

# VALIDADE PREDITIVA DA MEDIDA E ESTIMATIVAS DO $VO_{2MÁX}$ NO DESEMPENHO DE MOUNTAIN BIKERS



ARTIGO ORIGINAL

PREDICTIVE VALIDITY OF  $VO_{2MÁX}$  MEASUREMENT AND ESTIMATES IN MOUNTAIN BIKERS' PERFORMANCE

VALIDEZ PREDICTIVA DE LA MEDIDA Y ESTIMATIVAS DEL  $VO_{2MÁX}$  EN EL DESEMPEÑO DE MOUNTAIN BIKERS

Fernanda Mainardi<sup>1</sup> (Educadora Física)

Allan Inoue<sup>1,2</sup> (Educador Físico)

Fernando Augusto de Saboia Pompeu<sup>3</sup> (Educador Físico)

Tony Meireles Santos<sup>4</sup>  
(Educador Físico)

1. Universidade Gama Filho (UGF), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

2. Universidade Estácio de Sá (UNESA), Nova Friburgo, RJ, Brasil.

3. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

4. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil.

## Correspondência:

Tony Meireles dos Santos.

Universidade Federal de

Pernambuco (UFPE) - Campus

Recife. Departamento de Educação

Física. Av. Jornalista Anibal

Fernandes, s/n. 50670-901

tony.meireles@ufpe.br

## RESUMO

**Introdução:** considerando o racional para a utilização das equações preditivas na estimativa do  $VO_{2máx}$  em atletas, nenhum estudo estabeleceu sua validade para o desempenho no *mountain bike cross-country* (XCO). **Objetivo:** comparar diferentes estratégias de determinação do  $VO_{2máx}$ , de forma direta ou indireta, para a predição do desempenho em uma prova real e outra simulada. **Métodos:** 20 atletas de XCO do sexo masculino ( $31,6 \pm 6,8$  anos;  $68,1 \pm 6,5$  kg;  $175,5 \pm 5,7$ cm;  $64,9 \pm 4,4$  mL.  $kg^{-1}.min^{-1}$ ), foram submetidos a três sessões experimentais. A primeira visita consistiu na estratificação de risco, avaliação antropométrica e teste progressivo máximo. Na segunda, foi realizada a prova simulada e, na terceira, foi realizada a competição de XCO. **Resultados:** a correlação entre a prova simulada e as equações preditivas do  $VO_{2máx}$  de forma absoluta alcançaram relação quase perfeita ( $r \geq 0,9$ ). As correlações entre a competição real e as estimativas de  $VO_{2máx}$  relativizadas à massa corporal alcançaram resultados classificados como muito altos ( $r = 0,7-0,89$ ). As associações entre a medida direta do  $VO_{2máx}$  e a simulação apresentaram uma classificação baixa para valores relativos à massa corporal ( $r = 0,10$ ,  $IC_{95\%} -0,35$  a  $0,51$ ). Para o desempenho real, a classificação foi moderada ( $r = 0,48$ ,  $IC_{95\%} 0,009$  a  $0,78$ ). **Conclusão:** o presente estudo foi o primeiro a demonstrar a validade preditiva das estimativas do  $VO_{2máx}$  para o desempenho simulado e real de MTB. Em complemento, confirmou a baixa validade preditiva da medida direta do  $VO_{2máx}$  para o mesmo propósito.

**Palavras-chave:** reprodutibilidade dos testes, esportes, desempenho atlético, exercício.

## ABSTRACT

**Introduction:** considering the rationale for the use of predictive equations to estimate  $VO_{2max}$  in athletes, no study has established its validity for performance in mountain bike cross-country (XCO). **Objective:** the aim was to compare different strategies for determining  $VO_{2max}$  directly or indirectly, for predicting performance in a simulated and in a real competition. **Methods:** 20 XCO male athletes ( $31.6 \pm 6.8$  anos;  $68.1 \pm 6.5$  kg;  $175.5 \pm 5.7$ cm;  $VO_{2max} 64.9 \pm 4.4$  mL.  $kg^{-1}.min^{-1}$ ), were submitted to three experimental sessions. In the first visit, there were risk stratification, anthropometric evaluation and maximum progressive test. In the second, a simulated race was performed and, in the third session, a XCO competition was performed. **Results:** the correlation between the simulated competition and the predictive equations of  $VO_{2max}$  in absolute values reached an almost perfect relationship ( $r \geq 0.9$ ). The correlations between the real competition and estimated  $VO_{2max}$  relativized to body mass achieved results classified as very high ( $r = 0.7$  to  $.89$ ). The associations between the direct measurement of  $VO_{2max}$  and the simulation were classified as small for values relative to body mass ( $r = 0.10$ ,  $CI_{95\%} -0.35$  to  $0.51$ ). For the actual performance, the classification was moderate ( $r = 0.48$ ,  $CI_{95\%} 0.009$  to  $0.78$ ). **Conclusion:** this study was the first to demonstrate the predictive validity of the estimates of  $VO_{2max}$  for the simulated and real MTB performance. In addition, it confirmed the low predictive validity of direct measurement of  $VO_{2max}$  for the same purpose.

**Keywords:** reproducibility of results, sports, athletic performance, exercise.

## RESUMEN

**Introducción:** considerando el racional para el uso de las ecuaciones predictivas en la estimativa del  $VO_{2máx}$  en atletas de ciclismo, ningún estudio estableció su validez predictiva para el desempeño en el *mountain bike cross-country* (XCO). **Objetivo:** comparar diferentes estrategias de determinación del  $VO_{2máx}$  de forma directa o indirecta, para la predicción del desempeño en una prueba real y otra simulada. **Métodos:** veinte atletas de XCO del sexo masculino ( $31,6 \pm 6,8$  años;  $68,1 \pm 6,5$  kg;  $175,5 \pm 5,7$ cm;  $64,9 \pm 4,4$  mL.  $kg^{-1}.min^{-1}$ ), fueron sometidos a tres sesiones experimentales. La primera visita consistió en la estratificación de riesgo, evaluación antropométrica y test progresivo máximo. En la segunda, fue realizada la prueba simulada y en la tercera fue realizada la competición de XCO. **Resultados:** la correlación entre la prueba simulada y las ecuaciones predictivas del  $VO_{2máx}$  de forma absoluta alcanzaron relación casi perfecta ( $r \geq 0,9$ ). Las correlaciones entre la competición real y las estimativas de  $VO_{2máx}$  relativizada a la masa corporal alcanzaron resultados clasificados como muy grande ( $r = 0,7-0,89$ ). Las asociaciones entre la medida directa del  $VO_{2máx}$  y la simulación presentaron clasificación pequeña para valores relativos a masa corporal

( $r = 0,10$ ,  $IC_{95\%} -0,35$  a  $0,51$ ). Para el desempeño real, la clasificación fue moderada ( $r = 0,48$ ,  $IC_{95\%} 0,009$  a  $0,78$ ). Conclusión: el presente estudio fue el primero en demostrar la validez predictiva de las estimativas del  $VO_{2m\acute{a}x}$  para el desempeño simulado y real de MTB. En complemento, confirmó la baja validez predictiva de la medida directa del  $VO_{2m\acute{a}x}$  para el mismo propósito.

**Palabras clave:** reprodutibilidade dos testes, esportes, desempenho atlético, exercício.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1517-86922015210101605>

Artigo recebido em 16/02/2013, aprovado em 13/08/2014.

## INTRODUÇÃO

O *mountain bike* (MTB) *cross-country olímpico* (XCO) é uma modalidade caracterizada como intermitente de alta intensidade<sup>1</sup>. Os determinantes do desempenho nesta modalidade incluem, entre outras variáveis, a máxima capacidade de produção de potência por via aeróbia<sup>2</sup>, competência esta diretamente associada ao consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ).

É bem aceita a importância do  $VO_{2m\acute{a}x}$  na determinação da aptidão cardiorrespiratória e do nível de saúde, além de sua utilidade na prescrição de exercícios cardiorrespiratórios. O método direto de análise de gases é considerado padrão ouro para esta medida<sup>3</sup>. Entretanto, sua utilização se restringe aos ambientes de pesquisa ou clínicos devido à complexidade dos procedimentos, custo e qualificação profissional<sup>4</sup>. Esta medida historicamente valorizada na avaliação de atletas apresenta limitada utilidade em dimensão prática<sup>5,6</sup>. Pode-se concluir que, baseado numa análise de custo vs efetividade e em evidências da literatura<sup>7,8</sup>, a recomendação para este procedimento com o enfoque no desempenho atlético, pode ser questionada, justificando sua manutenção basicamente pela tradição. Em complemento, inexistem diretrizes claras de utilização desta variável para a prescrição de treinamento competitivo.

Alternativamente, a estimativa do  $VO_{2m\acute{a}x}$  tem sido recomendada em ambientes que não possuam a estrutura necessária para a realização do método direto de análises de gases. Tal recomendação sustenta-se mesmo considerando a crítica de diversos autores sobre a precisão (validade concorrente)<sup>9</sup> dos métodos indiretos para estimativa do  $VO_{2m\acute{a}x}$ <sup>4,10</sup>, sendo defendida pelo Colégio Americano de Medicina do Esporte há várias décadas. Para a população em geral, o método de reserva recomendado por essa instituição para a prescrição de exercícios<sup>3</sup> foi validado para a estimativa do  $VO_{2m\acute{a}x}$ <sup>11</sup> em indivíduos ativos, mas não atletas. Em dimensão atlética no ciclismo, dois estudos estabeleceram recomendações objetivas para a determinação do  $VO_{2m\acute{a}x}$  utilizando estratégias indiretas<sup>8,12</sup>. Entretanto, tais abordagens não foram comparadas em conjunto e suas validades preditivas do desempenho atlético não foram investigadas.

Apesar de não tradicional, parece existir um razoável racional para o uso de equações preditivas para estimativa do  $VO_{2m\acute{a}x}$  em atletas. Via de regra, os modelos preditivos se utilizam da potência aeróbia máxima ( $W_{m\acute{a}x}$ )<sup>5,8</sup> ou submáxima<sup>11</sup> para estimar o  $VO_{2m\acute{a}x}$  a partir de equações simples ou combinadas. Alguns estudos já demonstraram que a  $W_{m\acute{a}x}$  alcançada em um teste aeróbio é um ótimo preditor de desempenho<sup>8,12</sup>. Considerando a característica colinear destas variáveis, é esperado que ocorra uma transferência do poder preditivo do desempenho atlético observado na  $W_{m\acute{a}x}$  ou submáxima, ao  $VO_{2m\acute{a}x}$  quando estes são utilizados na sua predição. Este racional apresenta-se como um novo paradigma em relação ao tema, onde a relevância das associações entre os valores estimados de  $VO_{2m\acute{a}x}$  e o desempenho (validade preditiva) se sobreporia à precisão da medida direta do  $VO_{2m\acute{a}x}$  (validade concorrente), possibilitando uma discriminação mais adequada dos atletas avaliados. Entretanto, nenhum estudo estabeleceu a validade preditiva das equações de estimativas do  $VO_{2m\acute{a}x}$  para o desempenho competitivo em XCO. Assim, o objetivo deste estudo foi comparar diferentes estratégias de determinação do  $VO_{2m\acute{a}x}$  de forma

direta e indireta, para a predição do desempenho de XCO em uma prova real e simulada.

## MÉTODOS

Participaram do estudo 20 atletas de MTB do sexo masculino, classificados como de nível regional e nacional. Todos os atletas treinavam seis dias por semana, há pelo menos cinco anos incluindo campeões e vice campeões estaduais. Quatro atletas foram excluídos do estudo, um devido a problemas na mensuração do consumo máximo de oxigênio e três por problemas mecânicos durante a competição. As análises dos dados realizadas utilizaram tantos atletas quanto possível dependendo da disponibilidade das informações. Suas características são apresentadas na tabela 1. Todos os atletas concordaram com os procedimentos do experimento através da assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Os procedimentos foram aprovados pelo Comitê Institucional de Ética (parecer 051.2010).

A presente pesquisa de corte transversal foi realizada utilizando um total de três encontros, sendo dois em laboratório e outro durante uma competição de MTB (Campeonato Lagos). Na primeira visita, foi realizada uma bateria de medidas antropométricas e o teste progressivo máximo. Na segunda, os atletas realizaram a prova simulada e na terceira visita, os atletas participaram da competição de MTB. Os testes de laboratório foram realizados em um ambiente com temperatura em torno de 21°C e no mesmo local e horário ( $\pm 2$  h de variação). Os atletas foram orientados a evitar alimentos sólidos nas 3 h que antecederem os testes, hidratar-se *ad libitum* somente com água e a não realizar exercícios físicos de alta intensidade nas 24 h anteriores às avaliações.

**Teste aeróbio máximo:** O  $VO_{2m\acute{a}x}$  foi determinado em um teste progressivo máximo em uma bicicleta acoplada pela roda traseira em um ciclo ergômetro eletrônico (Computrainer™ Lab 3D, RacerMate, Seattle, USA). A bicicleta foi ajustada seguindo as preferências de cada atleta. A calibração do equipamento seguiu as recomendações do fabricante e de Davidson<sup>13</sup>. A roda traseira da bicicleta foi calibrada em 100 psi. Foi realizado um aquecimento de 10 min e potência de 100 W. Os atletas puderam escolher a cadência preferida desde que entre 70 a 90 rotações por minuto (RPM)<sup>14</sup>. O teste foi iniciado com potência de 100 W e incrementos de 30 W a cada 5 min. A interrupção foi na

**Tabela 1.** Característica da amostra (n = 20).

Variáveis	Média $\pm$ DP
Idade (anos)	31,6 $\pm$ 6,8
Massa (kg)	68,1 $\pm$ 6,5
Estatuta (cm)	175,5 $\pm$ 5,7
Gordura Percentual (%)*	7,3 $\pm$ 2,8
FCRep (bpm)	56,3 $\pm$ 6,4
FCmáxR (bpm)	189,6 $\pm$ 9,6
$VO_{2m\acute{a}x}$ (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	64,9 $\pm$ 4,4
LL (w)	212,4 $\pm$ 28,5
OBLA (w)	259,0 $\pm$ 28,2

FCRep - Frequência cardíaca de repouso; FCmáxR - Frequência máxima real;  $VO_{2m\acute{a}x}$  - Estabelecido no teste progressivo máximo; LL (w) - Limiar de Lactato; OBLA (w) - Acumulação de lactato; \* - Segundo equação de Siri (5) com base na densidade corporal de Jackson e Pollock (4).

exaustão voluntária máxima ou quando a rotação mínima estipulada de 70 RPM não fosse mantida por 10 s<sup>15</sup>. Houve o monitoramento contínuo da frequência cardíaca (Polar® RS 800 CX (Polar Electro, Oy, Finland) e ao final de cada estágio houve registro da percepção subjetiva de esforço (CR100)<sup>16</sup>.

**Medida Direta do  $VO_{2máx}$ :** Durante o teste progressivo máximo, as variáveis de trocas gasosas respiratória foram medidas por um analisador metabólico Vacumed Vista-Mini CPX (Ventura, Califórnia, USA) com o software Vista Turbo Fit 5.1 (Ventura, Califórnia, USA) em circuito aberto. O analisador foi calibrado como recomendado pelo fabricante. Para a determinação direta do  $VO_{2máx}$ , foi utilizado o maior valor de consumo de oxigênio atingido durante o teste progressivo máximo (média de 30 s).

**Cálculo da  $W_{máx}$ :** A maior potência completada pelo indivíduo em 300 s foi definida como potência máxima. Quando o último estágio não fosse completado (300 s), a  $W_{máx}$  foi determinada segundo a equação de Kuipers *et al.*<sup>17</sup>.

**Estimativas do  $VO_{2máx}$ :** Foram utilizadas quatro equações preditivas do  $VO_{2máx}$ , sendo três baseadas na potência máxima alcançada no teste progressivo máximo (Hawley e Noakes<sup>8</sup>, Eq. 1; Lamberts *et al.*<sup>12</sup>, Eq. 2; e ACSM<sup>3</sup> Eq. 3); e uma baseada na potência submáxima e sua FC correspondente (Swain *et al.*<sup>11</sup>, Eq. 4):

**Determinação dos limiares de lactato:** Nos últimos 30 s de cada estágio do teste aeróbio, amostras de sangue (25 µL) foram coletadas do lóbulo da orelha e imediatamente analisadas usando uma técnica eletroenzimática (YSL® 1500 Sport, Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, OH). Antes de cada teste, o analisador foi calibrado de acordo com as instruções do fabricante. Dois limiares foram identificados: (a) limiar de lactato (LL) como sendo a potência que provocou um aumento de 1 mmol.L<sup>-1</sup> na concentração de lactato sanguíneo acima dos valores medidos durante o exercício a 40-60% do  $VO_{2máx}$ <sup>18</sup>; (b) O início de acumulação de lactato (OBLA) como a potência correspondente a uma concentração fixa de lactato de 4 mmol.L<sup>-1</sup><sup>19</sup>.

**Prova simulada de MTB:** O teste de desempenho simulado foi realizado em laboratório e completado pelos atletas utilizando os mesmos equipamentos e ajustes já descritos para o teste aeróbio. Para minimizar o estresse térmico, um ventilador foi direcionado para os sujeitos durante todo o teste. Em todos os testes o *Computrainer* foi utilizado com o *software* interativo 3D versão 1,0 (Racermate Inc.) para simular uma competição. Para cada teste, o *Computrainer* foi conectado a um laptop, o qual estava localizado à frente do ciclista.

Após um aquecimento de 10 min e carga de 100 W, o teste de desempenho consistiu de quatro voltas no percurso de 9.9 km com grau de inclinação variando de 0 a 10%, com tempo total de aproximadamente 100 min. Os atletas estavam livres a consumirem água *ad libitum*, trocar de marcha, decidir o RPM e quando pedalar em pé. Houve o monitoramento contínuo da FC e da escala subjetiva de esforço CR100<sup>16</sup>. Os atletas foram orientados a completar o teste o mais rápido possível, utilizando a estratégia de escolher seu próprio ritmo.

**Competição MTB:** A competição regional circuito *cross-country* foi realizada em um circuito de 5,2 km, com um total de seis voltas, em um dia de verão a uma temperatura de »24° C e umidade de »65%. Antes da competição, todos os indivíduos realizaram um aquecimento livre de acordo com suas próprias preferências. Os participantes foram instruídos a completar a prova o mais rápido possível e beber água *ad libitum*. O tempo médio oficial da corrida foi de 8251 ± 524 s, fornecido pelos organizadores, foi utilizado para todas as análises.

## Análise estatística

As variáveis analisadas foram apresentadas pela média ± desvio

padrão e testadas para normalidade e homogeneidade pelo teste de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para verificar a correlação entre o desempenho de XCO em prova simulada e real e o  $VO_{2máx}$  determinado pelas diferentes estratégias investigadas e enunciado em sua forma absoluta e relativa à massa corporal. Devido ao tamanho da amostra, apresentaremos os resultados das correlações com os seus respectivos intervalos de confiança com 95% de precisão (IC<sub>95%</sub>). Esta abordagem foi recentemente recomendada pelo corpo editorial em estudo publicado do nosso grupo<sup>2</sup>. Os coeficientes de correlação foram interpretados por meio da escala de magnitudes proposta por Hopkins ([www.sportsci.org](http://www.sportsci.org)): < 0,1, trivial; 0,1 - 0,29, pequeno; 0,3 - 0,49, moderada; 0,5 - 0,69, grande; 0,7 - 0,89, muito grande; ≥ 0,9, quase perfeito. As análises foram realizadas no *software Graphpad Prism5* (GraphPad Inc., Califórnia, EUA), adotando-se um nível de significância de P < 0,05.

O objetivo do presente estudo foi comparar diferentes estratégias de determinação do  $VO_{2máx}$ , de forma direta e indireta, para a predição do desempenho aeróbio de XCO em uma prova real e simulada, estabelecendo assim, de maneira comparativa, a validade preditiva das variações desta variável.

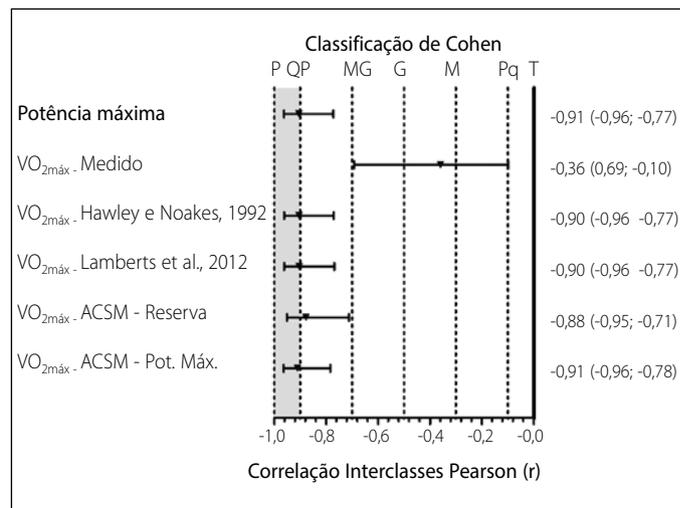
## RESULTADOS

Os resultados da medida direta do  $VO_{2máx}$  e de suas estimativas pelos diferentes métodos investigados encontra-se na tabela 2. Observa-se que, em média, as estimativas do  $VO_{2máx}$  foram ≅28% abaixo do valor máximo medido. Hove diferença significativa entre todos os métodos preditivos e a medida direta do  $VO_{2máx}$  (P < 0,0001).

As associações entre o  $VO_{2máx}$  e o desempenho simulado e real apresentaram elevada e significativa associação. Na figura 1 encontram-se as associações entre o  $VO_{2máx}$  em termos absolutos e a prova simulada, enquanto na figura 2 estão as associações entre o  $VO_{2máx}$  em

**Tabela 2.** Valores médios, desvio padrão (DP) e intervalo de confiança (IC 95%) do  $VO_{2máx}$  medido e estimados pelas equações preditivas.

$VO_{2máx}$	Absoluto (L.min <sup>-1</sup> )		Relativo (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	
	Média ± DP	IC95%	Média ± DP	IC95%
Medida Direta Estimado	4,4 ± 0,39	4,2; 4,59	64,9 ± 4,4	62,8; 66,9
Hawley e Noakes, 1992	3,8 ± 0,24	3,7; 3,02	56,5 ± 5,0	54,1; 58,8
Lamberts <i>et al.</i> , 2012	3,3 ± 0,28	3,2; 3,46	49,3 ± 4,5	47,2; 51,5
ACSM – Reserva	3,7 ± 0,25	3,6; 3,79	54,4 ± 4,2	52,4; 56,3
ACSM – Pot. Máx.	3,6 ± 0,24	3,5; 3,74	53,5 ± 4,5	51,5; 55,4



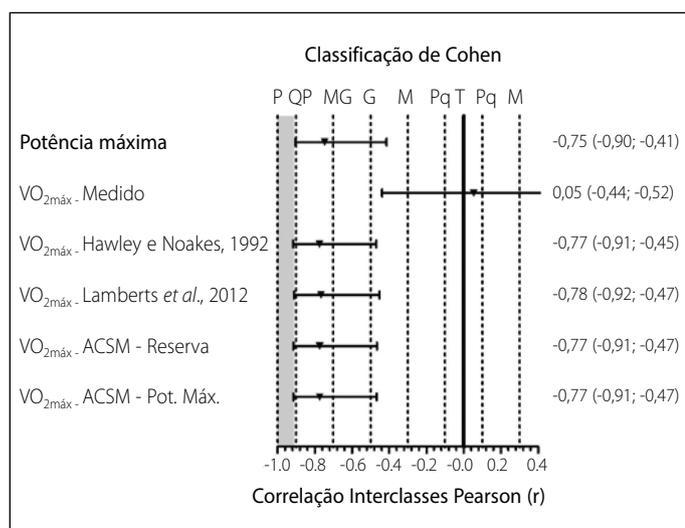
**Figura 1.** Melhores resultados de correlação entre a potência máxima e as várias determinações do  $VO_{2máx}$  com desempenho na prova simulada em valores absolutos.

termos relativos e a prova real. Os resultados encontrados classificam-se entre quase perfeito e muito grande, respectivamente.

Na figura 1, observa-se que a correlação entre a prova simulada e as equações preditivas do  $VO_{2m\acute{a}x}$  em forma absoluta alcançaram força associativa quase perfeita ( $r \geq 0,9$ ). Para as equações de Hawley e Noakes<sup>8</sup>, Lamberts *et al.*<sup>12</sup>, ACSM - Reserva<sup>3</sup> e a equação do ACSM - Pot. Máx.<sup>3</sup> foram observadas magnitudes associativas de -0,90, -0,90, -0,88 e -0,91, respectivamente. Na figura 2, as correlações entre o desempenho na competição e as estimativas de  $VO_{2m\acute{a}x}$  relativizada à massa corporal e estabelecidas pelas equações preditivas alcançaram resultados classificados como muito grande ( $r = 0,7-0,89$ ), com correlações de -0,77, -0,78, -0,77 e -0,77 para as equações de Hawley e Noakes<sup>8</sup>, Lamberts *et al.*<sup>12</sup>, ACSM - Reserva<sup>3</sup> e ACSM - Pot. Máx.<sup>3</sup>, respectivamente. É possível que os melhores resultados associativos observados na prova simulada em comparação à real tenham sido consequência de um ambiente mais controlado, com menor efeito de variáveis intervenientes.

As demais relações, com piores desempenhos ( $r < -0,17$ ), estão apresentadas na tabela 3. O desempenho em competição real associado ao  $VO_{2m\acute{a}x}$  absoluto resultou em baixa correlação com as equações de Hawley e Noakes<sup>8</sup> ( $r = -0,31$ ), Lamberts *et al.*<sup>12</sup> ( $r = -0,31$ ), ACSM - Reserva<sup>3</sup> ( $r = -0,19$ ) e ACSM - Pot. Máx.<sup>3</sup> ( $r = -0,25$ ). Nas associações entre o desempenho em prova simulada e o  $VO_{2m\acute{a}x}$  relativo, foram observadas para as equações de Hawley e Noakes<sup>8</sup>, Lamberts *et al.*<sup>12</sup>, ACSM - Reserva<sup>3</sup> e ACSM - Pot. Máx.<sup>3</sup> correlações de -0,17, -0,31, -0,24 e -0,24, respectivamente, sendo estes resultados classificados no máximo como possuindo pequena associação.

Destaca-se que, em nenhuma das análises realizadas, o  $VO_{2m\acute{a}x}$  medido diretamente alcançou elevada associação com o desempenho,



**Figura 2.** Melhores resultados de correlação entre a potência máxima e as várias determinações do  $VO_{2m\acute{a}x}$  com desempenho na competição real em valores relativos a massa corporal.

**Tabela 3.** Valores de baixa correlação entre o desempenho e a prova simulada, de forma relativa, e o desempenho e a competição real, de forma absoluta.

Variáveis	$VO_{2m\acute{a}x}$ (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> ) vs. Prova Simulada (n = 20)	$VO_{2m\acute{a}x}$ (L.min <sup>-1</sup> ) vs. Competição (n = 17)
Potência Máxima (W)	-0,23 (-0,61;0,23)	-0,31 (-0,69;-0,19)
$VO_{2m\acute{a}x}$ por Medida Direta	0,10 (-0,35;0,51)	0,48 (0,01;0,78)
$VO_{2m\acute{a}x}$ Estimado		
Hawley e Noakes,1992	-0,17 (-0,57;-0,29)	-0,31 (-0,69;-0,19)
Lamberts <i>et al.</i> , 2012	-0,31 (-0,66;-0,14)	-0,31 (-0,68;-0,19)
ACSM - Reserva	-0,24 (-0,62;-0,21)	-0,19 (-0,61;-0,31)
ACSM - Pot. Máx.	-0,24 (-0,62;-0,21)	-0,25 (-0,65;-0,26)

apresentando classificação pequena e moderada para as relações entre  $VO_{2m\acute{a}x}$  relativo vs. prova simulada e  $VO_{2m\acute{a}x}$  absoluto e prova real, respectivamente. Este achado confirma a baixa validade preditiva da medida direta do  $VO_{2m\acute{a}x}$  quando atletas são analisados frente a condições competitivas.

## DISCUSSÃO

Este estudo foi o primeiro a comparar as equações sugeridas por Noakes<sup>5</sup> e Hawley e Noakes<sup>8</sup> com as estimativas pelo método de reserva e pela potência máxima, ambas utilizando a equação do ACSM para o ciclismo. Em complemento, foram comparadas a potência máxima alcançada no teste aeróbio e a medida direta do consumo máximo de oxigênio. Os resultados do presente estudo demonstraram que, como já reportado anteriormente<sup>5,6</sup>, a determinação direta do  $VO_{2m\acute{a}x}$  não apresentou correlação significativa com o desempenho atlético, confirmando a baixa relevância desta medida na explicação dos desempenhos competitivos. A melhor predição do  $VO_{2m\acute{a}x}$  se deu pelo uso das equações preditivas. Observou-se discreta, porém irrelevante superioridade, em especial pela equação do ACSM utilizando a potência máxima relativizada à massa corporal, na predição da prova simulada. Já para a prova real, a equação de Hawley e Noakes<sup>8</sup>, em termos absolutos, demonstrou maior valor de correlação.

Há um grande volume de evidências citando o  $VO_{2m\acute{a}x}$  como uma medida de desempenho em atletas de endurance<sup>20</sup>, como *mountain bikers*, ciclistas de estrada<sup>21,22</sup>, ciclistas de pista<sup>23</sup>, triatletas<sup>24</sup> e corredores<sup>25</sup>. Entretanto, Noakes<sup>6</sup> sugeriu ineditamente que o  $VO_{2m\acute{a}x}$  somente era um bom preditor do desempenho quando grupos heterogêneos de indivíduos eram estudados, se tornando um fraco preditor do desempenho quando atletas homogêneos eram avaliados<sup>5</sup>. Além disso, Lucia *et al.*<sup>7</sup> demonstraram melhoras na  $W_{m\acute{a}x}$  sem nenhuma mudança no  $VO_{2m\acute{a}x}$  enquanto Hoogeveen<sup>26</sup> demonstraram melhoras no  $VO_{2m\acute{a}x}$  com poucas mudanças na  $W_{m\acute{a}x}$ . Estes dois estudos demonstram a dissociação adaptativa destas variáveis em atletas. Assim, o presente estudo confirma evidências anteriores demonstrando a fragilidade da medida direta do  $VO_{2m\acute{a}x}$  para a compreensão e diferenciação do desempenho em atletas com características semelhantes.

Por outro lado, a  $W_{m\acute{a}x}$  é uma importante variável preditora do desempenho<sup>5,27</sup>. Hawley e Noakes<sup>8</sup> reportaram uma significativa correlação (-0,91,  $p < 0,001$ ) entre a  $W_{m\acute{a}x}$  e o tempo em um contra-relógio de 20 km. Balmer *et al.*<sup>28</sup> observaram significativa correlação entre  $W_{m\acute{a}x}$  e a potência média mantida em um contra relógio de 16,1 km ( $r = 0,99$ ,  $p < 0,001$ ). Resultados semelhantes com atletas de *mountain bike* foram demonstrados por Gregory *et al.*<sup>29</sup> e Inoue *et al.*<sup>2</sup>.

Até onde pudemos identificar, apenas um estudo foi encontrado explorando o potencial das estimativas do  $VO_{2m\acute{a}x}$  na predição do desempenho atlético em corredores. Santos *et al.*<sup>30</sup> compararam o poder preditivo do método de reserva proposto por Swain *et al.*<sup>11</sup> para estimativa do  $VO_{2m\acute{a}x}$  com a potência crítica na predição do desempenho de 10 e 21,1 km no plano horizontal e 3,6 km em aclave. Os autores observaram que a estimativa do  $VO_{2m\acute{a}x}$  possibilitou as melhores associações (-0,95, -0,96 e -0,83) e os menores erros padrões de estimativa (1,7 min, 3,9 min e 5 min) para as três condições investigadas, respectivamente. Estes resultados foram  $\cong 4,95\%$  melhores do que os observados pela potência crítica.

Em conjunto, a abordagem metodológica empenhada possibilitou de maneira abrangente um olhar crítico sobre o papel do  $VO_{2m\acute{a}x}$  determinado por abordagens diretas e indiretas na predição do desempenho em provas simulada e real. Destaca-se que, tradicionalmente, esta temática vinha sendo explorada exclusivamente pelo olhar da validade concorrente das determinações do  $VO_{2m\acute{a}x}$  e não pela validade

preditiva, resultando numa histórica e equivocada contra-indicação da utilização das abordagens indiretas de estimativa do  $VO_{2m\acute{a}x}$  dada a sua questionável precisão. Estudos futuros deverão estabelecer se em outras modalidades e públicos tais resultados se confirmarão.

## CONCLUSÃO

O presente estudo foi o primeiro a demonstrar a validade preditiva das estimativas do  $VO_{2m\acute{a}x}$  para o desempenho simulado e real de MTB. Em complemento, confirmou a baixa validade preditiva da medida direta do  $VO_{2m\acute{a}x}$  para a predição do desempenho. Como aplicabilidade prática, recomenda-se que estudos futuros orientados para a investigação do desempenho e intervenções orientadas ao treinamento de atletas prefiram a abordagem indireta de determinação do  $VO_{2m\acute{a}x}$

em detrimento da medida direta, que por sua vez deverá ser utilizada quando o objetivo for o de coletar outras variáveis relacionadas ao desempenho (limiares ventilatórios, economia de movimento etc.) ou clínicas (pulso de oxigênio etc.).

## AGRADECIMENTOS

Tony Meireles Santos recebe apoio financeiro da Fundação Carlos Chagas de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ E-26/110.153/2).

---

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

---

## REFERÊNCIAS

1. Impellizzeri FM, Marcora SM. The physiology of mountain biking. *Sports Med.* 2007;37(1):59-71.
2. Inoue A, Sá Filho AS, Mello FC, Santos TM. Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. *J Strength Cond Res.* 2012;26(6):1589-93.
3. American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. 8th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2009.
4. Santos TM, Furtado LFL, Ribeiro LG, Cabral LF, Novaes JS. Comparação entre as modalidades de caminhada e corrida na predição do consumo máximo de oxigênio. *Rev Bras Med Esporte.* 2008;14(5):412-5.
5. Noakes TD. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20(4):319-30.
6. Noakes TD. Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints: a rebuttal. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(9):1381-98.
7. Lucia A, Hoyos J, Perez M, Chicharro JL. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(10):1777-82.
8. Hawley JA, Noakes TD. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65(1):79-83.
9. Currell K, Jeukendrup AE. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Med.* 2008;38(4):297-316.
10. Dotson CO, Caprarola MA. Maximal oxygen intake estimated from submaximal heart rate. *Br J Sports Med.* 1984;18(3):191-4.
11. Swain DP, Parrott JA, Bennett AR, Branch JD, Dowling EA. Validation of a new method for estimating  $VO_{2max}$  based on  $VO_2$  reserve. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(8):1421-6.
12. Lamberts RP, Lambert MI, Swart J, Noakes TD. Allometric scaling of peak power output accurately predicts time trial performance and maximal oxygen consumption in trained cyclists. *Br J Sports Med.* 2012;46(1):36-41.
13. Davidson RC, Corbett J, Ansley L. Influence of temperature and protocol on the calibration of the computrainer electromagnetically braked cycling ergometer. *Int Sport Med J.* 2009;10(2):66-76.
14. Lucia A, Hoyos J, Perez M, Santalla A, Earnest CP, Chicharro JL. Which laboratory variable is related with time trial performance time in the Tour de France? *Br J Sports Med.* 2004;38(5):636-40.
15. Impellizzeri FM, Marcora SM, Castagna C, Reilly T, Sassi A, Iaia FM, et al. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med.* 2006;27(6):483-92.
16. Borg E, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand J Med Sci Sports.* 2006;16(1):57-69.
17. Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA, Geurten P, van Kranenburg G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med.* 1985;6(4):197-201.
18. Hagberg JM, Coyle EF. Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Med Sci Sports Exerc.* 1983;15(4):287-9.
19. Sjodin B, Jacobs I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med.* 1981;2(1):23-6.
20. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med.* 2000;29(6):373-86.
21. Lucia A, Hoyos J, Perez M, Santalla A, Chicharro JL. Inverse relationship between  $VO_{2max}$  and economy/efficiency in world-class cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(12):2079-84.
22. Coyle EF. Improved muscular efficiency displayed as tour de France champion matures. *J Appl Physiol.* 2005;98(6):2191-6.
23. Craig NP, Norton KI. Characteristics of track cycling. *Sports Med.* 2001;31(7):457-68.
24. Laursen PB, Shing CM, Tennant SC, Prentice CM, Jenkins DG. A comparison of the cycling performance of cyclists and triathletes. *J Sports Sci.* 2003;21(5):411-8.
25. Hagan RD, Smith MG, Gettman LR. Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices. *Med Sci Sports Exerc.* 1981;13(3):185-9.
26. Hoogeveen AR. The effect of endurance training on the ventilatory response to exercise in elite cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82(1-2):45-51.
27. Noakes TD, Myburgh KH, Schall R. Peak treadmill running velocity during the  $VO_2$  max test predicts running performance. *J Sports Sci.* 1990;8(1):35-45.
28. Balmer J, Davison RC, Bird SR. Peak power predicts performance power during an outdoor 16.1-km cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(8):1485-90.
29. Gregory J, Johns DP, Walls JT. Relative vs. absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21(1):17-22.
30. Santos TM, Inoue AR, Greco CC, Marques AL, Terra BS, Oliveira BRR.  $VO_{2m\acute{a}x}$  estimado e sua velocidade correspondente predizem o desempenho de corredores amadores. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum.* 2012;14(2):192-201.