP), a força média (FM) o índice de fadiga (IF),  $FC_{3MIN}$  e a  $W'_{3MIN}$ . Adicionalmente, o impulso aeróbio foi considerado como a área correspondente ao metabolismo aeróbio ( $FC_{3MIN} \times 180$ ) e o impulso total foi assumido como a integral obtida da relação força *versus* tempo durante todo o teste. Para maiores detalhes sobre a determinação das variáveis provenientes do esforço máximo de três minutos, consultar o ANEXO I.

**Desempenho máximo.** Os atletas realizaram esforços para as distâncias de 200 e 400m. Todos os participantes foram instruídos a realizar os esforços no menor tempo possível.

**Tratamento Estatístico.** O tratamento estatístico utilizado está descrito no ANEXO I.

### ***Procedimentos experimentais: estudo piloto 2***

**Determinação da  $FP_{TI}$ .** O teste incremental teve intensidade inicial de 20 N e incrementos de 10 N a cada três minutos. As intensidades e os incrementos foram aplicados por meio de marcações no fundo da piscina. A  $FP_{TI}$  foi assumida como a máxima intensidade atingida durante o teste incremental. No caso do atleta ter entrado em exaustão antes do término do estágio a  $FP_{TI}$  foi

ajustada pela equação proposta por Kuipers et al. (1985). Para mais detalhes, ver secção 5.3.1 – Determinação da  $FP_{TI}$  em Materiais e Método.

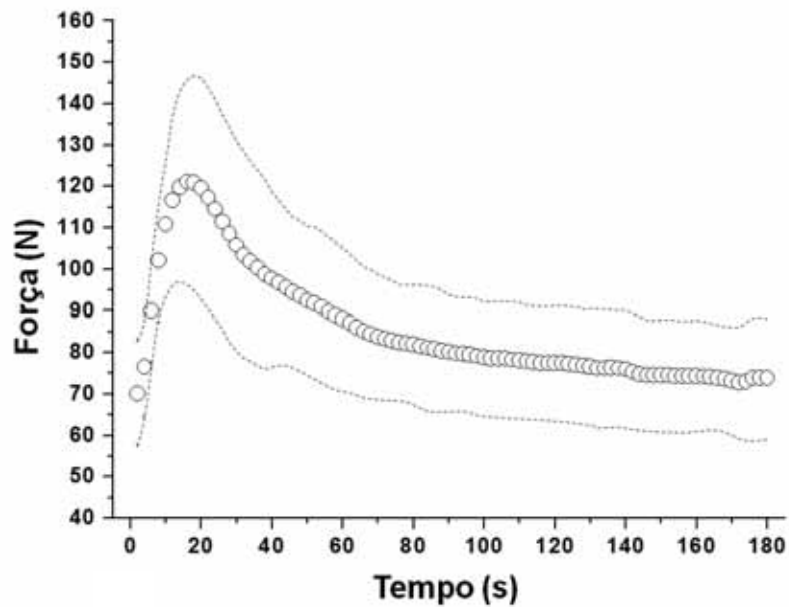
**Esforços exaustivos a 100 e 110% da  $FP_{TI}$ .** As intensidades individuais foram aplicadas por meio de marcações no fundo da piscina. O  $T_{lim}$  foi determinado em ambos os esforços. A exaustão foi voluntária ou caracterizada pela impossibilidade do atleta permanecer na distância pré definida por mais de 10s, mesmo com fortes encorajamentos verbais. Durante todo o teste  $VO_2$  foi mensurado com os mesmos equipamentos utilizados durante as avaliações propriamente ditas (ver secção 5.1.2 – Instrumentação do Materiais e Método).

**Tratamento Estatístico.** A normalidade dos dados foi testada por meio do teste de Shapiro-Wilk. As possíveis diferenças entre os esforços máximos foram testadas pelo teste  $t$  de *student* para amostras dependentes e as possíveis correlações foram observadas por meio do teste de correlação de Pearson. Além disso, as concordâncias entre as variáveis obtidas durante os esforços máximos, foram determinadas pela análise gráfica de Bland e Altman (1986).

#### 4.2.3. RESULTADOS DOS ESTUDOS PILOTO

**Estudo piloto 1.** A relação força tempo apresentou comportamento semelhante ao observado em ciclo ergômetro (relação potência-tempo), permitindo a determinação das variáveis provenientes do esforço máximo de três minutos (Figura 6). Além disso, foram encontradas significativas correlações entre os parâmetros do esforço máximo de três minutos e os índices fisiológicos tanto aeróbios como anaeróbios (Tabela 1). Todos estes resultados estão melhor descritos no ANEXO I. Adicionalmente, dentre as

variáveis do esforço máximo de três minutos, apenas o IF não foi correlacionado os desempenhos de 200 ( $1,52 \pm 0,08 \text{ m.s}^{-1}$ ) e 400m ( $1,43 \pm 0,08 \text{ m.s}^{-1}$ ) (Tabela 2).



**Figura 6.** Comportamento da força obtida durante o esforço máximo de três minutos realizado em nado atado (média correspondente aos círculos abertos e desvio padrão correspondente às linhas tracejadas).

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação entre os parâmetros provenientes do esforço máximo de três minutos (Força pico, força média, índice de fadiga, força crítica ( $FC_{3MIN}$ ), área do trabalho realizado acima da  $FC_{3MIN}$  ( $W'_{3MIN}$ ), impulso aeróbio e impulso total) e os índices fisiológicos estudados.

	LAN	$VO_{2PICO}$	$W_{ANA}$
Força pico	0,74*	0,73*	0,61*
Força média	0,83*	0,68*	0,44*
Índice de fadiga	0,19	0,34	0,36
$FC_{3MIN}$	0,80*	0,60*	0,36
$W'_{3MIN}$	0,42*	0,56*	0,45*
Impulso aeróbio	0,81*	0,60*	0,36
Impulso total	0,83*	0,68*	0,44*

LAN: Limiar anaeróbio;  $VO_{2PICO}$ : Consumo pico de oxigênio;  $W_{ANA}$ : Contribuição anaeróbia total; \* Correlação significativa entre as variáveis ( $p < 0,05$ ).

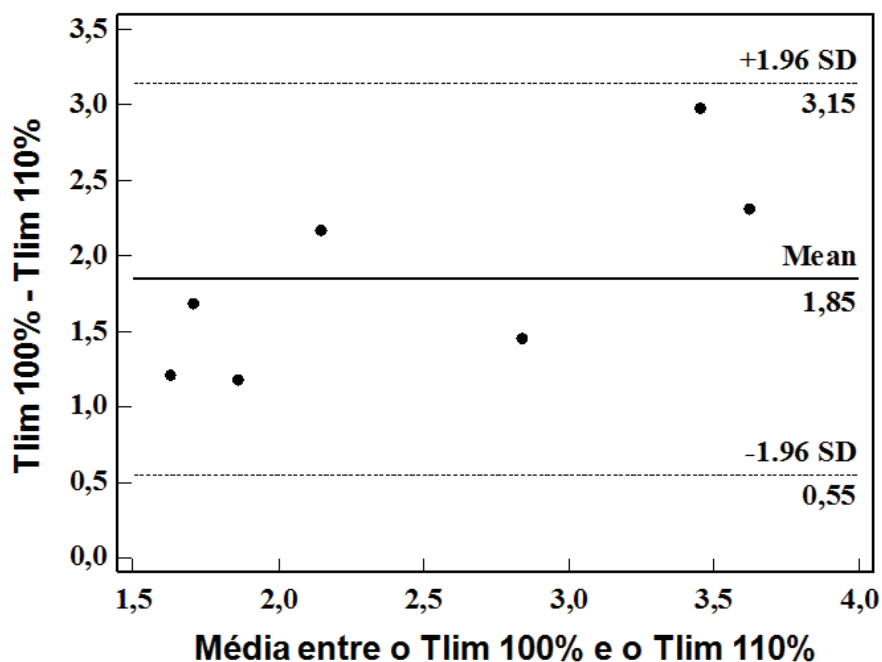
**Tabela 2.** Coeficientes de correlação obtidos entre a Força crítica ( $FC_{3MIN}$ ), capacidade de nado anaeróbio ( $W'_{3MIN}$ ), força pico (FP), força média (FM) e o índice de fadiga (IF) determinados em nado atado por meio do esforço máximo de três minutos e as velocidades médias nas distâncias de 200 (T200m) e 400m (T400m).

	$FC_{3MIN}$ (N)	$W'_{3MIN}$ (N)	FP (N)	FM (N)	IF (%)
V200 (s)	0,84*	0,38*	0,63*	0,78*	0,13
V400 (s)	0,70*	0,47*	0,66*	0,77*	0,12

\*Indica correlação significativa para  $p < 0,05$ .

**Estudo piloto 2.** O Tlim no esforço a 110% da  $FP_{TI}$  ( $1,56 \pm 0,58$  min) foi significativamente inferior ( $p = 0,001$ ) ao observado no esforço a 100% ( $3,39 \pm 1,11$  min). Além disso, no esforço a 110% da  $FP_{TI}$ , 71,43% os participantes ( $n = 5$ ) entraram em exaustão antes do segundo minuto de esforço

(entre 52 e 118 s). Adicionalmente, embora os valores tenham sido fortemente correlacionados ( $r= 0,84$ ), a análise de concordância indicou que os valores de Tlim entre as duas intensidades apresentaram diferenças médias de 1,85 min podendo chegar até 3,15min, em um nível de significância de 95% (Figura 7).



**Figura 7.** Análise da concordância entre os tempos até a exaustão (Tlim) observados nas intensidades correspondentes a 100 e 110% da  $FP_{TI}$  (i.e. força pico observada durante o teste incremental).

#### 4.2.4. CONSIDERAÇÕES PARTICIAIS A PARTIR DOS RESULTADOS PROVENIENTES DOS ESTUDOS PILOTO

**Estudo piloto 1.** Os métodos utilizados no presente estudo piloto foram eficazes para a determinação da relação força-tempo, possibilitando a determinação das variáveis provenientes do esforço máximo de três minutos em nado atado, assim como ocorre em ciclo ergômetro. Além disso, este estudo piloto observou que os parâmetros do esforço máximo de três minutos foram significativamente correlacionados a índices fisiológicos ligados tanto ao

metabolismo aeróbio como anaeróbio, determinados em nado livre. Estes achados concordam com os de outros estudos que observaram que os parâmetros provenientes do modelo de força crítica podem ser utilizados para avaliação de nadadores (PAPOTI et al., 2010; IKUTA et al. 1996; PERANDINI et al. 2006). Para mais discussões sobre estes achados, verificar o ANEXO I. Por fim, os achados do presente estudo piloto concordam com os de Papoti et al. (2010), que demonstraram significativas correlações entre a força crítica determinada de maneira convencional (quatro esforços 87-134% da  $iVO_{2MAX}$ ) e o desempenho de 30 minutos ( $r=0,86$ ) e 400m ( $r=0,85$ ) em nado livre. Entretanto, embora o presente estudo piloto tenha encontrado significativas correlações entre a  $W'_{3MIN}$  e o desempenho em nado livre, mais estudos são necessários para que estes resultados tenham confirmação e para que o verdadeiro significado fisiológico desta variável seja melhor elucidado.

**Estudo piloto 2.** O Tlim observado durante o esforço supramáximo pode influenciar os valores de MAOD (MEDBO e TABATA, 1989; MEDBO e TABATA, 1993). Neste sentido, os achados deste estudo piloto indicam que, a partir da metodologia utilizada, o Tlim na intensidade correspondente a 110% da  $FP_{TI}$  não pode ser utilizado para uma determinação robusta do MAOD. Desse modo, os esforços realizados para a determinação da capacidade anaeróbia durante o presente projeto de pesquisa foram realizados a 100% da  $FP_{TI}$ , garantindo valores máximos de  $VO_2$  acumulado e da contribuição anaeróbia (MEDBO e TABATA, 1989; MEDBO e TABATA, 1993).

### **4.3. PROJETO DE PESQUISA**

Com base nos achados obtidos por meio da realização dos estudos pilotos 1 e 2, surge a seguinte pergunta:

Os parâmetros provenientes do esforço máximo de 3min em nado atado são ferramentas válidas para avaliação das capacidades aeróbia e anaeróbia e predição de desempenho de nadadores?

Tendo em vista que a maioria dos métodos utilizados em atividades cíclicas (i.e. corrida, ciclismo e natação) ainda não tinham sido realizados em situação de nado atado, para responder a pergunta central da presente dissertação de mestrado foi necessária à realização de três estudos, testando a reprodutibilidade, a capacidade de prever desempenho e, portanto, a validade de diferentes protocolos de avaliação aeróbia e anaeróbia (Artigos 1, 2 e 3). Os resultados provenientes desses estudos constituíram nossa “base de conhecimento” que foram utilizados para responder nossa pergunta central (Artigos 4 e 5).

Os procedimentos metodológicos utilizados nos cinco artigos são apresentados a seguir.

#### **4.3.1. MATERIAIS E MÉTODO**

Para responder as perguntas evidenciadas anteriormente foram necessários à realização dos seguintes procedimentos experimentais

##### ***Participantes***

Vinte e três nadadores (idade de  $16\pm 2$  anos; estatura de  $165,4\pm 9,3$  cm; massa corporal de  $57,59,6\pm 9,39,1$  Kg e percentual de gordura de  $23,5\pm 10,9\%$ ) participaram voluntariamente do presente estudo. Os atletas pertencem a equipes de natação da

cidade de Presidente Prudente – SP, filiadas a Federação Aquática Paulista de natação, de nível estadual e nacional, com tempo mínimo de natação competitiva de seis anos. Todos os procedimentos foram aprovados pelo comitê de ética em pesquisa para seres humanos. Os atletas e seus pais, quando necessário, foram informados dos riscos e benefícios do presente estudo e somente foram incluídos nas análises aqueles que assinaram o termo de compromisso livre e esclarecido.

### ***Instrumentação***

Durante todos os esforços a força e o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) foram monitorados constantemente. Além disso, a percepção subjetiva de esforço (PSE), que já era aplicada aos participantes a pelo menos um ano, foi determinada para todos os esforços (BORG, 1982). Após o teste incremental e o esforço máximo a 100% da  $FP_{TI}$ , amostras sanguíneas foram coletadas do lóbulo da orelha para a determinação das concentrações de lactato utilizando o YSI 1500 SPORT (YSI, Yellow Springs, Ohio, USA).

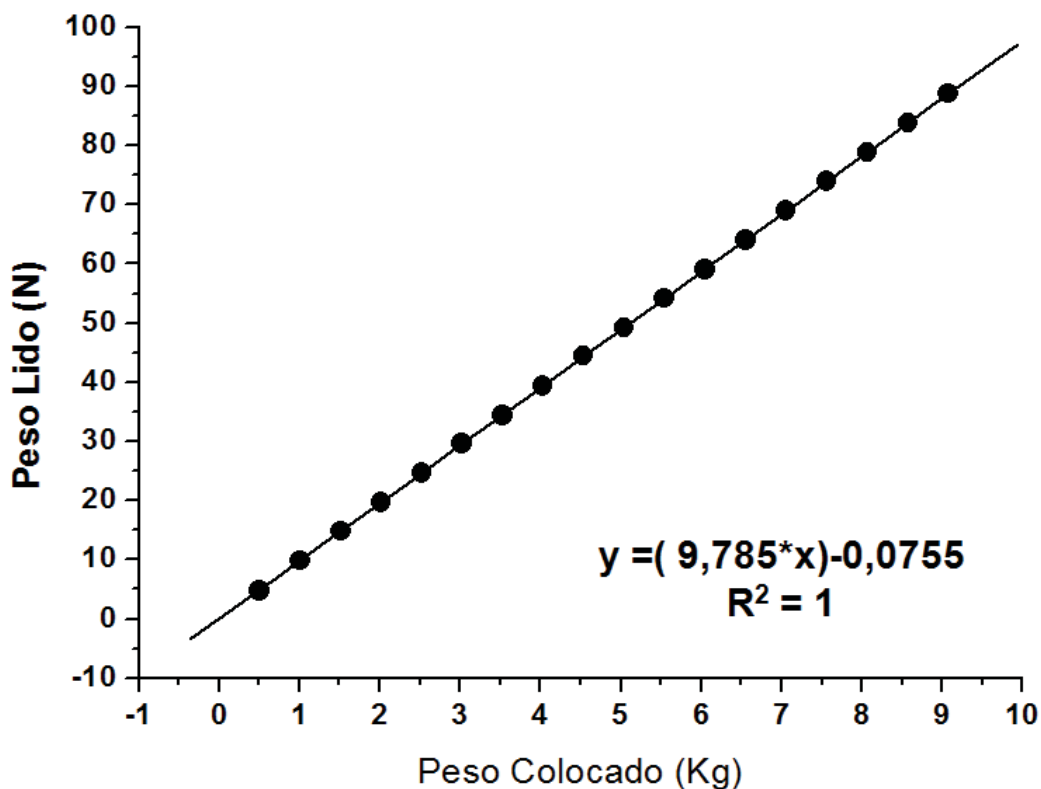
A força realizada durante todos os esforços foi mensurada por meio de um dinamômetro (HOMIS 2100, São Paulo - Brazil), que possuía uma célula de carga (capacidade de 100kg) como elemento sensor primário. Previamente ao início das avaliações, a linearidade do sistema de aquisição de força foi testada por meio da sobreposição de pesos conhecidos. A sobrecarga média foi de  $504,30 \pm 1,54$  g, realizada 18 vezes a cada dois minutos de mensuração, totalizando 9077,36 g. A média dos últimos 15 pontos (30 s) de cada carga, foi utilizada para a construção da relação entre o peso lido pelo dinamômetro (N) e o peso colocado (g) (Figura 8). A equação resultante (Eq. 1) teve coeficiente de determinação perfeito ( $R^2 = 1$ ). Além disso, o erro de estimativa do coeficiente angular foi de 0,5% e do coeficiente linear



foi de 3%. A partir destes resultados, concluímos que o sistema que foi utilizado para a mensuração da força em nado atado apresenta linearidade satisfatória.

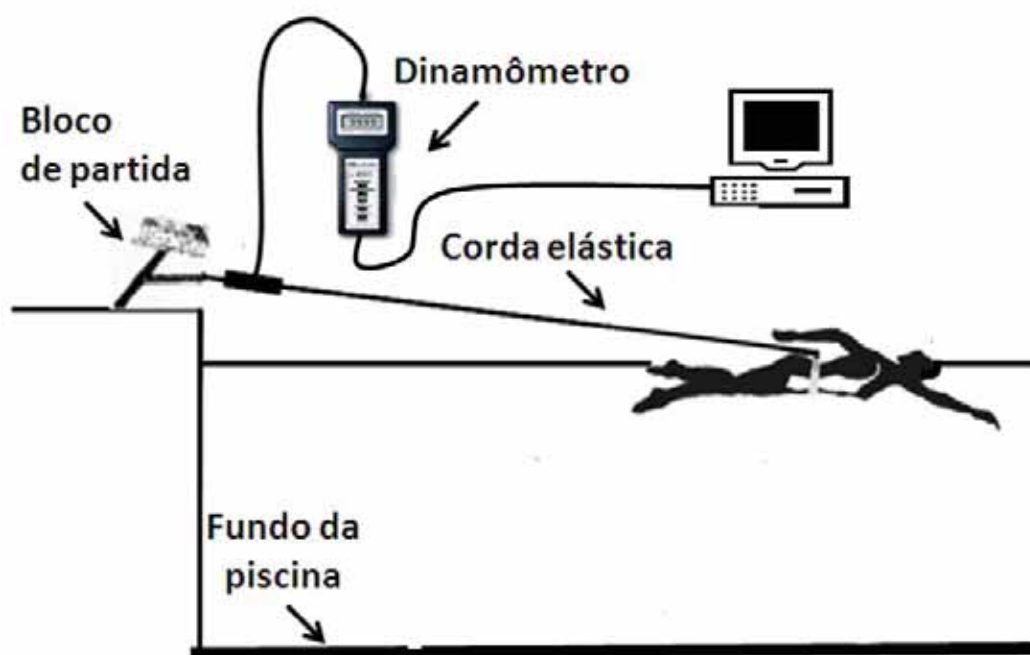
$$\text{Eq 1.} \quad \text{PL} = (9,785 * \text{PC}) - 0,0755$$

Onde: PC= peso colocado e PL = peso lido pelo dinamômetro.



**Figura 8.** Relação entre o peso lido e o peso colocado resultante do experimento realizado para testar a linearidade do sistema de mensuração da força.

Durante os esforços, os atletas foram conectados ao sistema de mensuração da força por meio de uma corda elástica com seis metros de comprimento (Auriflex nº204, São Paulo, Brazil) amarrada na cintura do nadador (Figura 9). A célula de carga foi fixada no bloco de saída da piscina. Os valores de força foram obtidos a cada dois segundos e armazenados em um software específico (Lutron SW-U801, Taipei - Taiwan).



**Figura 9.** Desenho esquemático do posicionamento do nadador e dos equipamentos utilizados para a mensuração da força durante o esforço máximo de três minutos.

Para a determinação do  $VO_2$ , a máscara do analisador de gases (VO2000, Medgraphics, EUA) foi substituída por um snorkel previamente validado (PAPOTI et al. 2007). O equipamento foi calibrado conforme as especificações do fabricante antes do início de cada teste e os valores de  $VO_2$  foram obtidos a cada ciclo de três respirações. Este modelo de analisador de gases foi utilizado anteriormente para a determinação de variáveis fisiológicas em nado atado (PINNA et al. 2012, POPOTI et al. 2011) e do MAOD (LIMA et al. 2011, ZAGATTO e GOBATTO, 2012).

Previamente as coletas sanguíneas, o pesquisador responsável pelo projeto de pesquisa realizou assepsia com álcool 70% para posterior punção manual do lóbulo da orelha com lanceta picadora (Wiltex) de aço inox, esterilizada com Raio Gamma de uso único. Durante os procedimentos de assepsia, punção manual e

coleta das amostras sanguíneas, luvas para procedimento em látex (Lemgruber) foram utilizadas. Vinte e cinco microlitros (25 $\mu$ L) de sangue foram retirados do lóbulo da orelha em tubos capilares previamente calibrados e heparinizados. As amostras foram imediatamente depositadas em tubos Eppendorf de 1,5mL contendo 50  $\mu$ l de Fluoreto de Sódio (NaF-1%), para posterior análise da lactacidemia em um lactímetro eletroquímico (Yellow Springs Instruments modelo 1500 Sport, Ohio, USA). Após a determinação das concentrações sanguíneas de lactato, as lancetas picadoras e todo o material utilizado durante as coletas foram descartados em coletor de perfurocortante (Descarpak – 7litros) para posterior depósito em lixo biológico.

#### **Determinação da força pico atingida no teste incremental ( $FP_{TI}$ ) e do limiar anaeróbio (LAN)**

O teste incremental foi realizado até a exaustão voluntária ou até o nadador ser incapaz de sustentar a força pré-determinada por mais de 10 s. O teste incremental teve intensidade inicial de 20 N e incrementos de 10 N a cada três minutos. As intensidades e os incrementos foram aplicados por meio de marcações no fundo da piscina, semelhante aos realizados por Pinna et al. (2012) e Papoti et al. (2011). A força real para cada estágio foi assumida como a média dos valores observados no último minuto de esforço. A força pico atingida durante o teste incremental ( $FP_{TI}$ ) foi utilizada para a determinação das intensidades submáximas individuais. No caso do atleta ter entrado em exaustão antes do término do estágio a  $FP_{TI}$  foi ajustada pela equação proposta por Kuipers et al. (1985), adaptada ao nado atado (PAPOTI et al. 2012). O teste incremental foi repetido para testar a reprodutibilidade da  $FP_{TI}$  no mínimo após 48h. Além disso, as [Lac], determinadas ao

final de cada estágio, posteriormente foram ajustadas em função da intensidade seguindo o modelo bi-segmentado. Com isso, o LAN foi assumido como a intensidade correspondente a intersecção das inclinações das duas retas. Este modelo foi escolhido por possibilitar a estimativa da MFEL em nado atado (PAPOTI et al. 2010).

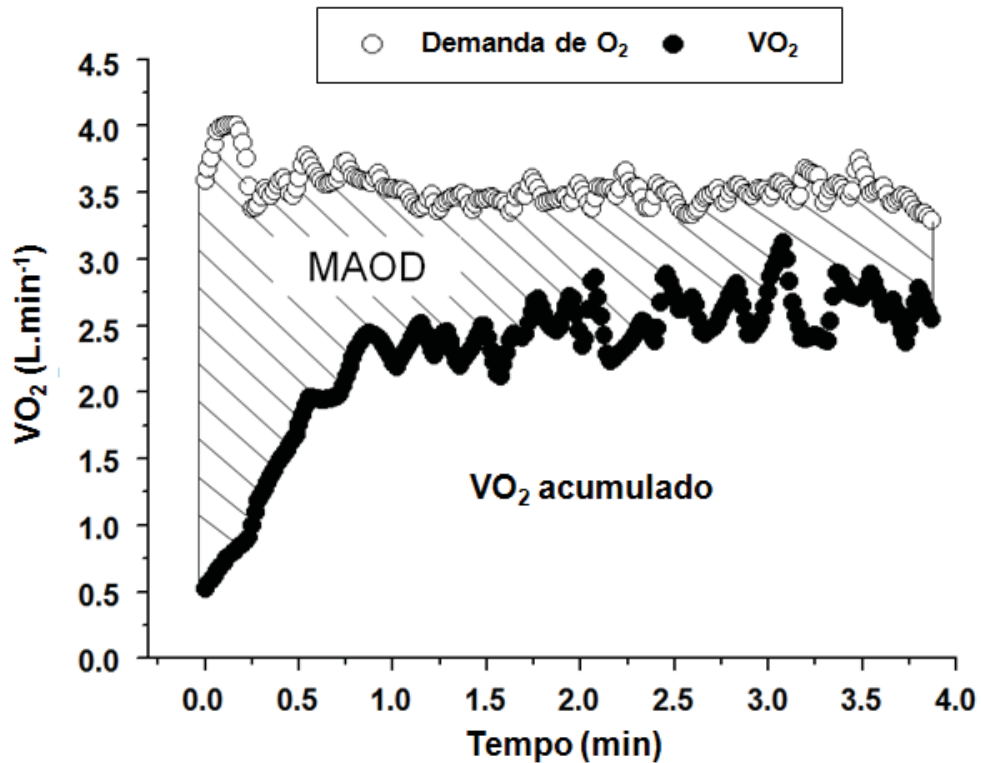
### **Determinação do máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) em nado atado**

Dez esforços submáximos foram realizados em ordem randômica para a determinação da relação  $VO_2$ -intensidade. Os esforços tiveram duração de 7 min e intensidades relativas à  $FP_{T1}$  (50 a 95% da  $FP_{T1}$ ). Duas a três cargas submáximas foram realizadas a cada sessão, sendo respeitado um intervalo mínimo de 15 min entre os esforços para que o  $VO_2$  retornasse aos valores de repouso. A intensidade real de cada carga submáxima foi assumida como a média dos valores de força observados no último minuto esforço.

A média dos valores de  $VO_2$  observada nos últimos 30s de esforço, foi considerada como o estado estável de  $VO_2$  para a intensidade correspondente. Além disso, os atletas foram submetidos a um esforço com intensidade correspondente a 100% da  $FP_{T1}$ , realizado até a exaustão voluntária, para a determinação do tempo até a exaustão ( $T_{lim}$ ) e do déficit acumulado de  $O_2$ . Esta intensidade foi escolhida para que o esforço tivesse duração superior a dois minutos, não influenciando os valores de MAOD (MEDBO e TABATA, 1989) (Ver resultados estudo piloto 1). O  $VO_2$  observado nos últimos 30s do esforço máximo foi assumido como valor de  $VO_2$  pico ( $VO_{2PICO}$ ) para esta intensidade. Após um intervalo de 48 h os esforços submáximos e máximo foram repetidos para testar a reprodutibilidade das medidas.

Durante o esforço máximo a 100% da  $FP_{TI}$ , embora os atletas tenham sido instruídos a manter pelo máximo de tempo possível a cabeça alinhada na marcação no fundo da piscina, uma variação na força desenvolvida foi observada durante o esforço exaustivo. Com isso, a área da demanda de  $O_2$  teórica não pode ser considerada retangular (demanda para a intensidade máxima x  $T_{lim}$ ), como ocorre em ciclo-ergômetro ou em esteira rolante.

Neste sentido, primeiramente a força e o  $VO_2$  observados durante o esforço máximo (100% da  $FP_{TI}$ ) foram interpolados para a obtenção dos valores a cada segundo de teste (OriginPro 6.0; Microcal, Massachusetts, USA). Desse modo, a relação  $VO_2$ -intensidade foi extrapolada para a determinação da demanda de  $O_2$  relativa aos valores de força observados a cada segundo do esforço máximo (Figura 10). Com isso, o MAOD foi determinado pela diferença entre a integral das demandas de  $O_2$  para cada valor de força e o  $VO_2$  acumulado, assumido como a integral do  $VO_2$  observado durante todo o teste (Figura 10).



**Figura 10.** Demandas de  $O_2$  para os valores de força observados a cada segundo de teste, determinadas por meio da extrapolação da relação  $VO_2$ -intensidade (símbolos vazios) e o consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ ) observado durante todo o esforço máximo (símbolos cheios). O máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) foi assumido como a diferença entre a integral das demandas de  $O_2$  para os valores de força e a integral do  $VO_2$  ( $VO_2$  acumulado).

#### **Determinação do MAOD determinado por meio de apenas um esforço máximo ( $MAOD_{RED}$ ).**

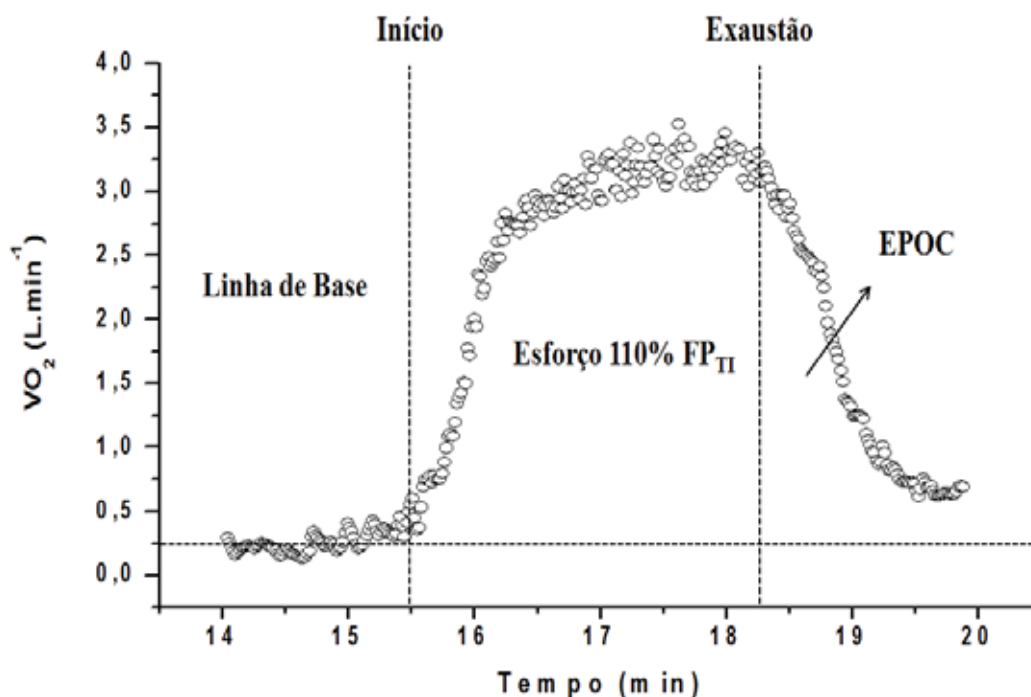
O  $MAOD_{RED}$  foi assumido como a soma das contribuições energéticas dos metabolismos anaeróbio alático ( $W_{PCR}$ ) e anaeróbio láctico ( $W_{[LA]}$ ) (BERTUZZI et al. 2010), equivalentes a ao esforço exaustivo a 100% da  $PF_{TI}$ . Durante este esforço o tempo até a exaustão ( $T_{lim}$ ) foi mensurado. O  $VO_2$  observado nos últimos 30s do

esforço exaustivo foi assumido como valor de  $VO_2$  pico ( $VO_{2PICO}$ ) para esta intensidade.

A contribuição  $W_{PCR}$  foi assumida como a fase rápida do  $VO_2$  excessivo pós-exercício ( $EPOC_{RAP}$ ), determinado por meio do produto entre a amplitude e o tau, resultantes do ajuste biexponencial da relação entre o  $VO_2$  e o tempo de recuperação (Equação 1) (BERTUZZI et al. 2010). As [Lac] foram monitoradas do primeiro ao sétimo minuto de recuperação a cada 120 s. A  $W_{[La]}$  foi calculada pelo delta lactato ([Lac] pico - [Lac] de repouso), considerando um equivalente metabólico de  $3 \text{ mL.O}_2.\text{kg}^{-1}$  para cada 1mM de lactato acumulado (ZAMPARO et al. 2011). A figura 11 representa o comportamento do  $VO_2$  durante o esforço máximo a 110% da  $FP_{T1}$ .

$$VO_{2(t)} = VO_{2REP} + A_1[e^{-(t-\delta)/T1}] + A_2[e^{-(t-\delta)/T2}] \quad (\text{Eq 1})$$

Onde:  $VO_{2(t)}$  é o consumo de oxigênio no tempo  $t$ ,  $VO_{2REP}$  é o consumo de oxigênio em repouso,  $A$  é a amplitude,  $\delta$  é o tempo de atraso,  $T$  é o tempo constante (tau) e 1 e 2 são os componentes rápido e lento, respectivamente.



**Figura 11.** Comportamento do consumo de oxigênio nas fases de repouso (linha base), esforço supra-máximo e pós-exercício, evidenciando o consumo excessivo de  $O_2$  (EPOC).

### Determinação da intensidade correspondente ao lactato mínimo (ILM)

A fase de indução a hiperlactacidemia foi realizada por meio do esforço máximo de três minutos. Após oito minutos de recuperação passiva, os nadadores foram submetidos a um esforço incremental composto por cinco estágios com três minutos de duração. As intensidades da fase incremental, foram aplicadas de maneira individualizada, tendo como referencia a  $FP_{TI}$  (50,60,70,80 e 90% da  $FP_{TI}$ ). Nos minutos 3, 5 e 7 após o esforço máximo de três minutos e imediatamente após cada estágio na fase incremental, amostras sanguíneas ( $25\mu L$ ) foram coletadas para a determinação das [LAC]. A ILM foi assumida como a derivada zero do ajuste polinomial de segunda ordem, obtido da relação entre as intensidades e as [LAC]



durante a fase incremental. Este procedimento foi repetido após 24h para testar a reprodutibilidade das medidas.

### **Esforço máximo de três minutos**

Durante todo o esforço a força foi mensurada, conforme descrito acima. Previamente a realização do teste, os atletas realizaram 10s de nado atado em intensidade submáxima considerada fraca, para que a corda elástica fosse tensionada. Durante a realização do esforço máximo de três minutos, os atletas foram fortemente instruídos a manter a maior tensão possível durante todo o teste. Foram realizados estímulos verbais durante todo o esforço e os participantes não foram informados do tempo restante para o final do esforço. Como variáveis do esforço máximo de três minutos, foram determinadas a força pico (FP) (valor máximo de força), a força média (FM) (média da força durante o teste) e o índice de fadiga (IF) ( $IF(\%) = (FP - \text{Força mínima}) * 100 / FP$ ). A  $FC_{3MIN}$  foi correspondente média dos valores obtidos nos últimos 30s de esforço e a  $W'_{3MIN}$  foi assumida como a integral da relação entre a força e o tempo de esforço, obtida acima da  $FC_{3MIN}$  (VANHATALO, DOUST e BURNLEY, 2007). Adicionalmente, o impulso aeróbio foi considerado como a área correspondente ao metabolismo aeróbio ( $FC_{3MIN} \times 180$ ) e o impulso total foi assumido como a integral obtida da relação força *versus* tempo durante todo o teste.

### **Tratamento estatístico**

Para todas as análises a normalidade dos dados foi testada e confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk. Além disso, para a comparação da variância entre mais de duas variáveis, a esfericidade das medidas foi testada e confirmada pelo teste de

Mauchley. Desse modo, todos os dados estão apresentados em forma de média  $\pm$  desvio padrão (DP). O presente projeto de pesquisa pode ser dividido em duas vertentes de análise sendo: 1) testar a reprodutibilidade das metodologias desenvolvidas em nado atado; e 2) investigar as possíveis relações entre as metodologias propostas (i.e. lactato mínimo, esforço máximo de três minutos e MAOD<sub>RED</sub>) e as já estabelecidas na literatura (i.e. MAOD e limiar anaeróbio). Com isso, os testes estatísticos aplicados para cada vertente e análises estão descritos abaixo.

**Reprodutibilidade:** Os testes estatísticos utilizados para testar a reprodutibilidade das metodologias realizadas em nado atado, foram propostos por Hopkins, (2000). Foram utilizados o teste *t* de *student* pra amostras dependentes, a correlação intraclassa (ICC), o erro típico (ET) e o coeficiente de variação (CV%). O ET foi assumido como o DP das diferenças entre as situações teste e reteste, dividido por 1,41. O ET foi correspondente a razão entre o ET e a média de todos os valores. Para todos os testes de inferência, o nível de significância foi fixado em  $p < 0,05$ .

**Comparações entre metodologias:** Em todas as análises desta vertente, o teste de correlação de Pearson foi utilizado. Além disso, quando as metodologias de avaliação possuem a mesma unidade de medida, estas foram comparadas por meio do teste *t* de *student* para amostras dependentes (comparação entre duas variáveis) ou pela análise de variância para medidas repetidas, seguida do post-hoc de Tukey quando necessário (comparação entre mais de duas variáveis). Adicionalmente, a concordância entre as metodologias foi testada por meio da análise gráfica de Bland e Altaman (1986). Neste caso, os limites de concordância em 95% (LC95%) foram calculados por meio do desvio padrão (DP) e das diferenças médias (DM) ( $LC95\% = (1,96 \times DP) \pm DM$ ).

## 5. RESULTADOS

### Reprodutibilidade da $FP_{TI}$ , da relação $VO_2$ -intensidade e do MAOD.

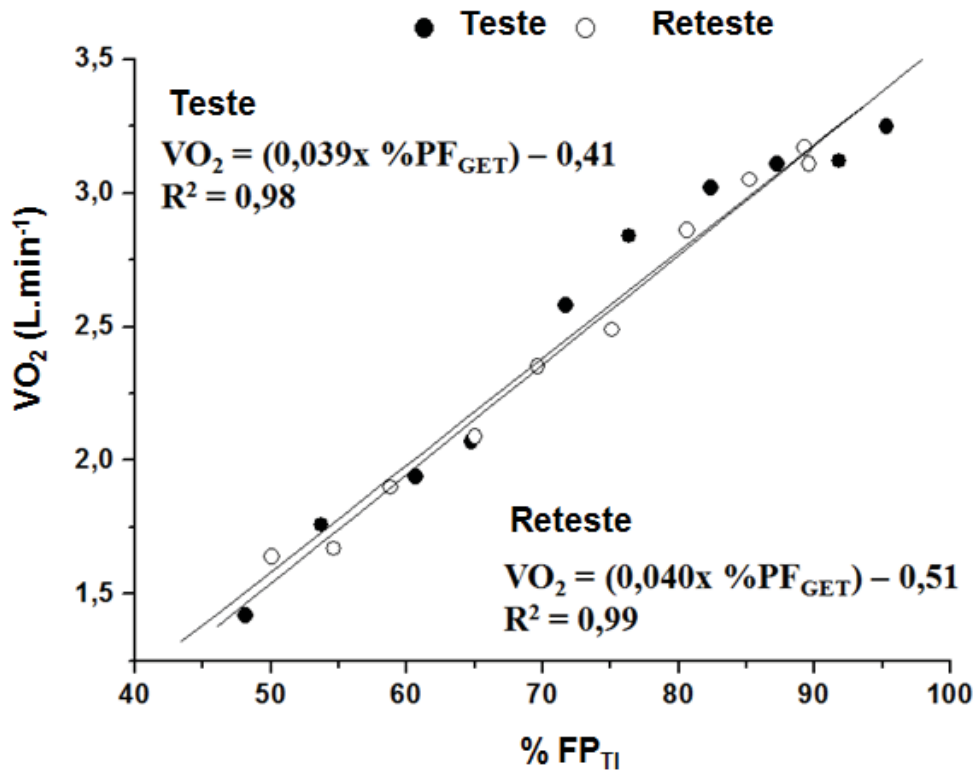
Para estas análises participaram 10 nadadores (cinco homens e cinco mulheres;  $18 \pm 2$  anos, estatura de  $168,3 \pm 9,7$  cm, massa corporal de  $61,3 \pm 8,9$  kg e  $21,4 \pm 11\%$  de gordura corporal).

Nas situações teste e reteste, as concentrações de lactato pico ( $[LAC]_{PICO}$ ) ( $8,3 \pm 2,5$  mM e  $7,0 \pm 1,9$  mM, respectivamente) não foram significativamente diferentes ( $p=0,06$ ). A  $FP_{TI}$  e os parâmetros provenientes da regressão linear, realizada para a determinação da relação  $VO_2$ -intensidade, não foram diferentes ( $p > 0,32$ ) e apresentaram valores muito baixos de ET e CV%, entre as situações teste e reteste (Tabela 3). Além disso, a  $FP_{TI}$  e o coeficiente angular apresentaram significativas ( $p=0,03$ ) correlações entre as situações. A figura 12 demonstra o  $VO_2$  médio correspondente aos dez esforços submáximos, observado em ambas as situações.

**Tabela 3.** Valores médios (desvio padrão), erro típico (ET), coeficiente de variação (CV%) e correlação intraclassa (ICC), da força máxima atingida durante o teste incremental ( $FP_{TI}$ ) e dos parâmetros provenientes da relação  $VO_2$ -intensidade, nas situações de teste e reteste.

	Teste	Reteste	ET	CV%	ICC
$FP_{TI}$ (N)	$62,0 \pm 19,4$	$61,9 \pm 19,0$	4,63	7,7	0,97*
A ( $L \cdot min^{-1} \cdot N^{-1}$ )	$0,08 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	0,01	0,08	0,56*
B ( $L \cdot min^{-1}$ )	$-0,94 \pm 0,73$	$-0,84 \pm 0,43$	0,61	0,90	0,35
$R^2$	$0,90 \pm 0,06$	$0,88 \pm 0,06$	0,03	0,89	-0,19

A: coeficiente angular; B: coeficiente linear;  $R^2$ : Coeficiente de determinação; \* coeficiente de correlação intraclassa significativo ( $p < 0,05$ ).



**Figura 12.** Relação linear entre as intensidades submáximas (relativas à força pico do teste incremental; FP<sub>Tl</sub>) e o consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>) observado nos dez esforços submáximos, nas situações teste e reteste. O desvio padrão (DP) tanto do VO<sub>2</sub> (DP teste= 0,5 até 1,3 L; DP reteste= 0,5 até 0,9 L) como do % FP<sub>Tl</sub> (DP teste= 10,8 até 19,7; DP reteste= 9,8 até 16,7 %) foram omitidos para uma melhor visualização da relação VO<sub>2</sub>-intensidade.

A tabela 4 demonstra as variáveis observadas durante o esforço máximo a 100% da FP<sub>Tl</sub> nas situações teste e reteste. Todas as variáveis não foram diferentes significativamente ( $p > 0,09$ ) entre as duas situações. Além disso, a força média realizada e o VO<sub>2PICO</sub> durante o esforço máximo apresentaram correlações significativas ( $p < 0,03$ ) entre as situações teste e reteste. Entretanto, o Tlim, o VO<sub>2</sub> acumulado (VO<sub>2ACU</sub>), as [Lac]<sub>PICO</sub> e a PSE, apresentaram elevados CV% e não foram significativamente associados ( $p > 0,15$ ).

**Tabela 4.** Valores médios (desvio padrão), erro típico (ET), coeficiente de variação (CV%) e correlação intraclassa (ICC), das variáveis observadas durante o esforço máximo, nas situações teste e reteste.

	Teste	Reteste	ET	CV%	ICC
Tlim (min)	3,3±1,3	4,5±2,0	0,8	19,5	0,10
FM (N)	64,0±18,3	63,4±19,5	5,5	8,9	0,95*
VO <sub>2</sub> PICO (L.min <sup>-1</sup> )	3,5±1,0	3,5±0,7	0,3	8,7	0,87*
VO <sub>2</sub> ACU (L)	10,4±6,2	13,4 ±6,0	3,3	28,1	0,41
[Lac] <sub>PICO</sub> (mM)	8,5±2,5	6,9±2,0	1,3	17,2	0,48
PSE	17,1±2,9	16,9±3,7	3,5	20,4	0,38

Tlim: tempo até a exaustão; FM: força média durante todo o esforço; VO<sub>2</sub>PICO: média do consumo de oxigênio observado nos últimos 30s de esforço; VO<sub>2</sub>ACU: integral do consumo de oxigênio pelo tempo de esforço; [Lac]<sub>PICO</sub>: concentrações pico de lactato; PSE: percepção subjetiva de esforço.

Os valores individuais de MAOD estão apresentados na tabela 5. Nenhuma diferença foi observada ( $p > 0,10$ ) entre as situações de teste e reteste (Tabela 5). Além disso, os valores absolutos apresentaram um ET de 0,24 L e um CV% de 3,48% e os valores relativos tiveram um ET de 3,22 mL.kg<sup>-1</sup> e um CV% de 5,62%. Adicionalmente, os valores de MAOD apresentaram fortes coeficientes de correlação intraclassa sendo ICC= 0,72 para os valores absolutos e ICC= 0,74 para os valores relativos.

**Tabela 5.** Valores individuais e médios (desvio padrão), dos valores de MAOD demonstrados de maneira absoluta (L) e relativa a massa corporal total ( $\text{mL.kg}^{-1}$ ), nas situações de teste e reteste.

Subjectives	MAOD (L)		MAOD ( $\text{mL.Kg}^{-1}$ )	
	Teste	Reteste	Teste	Reteste
1	1,8	1,8	35,7	35,8
2	3,4	2,8	69,6	57,1
3	3,2	3,2	51,0	50,7
4	3,3	3,7	61,5	69,3
5	3,9	4,7	71,4	84,8
6	4,3	2,9	62,4	42,4
7	3,0	2,5	45,9	38,1
8	4,1	3,1	53,2	39,9
9	4,7	4,1	77,6	67,1
10	5,0	4,1	70,5	57,8
MD (DP)	3,7±0,9	3,3±0,9	59,9±13,2	54,3±16,0

MAOD: Máximo déficit acumulado de  $\text{O}_2$ .

### **Reprodutibilidade do MAOD<sub>RED</sub> e suas relações com o MAOD**

Dez nadadores (quatro homens e seis mulheres;  $18\pm 2$  anos, estatura de  $168,3\pm 9,7$  cm, massa corporal de  $61,3\pm 8,9$  kg e  $21,4\pm 11\%$  de gordura corporal) participaram voluntariamente desta secção.

### **Reprodutibilidade**

Todas as variáveis envolvidas na determinação do MAOD<sub>RED</sub> nas situações teste e reteste estão apresentadas na tabela 6. Apenas as [Lac] no repouso foram significativamente diferentes entre as situações ( $p=0,01$ ). Entretanto, somente a força média realizada e o  $\text{VO}_{2\text{PICO}}$  observado durante o esforço máximo a 100%

apresentaram fortes correlações entre o teste e o reteste ( $p < 0,01$ ). Além disso, elevados valores de ET e CV% foram evidenciados, principalmente para as variáveis ligadas a determinação da  $W_{PCR}$  e  $W_{[La]}$  (Tabela 6).

Os percentuais relativos aos valores totais de  $MAOD_{RED}$ , tanto da  $W_{PCR}$  (teste = 53,8 (14,3) % e reteste = 54,1 (20,5) %) como da  $W_{[La]}$  (teste = 46,2 (14,3) % e reteste = 45,9 (20,5) %), não foram significativamente diferentes ( $p > 0,52$ ). Entretanto, não foram significativamente correlacionados ( $p > 0,20$ ) entre o teste e o reteste. Além disso, o percentual tanto da  $W_{PCR}$  como da  $W_{[La]}$  apresentaram valores elevados de ET (13,6% para ambas) e de CV% (25,3% e 29,6%, respectivamente).

Os valores individuais de  $MAOD_{RED}$  nas situações teste e reteste estão apresentados na tabela 7. O  $MAOD_{RED}$  não foi significativamente diferente entre as situações ( $p > 0,92$ ). Entretanto, não foram observadas correlações significativas (valores absolutos: ICC= 0,50; relativos à massa corporal total: ICC= 0,33). Além disso, foram evidenciados valores individuais muito diferentes entre as situações, tanto quando apresentados de maneira absoluta (ET= 0,97 L e CV%=33,4%) como de maneira relativa (ET= 16,6 mL.kg<sup>-1</sup> e CV%=35,1%).

**Tabela 6.** Valores médios (desvio padrão), efeito do tamanho (ES), erro típico (ET), coeficiente de variação (CV%) e correlações intraclassa (ICC), para as variáveis do esforço exaustivo e para os parâmetros envolvidos na determinação das contribuições anaeróbias, nas situações de teste e reteste.

	Teste	Reteste	ET	CV%	ICC
<b>Esforço máximo</b>					
Força (N)	57,7 (17,7)	60,0 (19,2)	3,8	6,2	0,96*
VO <sub>2</sub> REP (L)	0,4 (0,1)	0,5 (0,2)	0,1	17,4	0,80*
VO <sub>2</sub> PICO (L)	3,3 (0,9)	3,3 (0,7)	0,3	9,2	0,87*
Tlim (min)	3,2 (1,2)	4,2 (1,9)	1,7	44,7	-0,09
<b>Contribuição Alática</b>					
Amp (L.min <sup>-1</sup> )	2,1 (0,7)	2,2 (1,3)	0,8	35,0	0,47
Tau (min)	0,7 (0,3)	0,9 (0,5)	0,5	61,1	0,33
R <sup>2</sup>	0,9 (0,1)	0,9 (0,1)	0,1	11,6	-0,08
W <sub>PCR</sub> (L)	1,6 (1,2)	1,8 (1,1)	0,8	50,0	0,46
<b>Contribuição Láctica</b>					
[Lac] repouso (mM)	1,7 (0,5)	1,1 (0,3)†	0,4	29,8	-0,04
[Lac] pico (mM)	8,5 (2,6)	7,5 (1,3)	1,6	20,1	0,39
Delta lactato (mM)	6,8 (2,7)	6,4 (1,5)	1,6	25,1	0,41
W <sub>[La]</sub> (L)	1,3 (0,5)	1,2 (0,4)	0,3	25,5	0,55*

VO<sub>2</sub>REP: consumo de O<sub>2</sub> no repouso no esforço máximo; VO<sub>2</sub>PICO: consumo de O<sub>2</sub> pico observado no esforço máximo; Tlim: tempo até a exaustão no esforço exaustivo; Amp: Amplitude do consumo excessivo de O<sub>2</sub> observado após o esforço exaustivo; Tau: índice de decaimento do consumo excessivo de O<sub>2</sub> observado após o esforço exaustivo; R<sup>2</sup>: coeficiente de ajuste da relação mono-exponencial; W<sub>PCR</sub>: contribuição anaeróbia alática; [Lac]: concentrações sanguíneas de lactato; W<sub>[La]</sub>: contribuição anaeróbia láctica; †: diferença significativa entre as situações teste e reteste (p<0,05); \* correlação intraclassa significativa (p<0,05).



**Tabela 7.** Valores individuais, média, desvio padrão (MD (DP)) e diferença percentual ( $\Delta$ ), do máximo déficit acumulado de O<sub>2</sub> determinado por meio de um único esforço exaustivo (MAOD<sub>RED</sub>) demonstrado de maneira absoluta (L) e relativa ao peso corporal total (mL.kg<sup>-1</sup>), nas situações teste e reteste.

Subjective	MAOD <sub>RED</sub> Teste		MAOD <sub>RED</sub> Reteste		$\Delta$
	(L)	mL.kg <sup>-1</sup>	(L)	mL.kg <sup>-1</sup>	%
1	3,0	57,3	1,9	36,3	36,6
2	1,5	24,7	2,8	47,2	90,9
3	2,1	43,7	0,9	18,7	57,2
4	1,4	22,4	2,1	33,8	51,0
5	0,9	16,1	2,6	48,3	200,0
6	4,2	75,6	2,8	50,7	32,9
7	6,0	86,6	4,2	60,4	30,3
8	2,9	38,1	4,3	56,2	47,4
9	3,5	57,8	5,0	81,7	41,2
10	3,3	46,2	3,1	42,8	7,4
MD (DP)	2,8 (1,5)	46,9 (23,0)	3,0 (1,2)	47,6 (16,94)	54,1 (54,3)

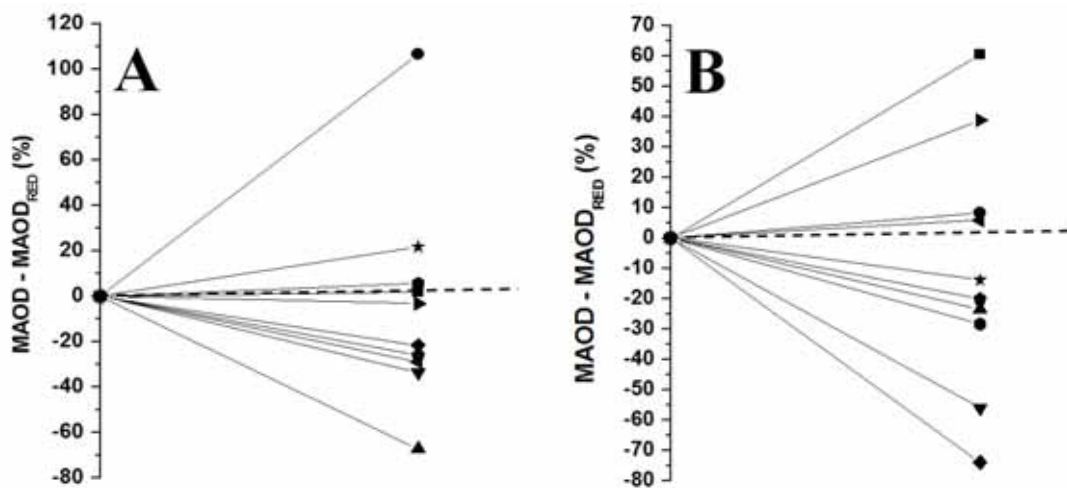
%W<sub>PCR</sub>: percentual da contribuição anaeróbia alática do MAOD<sub>RED</sub>; %W<sub>[La]</sub>: percentual da contribuição anaeróbia láctica do MAOD<sub>RED</sub>.

### **Comparações entre MAOD<sub>RED</sub> e o MAOD**

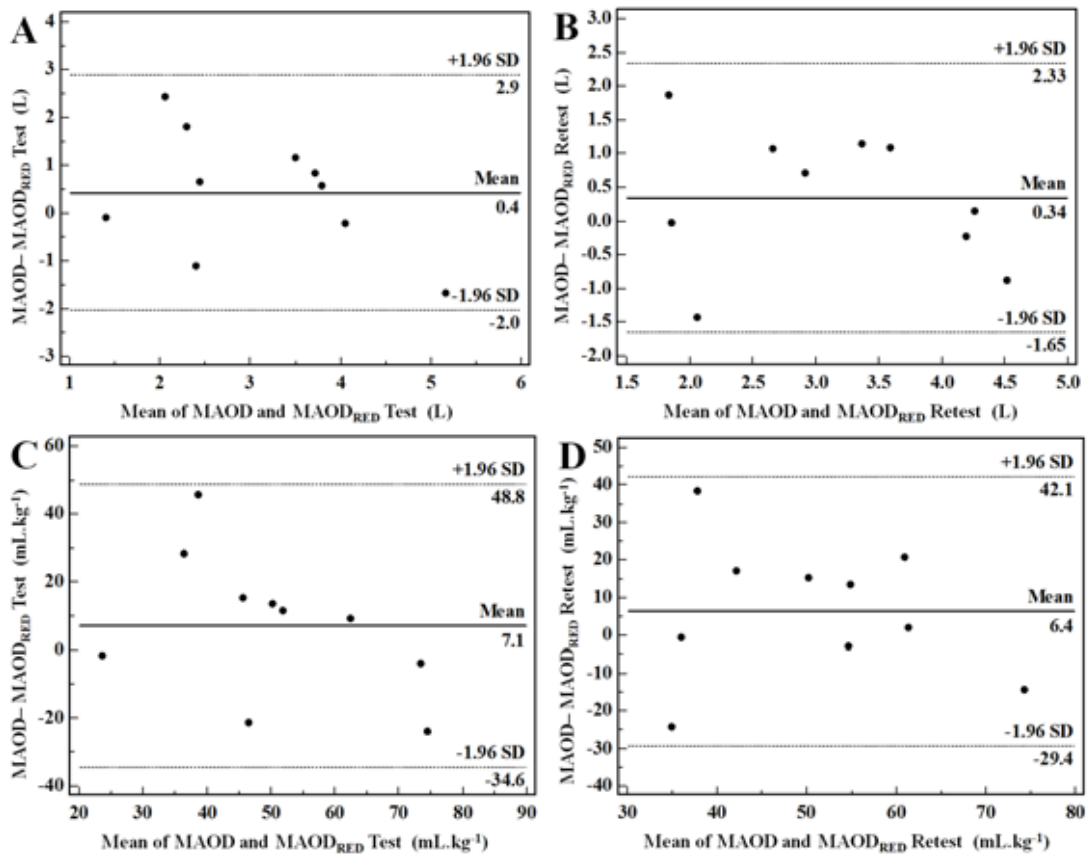
O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da relação VO<sub>2</sub>-intensidade, foi de 0,89 (0,06) e os coeficientes angular e linear foram de 0,07 (0,01) e 0,70 (0,53), respectivamente. O VO<sub>2</sub> acumulado durante o esforço máximo foi de 11,7 (5,1) L e o Tlim observado (4,2 (1,9) min) foi superior a dois minutos para todos os nadadores.

Os valores de MAOD apresentados de maneira absoluta foram de 3,3 (1,0) L e relativa ao peso corporal total foram de 54,0 (14,7) mL.kg<sup>-1</sup>.

Os valores de MAOD<sub>RED</sub> observados nas situações teste e reteste, tanto de maneira absoluta como relativa ao peso total, não foram significativamente diferentes do MAOD ( $p > 0,74$ ). Entretanto, foram observadas diferenças individuais elevadas, com valores de MAOD<sub>RED</sub> equivalentes ao dobro ( $\Delta\% > 100\%$ ) do MAOD convencional (Figura 13). Além disso, os valores MAOD<sub>RED</sub> não foram correlacionados aos valores de MAOD, tanto de maneira absoluta ( $p > 0,28$ ) como de maneira relativa a massa corporal total ( $p > 0,43$ ). A análise de concordância entre as metodologias demonstrou dispersões homogêneas e não tendenciosas, além de baixos erros médios. Entretanto, os limites de concordância apresentaram grande amplitude (Figura 14), indicando que os valores de MAOD<sub>RED</sub> e MAOD podem apresentar elevadas diferenças ao nível de 95% de confiança.



**Figura 13.** Valores individuais das diferenças percentuais, observadas entre os valores de MAOD<sub>RED</sub>, determinados na situação teste (A) e reteste (B), e o MAOD convencional. MAOD<sub>RED</sub>: máximo déficit acumulado de oxigênio determinado por meio de um único esforço máximo.



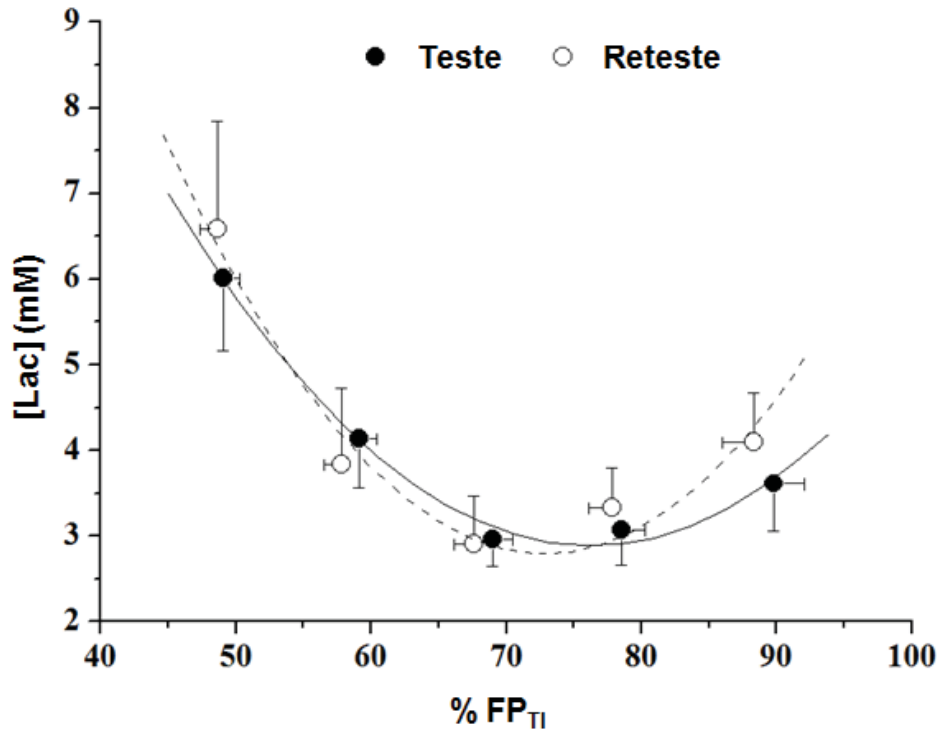
**Figura 14.** Análise da concordância entre o máximo déficit acumulado de O<sub>2</sub> determinado de maneira convencional (MAOD) e por meio de um único esforço exaustivo (MAOD<sub>RED</sub>), nas situações de teste (A e C) e reteste (B e D). As linhas cheias horizontais representam as diferenças médias entre as duas situações e as linhas tracejadas os limites superior e inferior do intervalo de confiança de 95%.

### Validação do teste de lactato mínimo realizado em nado atado

A diferença média entre a força observada e a força prescrita nos estágios do teste incremental foi de 1,1 (0,5) N e a PF<sub>T1</sub> foi de 55,2 (6,56) N. A força média durante o esforço máximo de três minutos, realizado para a indução a hiperlactacidemia, não foi significativamente diferente (teste= 55,3 (8,9) N); reteste= (52,5 (6,1) N; p=0,08) e apresentou elevadas correlações (r=0,96) entre as situações. Além disso, durante a fase incremental do teste de lactato mínimo, a força

observada foi muito próxima à força prescrita (diferença média: teste=1,96 (0,6) N; reteste= 2,3 (0,4) N).

As  $[\text{Lac}]_{\text{PICO}}$  da situação teste (10,4 (2,3) mM) não foram diferentes da reteste (11,9 (3,9) mM) ( $p=0,37$ ). Além disso, as  $[\text{Lac}]$  observadas durante a fase incremental não foram diferentes (variação do ES= 0,11 – 0,26; insignificante) entre as situações teste e reteste (Figura 15). Elevados valores de coeficiente de determinação foram observados nas duas situações (teste  $R^2= 0,98$  (0,03) e reteste  $R^2= 0,95$  (0,05)). Os valores individuais das ILM observadas nas duas situações estão apresentados na tabela 8. A ILM não foi diferente entre as situações (ES=0,48; pequeno;  $p=0,09$ ), apresentou significativas correlações (ICC=0,75) e valores muito baixos de ET (2,8 N) e de CV% (9,6 %). Além disso, não foram observadas diferenças significativas entre as  $[\text{Lac}]$  (teste= 2,9 (0,9) mM e reteste= 2,9 (1,4) mM; ES= 0,07, insignificante) e o  $\%PF_{\text{TI}}$  (teste= 75,0 (4,1) % e reteste= 70,6 (7,6) %; ES= 0,86, moderado) em que a ILM foi identificada.



**Figura 15.** Comportamento das concentrações de lactato ([Lac]) durante a fase incremental do teste de lactato mínimo nas situações teste e reteste. A equação polinomial resultante da situação teste ( $y = (0,004 \cdot x^2) - 0,64x + 27,37$ ;  $R^2 = 0,99$ ) teve derivada zero equivalente a 76,5% e a da situação reteste ( $y = (0,01 \cdot x^2) - 0,90x + 34,49$ ;  $R^2 = 0,96$ ) foi de 72,4 %. %FP<sub>Ti</sub>: percentual da força pico atingida no teste incremental.

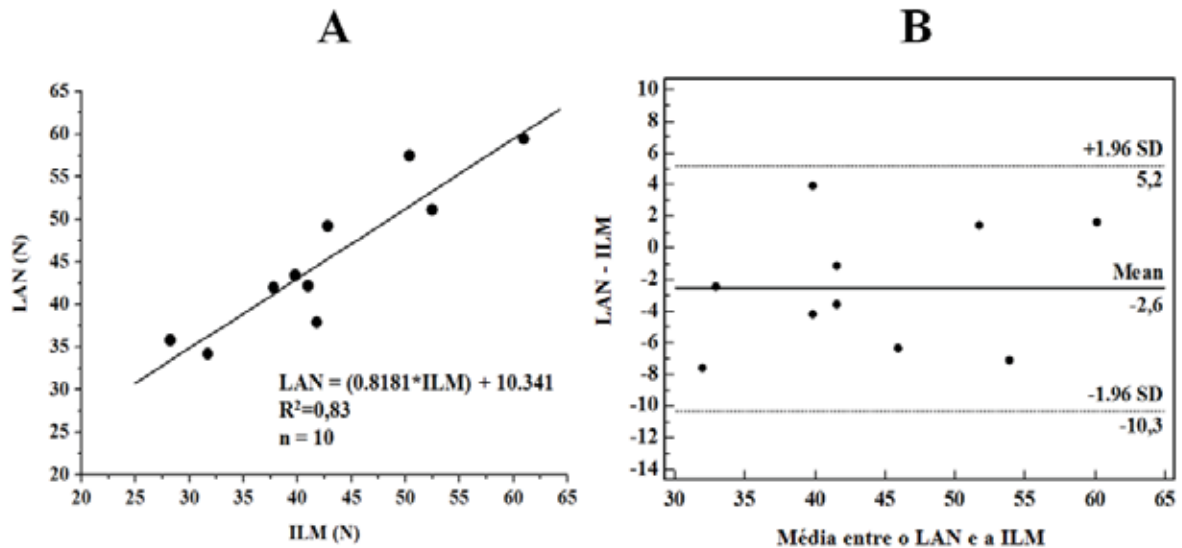
**Tabela 8.** Valores individuais, média (desvio padrão) (MD (DP)) e diferença absoluta (N) e percentual, para a intensidade correspondente ao lactato mínimo (ILM), observada nas situações teste e reteste.

Indivíduos	ILM		Diferenças	
	Teste	Reteste	N	%
1	51,1	41,2	9,9	19,3
2	49,2	48,3	0,9	1,9
3	37,9	37,7	0,2	0,4
4	42,2	36,5	5,7	13,4
5	42,0	41,0	0,9	2,3
6	35,8	38,8	3,0	8,4
7	34,2	30,5	3,8	11,0
8	43,4	40,5	3,0	6,9
MD (DP)	42,0 (6,0)	39,3 (5,0)	3,2 (2,2)	7,9 (6,5)

A determinação do LAN durante o teste incremental foi possível para todos os participantes. Os valores utilizados para as comparações entre a ILM e o LAN estão apresentados na tabela 9. As duas metodologias não foram diferentes ( $ES=0,28$ ; insignificante;  $p=0,95$ ) e apresentaram correlações muito fortes ( $r=0,91$ ; Figura 16). Além disso, a análise de concordância demonstrou uma dispersão homogênea e não tendenciosa entre as duas metodologias, acompanhada de uma pequena diferença média (2,7 N) e limites de concordância (95%) próximos ao incremento aplicado durante o teste incremental (Figura 16). As [Lac] relacionadas ao LAN foram 2,1 (0,5) mM.

**Tabela 9.** Valores individuais, média (desvio padrão) (MD (DP)) e diferença absoluta (N) e percentual, para os valores de limiar anaeróbio (LAN) e intensidade correspondente ao lactato mínimo (ILM).

Indivíduos	Índice fisiológico		Diferenças	
	LAN	ILM	N	%
1	52,5	51,1	7,1	2,8
2	42,8	49,2	7,0	15,1
3	41,8	37,9	6,2	9,4
4	41,0	42,2	6,5	3,0
5	37,8	42,0	6,5	11,1
6	28,2	35,8	6,0	26,8
7	31,7	34,2	5,9	8,0
8	39,8	43,4	6,6	9,2
9	61,0	59,4	7,7	2,6
10	50,4	57,5	7,6	14,1
MD (DP)	42,7 (9,8)	45,3 (8,7)	6,7 (0,6)	10,2 (7,3)



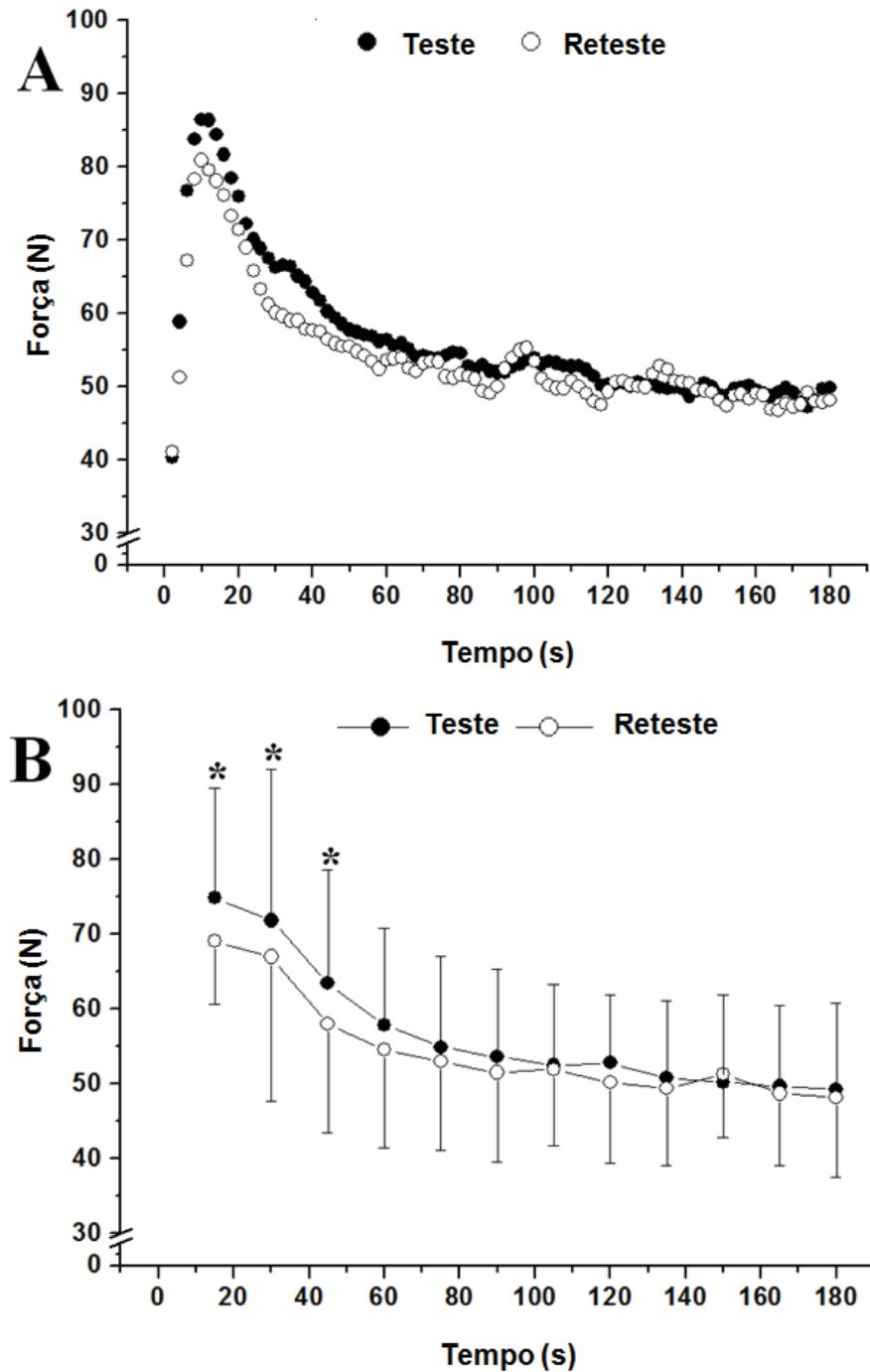
**Figura 16.** Relação entre o limiar anaeróbio (LAN) e a intensidade correspondente ao lactato mínimo (ILM), além da análise de concordância entre estas metodologias de determinação da capacidade aeróbia.

### Validação do esforço máximo de três minutos como ferramenta de avaliação aeróbia

#### Reprodutibilidade

O comportamento da força durante o esforço máximo de três minutos nas situações teste e reteste, esta apresentado na figura 17. Diferenças significativas foram observadas entre as situações até os primeiros 45s de esforço (Figura 17) ( $p < 0,15$ ). Apenas a PF e  $MF_{150}$  foram significativamente diferentes entre o teste e o reteste (ES negligível;  $p < 0,02$ ) (Tabela 10). Correlações muito fortes foram encontradas entre as situações para as variáveis PF, MF,  $MF_{150}$  e  $FC_{3MIN}$ . Além disso, estes parâmetros apresentaram valores muito baixos de ET e CV% A  $W'_{3MIN}$  não foi correlacionada entre as situações teste e reteste e apresentou elevados valores de CV% (Tabela 10).





**Figura 17.** (A) Comportamento da força durante o esforço máximo de três minutos nas situações teste e reteste. (B) Força desenvolvida durante o esforço máximo de três minutos expressa por médias a cada 15s. \* diferença significativa entre as situações teste e reteste ( $p < 0,05$ ). O desvio padrão (DP) do painel (A) foi omitido para melhor visualização do comportamento (teste: DP= 9,1 até 20,3 N; reteste: DP= 8,35 até 19,3 N).

**Tabela 10.** Valores médios (desvio padrão), effect size (ES), erro típico (ET), coeficiente de variação (CV%) e índices de correlação intracasse (ICC), para os parâmetros provenientes do esforço máximo de três minutos realizado em nado atado, nas situações teste e reteste.

	Teste	Reteste	ES	ET	CV%	ICC
FP (N)	88,2 (17,1)	84,5 (15,0)†	0,23	4,1	5,0	0,97*
TFP (s)	11,3 (2,2)	11,1 (3,4)	0,17	1,9	17,0	0,73*
FM (N)	56,5 (12,4)	54,9 (12,9)	0,19	3,2	6,0	0,96*
FM <sub>105</sub> (N)	58,1 (12,6)	55,6 (11,8)†	0,21	3,3	6,0	0,96*
IF (%)	58,3 (13,3)	57,3 (9,4)	0,24	16,4	29,0	0,05
FC <sub>3MIN</sub> (N)	49,1 (11,3)	48,0 (12,3)	0,09	4,8	9,0	0,91*
W' <sub>3MIN</sub> (N.s)	1245,5 (396,9)	1156,5 (565,7)	0,46	647,1	57,0	0,15
[Lac] <sub>PICO</sub> (mM)	10,0 (2,6)	11,8 (4,1)	0,55	4,19	38,0	0,24

FP: força pico; TFP: tempo até a FP; FM: força média; FM<sub>150</sub>: média da força nos primeiros 150s; IF: índice de fadiga; FC<sub>3MIN</sub>: força crítica; W'<sub>3MIN</sub>: trabalho realizado acima da FC<sub>3MIN</sub>; [Lac]<sub>PICO</sub>: concentrações de lactato pico; †: Diferença significativa entre as situações teste e reteste ( $p < 0,05$ ); \*:ICC significativa ( $p < 0,05$ ).

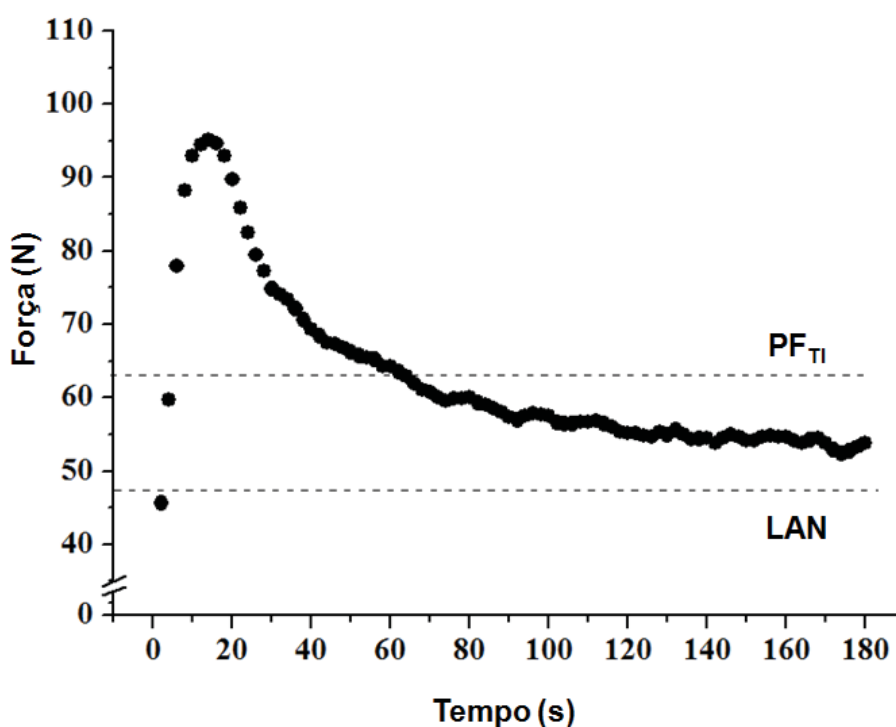
### Comparação entre a FC<sub>3MIN</sub> e os parâmetros aeróbios

Durante o teste incremental, a diferença entre força mensurada e a prescrita para cada estágio foi de apenas  $0,69 \pm 1,6$  N. A PF<sub>TI</sub> foi de 60,7 (15,7) N. A determinação do LAN pelo modelo bi-segmentado foi possível para todos os nadadores (4 – 8 estágios completos). A tabela 11 demonstra os valores de FC<sub>3MIN</sub> e dos parâmetros aeróbios. A FC<sub>3MIN</sub> foi significativamente superior ao LAN ( $p = 0,001$ ) e inferior a PF<sub>TI</sub> ( $p = 0,001$ ), representando aproximadamente 47% da diferença entre o LAN e a PF<sub>TI</sub> (Figura 18). Significativas correlações foram observadas entre a FC<sub>3MIN</sub> e os parâmetros aeróbios (Tabela 11). Entretanto, a análise de concordância

**Tabela 11.** Comparações e correlações da força crítica determinada pelo esforço máximo de três minutos ( $FC_{3MIN}$ ) e os índices aeróbios provenientes do teste incremental.

	Descritivas		Correlação com a $FC_{3MIN}$	
	N	% $PF_{TI}$	r	p
$FC_{3MIN}$	53,9 (13,3)	85,7 (10,9)	---	---
LAN	46,1 (11,0)*	72,9 (6,5)	0,81	0,001
$PF_{TI}$	63,0 (14,9)*	---	0,84	0,001

LAN: limiar anaeróbio;  $PF_{TI}$ : máxima intensidade atingida durante o teste incremental; \*: diferença significativa em relação a  $FC_{3MIN}$  ( $p < 0,05$ ).

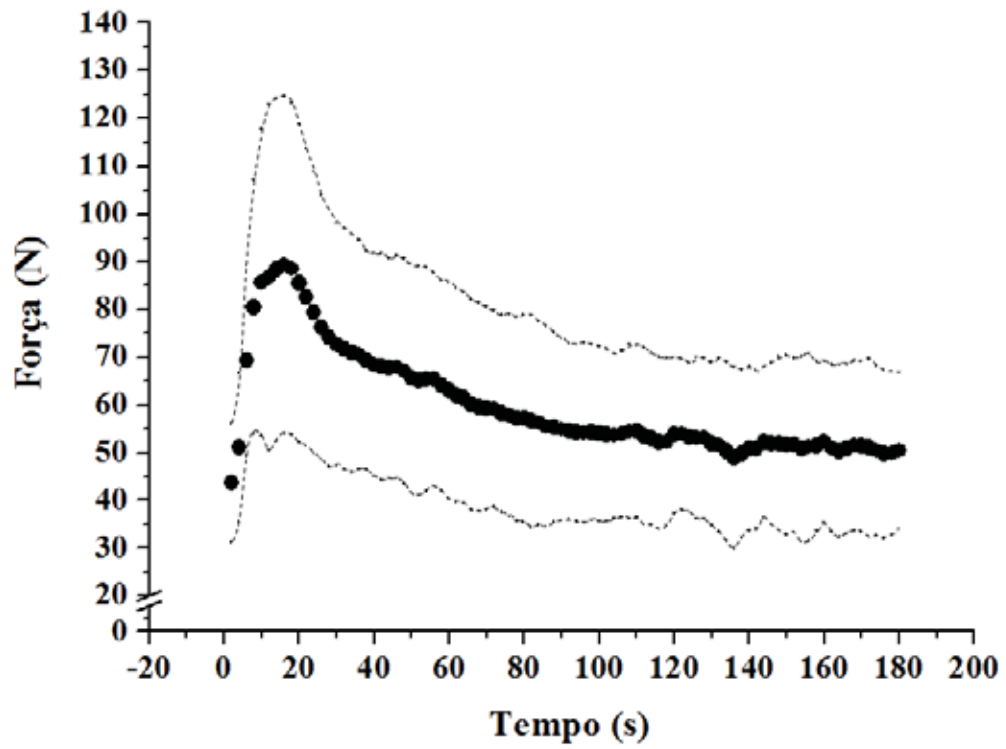


**Figura 18.** Comportamento médio da força durante o esforço máximo de três minutos realizado em nado atado. O desvio padrão (DP) foi omitido para a melhor visualização do comportamento (variação do DP= 11,9 a 28,5) As linhas tracejadas representam a força relativa a força pico atingida no teste incremental ( $FP_{TI}$ ) e ao limiar anaeróbio (LAN).

## **Comparações entre os parâmetros do esforço máximo de três minutos e o MAOD**

A MM estimada por meio do DEXA foi equivalente a 46,4 (12,3) Kg (IC95%= 6,9 – 16,4 Kg). A relação  $VO_2$ -intensidade teve coeficiente angular de 0,08 (0,02)  $L.N^{-1}$ , coeficiente linear de 0,9 (0,5) L e coeficiente de determinação de 0,9 (0,1). A força realizada durante o esforço máximo a 100% da  $FP_{TI}$  foi de 61,9 (19,2) N (102,9 (5,9) % da  $FP_{TI}$ ), as [Lac] foram de 8,33 (2,5) mM e o  $T_{lim}$  foi superior a dois minutos (3,4 (1,3) min). Além disso, a demanda teórica para a intensidade máxima foi de 5,2 (4,3) L e o  $VO_2$  acumulado foi de 10,4 (5,9) L.

O comportamento da força durante o esforço máximo de três minutos está apresentado na figura 19. A tabela 12 demonstra os valores provenientes do esforço máximo de três minutos, representados de maneira absoluta (N), relativa a massa corporal total ( $N.Kg^{-1}$ ) e relativos a MM ( $N.KgMM^{-1}$ ). O MAOD absoluto foi de 3,7 (0,4) L (IC95% = 2,9 – 4,5 L), relativo a massa corporal foi de 60,0 (5,5)  $mL.Kg^{-1}$  (IC95% = 47,4 – 72,6  $mL.Kg^{-1}$ ) e relativo a MM foi de 1349,2 (155,9)  $mL.KgMM^{-1}$  (IC95% = 989,7 – 1708,8  $mL.KgMM^{-1}$ ).



**Figura 19.** Comportamento médio e desvio padrão da força observada durante o esforço máximo de três minutos realizado em nado atado.

**Tabela 12.** Média, desvio padrão (DP), e intervalo de confiança de 95% (IC95%), das variáveis provenientes do esforço máximo de três minutos realizado em nado atado.

	Média	DP	IC95%
<b>Força Pico</b>			
(N)	93,2	10,9	68,2 – 118,2
(N.Kg <sup>-1</sup> )	1,5	0,1	1,2 – 1,7
(N.KgMM <sup>-1</sup> )	2,0	0,1	1,8 – 2,2
<b>Força média</b>			
(N)	57,1	6,4	42,4 – 71,9
(N.Kg <sup>-1</sup> )	0,91	0,1	0,7 – 1,1
(N.KgMM <sup>-1</sup> )	1,2	0,1	1,1 – 1,3
<b>W<sub>3MIN</sub>'</b>			
(N.s)	1637,2	417,7	673,9 – 2600,4
(N.s.Kg <sup>-1</sup> )	25,1	5,7	11,8 – 38,3
(N.s.KgMM <sup>-1</sup> )	32,8	6,3	18,2 – 47,4
<b>W<sub>FP</sub>'</b>			
(N.s)	879,8	163,6	502,4 – 1257,2
(N.s.Kg <sup>-1</sup> )	13,7	2,1	8,8 – 18,6
(N.s.KgMM <sup>-1</sup> )	17,8	2,1	12,9 – 22,8
<b>W<sub>TOTAL</sub>'</b>			
(N.s)	10201,9	1144,5	7562,7 – 12841,2
(N.s.Kg <sup>-1</sup> )	162,5	13,2	132,1 – 192,8
(N.s.KgMM <sup>-1</sup> )	216,5	8,6	196,6 – 236,3

W<sub>3MIN</sub>': impulso realizado acima da força final; W<sub>FP</sub>': impulso realizado até a força pico; W<sub>TOTAL</sub>': impulso realizado durante todo o teste.

A tabela 13 demonstra os coeficientes de correlação observados entre as variáveis do esforço máximo de três minutos e o MAOD. Apenas a  $W'_{3MIN}$  foi significativamente correlacionada ao MAOD ( $p= 0,04$ ), quando estas variáveis foram apresentadas de maneira relativa a MM. Nenhuma correlação significativa foi observada entre o MAOD e a FP ( $p>0,09$ ), FM ( $p>0,09$ ),  $W'_{FP}$  ( $p>0,16$ ) e  $W'_{TOTAL}$  ( $p>0,08$ ).

**Tabela 13.** Coeficientes de correlação observados entre as variáveis provenientes do esforço máximo de três minutos e o máximo déficit acumulado de  $O_2$  (MAOD).

	MAOD		
	Absolutos	Relativos ao PC	Relativos a MM
FP	0,45	0,14	-0,56
FM	0,56	0,34	0,07
$W'_{3MIN}$	0,33	0,01	-0,69*
$W'_{FP}$	0,48	0,17	-0,40
$W'_{TOTAL}$	0,57	0,35	0,07

FP: Força pico; FM: Força média;  $W'_{3MIN}$ : impulso realizado acima da força final;  $W'_{FP}$ : impulso realizado até a força pico;  $W'_{TOTAL}$ : impulso realizado durante todo o teste; \*Correlação significativa ( $p<0,05$ ).

## 5. DISCUSSÃO

### Reprodutibilidade da $FP_{TI}$ , da relação $VO_2$ -intensidade e do MAOD.

O principal achado do presente estudo foi a elevada reprodutibilidade da relação  $VO_2$ -intensidade e dos valores de MAOD determinado em nado atado, confirmando a hipótese do estudo.

Um dos fatores que parece influenciar nos valores de MAOD é a forma com que a relação  $VO_2$ -intensidade é construída (BUCK E NAUGHTON, 1999; BUCK E NAUGHTON, 1999a). Embora Medbo et al. (1988) tenham proposto a utilização de até 20 esforços submáximos, estudos mais recentes tem demonstrado que os parâmetros da relação  $VO_2$ -intensidade podem ser satisfatoriamente determinados por meio da utilização de um número menor esforços submáximos, com duração superior a seis minutos (BUCK E NAUGHTON, 1999; BUCK E NAUGHTON, 1999a). Desse modo, para uma determinação robusta da demanda energética teórica, o presente estudo utilizou dez cargas submáximas com duração de sete minutos, tanto no teste como no reteste conforme proposto por Noordhof, de Koning e Foster (2010).

Weber e Schneider (2001) concordando com os achados do presente estudo, não observaram diferenças significativas entre os parâmetros da relação  $VO_2$ -intensidade nas situações teste e reteste, quando determinados por seis esforços submáximos realizados em ciclo ergômetro. Os autores supracitados não apresentaram o ET, o CV% e as possíveis correlações destes parâmetros entre as situações. Embora nenhuma correlação significativa tenha sido evidenciada entre o teste e o reteste, os valores muito baixos de ET e CV% demonstram a elevada reprodutibilidade (HOPKINS, 2000) dos parâmetros da relação  $VO_2$ -intensidade, determinados de maneira robusta em nado atado, visto que o coeficiente de correlação pode ter influenciado pelo número de sujeitos utilizados no estudo. .

O Tlim observado no esforço máximo é outro fator que pode influenciar nos valores de MAOD (MEDBO e TABATA, 1989). Embora o presente estudo não tenha evidenciado diferenças significativas entre os valores de Tlim nas situações teste e reteste, nenhuma correlação significativa foi observada e elevados valores de ET e



CV% foram obtidos, o que influenciou no  $VO_2$  acumulado, nas  $[Lac]_{PICO}$  e na PSE. Estes resultados demonstram que diferentes respostas fisiológicas em esforço máximo a 100% da  $PF_{TI}$  nas situações teste e reteste, não necessariamente resultam em alterações nos valores de MAOD.

Em intensidades que a exaustão é atingida em tempo inferior a dois minutos de esforço, os valores do  $VO_2$  acumulado e a máxima contribuição anaeróbia parecem ser subestimados, portanto, influenciando o MAOD (MEDBO e TABATA, 1989; MEDBO e TABATA, 1993). Por outro lado, independentemente das intensidades utilizadas, quando o  $T_{lim}$  é superior a dois minutos (2-5 min) os valores de MAOD parecem não apresentar modificações (MEZZANI et al. 2006; WEBER e SCHNEIDER, 2001). No presente estudo, embora tenham sido evidenciados diferentes valores individuais, todos os participantes apresentaram  $T_{lim}$  superior a dois minutos em ambas as situações. Com isso, a contribuição anaeróbia máxima parece não ter sido alterada entre os esforços, o que acarretou valores similares de MAOD entre as situações teste e reteste.

Estes achados são confirmados pelas fortes correlações evidenciadas entre as situações e pelos baixos valores de ET e CV% observados para os valores de MAOD, demonstrados tanto de maneira absoluta como relativa à massa corporal total. Concordando com o presente estudo, Weber e Schneider (2001) observaram valores similares ( $p > 0,05$ ) e elevadas correlações entre as situações teste e reteste, para o MAOD determinado por meio de um esforço máximo tanto a 110% do  $VO_{2PICO}$  ( $ICC=0,95$ ) como a 120% do  $VO_{2PICO}$  ( $ICC=0,97$ ). O presente estudo demonstrou a elevada reprodutibilidade do MAOD determinado em nado atado, assim como ocorre em ciclo ergômetro (WEBER e SCHNEIDER, 2001).

Embora mudanças na mecânica de nado possam ocorrer na situação de nado atado (MARTIN et al. 1981) em comparação ao nado livre, o presente estudo utilizou o nado atado principalmente pela possibilidade da realização de esforços mais contínuos para a determinação do MAOD. As viradas e ondulações observadas em nado livre poderiam comprometer a cinética de oxigênio durante os esforços submáximos e máximos, podendo influenciar na construção da relação  $VO_2$ -intensidade e na determinação do  $VO_2$  acumulado durante o esforço a 100% da  $PF_{TI}$  (JALAB et al. 2011).

Apesar de mais estudos serem necessários para investigar a sensibilidade do MAOD em nado atado aos efeitos do treinamento de alta intensidade em diferentes condições (e.g. normóxia, hipóxia ou com oclusão) e em diferentes estilos (e.i. borboleta, costas e peito), pode-se concluir que a relação  $VO_2$ -intensidade e o MAOD apresentam elevada reprodutibilidade, assim como ocorre em ciclo ergômetro (WEBER e SCHNEIDER, 2001), e podem ser utilizadas na avaliação da capacidade anaeróbia específica de nadadores.

### **Reprodutibilidade do MAOD<sub>RED</sub> e suas relações com o MAOD**

Os principais achados do presente estudo demonstram que o MAOD<sub>RED</sub> parece não apresentar elevada reprodutibilidade quando determinado em nado atado. Além disso, esta metodologia não apresentou boas relações com o MAOD determinado de maneira convencional (MEDBO et al. 1988).

Os métodos utilizados no presente estudo para a determinação da  $W_{PCR}$  e da  $W_{[La]}$ , foram baseados nos achados de Margaria et al. (1993) e Di Prampero e Ferreti (1999), e são similares aos utilizados em vários estudos que determinaram as contribuições energéticas durante o exercício (BENEKE et al, 2002; ZAGATTO et al. 2008; BERTUZZI et al. 2010; ZAGATTO et al. 2011; ZAGATTO e GOBATTO 2012)

ou durante atividades esportivas (de CAMPOS et al. 2009; CAMPOS et al. 2011). Entretanto, poucos estudos investigaram a reprodutibilidade das variáveis envolvidas na determinação da  $W_{PCR}$  e da  $W_{[La]}$ .

Kilding et al. (2005) observaram que os valores da Amp e da Tau, evidenciadas após um esforço com intensidade máxima equivalente a 80% do  $VO_{2PICO}$ , apresentaram elevada reprodutibilidade. Zagatto e Gobatto (2012) não observaram diferenças significativas na  $W_{PCR}$ , na  $W_{[La]}$  e na contribuição anaeróbia total (i.e.  $MAOD_{RED}$ ), evidenciadas durante quatro esforços realizados até a exaustão (95 a 130% da intensidade correspondente ao máximo  $VO_2$ ). Com isso, embora os autores não tenham analisado a correlação ou a reprodutibilidade das medidas, estes resultados demonstram que as contribuições anaeróbias parecem atingir valores máximos (i.e. capacidade anaeróbia) em esforços exaustivos, não sendo modificadas pela intensidade ou pelo Tlim.

Os achados do presente estudo não concordam com os supracitados (KILDING et al. 2005; ZAGATTO e GOBATTO, 2012; BERTUZZI et al. 2010; MEDBO et al. 1988; MEDBO TABATA, 1993). Embora Zagatto e Gobatto, (2012) não tenham encontrado diferenças significativas entre os valores médios da contribuição anaeróbia total, estes autores não apresentaram outras medidas sobre a reprodutibilidade individual das medidas. Por outro lado, Kilding et al. (2005) que observaram baixos CV% (<4,8%) entre as situações teste e reteste, para as variáveis envolvidas na determinação da  $W_{PCR}$ . Ambos os autores utilizaram o ajuste mono-exponencial para a determinação da Amp e do Tal (KILDING et al. 2005; ZAGATTO e GOBATTO, 2012), o que pode ter influenciado os resultados principalmente nas intensidades realizadas acima do limiar anaeróbio (OZYENER et al. 2001).

Outros fatores podem influenciar na determinação da  $W_{PCR}$ , da  $W_{[La]}$  e, conseqüentemente, do  $MAOD_{RED}$ . Embora vários estudos tenham observado significativas relações entre a cinética do  $VO_2$  pós-exercício e a ressíntese de fosfocreatina (McCREARY et al. 1996; ROSSITER et al. 2002; YOSHIDA, 2002), o EPOC não está ligado somente a processos anaeróbios, sendo influenciado por vários mecanismos fisiológicos (GAESSER e BROOKS, 1984). Além disso, as relações entre o  $EPOC_{RAP}$  e a ressíntese da fosfocreatina podem ser modificadas em função do pH intramuscular (McCREARY et al. 1996), que é alterado em esforço exaustivos.

A utilização das  $[Lac]$  para a determinação da  $W_{[La]}$ , também apresenta algumas limitações. Jacobs, (1981) ao reduzir as quantidades de glicogênio muscular, manipulando a dieta ou aplicando um esforço prolongado, observou que as  $[Lac]$  após um esforço exaustivo foram significativamente inferiores na situação experimental em relação à situação controle. Durante um esforço intenso a musculatura menos ativa também tem um importante papel na oxidação do lactato sanguíneo (GASSER e BROOKS, 1984; GRANIER et al. 1996), o que pode diminuir as  $[Lac]$  circulantes. Desse modo, o estado nutricional, a carga de treinamento realizada anteriormente e a gliconeogenese que ocorre durante o exercício, podem influenciar nas  $[Lac]$  e, conseqüentemente, na determinação da  $W_{[La]}$ .

Mesmo com as possíveis limitações supracitadas, Bertuzzi et al. (2010) não observaram diferenças significativas entre o  $MAOD_{RED}$  e o  $MAOD$  determinados em ciclo ergômetro. Estes autores demonstraram significativas correlações ( $r=0,78$ ) e elevados níveis de concordância entre as duas metodologias (i.e. erro médio próximo a zero e amplitude dos limites de concordância menor do que 1,0 L). Neste estudo (Bertuzzi et al. 2010) a  $W_{PCR}$  e a  $W_{[La]}$  observadas durante o  $MAOD_{RED}$  (22 e

78%, respectivamente), apresentaram valores similares aos observados por outros estudos (MEDBO et al. 1988; MEDBO e TABATA, 1993).

Bertuzi et al. 2010 realizaram apenas seis cargas submáximas para a construção da relação  $VO_2$ -intensidade, o que pode ter alterado a determinação da demanda de  $O_2$  para a intensidade supramáxima (BUCK e NAUGHTON, 1999; BUCK e NAUGHTON, 1999a). Neste sentido, embora Medbo et al. (1988) tenham proposto a utilização de até 20 esforços submáximos, estudos tem demonstrado que os parâmetros da relação  $VO_2$ -intensidade podem ser satisfatoriamente determinados por meio da utilização de um número menor esforços submáximos, com duração superior a seis minutos (BUCK E NAUGHTON, 1999; BUCK E NAUGHTON, 1999a).

Para uma determinação robusta da demanda energética teórica, o presente estudo utilizou dez cargas submáximas com duração de sete minutos, conforme proposto por Noordhof et al. (2010). Os resultados demonstram que os valores de  $MAOD_{RED}$ , embora não tenham apresentado diferença significativa entre as médias, não foram correlacionados e apresentaram grandes diferenças individuais em relação ao  $MAOD$ . Além disso, a análise da concordância demonstrou uma grande variabilidade interindividual com diferenças médias (bias) bastante elevadas.

Apartir dos resultados obtidos, o presente estudo demonstrou que as variáveis envolvidas na determinação da  $W_{PCR}$  e da  $W_{[La]}$ , não são reprodutíveis em nado atado. Diferentemente do que ocorre em ciclo ergômetro (BERTUZZI et al. 2010), o  $MAOD_{RED}$  não foi bem associado ao  $MAOD$  convencional determinado em nado atado. Desse modo, pode-se concluir que o  $MAOD_{RED}$ , determinado por meio de um esforço exaustivo realizado a 100% da  $PF_{TI}$ , não pode ser utilizado para a avaliação da capacidade anaeróbia de nadadores. Futuras investigações devem controlar o

estado nutricional e o nível de stress fisiológico, para que as possíveis influências destas variáveis na determinação da  $W_{PCR}$  e da  $W_{[La]}$  sejam diminuídas.

### **Validação do teste de lactato mínimo realizado em nado atado**

Os principais achados do presente estudo demonstram a elevada reprodutibilidade da ILM determinada em nado atado e a possibilidade de utilização desta variável para avaliação da capacidade aeróbia em nadadores.

Embora o teste de lactato mínimo apresente algumas vantagens para a determinação da capacidade aeróbia (TEGTBUR et al. 1993), poucos estudos investigaram a reprodutibilidade da ILM. MacIntosh et al. (2002), embora não tenham apresentado o ET e o CV%, observaram que a ILM determinada em ciclo ergômetro apresentou reprodutibilidade satisfatória. Concordando com estes achados, Strupler et al. (2009) ao testarem a reprodutibilidade da ILM por meio da realização de quatro testes em ciclo ergômetro, evidenciaram baixos valores de CV% (6,8%) indicando a elevada reprodutibilidade desta variável.

Os resultados do presente estudo concordam com os supracitados, demonstrando que a ILM parece apresentar reprodutibilidade satisfatória quando determinada por meio de esforços em nado atado, assim como ocorre em ciclo ergômetro. Embora mais estudos sejam necessários, a presente investigação demonstrou que a ILM apresenta baixos valores de ET (2,8 N), indicando que esta variável pode apresentar boa sensibilidade aos efeitos do treinamento.

Apesar de existirem resultados conflitantes (JONES et al. 1998; JHONSON et al. 2009), vários estudos tem demonstrado que a ILM apresenta significativas relações com a MFEL (TEGTBUR et al. 1993; MACINTOSH et al. 2002; DOTAN et al. 2011; KNOEPFLI-LENZIN and BOUTELLIER 2011). Knoepfli-lenzin and Boutellier

(2011) avaliando 63 indivíduos, observaram fortes correlações ( $r= 0,87$ ) entre estas metodologias determinadas em ciclo ergômetro. Dontan et al. (2011) observaram correlações muito fortes entre a ILM, determinada por meio do modelo polinomial, e a MFEL ( $r= 0,93$ ) em 16 corredores. Entretanto, ambos os estudos observaram valores ligeiramente inferiores de ILM em comparação a MFEL (DOTAN et al. 2011; KNOEPFLI-LENZIN and BOUTELLIER 2011).

Papoti et al. (2010), evidenciaram que o LAN, determinado de maneira semelhante ao do presente estudo, pode ser utilizado para a estimativa da MFEL em nado atado. Embora comparações diretas com a MFEL não tenham sido realizadas, o presente estudo demonstrou valores similares e muito fortemente correlacionados ( $r=0,91$ ) entre a ILM e o LAN, além de pequenas diferenças médias e limites de concordância pouco amplos entre estas metodologias. Estes achados demonstram que a capacidade aeróbia pode ser determinada por meio do teste de lactato mínimo realizado em nado atado, assim como ocorre na corrida (DOTAN et al. 2011) e em ciclo ergômetro (KNOEPFLI-LENZIN and BOUTELLIER 2011).

As [Lac] relativas tanto a ILM como ao LAN, foram semelhantes às encontradas por Fernandes et al. (2011) ( $\sim 2,1$  mM) demonstrando que a utilização do nado atado parece respeitar a especificidade da natação. Neste sentido, a determinação do LAN em nado atado por meio de [Lac] fixas (i.e. 3,5 ou 4 mM) pode superestimar a capacidade aeróbia, assim como ocorre em nado livre (FERNANDES et al. 2011). Desse modo, a ILM parece ser uma ferramenta útil para a determinação da MFEL por meio de uma única sessão de avaliação, de maneira específica e respeitando a cinética individual das [Lac]. Esta metodologia também pode ser utilizada para a prescrição do treinamento contínuo, tornando as sessões mais específicas para nadadores de águas abertas (i.e. maratonistas ou triatletas).

Entretanto, a ILM pode ser influenciada pelas  $[Lac]_{PICO}$  observadas após a fase de indução, pela duração da fase de recuperação e pelo protocolo utilizado na fase incremental (MACINTOSH et al. 2002; STRUPLER et al. 2009). Johnson et al. (2008), embora tenham evidenciado elevadas relações entre a ILM e a MFEL, não observaram significativas correlações entre as  $[Lac]$  determinadas durante a fase incremental e esforços constantes realizados nas mesmas intensidades relativas. O estudo supracitado (JOHNSON et al. 2008) também demonstrou que a ILM pode ser alterada pela utilização de diferentes grupamentos musculares durante a fase de indução. Estes resultados em conjunto demonstram que as relações entre a ILM e a MFEL podem ser apenas um acaso (JONES et al. 1998; JOHNSON et al. 2008). Além disso, Carter et al. (1999) não observaram alterações na ILM após seis semanas de treinamento, mesmo com a melhora da aptidão aeróbia.

Em resumo, os achados do presente estudo demonstram que a ILM determinada em nado atado, apresenta reprodutibilidade satisfatória e pode ser utilizada para avaliação da capacidade aeróbia em nadadores. Tendo em vista os poucos estudos realizados em natação (RIBEIRO et al. 2003), mais investigações são necessárias para a padronização do protocolo utilizado e para comparações da ILM diretamente com a MFEL, bem como para testar a sensibilidade desta metodologia ao treinamento predominantemente aeróbio.



## **Validação do esforço máximo de três minutos como ferramenta de avaliação aeróbia**

### *Reprodutibilidade*

O presente estudo demonstrou que a maioria das variáveis provenientes do esforço máximo de três minutos, exceto a  $W'_{3MIN}$ , apresentou elevada reprodutibilidade.

Estes achados concordam com o estudo de Burnley et al. (2006), que observaram correlações muito fortes entre as situações teste e resteste (ICC= 0,99) e valores muito baixos de ET (~7 W) e de CV% (3%) para a potência gerada nos últimos trinta segundos de esforço máximo. Johnson et al. (2011) também evidenciaram elevados valores de reprodutibilidade da potência final determinada em ciclo ergômetro (ET= 15,3 W; CV% 6,7% e ICC=0,93). Embora os valores tenham sido inferiores, a reprodutibilidade deste parâmetro também foi confirmada em remo ergômetro (ET= 25W; CV%= 13,7% e ICC= 0,78; CHENG et al. 2011). Em conjunto estes resultados concordam com os observados no presente estudo, indicando uma elevada reprodutibilidade dos valores obtidos nos trinta segundos finais do esforço máximo de três minutos, independentemente do ergômetro utilizado.

Embora Vanhatalo et al. (2006) tenham observado valores similares e significativamente correlacionados entre a  $W'_{3MIN}$  e o parâmetro anaeróbio proveniente do modelo de potência crítica convencional (i.e. curvatura constante,  $W'$ ), estudos tem demonstrado que este parâmetro não apresenta elevada reprodutibilidade (CHENG et al. 2011). Além disso, a  $W'_{3MIN}$  não foi sensível ao treinamento aeróbio de alta intensidade (VANHATALO et al. 2008), demonstrou uma

tendência a ser modificada pela cadência desenvolvida durante o esforço máximo de três minutos (VANHATALO et al. 2007) e não foi sensível a suplementação tanto de creatina (VANHATALO et al. 2009) como de bicarbonato de sódio (VANHATALO et al. 2010).

Cheng et al. (2011) avaliando remadores treinados, não evidenciaram significativas correlações entre a  $W'_{MIN}$  e a  $W'$ . Além disso, estes autores observaram elevados CV% (30,1%) e moderadas correlações (ICC=0,63) entre as  $W'_{3MIN}$ , determinadas nas situações teste e reteste. Concordando com estes achados, Johnson et al. (2011) observaram que a  $W'_{3MIN}$  determinada em ciclo ergômetro, apresentou um CV% equivalente a 20,7%, um ET de 1456 W. Com isso, os achados do presente estudo concordam os supracitados, não observando valores satisfatórios de reprodutibilidade para a  $W'_{3MIN}$ , determinada em nado atado.

Os resultados da presente investigação demonstram que a PF, FM e a  $FM_{150}$ , apresentaram elevada reprodutibilidade, concordando com Johnson et al. (2011) que observaram fortes coeficientes de correlação (ICC= 0,98) e baixos valores de ET (11,1 W) e de CV% (4,1%), para a potência média nos primeiros 150s do esforço máximo de três minutos realizado em ciclo ergômetro. A partir do ET observado no presente estudo, pode-se concluir que estas variáveis são bastante sensíveis aos efeitos de treinamento, diferenciando as adaptações reais dos possíveis erros de mensuração inseridos nas medidas.

#### *Relações entre a $FC_{3MIN}$ e variáveis aeróbias*

A  $FC_{3MIN}$  apresentou valores entre o LAN e a  $FP_{TI}$ , semelhante ao que ocorre em ciclo ergômetro (FRANCIS et al. 2010; VANHATALO et al. 2006; CHENG et al; 2011). Francis et al. (2010) evidenciaram que a potência final determinada pelo

esforço máximo de três minutos, foi aproximadamente 14% superior ao LAN e apenas 5% inferior a intensidade correspondente ao  $VO_{2PICO}$ . Vanhatalo et al. (2006) observaram que a potência final foi equivalente a 70% da potência máxima atingida no teste de rampa. A diferença entre os equivalentes da potência final em relação à máxima atingida durante o teste incremental, observada nos estudos supracitados, pode ser explicada pela diferença entre os protocolos incrementais utilizados (FRANCIS et al. 2010).

Levando em consideração o comportamento da  $FC_{3MIN}$  em relação ao LAN e a  $FP_{TI}$ , e as fortes correlações evidenciadas entre estas variáveis, pode-se concluir que a  $FC_{3MIN}$  pode ser utilizada para avaliação do metabolismo aeróbio de nadadores, assim como a força crítica determinada de maneira convencional (PERANDINI et al. 2006). Estes achados confirmam os apresentados no estudo piloto I (ver ANEXO I). Embora Papoti et al. (2010) tenham observado que o LAN determinado pelo método bi-segmentado corresponde a MFEL em nado atado, mais estudos são necessários para testar a hipótese de que a  $FC_{3MIN}$  representa o limite superior entre os domínios fisiológicos pesado e severo, como ocorre em ciclo ergômetro (BURNLEY et al. 2006; FRANCIS et al. 2010).

Desse modo, pode-se concluir que 1) a  $FC_{3MIN}$  apresenta elevados índices de reprodutibilidade; 2) a  $FC_{3MIN}$  pode ser utilizada para avaliação aeróbia de nadadores, apresentando valores entre o LAN e a  $FP_{TI}$ ; 3) a FP, FM e  $FM_{150}$  apresentam elevada reprodutibilidade; 4) a  $W'_{3MIN}$  não é um parâmetro reprodutível.

## **Comparações entre os parâmetros do esforço máximo de três minutos e o MAOD**

Os principais achados do presente estudo demonstram que, embora significativas correlações tenham sido encontradas entre a  $W_{3MIN}$  e o MAOD, a variável proveniente do esforço máximo de três minutos explica apenas 0,47% da variação na capacidade anaeróbia de nadadores.

Recentemente, Pinna et al. (2012) submeteram doze nadadores a quatro testes incrementais em diferentes ergômetros (i.e. ciclo ergômetro, ergômetro de braço, esteira e nado atado) e observaram que mesmo atingindo os todos os critérios para a determinação do  $VO_{2MAX}$ , os nadadores apresentaram valores superiores de potência aeróbia quando avaliados em nado atado. Neste estudo o limiar anaeróbio também foi atingido em intensidades significativamente superiores em nado atado, com relação aos outros ergômetros. Os autores concluíram que o nado atado é um ergômetro mais específico ao gesto motor utilizado durante os treinamentos e competições de natação, podendo ser utilizado para a determinação do  $VO_2$  durante o esforço.

O presente estudo, além de utilizar o nado atado para a determinação específica do  $VO_2$  durante a natação, também determinou o MAOD de maneira bastante robusta. Neste sentido, embora Medbo et al. (1988) tenham proposto a utilização de até 20 esforços submáximos, estudos tem demonstrado que os parâmetros da relação  $VO_2$ -intensidade podem ser satisfatoriamente determinados por meio da utilização de um número menor esforços submáximos, com duração superior a seis minutos (BUCK E NAUGHTON, 1999; BUCK E NAUGHTON, 1999a). Desse modo, para uma determinação confiável da demanda energética teórica, o presente estudo utilizou dez cargas submáximas com duração de sete minutos, (NOORDHOF, DE KONING e FOSTER, 2010).

No modelo convencional (e.g. 3-5 esforços exaustivos de cargas constantes), a potência crítica representa uma intensidade que teoricamente pode ser sustentada por um longo período de tempo sem fadiga (MONOD e SHERRER, 1965) e a curvatura constante representa uma quantidade fixa de trabalho que pode ser realizada acima da potência crítica (HENRIX et al. 2009). Teoricamente a curvatura constante parece corresponder aos estoques intramusculares de fosfatos de alta energia, de glicogênio e de oxigênio contido nas mioglobinas (MIURA et al. 2002; BISHOP et al. 1998). Este parâmetro anaeróbio parece ser modificado por mudanças nas concentrações intramusculares de glicogênio (MIURA et al. 2000) e fosfocreatina (MIURA et al. 1999), além de não ser alterado em ambientes de hipóxia (MORITANI et al. 1981), demonstrando indiretamente a sua ligação com o metabolismo anaeróbio.

Alguns autores consideram a curvatura constante como um parâmetro alternativo de avaliação da capacidade anaeróbia (HILL et al. 1993; MIURA et al. 2000). Confirmando estes pressupostos teóricos, alguns estudos observaram significativas correlações entre a esta variável tanto com o MAOD (HILL et al. 1993; NEBELSICK-GULLETT, 1988; DEKERLE et al. 2006) como com a quantidade total de trabalho realizada durante o teste de Wingate (NEBELSICK-GULLETT, 1988). Entretanto, outros estudos observaram que a CTA não foi significativamente correlacionada ao MAOD (BERTHOIN et al. 2003), as [Lac] pico (BOSQUET et al. 2007) e ao esforço máximo de 30s realizado em nado atado (PAPOTI et al. 2005).

Vanhatalo, Doust e Burnley (2007) observaram que, quando determinados em ciclo ergômetro por meio do esforço máximo de três minutos, a potência final e  $W'_{3MIN}$  são equivalentes à potência crítica e a CTA, determinados de maneira convencional, respectivamente. Embora a potência final tenha sido bem associada à

MFEL (BURNLEY et al. 2006), o parâmetro anaeróbio, para nosso conhecimento, ainda não foi comparado ao método mais aceito para avaliação da capacidade anaeróbia (i.e. MAOD).

A  $W'_{3MIN}$ , embora tenha sido sensível a realização previa de exercício intenso (VANHATALO et al. 2009), demonstrou uma tendência a ser modificada pela cadência desenvolvida durante o esforço máximo (VANHATALO et al. 2007), não foi correlacionada a contribuição anaeróbia total para a distância de 400m em natação (Estudo piloto 1) e não foi sensível a suplementação tanto de creatina (VANHATALO et al. 2009) como de bicarbonato de sódio (VANHATALO et al. 2010).

Os achados do presente estudo demonstram que a  $W'_{3MIN}$  não foi fortemente correlacionada ao MAOD, sendo necessários mais estudos para que o verdadeiro significado desta variável seja melhor compreendido. Neste sentido, para que a  $W'_{3MIN}$  corresponda a capacidade anaeróbia, todos os estoques anaeróbios devem ser completamente depletados, o que no esforço máximo de três minutos teoricamente é evidenciado com a estabilização da potência gerada nos últimos 30s de esforço (BURNLEY, DOUST e VANHATALO, 2006).

Entretanto, 26% das concentrações de fosfocreatina são preservadas após um esforço exaustivo (110% da potência crítica; JONES et al. 2008) e apenas 66% dos estoques de glicogênio muscular são utilizados durante um esforço exaustivo a 75% da intensidade de consumo máximo de  $O_2$  (SHEARER et al. 2005). Estes achados demonstram que a exaustão parece não ocorrer apenas pela completa depleção de substratos anaeróbios, sendo relacionada também a fatores ligados a acidose (JONES et al. 2008). Desse modo, a estimativa da capacidade anaeróbia por modelos matemáticos (i.e. curvatura constante) ou por esforços máximos (i.e.  $W'_{3MIN}$ ) parece ser limitada.

Desse modo, embora mais investigações sejam necessárias para que o verdadeiro significado fisiológico desta variável seja completamente elucidado, o presente estudo demonstrou que a  $W'_{3MIN}$  não pode ser utilizada para avaliação da capacidade anaeróbia, determinada por meio do MAOD, em nadadores.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos com a realização do presente projeto de pesquisa, pode-se concluir que:

- ✓ A relação  $VO_2$ -intensidade, determinada em nado atado, apresenta elevada reprodutibilidade;
- ✓ O MAOD determinado em nado atado é um teste reprodutível;
- ✓ O  $MAOD_{RED}$  não é uma metodologia reprodutível quando determinada em nado atado;
- ✓ O  $MAOD_{RED}$  não deve ser utilizado para a determinação da capacidade anaeróbia de nadadores em nado atado.
- ✓ A ILM apresenta elevada reprodutibilidade;
- ✓ A ILM pode ser utilizada para a avaliação do metabolismo aeróbio de nadadores, principalmente por apresentar elevadas correlações com o LAN;
- ✓ A FP, a FM e a  $FC_{3MIN}$ , determinadas por meio do esforço máximo de três minutos realizado em nado atado, apresenta elevada reprodutibilidade;
- ✓ A  $W'_{3MIN}$  e o IF, determinados por meio do esforço máximo de três minutos realizado em nado atado, não foram reprodutíveis;
- ✓ A  $W'_{3MIN}$  não deve ser utilizada para avaliação da capacidade anaeróbia em nadadores.

## 7. CONSIDERAÇÃO FINAL

Em resposta a pergunta central da presente dissertação de mestrado:

*“Os parâmetros provenientes do esforço máximo de 3min em nado atado são ferramentas válidas para avaliação das capacidades aeróbia e anaeróbia e predição de desempenho de nadadores?”*

Os resultados da presente dissertação de mestrado demonstram que o parâmetro aeróbio do esforço máximo de três minutos realizado em nado atado apresenta elevada reprodutibilidade e é uma ferramenta de fácil aplicação e baixos custos para avaliação aeróbia de nadadores. Entretanto, o parâmetro anaeróbio desta metodologia não deve ser utilizado para avaliação do metabolismo anaeróbio e para a predição de desempenho em nadadores.

## 8. REFERÊNCIAS

- Aspenes, S. Combined Strength and Endurance Training in Competitive Swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine* 2009; 8; 357-365.
- Bangsbo, J.; Michalski, L.; Petersen, A. Accumulated O<sub>2</sub> deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*, Stuttgart, 1993; 14: 207 – 214.
- Bar-Or O. The Wingate Anaerobic Test: An Update on Methodology, Reliability and Validity. *Sports Medicine*, 1987: 4:381-394.
- Bar-Or, O; Dotan, R; Inbar O. A 30-second all-out ergometric test its reliability and validity for anaerobic capacity. *Israel Journal Medical Sciences*, 1977: 13:326.
- Bell, D.G.; Jacobs, I.; Ellerington, K. Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Madison, 2001:33:1399-1403.



- Beneke R, Pollmann C, Bleif I, Leithäuser Rm, Hutler M. How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *Eur J Appl Physiol* 2002; 87: 388-92.
- Beneke R, Leithäuser Rm, Hütler M. Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *Br J Sports Med.* 2001; 35:192-6.
- Beneke R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27:863-7.
- Beneke R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol.* 2003; 89:95-9
- Beneke, R; Beyer, T; Jachner, C; Erasmus, J; Hutler M. Energetics of karate kumite. *Eur J Appl Physiol:* 2004; 92: 518–523.
- Bentley Dj, Newell J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med.* 2007; 37:575-86.
- Bergstrom HC, Housh TJ, Zuniga JM, Traylor DA, Lewis RW Jr, Camic CL, Schmidt RJ, Johnson GO. Mechanomyographic and metabolic responses during continuous cycle ergometry at critical power from the 3-min all-out test. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013; 23:349-55.
- Berthoin S; Baquet G; Dupont G; Blondel N; Mucci P. Critical velocity and anaerobic distance capacity in prepubertal children. *Can J Appl Physiol;* 2003; 28: 561-575.
- Bertuzzi, R. C. M; Franchini, E; Ugrinowitsch, C; Kokubun, E; Lima-Silva, A. E; Pires, F.O; Nakamura, F. Y; Kiss, M. A. P. D. M. Predicting MAOD Using Only a Supramaximal Exhaustive Test. *Int J Sports Med.* 2010; 31:477-81.
- Bertuzzi, R.C.M; Franchini, E; Kokubun, E; Kiss, M.A.P.D.M. Energy system contributions in indoor rock climbing. *Eur J Appl Physiol:* 2007; 101: 293–300.

- 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.* 2004; 447(6):875-83.
- Billat VI, Sirvent P, Py G, Koralsztein Jp, Mercier J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Med.* 2003;33:407-26.
- Bishop, D; Jenkins, D.G. The influence of resistance training on the critical power function e time to fatigue at critical power. *Aust J Sci Med Sport*; 1996; 28:101-105.
- Bonen, A; Wilson, B.A; Yarkony, M; Belcastro, A.N, Maximal oxygen uptake during free, tethered and flume swimming. *J. Appl. Physiol.* 1980; 48:232-235.
- Bosquet L, Léger L, Legros P . Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med.* 2002; 32:675-700
- Buck D, Mc Naughton L. Maximal accumulated oxygen deficit must be calculated using 10-min time periods. *Med Sei Sports Exerc.*1999a 31: 1346-9.
- Buck, D; Mc Naughton, Lr. Changing the Number of Submaximal Exercise Bouts Effects Calculation of MAOD. *International Journal of Sports Medicine*, 1999; 20:28-33.
- Burnley, M; Doust, J.H; Vanhatalo, A. A 3-min All-Out Test to Determine Peak Oxygen Uptake and the Maximal Steady State. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38:1995-2003.
- Cabri, J.M.H; Annemans, L; Clarys, E.B; Publie, J. The Reation of Stroke Frequency, force, and EMG in Front Crawl Tethered Swimming. In: *Swimming and Science V.* Champaign, IL: Human Kinetics, 1988; 183-190.

- Calbet, J.A.; Chavarren, J.; Dorado, C. Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s Wingate test. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, 1997; 76:308-313.
- Cameron, J.R.B; Roache, R; Hay, J.T; Bar-Or, O. Anaerobic power of arms in teenage boys and girls: relationship to lean tissue. *European Journal Applied Physiology*. 1988; 57:677-683.
- Campos, F.A.D; Bertuzzi, R., Dourado, A.C., Santos, V.G.F., Franchini, E. Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation *Eur J Appl Physiol*, 2011; 112:1221-8.
- Carter H, Jones Am, Doust Jh. Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. *J Sports Sci*. 1999; 17:957-67.
- Chatagnon, M.; Pouilly, J.P.; Thomas, V.; Busso, T. Comparison between maximal power in the power-endurance relationship and maximal instantaneous power. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, 2005; 94,711-717.
- Cheng CF, Yang YS, Lin HM, Lee CL, Wang CY. Determination of critical power in trained rowers using a three-minute all-out rowing test. *Eur J Appl Physiol*. 2012; 112:1251-60
- Chmura J, Nazar K. Parallel changes in the onset of blood lactate accumulation (OBLA) and threshold of psychomotor performance deterioration during incremental exercise after training in athletes. *Int J Psychophysiol*. 2010; 75:287-90.
- Davis Ha, Gass Gc. Blood lactate concentrations during incremental work before and after maximum exercise. *Br J Sports Med*. 1979; 13:165-9.

- De Araujo Gg, Papoti M, Manchado Fde B, De Mello Ma, Gobatto Ca. Protocols for hyperlactatemia induction in the lactate minimum test adapted to swimming rats. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2007;148:888-92..
- De Barros Cl, Mendes Tt, Mortimer Lá, Simões Hg, Prado Ls, Wisloff U, Silami-Garcia E. Maximal lactate steady state is altered in the heat. *Int J Sports Med*. 2011;32:749-53.
- De Campos Mello F, De Moraes Bertuzzi Rc, Grangeiro Pm, Franchini E. Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: a comparison among rowing ergometers and water. *Eur J Appl Physiol* 2009; 107: 615-619.
- Dekerle J, Brickley G, Hammond AJ, Pringle JS, Carter H Validity of the two-parameter model in estimating the anaerobic work capacity. *Eur J Appl Physiol*. 2006; 96:257-64.
- Dekerle J, Sidney M, Hespel Mj, 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* 2002; 23:93-8.
- Dekerle, J; Vanhatalo, A; Burnley, M. Determination of critical power from a single test. *Science e Sports* 2008; 23: 231-238.
- Deminice, R. et al. Série de Treinamento Intervalado de Alta Intensidade como Índice de Determinação da Tolerância à Acidose na Predição de Performance Anaeróbia de Natação. *Rev Bras Med Esporte* 2007; 13; 185-189.
- Denadai Bs, Gomide Eb, Greco Cc. The relationship between onset of blood lactate accumulation, critical velocity, and maximal lactate steady state in soccer players. *J Strength Cond Res*. 2005; 19:364-8.
- Di Prampero, P.E.; Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*: 1981; 89: 144–222.

- Di PRAMPERO, P.E.; MAHLER, P.B.; GIEZENDANNER, D.; CERRETELLI, P.  
Effects of priming exercise on VO<sub>2</sub> kinetics and O<sub>2</sub> deficit at the onset of stepping and cycling. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, 1989; 66:2023-2031.
- Di Prampero, P.E; Ferretti, G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol*: 1999; 118: 10-115.
- Di Prampero. P.E. Energetics of muscular exercise. *Review Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, London, 1981; 89:143-222.
- Doherty, M. The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit and short-term running performance. *International Journal of Sport Nutrition*, 1998; 8:95-104.
- Dotan R, Zigel L, Rotstein A, Greenberg T, Benyamini Y, Falk B. Reliability and validity of the lactate-minimum test. A revisit. *J Sports Med Phys Fitness*. 2011; 51:42-9.
- Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med*. 2009;39:469-90.
- Fernandes Rj , Sousa M , Pinheiro A , Vilar S , Colaço P , Vilas-Boas Jp . Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in 10–11 years-old swimmers . *Eur J Sport Sci* 2010; 10 : 311 – 317
- Fernandes Rj, Sousa M, Machado L, Vilas-Boas Jp. Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *Int J Sports Med*. 2011; 32:940-6.
- Fernandes, R.J; Keskinen, K.L, Colaço, P; Querido, A.J, Machado, L.J; Morais, P.A; Novais, D.Q; Marinho, D.A; Vilas Boas, J.P. Time limit at VO<sub>2</sub>max velocity in elite crawl swimmers. *Int J Sports Med*. 2008; 29:145-50..

- Francis JT Jr, Quinn TJ, Amann M, LaRoche DP. Defining intensity domains from the end power of a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc.* 2010; 42:1769-75.
- Friedmann B, Frese F, Menold E, Bärtsch P. Effects of acute moderate hypoxia on anaerobic capacity in endurance-trained runners. *Eur J Appl Physiol.* 2007;101:67-73.
- Fry, R.W; Morton, A.R; Garcia-Webb P; Crawford, G.P.M; Keast D. Biological responses to overload training in endurance sports. *European Journal Applied Physiology.* 1992; 64:335-344.
- Fukuba, Y.A; Miura, M.; Endo, A.; Kan, K.; Yanagawa; Whipp, B. J.. The curvature constant parameter of the power-duration curve for varied-power exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2003; 35:1413–1418.
- Gaesser Ga, Poole Dc. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev.* 1996; 24:35–71.
- Gaesser, A.G., Brooks, G.A. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Madison, 1984; 16: 29-43.
- Gastin Pb. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med.* 2001; 31:725-41.
- Gastin, P. B. Quantification of anaerobic capacity. *Scandinavian Journal of Medicine e Science in Sports*, Copenhagen, 1994; 4; 91-112.
- Gastin, P.B.; Lawson, D.L. Influence of training status on maximal accumulated oxygen deficit during all-out cycle exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Berlin, 1994; 69:321-330.

- Glaister, M. Multiple Sprint Work: Physiological Responses, Mechanisms of Fatigue and the Influence of Aerobic Fitness. *Sports Medicine*, Auckland, 2005; 35: 757-777.
- Glaister, M.; Stone, M.H.; Stewart, A.M.; Hughes, M.G.; Moir, G.L. The influence of endurance training on multiple sprint cycling performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, Philadelphia, 2007; 21:606-612.
- Granier, P.; Dubouchaud, H.; Mercier, B.; Mercier, J. Ahmaidi, S.; PRÉFAUT, Ch. Lactate uptake by forearm skeletal muscles during repeated periods of short-term intense leg exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, 1996; 72:209-214.
- Greco Cc, Caritá Ra, Dekerle J, Denadai Bs. Effect of aerobic training status on both maximal lactate steady state and critical power. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012; 37:736-43.
- Green, S; Dawson, B. Measurement of anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations and unsolved problems . *Sports Med* 1993; 15 : 312 – 327.
- Green, S; Dawson, B.T; Goodman, C; Carey, M.F. Y-intercept of the maximal workduration relationship and anaerobic capacity in cyclists. *Eur J Appl Physiol*; 1994; 69:550-6.
- Guglielmo, L.G.A; Denadai, B.S;. Assesment of Anaerobic Power of Swimmers: The Correlation of Laboratory Tests on an Arm Ergometer with Field Tests in a Swimming Pool. *J Strength Cond Res* 2000; 14:395-398.
- Harrison Tr, Pilcher C. Studies in congestive heart failure: II. The respiratory exchange during and after exercise. *J Clin Invest* 1930; 8:291.

- Hauser T, Bartsch D, Baumgärtel L, Schulz H. Reliability of maximal lactate-steady-state. *Int J Sports Med.* 2013;34:196-9.
- Hawley, J.A; Williams, M.M. Relationship between upper body anaerobic power and freestyle swimming performance. *International Journal. Sports Medicine.* 12:1-5, 1991.
- Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med.* 1985;6:117-30.
- Hill D.W ; Smith J.C. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *J Sports Med Phys Fitness;* 1994; 34: 23- 37,
- Hill D.W; Smith J.C. A comparison of methods of estimating anaerobic work capacity. *Ergonomics;* 1993; 36: 1495- 1500.
- Hill Dw. The critical power concept. A review. *Sports Med* 1993;16 (Suppl.4):237.
- Holmér, I. Oxygen uptake during swimming in man. *J. Appl. Physiol.* 1972; 33:502-509.
- Hooper, S.L; Mackinnon, L.T; Ginn, E.M. Effects of three tapering techniques on the performances, forces and psychometric measures of competitive swimmers. *European Journal of Applied Physiology,* 1998; 78:258-263.
- Hopkins Wg. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 2000; 30:1–15.
- Ikuta Y, Wakayoshi K, Nomura T. Determination and validity of critical swimming force as performance index in tethered swimming. *Biomech Med Swimming* 1996; 7:146-151.
- Jacobs, I. Lactate concentrations after short, maximal exercise at various glycogen levels. *Acta Physiological Scandinavian,* Stockholm, 1981; 111:465-469.



- Jacobs, I.; Bleue, S.; Goodman, J. Creatine ingestion increases anaerobic capacity and maximum accumulated oxygen deficit. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 1997; 22:231-243.
- Jakeman J, Adamson S, Babraj J. Extremely short duration high-intensity training substantially improves endurance performance in triathletes. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012 37:976-81.
- Jenkins, D.G; Quigley, B.M. The influence of high-intensity exercise on the Wlim-Tlim relationship. *Med Sci Sports Exerc*; 1993; 25:275-82.
- Jenkins, D.G; Quigley, B.M. The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. *Ergonomics* 1991; 31:1413-9.
- Jeukendrup, A.E; Hesselink, M.K. Overtraining-what do lactate curves tell us? *Br. Journal Sports Medicine*. 1994; 28:239-240.
- John, R.S; Koceja, D.M; Stanger, J.M; Harms, C.A;. Mood neuromuscular function, and performance during training in female swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28:372-377. Edição especial (Supl), 79.
- Johns, R.A; Houmard, A.J; Kobe, W.R; Hortobágy, T; Bruno, J.N; Wells, M.J; Shinebarger, H.M;. Effects of taper on swim power, stroke distance, and performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1992; 24:1141-1146.
- Johnson M.A; Sharpe G.R; Brown P.I. Investigations of the lactate minimum test *Int J Sports Med*. 2009;30:448-54.
- Johnson TM, Sexton PJ, Placek AM, Murray SR, Pettitt RW. Reliability analysis of the 3-min all-out exercise test for cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc*. 2011; 43:2375-80.

- Jones Am , Doust Jh . The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state . Med Sci Sports Exerc 1998 ; 30 : 1304 – 1313.
- Jürimäe J, Haljaste K, Cicchella A, Lätt E, Purge P, Leppik A, Jürimäe T. Analysis of swimming performance from physical, physiological, and biomechanical parameters in young swimmers. *Pediatr Exerc Sci.* 2007;19:70-81.
- Kaminagakura Ei, Zagatto Am, Redkava Pe, Gomes Eb, Loures Jp, Kalva-Filho Ca, Papoti M. Can the Running-Based Anaerobic Sprint Test be used to Predict Anaerobic Capacity? *JEPonline* 2012; 15: 90-99
- Kilding, A.E.; Challis, N.V.; Winter, E.M.; Fysh, M. Characterisation, asymmetry and reproducibility of on- and off-transient pulmonary oxygen uptake kinetics in endurance-trained runners. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, 2005; 93:588-597.
- Kindermann W., Simon G., Keul J.: The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol* 1979; 42: 25—34.
- Kiss MAPD (org.) *Esporte e exercício: avaliação e prescrição*. São Paulo: Roca, 2003.
- Knoepfli-Lenzin C, Boutellier U. Lactate minimum is valid to estimate maximal lactate steady state in moderately and highly trained subjects. *J Strength Cond Res.* 2011 25:1355-9.
- Kokubum, E. Velocidade crítica como estimador do limiar anaeróbio na natação. *Ver. Pauli. Educ. Fis.* 1996; 10:5-20.

- Kuipers, H; Verstappen, F.T.J; Keizer, H.A; Guerten, P; Van Kranenburg, P. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med*, 1985 6:197-201.
- Laursen Pb. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports*. 2010 ;20 Suppl 2:1-10.
- Lehmann M; Baumgart P; Wiesenack C. Training-overtraining: influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and some metabolic parameters in experienced middle and long-distance runners. *European Journal Applied Physiology*. 64:169-177, 1992.
- Lima Mc, Ribeiro Lf, Papoti M, Santiago Pr, Cunha Sa, Martins Le, Gobatto Ca. A semi-tethered test for power assessment in running. *Int J Sports Med*. 2011 32:529-34
- Lima Mce, Junior Pb, Gobatto Ca, Junio Jrg, Ribeiro Lfp. Proposta de teste incremental baseado na percepção subjetiva de esforço para determinação de limiares metabólicos e parâmetros mecânicos do nado livre. *Rev Bras Med Esporte* 2006; 12: 168-274.
- Loures JPA, Kalva-Filho CA, Franco VH, Kaminagakura EI, Zagatto AM, Papoti M. Correlation between the Curvature Constant Parameter ( $W'$ ) from the Velocity-Exhaustion Time Relationship, Maximal Accumulated Oxygen Deficit and Performance in Professional Soccer Players 2012; 5: 79- 87
- Macintosh Br, Esau S, Svedahl K. The lactate minimum test for cycling: estimation of the maximal lactate steady state. *Can J Appl Physiol*. 2002 27:232-49.
- Macintosh Br, Esau S, Svedahl K. The lactate minimum test for cycling: estimation of the maximal lactate steady state. *Can J Appl Physiol*. 2002 27:232-49.
- Maglisho, E.W. *Nadando Ainda Mais Rápido*. São Paulo: Manole, 1999.

- Margaria R , Edwards Ht , Dill Db . The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction . American Journal Physiology 1933 ; 106 : 689 – 715
- Marinho, P.C; Andries, O.J.R. Avaliação da força propulsora do nadador: validação e reprodutibilidade de uma metodologia específica. Rev. Bras. Ciência e Movimento. (supl) 79, 2001.
- Martin L , Whyte G . Comparison of critical swimming velocity and velocity at lactate threshold in elite triathletes . Int J Sports Med 2000 ; 21 : 366 – 368
- Martin Rb, Yeater Ra, White Mk. A simple analytical model for the crawl stroke. J Biomech,1981; 14: 539-548
- Mattern Co, Gutilla Mj, Bright Dl, Kirby Te, Hinchcliff Kw, Devor St. Maximal lactate steady state declines during the aging process. J Appl Physiol. 2003; 95:2576-82.
- Maxwell, N.S.; Nimmo, M.A. Anaerobic capacity: a maximal anaerobic running test versus the maximal accumulated oxygen deficit. Canadian Journal of Applied Physiology, 1996; 21:35-47.
- McClave SA, LeBlanc M, Hawkins AS. Sustainability of critical power determined by a 3-minute all-out test in elite cyclists. J Strength Cond Res. 2011; 25:3093-8.
- Mccreary, C.R.; CHILIBECK, P.D.; MARSH, G.D.; PATERSON, D.H.; CUNNINGHAM, D.A., THOMPSON, R.T. Kinetics of pulmonary oxygen uptake and muscle phosphates during moderate-intensity calf exercise. Journal of Applied Physiology, Bethesda, 1996; 81:331-1338.
- Medbø J.I.; Burgers, S. Effect of training on the anaerobic capacity. Medicine and Science in Sports and Exercise, Madison, 1990; 22:501-507.

- Medbo Ji, Mohn Ac, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM Anaerobic Capacity Determined By Maximal Accumulated O<sub>2</sub> Deficit. *J Appl Physiol*; 1988; 64: 50-60
- Medbø Ji, Tabata I. (1993) Anaerobic Energy Release In Working Muscle During 30 S To 3 Min Of Exhausting Bicycling. *J Appl Physiol*. 1993; 75:1654-60.
- Mendes Tt, Fonseca Tr, Ramos Gp, Wilke Cf, Cabido Ce, De Barros Cl, Lima Am, Mortimer Lde A, De Carvalho Mv, Teixeira Mm, Lima Nr, Garcia Es. Six weeks of aerobic training improves VO<sub>2</sub>max and MLSS but does not improve the time to fatigue at the MLSS. *Eur J Appl Physiol*. 2013 113:965-73.
- Mezzani, A; Corra, U; Sassi, B; Colombo, R; Giordano, A; Giannuzzi, P. Maximal Accumulated Oxygen Deficit in Patients with Chronic Heart Failure. *Medicine Science in Sports Exercise*, 2006; 38:424-432.
- Miura A, Sato H, Sato H, Whipp Bj, Fukuba Y. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. *Ergonomics*; 2000; 43: 133- 141.
- Monod, H; Scherrer, J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*; 1965; 8:329-37.
- Moritani, T; Nagata, A; Devries, H.A; Muro, M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*; 1981; 24:339-50.
- Nebelsick-Gullett, L.J; Housh, T.J; Johnson, G.O; Bauge, S.M; A comparison between methods of measuring anaerobic work capacity. *Ergonomics*;1988; 31:1413-9.
- Neufer, P.D; Costill, D.L; Fielding, R.A; Flynn, M.G; Kirwan, J.P; Effect of reduced training on muscular strength and endurance in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1987; 19:486-490.

- Noordhof Da, Koning Jj, Foster C. The Maximal Accumulated Oxygen Deficit Method. A valid And Reliable Measure Of Anaerobic Capacity? *Sports Med* 2010; 40:285-302.
- Nummela, A., M. Alberts, R.P. Rijnjtes, P. Luhtanen, And H. Rusko. Reliability and validity of the maximal anaerobic running test. *Int. J. Sports Med.* 1996 17:97 – 102.
- Ogita F, Hara M, Tabata I. Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole bodyswimming. *Acta Physiol Scand.* 1996; 157:435-41.
- Ogita F, Onodera T, Tabata I. Effect of hand paddles on anaerobic energy release during supramaximal swimming. *Med Sci Sports Exerc.* 1999 31:729-35.
- Olbrecht J . *The Science of Winning . Planning, Periodizing, and Optimising Swim Training .* Luton, England : Swimshop ; 2000
- Olesen, H.L. Accumulated oxygen deficit increases with inclination of uphill running. *Journal of Applied Physiology, Bethesda,* 1992; 73:1130-1134.
- Owles Wh. Alterations in the lactic acid content of the blood as a result of light exercise, and associated changes in the co(2)-combining power of the blood and in the alveolar co(2) pressure. *J Physiol.* 1930 14;69:214-37.
- Papoti M, Da Silva AS, Araujo GG, Santiago V, Martins LE, Cunha SA, Gobatto CA Aerobic and Anaerobic Performances in Tethered Swimming *Int J Sports Med.* 2013 Feb 4. [Epub ahead of print]
- Papoti M, Vitório R, Araújo Gg, et al. Critical force during tethered swimming for the evaluation of aerobic capacity and prediction of performances in freestyle swimming. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum,* 2010; 12:14-20

- Papoti, M, Zagatto, A.M, Freitas, P.B; Cunha, S.A; Martins, L.E; Gobatto, C.A. Use of the y-intercept in the evaluation of the anaerobic fitness and performance prediction of trained swimmers. *Rev Bras Med Esporte*, 2005; 11:126-30.
- Papoti, M.; Vitória, R.; Araújo, G.G.; Martins, L. E. B; Cunha, S. A.; Gobatto, C. A. Força crítica em nado atado para avaliação da capacidade aeróbia e predição de performances em nado livre. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*, 2010; 12:14-20.
- Papoti, M; Balikian, Jp; Denadai, B.S; Lima, M.C.S, Silva, A.S; Santhiago, V; Gobatto, C.A. Adaptação da máscara do analisador de gases VO2000 para mensuração de parâmetros cardiorrespiratórios em natação. *Rev Bras Med Esporte*, 2007 13: 190-194.
- Papoti, M; Martin, L.E.B; Cunha, S.A; Zagatto, A.M; Pereira, R.R; Gobatto, C.A. Padronização de um protocolo específico para determinação da aptidão anaeróbia de nadadores utilizando células de carga. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 2003; 3:36-42.
- Papoti, M; Martins, L.E; Cunha, A.S; Zagatto, A.M; Gobatto, C.A. Effects of taper on swimming force and swimmer performance after an experimental ten-week training program. *J Strength Cond Res*. 2007; 21:538-42.
- Papoti, M; Vitória, R; Cunha, S.A.; Araújo, G.G.; Silva, A.S.R.; Santhiago, V; Martins, L.E.B.; Gobatto; C.A. Determination of Force Corresponding to Maximal Lactate Steady State in Tethered Swimming. *International Journal of Exercise Science*: 2009; 269-279.
- Perandini Lab, Okuno Nm, Kokubun E, Nakamura Fy. Correlação entre a força crítica e a velocidade crítica e suas respectivas frequências de braçada na natação. *Rev Bras de Cineantropom Desempenho Hum* 2006;8:59-65.

- Pettitt RW, Jamnick N, Clark IE. 3-min all-out exercise test for running. *Int J Sports Med.* 2012; 33:426-31
- Philp A, Macdonald AI, Carter H, Watt Pw, Pringle Js. Maximal lactate steady state as a training stimulus. *Int J Sports Med.* 2008; 29:475-9
- Pizza, F.X.; Naglieri, T.A.; Holtz, R.W.; Mitchel, J.B.; Starlling, R.D.; Phillips, M.D.; Cavender, D.L.; Brawn, W.A. Maximal accumulated oxygen deficit of resistance-trained men. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 1996; 21: 391 – 402.
- Pringle JS, Jones AM. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *Eur J Appl Physiol.* 2002; 88:214-26.
- Pyne D , Hamilton L , Swanwick Km . Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers . *Med Sci Sports Exerc* 2001 ; 33 : 291 – 297
- Reis, V.M.; Carneiro, A.L. Metodologia de estimativa do deficit de oxigênio acumulado. *R. bras. Ci e Mov.*; 2005; 13:7-15.
- Ribeiro L , Balikian P , Malachias P , Baldissera V . Stage length, spline function and lactate minimum swimming speed . *J Sports Med Phys Fitness* 2003 ; 43 : 312 – 318
- Robergs, A.D.; Clark, S.A.; Townsend, N.E.; Anderson, M.E.; Gore, C.J.; Hahn, A.G. Changes in performance, maximal oxygen uptake and maximal accumulated oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high:train low altitude exposure. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, 2003; 88:390-395.
- Roseguini A.Z., Silva A.S.R., Gobatto C.A. Determinations and relationships of the RAST anaerobic parameters, anaerobic threshold and lactacidemia response



obtained at the beginning, interval and the end of an official handball match  
Braz J Sports Med, 2008; 14:46–50.

Rossiter, H.B; Ward, S.A.; Kowalchuck, J.M.; Howe, F.A.; Griffiths, J.R.; Whipp, B.J.  
Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O<sub>2</sub> uptake between  
the on- and off-transients of moderate- and high-intensity exercise in humans.  
Journal of Physiology, London, 2002; 15:991-1002.

Scott, C.B. Estimating energy expenditure for brief bouts of exercise with acute  
recovery. Applied Physiology and Nutrition Metabolism, 2006; 31:144-149.

Scott, C.B.; Roby, F.B.; Lohman, T.G.; Bunt, J.C. The maximally accumulated  
oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. Medicine and Science and  
Sports Exercise, Madison, 1991; 23:618-624.

Sjödin B., Jacobs I.: Onset of blood lactate accumulation and marathon running  
performance. Int J Sports Med 1981; 2: 23—26.

Smith, D.J; Norris, R.S; Hogg, M.J.; Performance evaluation of swimmers: scientific  
tools. Sports Med; 2002; 32:539-54.

Snyder, A.C; Jeukendrup, A.E; Hesselink, M.K.C; Kuipers H; Foster C. A  
physiological/psychological indicator of over-reaching during intensive training.  
International Journal. Sports Medicine. 1993; 14:29-32.

Sotero R.C; Pardon E; Campbell C.S; Simões H.G. Indirect assessment of lactate  
minimum and maximal blood lactate steady-state intensity for physically active  
individuals. J Strength Cond Res. 2009 23:847-53.

Spencer, M.; Bishop, D.; Dawson, B.; Goodman, C. Physiological and metabolic  
responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports.  
Sports Medicine. Auckland, 2005; 35:1025-44.

- Sperlich B, Haegele M, Thissen A, Mester J, Holmberg HC. Are peak oxygen uptake and power output at maximal lactate steady state obtained from a 3-min all-out cycle test? *Int J Sports Med.* 2011; 32:433-7.
- Spriet, L.L. Anaerobic metabolism during high-intensity exercise. In: HARGREAVES, M., ed. *Exercise metabolism*. Champaign: Humans Kinetics, 1995.p.1-39.
- Støren O, Ulevåg K, Larsen Mh, Støa Em, Helgerud J. Physiological determinants of the cycling time trial. *J Strength Cond Res.* 2012 [Epub ahead of print]
- Strupler M, Mueller G, Perret C. Heart rate-based lactate minimum test: a reproducible method. *Br J Sports Med.* 2009 43:432-6.
- Tabata, I.; Nishimura, K.; Kouzaki, M.; Hirai, Y.; Ogita, F.; Miyachi, M.; Yamamoto, K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Madison, 1996; 28:1327-1330.
- Taylor, H.L.; Buskirk, E.R; Henschel, A.; Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol.* 1955; 8:73-80.
- Tegtbur U, Busse Mw, Braumann Km. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25:6207.
- Tomlin, D.L.; Wenger, H.A. The Relationship Between Aerobic Fitness and Recovery from High Intensity Intermittent. *Sports Medicine*, 2001; 31:1-11.
- Toubekis A , Tsami A , Tokmakidis S . Critical velocity and lactate threshold in young swimmers . *Int J Sports Med* 2006 ; 27 : 117 – 123
- Trappe, S; Costill, D.L; Thomas, R;. Effect of swim taper on whole muscle and single muscle fiber contractile properties. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33:48-56.

- Truijens Mj, Toussaint Hm, Dow J, Levine Bd. Effect of high-intensity hypoxic training on sea level swimming performances. *J Appl Physiol*. 2003; 94:733-43.
- Vanhatalo, A; Doust, J.H; Burnley, M. A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. *Med Sci Sports Exerc*. 2008; 40:1693-9.
- Vanhatalo, A; Doust, J.H; Burnley, M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc*. 2007; 39:548-55.
- Vanhatalo, A; Doust, J.H; Burnley, M.; Robustness of a 3 min all-out cycling test to manipulations of power profile and cadence in humans. *Exp Physiol*. 2008; 93:383-90.
- Vanhatalo, A; Jones, A.M; Influence of prior sprint exercise on the parameters of the 'all-out critical power test' in men. *Exp Physiol*. 2009; 94:255-63.
- Wakayoshi K, Ikuta K, Yoshida T, Udo M, Moritani T, Mutoh Y. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur J Appl Physiol* 1992; 64:153-7.
- 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 Occup Physiol*. 1993; 66(1):90-95.
- Wasserman K, Mcilroy Mb Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964; 14:844-852
- Weber Cl, Schneider Da. Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for cycling. *Med Sci Sports Exerc*. 2001; 33:1056-9.
- Weber, C. L.; Schneider, D. A.; Increases in maximal accumulated oxygen deficit after high-intensity interval training are not gender dependent. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, 2002; 92:1795-801.

- Weinstein, Y; Bediz, C; Raffy, D; Falk, B. Reability of peak-lactate, heart rate, and plasma volume following the Wingate test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1998; 30:1456-1460.
- Whipp BJ, Huntsman DJ, Storer TW, Lamarra N, Wasserman K. A constant which determines the duration of the tolerance of high-intensity work. *Federation Proceeding* 1982; 41: 1591- 1591.
- Yoshida, T. The rate of phosphocreatine hydrolysis and resynthesis in exercise muscle in humans using <sup>31</sup>P-MRS. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 2002; 21:247-255.
- Zagatto Am, Gobatto Ca. Relationship between anaerobic parameters provided from MAOD and critical power model in specific table tennis test. *Int J Sports Med*. 2012; 33:613-20.
- Zagatto Am, Papoti M, Caputo F, Mendes Oc, Denadai Bs, Baldissera V, Et Al. Comparação entre a utilização de saliva e sangue para determinação do lactato mínimo em cicloergômetro e ergômetro de braço em mesa-tenistas. *Rev Bras Med Esporte* 2004;10:475-80.
- Zagatto Am, Papoti M, Gobatto Ca. Validity of critical frequency test for measuring table tennis aerobic endurance through specific protocol. *J Sports Sci Med* 2008; 7: 461-466.
- Zagatto Am, Redkva P, Loures J, Filho Ck, Franco V, Kaminagakura E, Papoti M. Anaerobic Contribution During Maximal Anaerobic Running Test: Correlation With Maximal Accumulated Oxygen Deficit. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2011; 21: 222-230.
- Zagatto A, Miranda Mf, Gobatto Ca. Critical power concept adapted for the specific table tennis test: comparisons between exhaustion criteria, mathematical

modeling, and correlation with gas exchange parameters. *Int J Sports Med.* 2011; 32:503-10.

Zagatto, A.M.; Beck, W.R.; Gobatto, C.A. Validity of the Running Anaerobic Sprint Test for Assessing Anaerobic Power and Predicting Short-Distance Performances. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 2009; 23; 1802-1827.



**ANEXO I**

**ESTUDO PILOTO 1**

**Original articles**

**PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF A 3-MIN ALL-OUT TETHERED SWIMMING  
TEST**

*3-min all-out in tethered swimming*

Artigo submetido no periódico Motriz (Qualis A2)

## ABSTRACT

The present study evaluates the relationship between variables obtained from a 3-min all-out test and physiological parameters associated with the aerobic and anaerobic metabolic pathways. Thirty swimmers performed the following tests: a) a 3-min all-out tethered swimming test to determine final force (equivalent to critical force;  $CF_{3\text{min}}$ ) and the work performed above  $CF_{3\text{-MIN}}$  ( $W'_{3\text{-MIN}}$ ), b) a lactate minimum protocol for determination of the intensity corresponding to the lactate minimum (LMI) during front crawl swimming; and c) a maximal 400 m test to determine peak oxygen uptake ( $VO_{2\text{PEAK}}$ ) and total anaerobic contribution ( $W_{\text{ANA}}$ ). Correlations between variables were tested using Pearson's correlation test ( $p < 0.05$ ).  $CF_{3\text{-MIN}}$  ( $73.9 \pm 13.2$  N) strongly correlated with LMI ( $1.33 \pm 0.08$  m.s<sup>-1</sup>;  $r = 0.80$ ) and  $VO_{2\text{PEAK}}$  ( $4.5 \pm 1.2$  L;  $r = 0.60$ ).  $W'_{3\text{-MIN}}$  ( $1943.2 \pm 719.2$  N.s), however, correlated only moderately with LMI ( $r = 0.42$ ) and  $VO_{2\text{PEAK}}$  ( $r = 0.56$ ). In summary,  $CF_{3\text{-MIN}}$  determined during a 3-min all-out effort is associated with the oxidative metabolism and can be used to estimate the aerobic capacity of swimmers. In contrast, the anaerobic component of this model ( $W'_{3\text{-MIN}}$ ) is not correlated with  $W_{\text{ANA}}$ . However, more studies are necessary to determine the possible correlations between 3-min all-out test parameters and physiological variables obtained with gold-standard tools.

**Keywords:** critical force; work performed above critical force; physiological index.



## RESUMEN

El presente estudio avaló las correlaciones entre las variables obtenidas por medio del esfuerzo máximo de 3min y parámetros fisiológicos asociados con los metabolismos aeróbicos y anaeróbicos. Treinta nadadores realizaron los siguientes test: a) un esfuerzo máximo de tres minutos para la determinación de la fuerza final ( $CF_{3-MIN}$ ) y el trabajo realizado por encima de  $CF_{3-MIN}$  ( $W'_{3-MIN}$ ), b) el protocolo de ácido láctico mínimo para la determinación de la intensidad de lactato mínimo (ILM); y c) un esfuerzo máximo de 400m para la determinación del consumo de oxígeno pico ( $VO_{2PICO}$ ) y la contribución anaeróbica máxima ( $W_{ANA}$ ). Las correlaciones entre las variables que fueron testeadas por medio del test de correlación de Pearson ( $p < 0,05$ ). La  $CF_{3-MIN}$  ( $73.9 \pm 13.2N$ ) fue fuertemente correlacionada con el ILM ( $1.33 \pm 0.08 m \cdot s^{-1}$ ;  $r = 0.80$ ) y el  $VO_{2PEAK}$  ( $4.5 \pm 1.2L$ ;  $r = 0.60$ ). La  $W'_{3-MIN}$  ( $1943.2 \pm 719.2N \cdot s$ ), por su parte, fue apenas moderadamente correlacionada con la  $W_{ANA}$  ( $r = 0.42$ ) y el  $VO_{2PEAK}$  ( $r = 0.56$ ). En resumen,  $CF_{3-MIN}$  es determinado por medio del esfuerzo máximo de tres minutos y asociado al metabolismo oxidativo. Por otra parte, en cuanto más estudios son necesarios, la  $W'_{3-MIN}$  no es correlacionada a  $W_{ANA}$ .

Palabras clave: fuerza crítica; trabajo realizado por encima de la fuerza crítica; índices fisiológicos; nadadores.

## Introduction

The critical power model proposed by Monod e Scherer (1965) has been extensively used as a non-invasive, inexpensive and easy alternative to determine the heavy–severe domain boundary (i.e. critical power) and anaerobic parameters (i.e. slope;  $W'$ ) (Vanhatalo et al, 2011). This model has also been applied in freestyle swimming (i.e. critical velocity) and in tethered swimming (Ikuta et al. 1996; Papoti et al. 2010; Papoti et al. 2011; Perandini et al. 2006), where it is called critical force.

Because critical force correlates with aerobic parameters (Ikuta et al. 1996; Perandini et al. 2006) and race performance (Papoti et al. 2010; Papoti et al. 2011) determined during free swimming, it has been considered an adequate tool to evaluate the aerobic fitness of swimmers (Perandini et al. 2006). Moreover, given the importance of force development to overall performance in swimming (Girolid et al.2006), the determination of critical force can be useful for prescribing adequate loads for in-water resistance training, which is more specific to the motor patterns employed during freestyle swimming than resistance exercises performed on dry-land strength training. Additionally, although the mechanics of swimming changes (Martin et al. 1981), swimmers from open water events (i.e. aquatic marathon or triathletes) may use tethered swimming for training whit continuous efforts without the influence of turns. The tethered swimming could be used too for performance efforts against known resistance, well as in cycle ergometer.

The determination of critical force, as well as the critical power model, requires three to five sessions of exhaustive exercises, separated by an adequate recovery period (Hill 1993), which can compromise the application of this methodology during the in-

season training periods. In this sense, Vanhatalo, Doust e Burnley (2007) proposed recently that critical power and the curvature constant parameter ( $W'$ ; i.e., work produced above critical force) can be determined using a 3-min all-out effort. Critical power determined in this model, has been considered a valid tool to estimate the heavy–severe domain boundary (Burnley et al. 2006; Vanhatalo et al. 2007) and is also sensitive to adaptations from high intensity training (Vanhatalo et al. 2008). Additionally, Cheng et al. 2011 and Pettitt et al. 2012 recently demonstrated that parameters from 3-min all-out effort could be determined in rowing and running, respectively.

However, few studies have investigated the possible associations between  $W'$  using a 3-min all-out effort ( $W'_{3\text{-MIN}}$ ) and physiological parameters related to the anaerobic metabolism, not allowing a conclusive interpretation of its physiological meaning. In addition, there are presently no studies evaluating the relationships between parameters measured during the 3-min all-out test carried out in swimming and physiological variables. Thus, the main question is, are there relationship among 3-min all-out test parameters measured during swimming with to the aerobic and anaerobic metabolism? Based on this question, the purpose of the present investigation was to determine the relationship between variables collected during the 3-min all-out test, with maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and anaerobic work measured during 400m performance. For this, 3-min all-out effort was carried out in tethered swimming for a continuous monitoring of force and the possible influences of intermittent effort caused by turns are annulled, approaching the kind of effort made in cycle ergometer.

## **Materials and Methods**

### ***Subjects***

Thirty swimmers (21 male, 9 female; aged  $20 \pm 3$  years old, body mass:  $71.9 \pm 9.9$  kg; height:  $174.2 \pm 9.7$  cm) volunteered to participate in this investigation. All athletes had a minimum of three years of experience at regional or national competition level. All procedures were approved by the University's Institutional Review Board for Human Subjects (Human Research Ethics Committee) and were conducted according to the Declaration of Helsinki. Athletes and their parents were informed about experimental procedures and risks, and both provided a written informed consent authorizing athletes' participation in the study.

### ***Experimental Design***

Participants visited the laboratory on three different occasions, each separated by a minimum of 24 hours. On day one, the intensity corresponding to the lactate minimum was determined using the minimum blood lactate concentration protocol (Ribeiro et al. 2003; Tegtbur et al. 1993). On day two, athletes performed a maximal 400 m test to determine their peak oxygen uptake ( $VO_{2PEAK}$ ) and the total contribution of the anaerobic pathway to energy production (lactic and alactic). On day three, participants performed a 3-min all-out tethered swimming test to determine the critical force ( $CF_{3-MIN}$ ) and the work produced above  $CF_{3-MIN}$  ( $W'_{3-MIN}$ ). All tests were performed in a 50 m swimming pool, with water temperature at  $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Prior to each test a standard warm-up procedure took place, where athletes were requested to swim at a subjectively moderate intensity.

In order to determine blood lactate concentrations ([Lac]) during the lactate minimum test and also to calculate the lactic anaerobic contribution during the 400 m test, small blood samples (25  $\mu$ L) were collected from the ear lobe and analyzed using an YSI 1500 SPORT electrochemical lactate analyzer (YSI, Yellow Springs, Ohio, USA). For determination of  $VO_{2PEAK}$  and alactic anaerobic contribution during the 400 m test, oxygen uptake for every three breaths was measured using a gas analyzer (VO2000, MedGraphics, USA), which was calibrated prior to every test following the manufacturer's recommendations. This equipment has been previously used for determining  $VO_{2PEAK}$  in swimming (Jürimäe et al. 2007).

#### ***Determining the intensity corresponding to the lactate minimum (LMI)***

The intensity corresponding to the lactate minimum (LMI) was determined using the lactate minimum protocol (Tegtbur et al. 1993), adapted to swimming (Ribeiro et al. 2003). High levels of blood lactate concentration were induced by a 200 m maximal front crawl swimming effort. Following eight minutes of passive recovery, swimmers performed an incremental test composed by five stages of 200 m. Although the stage increments were applied progressively (~5% per stage), this was done in an individualized manner, using the athletes' swimming performances from previous training sessions as a reference. After three, five and seven minutes from the initial maximal 200 m effort, and immediately after each of the five stages of the incremental test, blood samples (25  $\mu$ L) were collected to determine [Lac]. LMI was assumed to be the zero derivative from a second order polynomial adjustment obtained from the relationship between the different intensities and [Lac].

***VO<sub>2PEAK</sub> and total anaerobic contribution***

VO<sub>2PEAK</sub> and the total contribution from the anaerobic energy system ( $W_{ANA}$ ) were assessed using a 400 m maximal front crawl swimming effort. Blood samples were collected during rest (10 minutes of passive rest; [LAC]<sub>REST</sub>) and three, five and seven minutes after finishing the test. Immediately upon completion of the test (1-3 seconds delay), the participants fitted their faces to the face mask connected to the gas analyzer outlet tube (VO2000, Medgraphics, EUA). VO<sub>2</sub> readings were performed for five minutes, for analysis of the excess post-exercise oxygen uptake (EPOC).

VO<sub>2PEAK</sub> was established using the backward extrapolation technique (Jürimäe et al. 2007; Montpetit et al. 1981) with mathematical adjustments for the eventual delay between the end of the effort and the first breath inside the mask. Readings for the first 30 seconds of recovery were log-transformed and linearly adjusted as a function of time to determine VO<sub>2PEAK</sub>. VO<sub>2</sub> values obtained at time zero were calculated as VO<sub>2PEAK</sub> (Jürimäe et al. 2007; Montpetit et al. 1981). Similar analyses were used by Jürimäe et al. (2007) to determine VO<sub>2PEAK</sub> in swimmers using the same maximal effort.

$W_{ANA}$  was assumed to be the sum of the contributions from the anaerobic alactic ( $W_{PCR}$ ) and lactic ( $W_{[LA]}$ ) energy systems (Bertuzzi et al. 2010; Zagatto et al. 2011; Zagatto et al. 2012) during the 400 m test.  $W_{PCR}$  contribution corresponded to the EPOC rapid-phase (EPOC<sub>RAP</sub>), which was calculated as the product between amplitude and tau, both coming from the bi-exponential adjustment of the oxygen uptake and recovery time relationship (Equation 1) (Bertuzzi et al. 2010).  $W_{[La]}$  was

calculated as delta [LAC] ( $[\text{LAC}]_{\text{PEAK}} - [\text{LAC}]_{\text{REST}}$ ), considering a metabolic equivalent of  $3 \text{ mL.O}_2.\text{kg}^{-1}$  for each 1 mM of blood lactate concentration increase (di Prampero et al. 1999; di Prampero et al. 1981; Zamparo et al. 2011). This procedures were similar to those in studies on various sports (Zagatto et al. 2011; Zagatto e Gobatto, 2012; Campos et al. 2011)

$$\text{VO}_{2(t)} = \text{VO}_{2\text{REP}} + A_1[e^{-(t-\delta)/T1}] + A_2[e^{-(t-\delta)/T2}] \quad (\text{Eq 1})$$

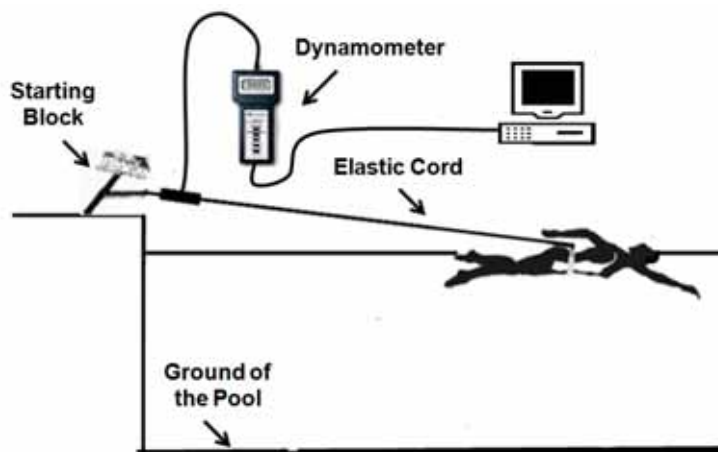
Onde:  $\text{VO}_{2(t)}$  é o consumo de oxigênio no tempo  $t$ ,  $\text{VO}_{2\text{REP}}$  é o consumo de oxigênio em repouso,  $A$  é a amplitude,  $\delta$  é o tempo de atraso,  $T$  é o tempo constante (tau) e 1 e 2 são os componentes rápido e lento, respectivamente.

### ***3-min All-Out in Tethered Swimming***

During the 3-min all-out test, force was measured using a dynamometer (HOMIS 2100, São Paulo-Brazil), equipped with a load cell (100kg-capacity primary weighing sensor). The load cell was attached to the starting block and the athletes were connected to it using an elastic cord (Auriflex, nº 204, São Paulo - Brazil), which was six meters long (Figure 1). Data from the load cell were registered every two seconds and recorded using specific software (Lutron SW-U801, Taipei - Taiwan). Subsequently, force data were analyzed as 15 seconds average.

Prior to the test start, swimmers were requested to swim for 10 seconds at low intensity in order to create enough tension in the elastic cord. During the 3-min all-out test, athletes were clearly instructed to keep the elastic cord as extended as possible at all time. Strongly verbal encouragement was given during the whole test, and no

feedback was provided with regards to elapsed or remaining time for completing the protocol.



**Fig. 1** Schematic figure of the swimmer positioning and the equipments used for measuring force during the 3-min all-out swimming test.

From the force data collected during the test, peak force (PF) (maximal force value), mean force (MF) (mean force value during the whole test) and the fatigue index (FI) ( $FI (\%) = (PF - \text{minimal force}) \times 100 / PF$ ) were calculated. Critical force ( $CF_{3-MIN}$ ) corresponded to the mean force for the final 30 seconds of exercise, and  $W'_{3-MIN}$  was assumed as the integral of force produced above  $CF_{3-MIN}$  over time (Vanhatalo et al. 2007). Additionally, the aerobic impulse was considered to be the area corresponding to the aerobic metabolism ( $CF_{3-MIN} \times 180$ ) and total impulse was calculated as the force-time integral for the full test.

### **Statistics**

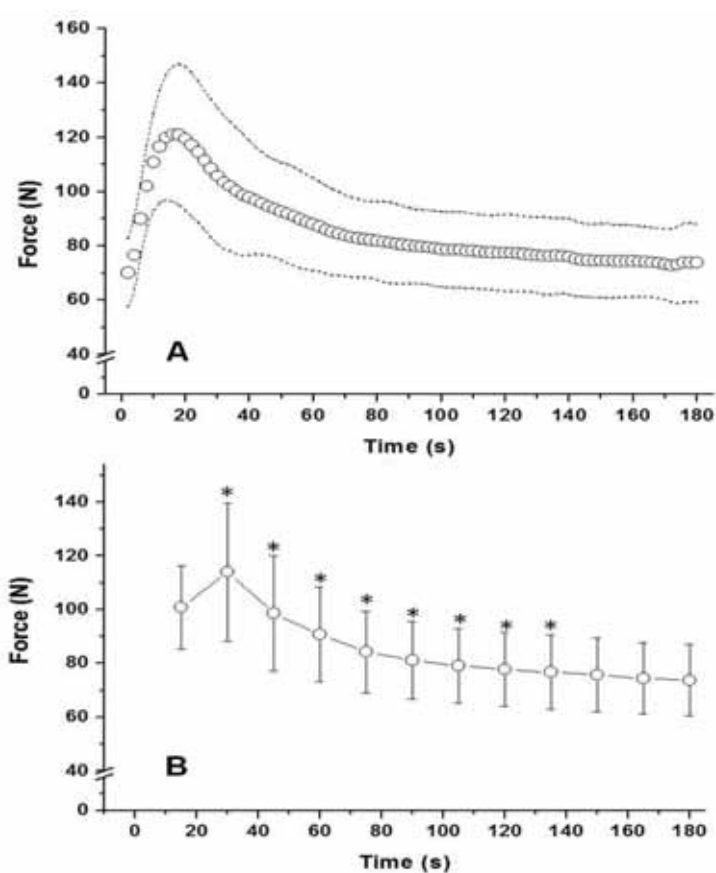
Results are presented as mean  $\pm$  standard deviation and the 95% confidence interval (95%CI) for each variable. *Shapiro-Wilk* test confirmed the normality and Mauchley's test, when necessary, confirmed the sphericity of the data, which allowed the use of



parametric tests. Repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used to analyze the pattern of force over time during the 3-min all-out test, and Tukey *Post-hoc* was used when necessary. Possible correlations between the physiological parameters (LMI,  $VO_{2PEAK}$  e  $W_{ANA}$ ) and the variables measured during the 3-min all-out test were verified using Pearson's correlation test. When interpreting the correlation tests results, in addition to significance ( $p < 0.05$ ), the correlation coefficients ( $r$ ) were also classified as: very weak (0.0 – 0.2), weak (0.2 – 0.4), moderate (0.4 – 0.7), strong (0.7 – 0.9) and very strong (0.9 – 1.0) (Rowntree et al. 1991). All statistical tests were performed using STATISTICA 7 (Statsoft, USA) and in all cases the significance level was set at 5% ( $p < 0.05$ ).

## Results

During the 400 m test, average speed was  $1.44 \pm 0.08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (95%CI: 1.40 – 1.47  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and  $[\text{LAC}]_{PEAK}$  was  $8.5 \pm 3.2 \text{ mM}$  (95%CI: 7.22 – 14.79.87 mM). Data for LMI,  $VO_{2PEAK}$  and  $W_{ANA}$  are shown in table 1. Force profile during the 3-min all-out test is presented in figure 3. When values are presented as 15 seconds average, force values stabilize over the final 45 seconds of exercise, thus justifying the use of the final 30 seconds of the test to determine  $CF_{3-MIN}$ , as in cycle ergometry studies (Figure 2). Peak force, mean force, fatigue index,  $CF_{3-MIN}$ ,  $W'_{3-MIN}$ , aerobic impulse and total impulse are presented in table 1. Force values peaked after 15-20 seconds ( $16.5 \pm 3.4$  seconds) of effort. Moreover, a pronounced drop in force can be noticed over the first 90 seconds of the test.



**Fig 2. (A)** Force over time during a 3-min all-out test (open circles denote the mean value; vertical lines the standard deviation). **(B)** Force developed during a 3-min all-out test expressed as 15 seconds average. \* Significantly different from previous data point

Table 1 shows the values obtained in the 3-min All-out test.  $CF_{3-MIN}$ , aerobic impulse and total impulse were strongly and significantly correlated with LMI, and moderately correlated with  $VO_{2PEAK}$  (Table 2).  $W'_{3-MIN}$  and total impulse significantly correlated with  $W_{ANA}$ , but only moderately. Also,  $W'_{3-MIN}$  correlated significantly and moderately with LMI and  $VO_{2PEAK}$ . Peak force and mean force presented significant correlations with all physiological parameters, ranging from moderate (peak force with  $W_{ANA}$ ; mean force with  $VO_{2PEAK}$  and  $W_{ANA}$ ) to strong (peak force with LMI and  $VO_{2PEAK}$ ;

mean force with LMI). The Fatigue Index did not present any significant correlation with the physiological parameters measured. All results from the correlation tests are shown in table 2.

**Table 1** Mean values, standard deviation (SD) and confidence interval (95%CI), for lactate minimum intensity (LMI), peak oxygen uptake ( $VO_{2PEAK}$ ), total anaerobic contribution ( $W_{ANA}$ ) and variables measured during the 3-min all-out swimming test.

	Mean	SD	95%CI
Physiological variables			
LMI ( $m \cdot s^{-1}$ )	1.3	0.1	1.36 – 1.21
$VO_{2PEAK}$ (L)	4.5	1.2	4.0 – 5.0
$W_{ANA}$ ( $LO_2$ )	3.7	1.5	3,0 – 4,4
3-min all-out			
Peak force (N)	123.3	25.4	113.8 – 132.8
Mean Force (N)	85.5	15.1	79.9 – 91.1
Fatigue Index (%)	47.0	8.4	43.9 – 50.1
$CF_{3-MIN}$ (N)	73.9	13.2	69.0 – 78.8
$W'_{3-MIN}$ (N.s)	1943.2	719.9	1674.4 – 2212.0
Aerobic Impulse (N.s)	13300.1	2377.8	12412.3 – 14188.0
Total impulse (N.s)	15243.4	2693.2	14237.7 – 16249.0

$CF_{3-MIN}$ : critical force calculated from the 3-min all-out test;  $W'_{3-MIN}$ : work performed above  $CF_{3-MIN}$ .

**Table 2** Correlation coefficients between variables obtained from the 3-min all-out test (peak force, mean force, fatigue index,  $CF_{3-MIN}$ ,  $W'_{3-MIN}$ , aerobic impulse, total impulse) and the physiological parameters evaluated.

	LMI	$VO_{2PEAK}$	$W_{ANA}$
Peak force	0.74*	0.73*	0.47*
Mean force	0.83*	0.68*	0.37
Fatigue index	0.19	0.34	0.22
$CF_{3-MIN}$	0.80*	0.60*	0.39
$W'_{3-MIN}$	0.42*	0.56*	0.19
Aerobic Impulse	0.81*	0.60*	0.39
Total Impulse	0.83*	0.68*	0.37

LMI: lactate minimum intensity;  $VO_{2PEAK}$ : peak oxygen consumption;  $W_{ANA}$ : Total anaerobic contribution;  $CF_{3-MIN}$ : critical force calculated from the 3-min all-out test;  $W'_{3-MIN}$ : work performed above  $CF_{3-MIN}$ ; \* significant correlation between variables ( $p < 0.05$ ).

## Discussion

The main findings of this study are the strong correlations between  $CF_{3-MIN}$  and both  $VO_{2PEAK}$  and LMI, but moderate correlation between  $W'_{3-MIN}$  and  $W_{ANA}$ .

Peak force values observed in the present study occurred later in the trial ( $16.5 \pm 3.4$  seconds) in comparison to what has been shown using cycle ergometry. Moreover, Burnley, Doust e Vanhatalo (2006) observed a marked reduction in power output over the first 60 seconds of exercise, differently to what was found in rowing ergometers (Cheng et al. 2011) and in the present investigation (~90 seconds). On the other hand, similarly to cycling (Vanhatalo et al. 2007) and rowing (Cheng et al.

2011), force tended to stabilize over the final 45 seconds of exercise. In summary, although some differences were seen in power and force profiles, the present study showed that it is possible to determine the variables from the 3-min all-out test using tethered swimming.

The results from the present study demonstrated that  $CF_{3-MIN}$  can be used to evaluate the aerobic fitness of swimmers, due to the significant correlations it presented with LMI and  $VO_{2PEAK}$ , similarly to what is found when critical power is determined using the traditional protocol (Ikuta et al. 1993; Papoti et al. 2010; Papoti et al. 2011; Perandini et al. 2006). Moreover, the correlations between  $CF_{3-MIN}$  and LMI determined during freestyle swimming ( $r=0.80$ ) were stronger than what has been reported using the traditional critical power test ( $r=0.68$ ) (Ikuta et al. 1993). Since tethered swimming can be used by swimmers for specific strength training (Papoti et al. 2010), determining  $CF_{3-MIN}$  is also of interest for proper intensity prescription during this type of exercise.

Following an extensive literature review, Gatin (2001), proposed that there is a balance between the aerobic and anaerobic contribution to energy production when maximal efforts are performed continuously at approximately 75 seconds of exercise, and thereafter the aerobic metabolism becomes predominant. Moreover, during maximal efforts lasting approximately three minutes (178-186 seconds), the aerobic contribution to energy production has been shown to be 65-78% (Gatin 2001). Thus, the correlations found between parameters associated with the aerobic pathway and peak force, mean force, total impulse and  $W'_{3-MIN}$  can be explained by the effective

contribution of the aerobic metabolism for maintaining power output during the test (Gastin 2001), even if the effort is only three minutes long.

To our knowledge, this is the first study investigating the possible correlations between  $W'_{3\text{-MIN}}$  and variables associated with the anaerobic pathway. No significant correlations was found between  $W'_{3\text{-MIN}}$  and  $W_{\text{ANA}}$ . Bosquet et al. (2007) found a moderate correlation between  $W_{\text{ANA}}$ , determined using oxygen kinetics (accumulated oxygen deficit), and  $W'$ , determined traditionally using three different mathematical adjustments. In a study by Zagatto and Gobatto (2012) no significant correlations were found between  $W'$ , determined traditionally using three different mathematical models, and either the maximal accumulated oxygen deficit or  $W_{\text{ANA}}$  (determined using four different supra-maximal intensities). Moreover, Vanhatalo e Jones (2009) observed no significant difference in  $W'_{3\text{-MIN}}$  after creatine supplementation (5-days). Thus, from the findings of the present study and the disagreement of literature, the association between  $W'_{3\text{-MIN}}$  and anaerobic parameters such as  $W_{\text{ANA}}$  should be seen with care, and need more studies.

$W_{\text{ANA}}$ , assumed in the present study to be an anaerobic index, was calculated by sum of  $W_{\text{PCR}}$  and  $W_{[\text{LA}]}$  determined by EPOC and lactate accumulation analysis, respectively. This procedures were use to estimate anaerobic contribution during various sport events (Campos et al. 2011; Zagatto et al. 2012) and is based on findings of early studies (di Prampero e Ferretti, 1999; di Prampero e Ferretti, 1981). Moreover, no differences were observed between  $W_{\text{ANA}}$  and the maximal accumulated oxygen deficit (MAOD) (Bertuzzi et al. 2010; Zagatto e Gobatto, 2012). However, the correlation observed by Bertuzi et al. (2010) demonstrated that only

61% of variance in MAOD is explained by  $W_{ANA}$ . Thus, although  $W_{ANA}$  could be considered an anaerobic parameter, correlations between this parameter and anaerobic capacity should be interpreted with precaution.

In the present study,  $VO_{2PEAK}$  values were determined using backward extrapolation technique which is considered valid (Jürimäe et al. 2007) and reliable (Costil et al. 1985) tool for estimation of this parameter in swimmers. However, early studies (Jürimäe et al. 2007) compared  $VO_{2MAX}$  obtained by backward extrapolation technique (after 400m trial) with values observed on exhaustive cycling test, compromising the analysis by differences in motor pattern. In this sense, although it represents an alternative highly specific for determination of aerobic power in swimmers, more studies are necessary for the validity of use backward extrapolation.

From the results of the present study, it is possible to conclude that the variables calculated from a 3-min all-out test can be collected during tethered swimming efforts, and  $CF_{3-MIN}$  determined from this model can be used to evaluate the aerobic fitness of swimmers. The lack of significant correlations observed between  $W'_{3-MIN}$  and  $W_{ANA}$  shows the need for more studies on the physiological meaning of this variable and its possible association with parameters related to the anaerobic energy system. However, more studies are necessary to determine the possible correlations between 3-min all-out test parameters and physiological variables obtained with gold-standard tools. Moreover, the  $CF_{3-MIN}$  must be compared with critical force determined by conventional method (3-5 exhaustive efforts).

## **Perspective**

The present study demonstrated that  $CF_{3-MIN}$  from all-out 3min test can be used to assess aerobic fitness in swimmers, facilitating the introduction of this parameter in training routine. Moreover, given the importance of force development to overall performance in swimming (Girolid et al.2006), the determination of  $CF_{3-MIN}$  can be useful for prescribing adequate loads for in-water resistance training, which is more specific to the motor patterns employed during freestyle swimming than resistance exercises performed on dry-land strength training. However, more studies are need to investigate the relationship between  $CF_{3-MIN}$  and critical force determinate by conventional method, elucidating if the parameter of all-out 3min test represents the heavy–severe domain boundary, as in cycle ergometer.

### **Acknowledgments**

This study was supported by Fundação de Amparo a pesquisa do Estado de São Paulo (nº 2011/05357-9 and nº 2011/16195-0)

### **References**

Bertuzzi RC, Franchini E, Ugrinowitsch C, et al. (2010). Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. *Int J Sports Med*, 31(7), 477-481

doi: [http://dx.doi.org/ 10.1055/s-0030-125337](http://dx.doi.org/10.1055/s-0030-125337)

Bosquet L, Delhors PR, Duchene A, et al. (2007). Anaerobic running capacity determined from a 3-parameter systems model: relationship with other anaerobic indices and with running performance in the 800 m-run. *Int J Sports Med*, 28(6), 495-500

doi: 10.1055/s-2006-924516



Burnley M, Doust JH, Vanhatalo A. (2006). A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state. *Med Sci Sports Exerc*, 38(11):1995-2003.

doi: 10.1249/01.mss.0000232024.06114.a6

Campos FAD, Bertuzzi, R, Dourado AC, et al. ( 2011). Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. *Eur J Appl Physiol*, 112(4), 1221-1228

doi: 10.1007/s00421-011-2071-4.

Cheng CF, Yang YF, Lin HM, et al. (2011). Determination of critical power in trained rowers using a three-minute all-out rowing test. *Eur J Appl Physiol*, 112(4), 1251-1260

doi: 10.1007/s00421-011-2081-2

Costill, DL, J. Kovaleski D, Porter JK, et al. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events, *Int J Sports Med*. 6(5) 266-270

doi:10.1055/s-2008-1025849

Di Prampero PE, Ferretti G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol* .118(2-3), 103-11

doi: S0034-5687(99)00083-3

Di Prampero PE. (1981). Energetics of muscular exercise, *Rev Physiol Biochem Pharmacol*, 89, 144–222

Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. (2001). *Sports Med*, 31(10), 725-741.

Girold S, Calmels P, Maurin D, et al. ( 2006). Assisted and resisted sprint training in swimming. *J Strength Cond Res*, 20(3), 547-554 Retrieved from [http://download.springer.com/static/pdf/481/art%253A10.2165%252F00007256-200131100-00003.pdf?auth66=1363977194\\_55c90d6955338a752278da09410997cdeext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/481/art%253A10.2165%252F00007256-200131100-00003.pdf?auth66=1363977194_55c90d6955338a752278da09410997cdeext=.pdf)

Hill DW. The critical power concept. A review. (1993). *Sports Med*, 16(4), 237-254  
doi: 10.2165/00007256-199316040-0000

Ikuta Y, Wakayoshi K, Nomura T. Determination and 17. (1996). Validity of critical swimming force as performance index in tethered swimming. *Biomech Med Swimming*: 7: 146-151

Jürimäe J, Haljaste K, Cicchella A, et al. Analysis of Swimming Performance From Physical, Physiological, and Biomechanical Parameters in Young Swimmers.( 2007). *Pediatr Exerc Sci*, 19: 70-81. Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=terct=jeq=eessrc=sesource=webecd=1eved=0CDMQFjAAeurl=https%3A%2F%2Fwoc.uc.pt%2Ffcddef%2FgetFile.do%3Ftipo%3D2%26id%](https://www.google.com/url?sa=terct=jeq=eessrc=sesource=webecd=1eved=0CDMQFjAAeurl=https%3A%2F%2Fwoc.uc.pt%2Ffcddef%2FgetFile.do%3Ftipo%3D2%26id%3F)

3D2865eei=ieY4UY3EFof08QSL1YGgDgeusg=AFQjCNGxebWF6nnLCghtF1yNPAq  
B6vdAPg

Martin RB, Yeater RA, White MK.( 1981). A simple analytical model for the crawl stroke. *J Biomech*, 14(8), 539-548  
doi: 10.1016/0021-9290(81)90003-8

Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. ( 1965).  
*Ergonomics*: 8: 329-337  
<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00140136508930810>

Montpetit R, Leger LA, Lavoie JM, et al. (1981). VO<sub>2</sub>peak during free swimming using the backward extrapolation of the O<sub>2</sub> recovery curve. *Eur. J. Appl. Physiol*, 47(4) 385-391

Papoti M, da Silva ASR, Araujo GG, et al. (2011). Aerobic and Anaerobic Performances in Tethered Swimming. *Int J Sports Med*, 32: 1–8  
doi: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0031-1291250>

Papoti M, Vitória R, Araújo GG, et al. (2010). Critical force during tethered swimming for the evaluation of aerobic capacity and prediction of performances in freestyle swimming. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*, 12(1), 14-20 Retrieved from <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/rbcdh/article/view/1980-0037.2010v12n1p14/16446>

Perandini LAB, Okuno NM, Kokubun E, et al. (2006). Correlation between critical force and critical velocity and their respective stroke rates. *Rev Bras de*

*Cineantropom Desempenho Hum*, 8(4), 59-65 Retrieved from <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/rbcdh/article/view/3925/16757>

Pettitt RW, Jamnick N, Clark IE. 3-min all-out exercise test for running.( 2012). *Int J Sports Med*, 33(6), 426-431  
doi: 10.1055/s-0031-1299749

Ribeiro L, Balikian P, Malachias P, et al. (2003). Stage length, spline function and lactate minimum swimming speed. *J Sports Med Phys Fitness*, 43(3), 312-318

Rowntree D. (1991). Analysing relationships, Chapter 8, in *Statistics without tears*. London: Penguin,

Tegtbur U, Busse MW, Braumann KM.( 1993). Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 25(5), 620-627

Retrieved from [http://www.setantacollege.com/wp-content/uploads/Journal\\_db/Estimation%20of%20an%20individual%20equilibrium%20between%20lactate%20production.pdf](http://www.setantacollege.com/wp-content/uploads/Journal_db/Estimation%20of%20an%20individual%20equilibrium%20between%20lactate%20production.pdf)

Vanhatalo A, Doust JH, Burnley M.( 2008). A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. *Med Sci Sports Exerc* , 40(9), 1693-1699doi: 10.1249/MSS.0b013e318177871a

Vanhatalo A, Doust JH, Burnley M.(2007). Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc*, 39(3), 548-555

doi: 10.1249/mss.0b013e31802dd3e6

Vanhatalo A, Jones AM, Burnley M. (2011). Application of critical power in sport. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(1), 128-136

Vanhatalo A, Jones AM.(2009). Influence of creatine supplementation on the parameters of the “all-out critical power test”. *J Exerc Sci Fit*, 7(1), 9–17 Retrieved from <http://www.scsepf.org/doc/170609/Paper-2.pdf>

Zagatto AM, Redkva PE, Loures JP, et al. (2011). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit.

*Scand J Med Sci Sports*, 21(6), 222-230

doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01258.x

Zagatto AM, Gobatto CA. (2012). Relationship between anaerobic parameters provided from MAOD and critical power model in specific table tennis test. *Int J Sports Med*, 32: 503-510

doi: 10.1055/s-0032-1304648.

Zamparo P, Capelli C, Pendergast D. (2011). Energetics of swimming: a historical perspective. *Eur J Appl Physiol* ,3: 367-378

doi: 10.1007/s00421-010-1433-7.