

## VO<sub>2</sub>MAX ESTIMADO POR EQUAÇÕES PREDITIVAS APRESENTA BAIXA CONCORDÂNCIA COM O OBTIDO PELO TESTE CARDIOPULMONAR - PADRÃO OURO

### VO<sub>2</sub>MAX ESTIMATED BY PREDICTIVE EQUATIONS PRESENTS LOW CONCORDANCE WITH THAT OBTAINED BY CARDIOPULMONARY TEST - GOLD STANDARD

Augusto Luiz Nascimento Miranda<sup>\*</sup>  
Kristian Costa Lopes<sup>\*</sup>  
Luciana Carletti<sup>\*\*</sup>  
Anselmo José Perez<sup>\*\*</sup>  
José Geraldo Mill<sup>\*\*\*</sup>  
Wellington Lunz<sup>\*\*</sup>

#### RESUMO

O objetivo foi avaliar a concordância entre mensurações do VO<sub>2</sub>max obtidas em teste cardiopulmonar de exercício *versus* obtidas por equações preditivas. Homens (21-55 anos) foram agrupados em praticantes de musculação (PM; n=31) e corridas (PC; n=28) e não praticantes (SE; n=35). Testou-se 5 equações, uma delas elaborada a partir de amostra brasileira. A concordância foi avaliada por Bland-Altman e as correlações pelo coeficiente de correlação de Pearson (r). Os r entre medida padrão ouro *vs.* equações ficaram entre 0,27 a 0,75, com p<0,05 para a maioria. Entretanto, as concordâncias foram baixas. Na equação obtida em brasileiros, os valores menos concordantes foram, em ordem: SE, PM e PC; nas demais equações foram: PC, PM e SE. As piores estimativas foram para VO<sub>2</sub>max mais elevados, principalmente >40 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>. Conclui-se que as equações preditivas avaliadas nesse estudo geraram medidas de baixa concordância quando comparadas ao padrão ouro, principalmente para VO<sub>2</sub>max>40 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Consumo Máximo de Oxigênio. Musculação. Corrida.

#### INTRODUÇÃO

O consumo máximo de oxigênio (VO<sub>2</sub>max) é considerado o parâmetro mais representativo da aptidão física cardiorrespiratória (BLAIR et al., 1989; SUI et al., 2007; AMERICAN HEART ASSOCIATION, 2010). Sua forte associação com o desempenho físico aeróbio o certifica como ferramenta para prescrição do treinamento físico aeróbio (GHORAYEB et al., 2013). Além disso, o VO<sub>2</sub>max é um índice de importância clínica, uma vez que associa-se inversamente com morbimortalidades, principalmente doenças cardiovasculares e câncer (BLAIR et al., 1989; FAFF, 2004; AMERICAN HEART ASSOCIATION, 2010).

O VO<sub>2</sub>max pode ser obtido de forma direta ou indireta. A mensuração direta, considerada padrão ouro, é obtida durante o teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) (AMERICAN HEART ASSOCIATION, 2010). No entanto, além do protocolo de máximo esforço, exige-se ainda o uso de equipamento de alto custo bem como de pessoal qualificado para a condução do teste (GAMA NETO; FARINATTI, 2004). Diante disso, surgiram estratégias indiretas, as quais utilizam equações preditivas.

Equações preditivas são produzidas por modelo matemático de regressão linear, partindo-se do princípio que o VO<sub>2</sub>max se associa com diferentes fatores, tais como nível de atividade física, sexo, idade, composição

\* Bacharel em Educação Física. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, Brasil.

\*\* Doutor. Professor do Departamento de Desportos da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, Brasil.

\*\*\* Doutor. Professor do Programa de Pós Graduação em Ciências Fisiológicas da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, Brasil.

corporal, entre outros (JACKSON et al., 1990; HEIL et al., 1995). Algumas equações dependem de teste físico submáximo prévio, enquanto outras independem de esforço (GAMA NETO; FARINATTI, 2004). Essas últimas são atraentes devido aos baixíssimos custos financeiro e operacional, além de apresentarem capacidade de estimativa similar às equações dependentes de esforço (JACKSON et al. 1990; JURCA et al., 2005).

Entretanto, equações preditivas são obtidas em amostras específicas, com diferenças marcantes quanto ao tamanho amostral, idade, sexo e grupo étnico (GAMA NETO; FARINATTI, 2004). Além disso, os proponentes dessas equações utilizam habitualmente dois parâmetros para validação: Coeficiente de correlação linear ( $r$ ) e erro padrão da estimativa (EPE). No entanto, ambos apresentam limitações. Valores de  $r$  próximos de 1 indicam existir forte correlação entre duas variáveis, mas não permite afirmar que dois instrumentos de medida (ex: teste direto vs. equação preditiva) produzem resultados concordantes (BLAND; ALTMAN, 1986). Por sua vez, o EPE depende dos desvios entre valor real e estimado, mas também é influenciado pelo tamanho amostral (HOUSH et al 1995; HAIR et al 1998), de modo que não é incomum encontrar concomitantemente (e paradoxalmente) valores altos tanto de  $r$  como de EPE. Mais preocupante é que os trabalhos que propõem tais equações nem sempre apresentam o EPE (GAMA NETO; FARINATTI, 2004).

A sugestão de que um alto  $r$  seja bom parâmetro para validar uma equação poderia induzir o profissional, o qual possui pouca aproximação ao método científico, a adotar uma estratégia sem a avaliação crítica necessária, principalmente quando a mesma é avalizada por autores e por publicação em revista científica. Há, ainda, o risco de extrapolação para públicos diferentes daqueles em que a equação foi produzida. De fato, estudos com validação cruzada em amostra similar à amostra utilizada para elaborar equações têm denotado maiores erros na amostra que não fez parte da elaboração da equação (HOUSH et al., 1995; MALEK et al., 2007), podendo, inclusive, invalidar equações (MALEK et al., 2007).

Diante disso, o presente estudo objetivou avaliar a concordância entre a mensuração direta

do  $VO_{2max}$  obtida em TCPE (padrão ouro) vs. a mensuração predita por equações elaboradas a partir de variáveis que independiam de esforço físico. Para melhor compreender a capacidade de extrapolação dessas equações, optamos por três diferentes grupos de voluntários, os quais foram categorizados pela prática ou não de treinamento físico e pelas modalidades praticadas.

Considerando que o treinamento físico induz alterações antropométricas e fisiológicas marcantes, nossa hipótese era que as equações preditivas estimariam bem o  $VO_{2max}$  do grupo não praticante de treinamento, mas não estimariam bem o  $VO_{2max}$  dos sujeitos treinados.

## MÉTODOS E MATERIAIS

**Caracterização do estudo e conduta** – Estudo observacional com delineamento transversal em amostra de voluntários. O estudo utilizou banco de dados de um estudo maior denominado "Parâmetros estruturais e funcionais do coração e de vasos sanguíneos de indivíduos submetidos, por longo prazo, ao treinamento aeróbio ou resistido". Os participantes assinaram "Termo de Consentimento Livre e Esclarecido" e a condução do estudo respeitou a Resolução 196/96 do CNS. O estudo foi aprovado no Comitê de Ética do Centro de Ciências da Saúde - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) (protocolo 009/2010).

**Amostra e grupos** – No presente estudo, foram incluídos 94 homens, entre 21 e 55 anos de idade, com qualquer grau de escolaridade, classificação étnica e socioeconômica. O recrutamento foi feito no Campus da UFES, em academias de ginástica da região metropolitana de Vitória-ES, em grupos de corredores que treinavam para participação em corridas longa distância (ex: maratona e meia maratona) e, ainda, em pelo menos quatro importantes eventos de corrida do calendário capixaba. Voluntários não praticantes de exercícios físicos e praticantes com mínimo de dois anos de prática nas modalidades musculação e corridas foram agrupados em: 1) Grupo não praticante de exercício (SE;  $n = 35$ ), composto por homens aparentemente saudáveis não engajados em qualquer programa regular de treinamento físico nos últimos 6 meses; 2) Grupo praticante de

musculação (PM; n = 31), com treinamento característico de hipertrofia e/ou força máxima; 3) Grupo praticante de corrida de longa distância (PC; n = 28), caracterizados por treinamento superior a 40 km/sem, e frequência maior ou igual a 3 sessões/sem. Não foi incluído na pesquisa quem relatou ser tabagista ou consumidor regular de bebida alcoólica (consumo médio > 30 g de álcool/dia), ter história de morte súbita em familiares de 1º grau e cardiopatia já conhecida.

**Medidas antropométricas** - Foram determinados peso corporal e estatura para posterior cálculo do IMC (kg/m<sup>2</sup>), dobras cutâneas tricipital e abdominal (Plicômetro Mitutoyo/CESCORF - 0,1 mm) e perimetrias do braço e perna (Fita flexível, Sanny). A perimetria do braço foi obtida após contração muscular dos flexores do cotovelo, com ombro flexionado em 90°. A perimetria da perna foi obtida após flexão plantar. As perimetrias foram feitas no maior perímetro do segmento direito.

**Teste cardiopulmonar de exercício (TCPE)** - Os testes foram aplicados por profissionais experientes e com acompanhamento de cardiologista. Utilizou-se esteira ergométrica (Inbrasport, Super ATL) e analisador de gases (Córtex, modelo Metamax 3B) para realização dos testes. Previamente ao teste obtinha-se registro do ECG e medida da pressão arterial. Utilizou-se protocolo de rampa, o qual por 10 minutos progredia de 6 a 12 km/h para o grupo SE, 5 a 14 km/h para o grupo PM, e 6 a 22 km/h para o grupo PC, com inclinação mantida em 1%. As velocidades de início e final do TCPE foram referenciadas pela velocidade que os voluntários diziam realizar uma corrida de 10 km e experiência do avaliador. O VO<sub>2max</sub> era aceito quando os seguintes critérios eram contemplados: a) exaustão ou inabilidade para manter a velocidade; b) razão de taxa respiratória superior a 1,15; c) frequência cardíaca (FC) máxima de pelo menos 90% da FC máxima estimada pela equação 220 - idade.

**Equações preditivas** - A localização de equações preditivas foi iniciada a partir de uma revisão sistemática publicada por Gama Neto e Farinatti (2004), em que os autores fizeram

levantamento de equações preditivas que não envolviam exercício físico. Os autores fizeram o levantamento em grandes bases de dados (Pubmed, Medline, Lilacs e Embase), utilizando-se dos seguintes descritores: *prediction, estimation, nonexercise, non-exercise, exercise testing, functional capacity, cardiorespiratory fitness, aerobic capacity, physical fitness, physical endurance, maximal oxygen uptake, nonexercise, prediction models, aerobic power, aerobic fitness, aerobic capacity, exercise capacity*. Como estratégia complementar, realizamos buscas na literatura nacional na base de dados Scielo e no instrumento de busca *online* Google Acadêmico. O interesse era também encontrar equações preditivas realizadas exclusivamente em amostra brasileira.

O estudo de Gama Neto e Farinatti (2004) encontrou 18 equações preditivas do VO<sub>2max</sub> que não envolviam exercício físico. Desse total, 14 equações não puderam ser avaliadas no presente estudo porque incluíam variáveis que não existiam em nosso banco de dados. Portanto, apenas 4 equações puderam ser testadas, sendo que todas foram publicadas em um único artigo (VERMA; SHARMA; KISHORE, 1998).

- Equação 1:  $VO_{2max} (l/min) = 0,135 - 0,025 (idade, anos) + 0,014 (estatura, cm) + 0,017 (peso corporal, kg)$ .

- Equação 2:  $VO_{2max} (l/min) = -0,016 - 0,022 (idade, anos) + 0,021 (estatura, cm)$ .

- Equação 3:  $VO_{2max} (l/min) = 2,256 - 0,024 (idade, anos) + 0,019 (peso corporal, kg)$ .

- Equação 4:  $VO_{2max} (l/min) = 1,192 + 0,004 (estatura, cm) + 0,012 (peso corporal, kg)$ .

Na literatura nacional foi localizada uma equação possível de ser avaliada, publicada por Lima e Abatti (2006):  $VO_{2max} (l/min) = (0,02 \times IMC, kg/m^2) + (-0,02595 \times idade, anos) + 3,948$ .

**Análise estatística** - Utilizou-se Anova de uma via ou *kruskal-Wallis* para dados com ou sem distribuição normal, respectivamente, quando o interesse era comparar os três grupos. Para comparações das médias do VO<sub>2max</sub> real como VO<sub>2max</sub> estimado foi utilizado o teste *t* de *Student* para amostras dependentes. Utilizou-se correlação de *Pearson* para correlacionar os valores do VO<sub>2max</sub> obtidos por TCPE com os valores de VO<sub>2max</sub> preditos, e a técnica de Bland-Altman (BLAND; ALTMAN, 1986) para identificação das concordâncias. A significância estatística foi estabelecida em  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS

A caracterização dos grupos está descrita na Tabela 1. Os grupos PM e PC relataram aproximadamente 10 anos de treinamento contínuo. O  $VO_{2max}$  foi maior para o grupo PC, enquanto IMC, peso corporal e perimetrias do braço e tríceps sural foram maiores no grupo PM. O grupo SE apresentou valores de dobras cutâneas superiores aos treinados.

Os resultados da comparação entre o  $VO_{2max}$  obtido por TCPE (que chamaremos de  $VO_{2max}$  real) e o  $VO_{2max}$  estimado pelas equações estão ilustrados nas Figuras de 1 a 5. Os coeficientes de correlação entre  $VO_{2max}$  real vs.  $VO_{2max}$  estimado ficaram entre  $r=0,27$  a  $r=0,75$ , sempre com  $p<0,05$ . Apesar disso, a maioria (73%) das médias de  $VO_{2max}$  estimado foi estatisticamente diferente das médias de  $VO_{2max}$  real, já sugerindo baixa capacidade de estimativa. Os resultados de correlação e comparação das médias estão descritos em cada Figura, abaixo das linhas de tendência obtidas pela regressão entre  $VO_{2max}$  real vs. estimado.

Na Figura 1A-C encontram-se os resultados obtidos por grupo, confrontando  $VO_{2max}$  real vs.  $VO_{2max}$  predito pela equação de Lima e Abatti (2006). Esses resultados foram obtidos por comparação, correlação e Bland-Altman. Nas Figuras 2A-C, 3A-C, 4A-C e 5A-C estão as mesmas informações referentes, respectivamente, às equações 1, 2, 3 e 4 de Verma, Sharma e Kishore (1998).

A Figura 1A ilustra os resultados do grupo SE. A média dos desvios entre o  $VO_{2max}$  estimado vs.  $VO_{2max}$  real foi  $11,4 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (ver Bland-Altman; Figura 1A, à direita). Isso significa que, em média, a equação preditiva de Lima e Abatti (2006) superestimou o  $VO_{2max}$  do grupo SE em 29,5%. Os desvios entre  $VO_{2max}$  estimado vs.  $VO_{2max}$  real foram menores nos grupos PM e PC (Figuras 1B e 1C) em comparação ao grupo SE (PM = 2,5; PC = 0,29;  $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ), embora com muitos valores distantes da média. O grupo PC foi o que apresentou menor desvio médio entre os valores estimado e real, com a maioria dos valores ficando entre -5 e + 5  $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .

**Tabela 1** - Caracterização dos grupos não praticante de exercício (SE), corredores de longa distância (PC) e praticantes de musculação (PM).

Parâmetros	Não praticantes (SE) (n=35)	Praticantes de corrida (PC) (n=28)	Praticantes de Musculação (PM) (n=31)
Idade (anos)	32±1 (30) *	38±2 (38) #	32±1 (30)
Peso corporal (kg)	75±2 (72) +	68±2 (68) #	89±2 (90)
Estatura (cm)	176±1 (176)	173±1 (172)	177±2 (175)
IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	24±0,6 (24) +	23±0,4 (22) #	28±0,7 (28)
Perimetria do braço (cm)	33±0,5 (32) +	31±0,4 (31) #	42±0,6 (42)
Perimetria da perna (cm)	37±0,6 (36) +	37±0,5 (36) #	40±0,5 (40)
Dobra cutânea tricipital (mm)	10±0,6 (9) * +	6±0,4 (6)	6±0,4 (6)
Dobra cutânea abdominal (mm)	30±2 (29) *	19±3 (14)	22±2 (21)
$VO_{2max} \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	39±1 (39) *	51±1 (49) #	41±1 (40)
Prática contínua na modalidade (anos)	NA	9,3±1,3 (10)	10,7±1 (10)

\* =  $P<0,05$  SE vs. PC, # =  $P<0,05$  PC vs. PM, + =  $P<0,05$  SE vs. PM. Anova de uma via ou Kruskal-Wallis seguidos pelos *post-hoc* de Tuckey ou Dunn's, respectivamente. Dados apresentados como média±EPM, e mediana entre parênteses. IMC = índice de massa corporal. Nota: Houve perda amostral no re-teste para  $VO_{2max}$  nos grupos SE e PM. Nesses grupos o n para o re-teste do  $VO_{2max}$  foi de 31 e 23, respectivamente.

Fonte: Os autores.

Para a equação 1 de Verma, Sharma e Kishore (1998), as médias dos desvios entre  $VO_{2max}$  estimado vs.  $VO_{2max}$  real foram -8, 7, -14,1 e -21,5  $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  para os grupos SE (Figura 2A), PM (Figura 2B) e PC (Figura 2C), respectivamente. Isso significa que, em média, essa equação subestimou o  $VO_{2max}$  em

22,5%, 34,6% e 42% nos grupos SE, PM e PC, respectivamente. As maiores subestimativas foram para os valores mais elevados de  $VO_{2max}$ , como pode ser percebido pelas linhas de tendências declinadas.

As equações 2, 3 e 4 de Verma, Sharma e Kishore (1998), representadas nas Figuras 3A-

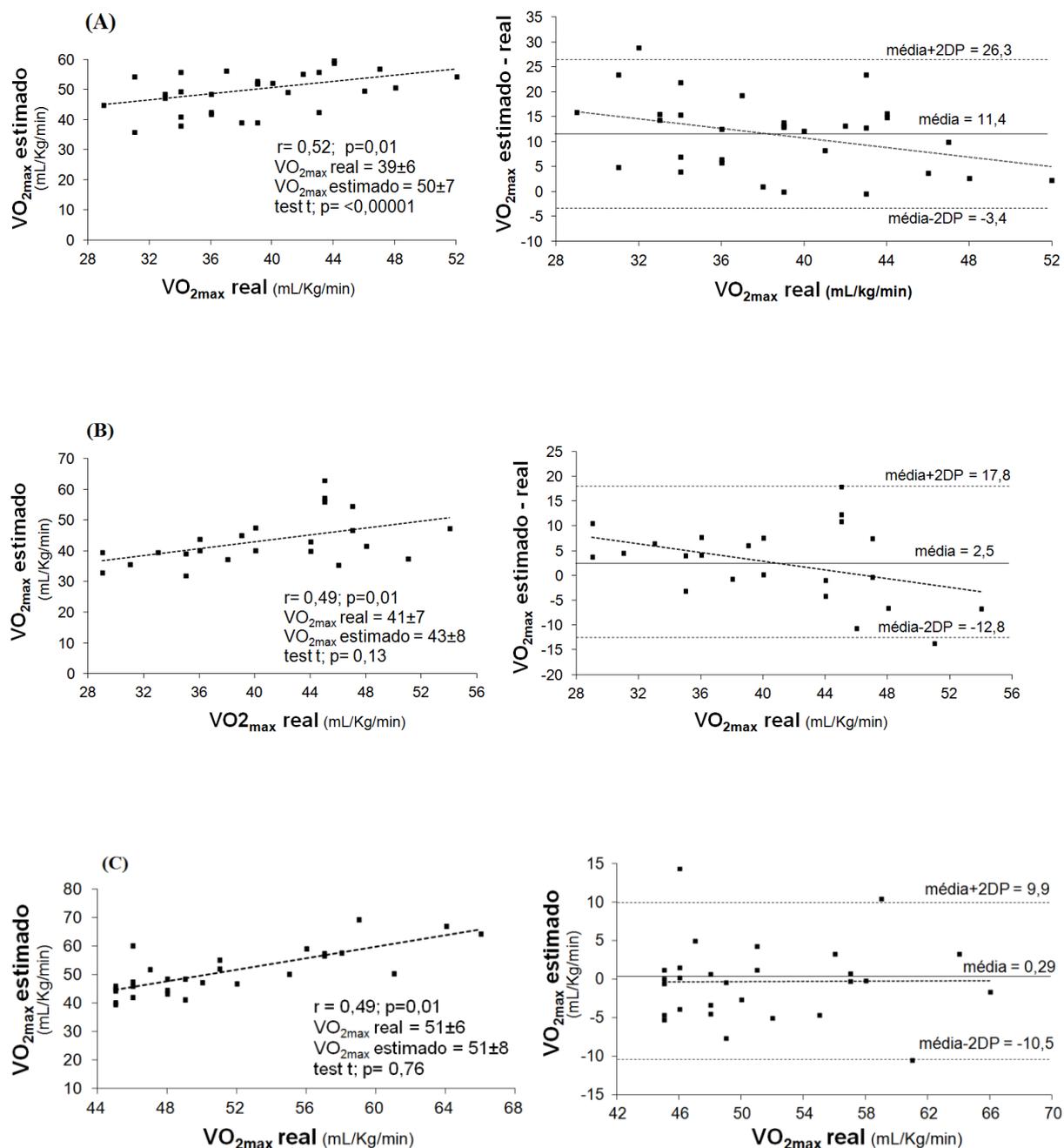
C, 4A-C e 5A-C, respectivamente, tiveram comportamentos similares. Pelas representações de Bland-Altman é possível perceber que o grupo SE, nas três equações, foi o que obteve menor desvio médio entre VO<sub>2max</sub> estimado vs. VO<sub>2max</sub> real (Equação 1 = 3,4; Equação 2 = 1,1; Equação 3 = -0,02; mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) (Figuras 3A, 4A e 5A). Apesar disso, apresentaram altos desvios padrões bem como linhas de tendência declinadas, assinalando maiores subestimativas nos valores mais elevados de VO<sub>2max</sub>.

Para os grupos treinados, a concordância entre VO<sub>2max</sub> estimado vs. VO<sub>2max</sub> real pelas equações 2, 3 e 4 foi menor. No grupo PM, as médias dos desvios entre VO<sub>2max</sub> estimado vs. VO<sub>2max</sub> real foram de -5,5, -4,1 e -6,5 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> para as equações 2, 3 e 4 (Figuras 3B, 4B e 5B). Isso significa que, em média, as equações 2, 3 e 4 subestimaram o VO<sub>2max</sub> em 13,5%, 10% e 16%, respectivamente. No grupo PC, as médias dos desvios entre VO<sub>2max</sub> estimado vs. real foram de -9,4, -12,1 e -11,3 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> para as equações 2, 3 e 4 (Figuras 3C, 4C e 5C). Em média, as equações 2, 3 e 4 subestimaram o VO<sub>2max</sub> em 18,3%, 23,6% e 22%, respectivamente. Novamente, os desvios padrões foram elevados e todas as linhas de tendência foram declinadas, demonstrando maiores subestimativas para VO<sub>2max</sub> mais elevados.

Destaca-se que, em todas as equações de Verma, Sharma e Kishore (1998), o grupo PC foi o que apresentou correlação mais forte ( $r = 0,70$  a  $0,75$ ) e, ao mesmo tempo, foi o que apresentou maior desvio médio entre VO<sub>2max</sub> estimado vs. VO<sub>2max</sub> real (Média = -9 a -21 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). Nas equações 2 e 4, o grupo SE apresentou as correlações mais fracas ( $r = 0,27$  a  $0,44$ ) e, ao mesmo tempo, menor desvio médio entre VO<sub>2max</sub> estimado vs. real (Média=3,4 e -0,02 para as equações 2 e 4, respectivamente; mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>).

Também foram realizadas análises com o conjunto de dados, sem distinção de grupo (não apresentado em Figura). Os coeficientes de correlação ficaram entre 0,42 e 0,49, sempre com  $p < 0,05$ . As médias dos desvios entre VO<sub>2max</sub> estimado vs. VO<sub>2max</sub> real apresentaram erros percentuais de superestimava de 11% para Lima e Abatti

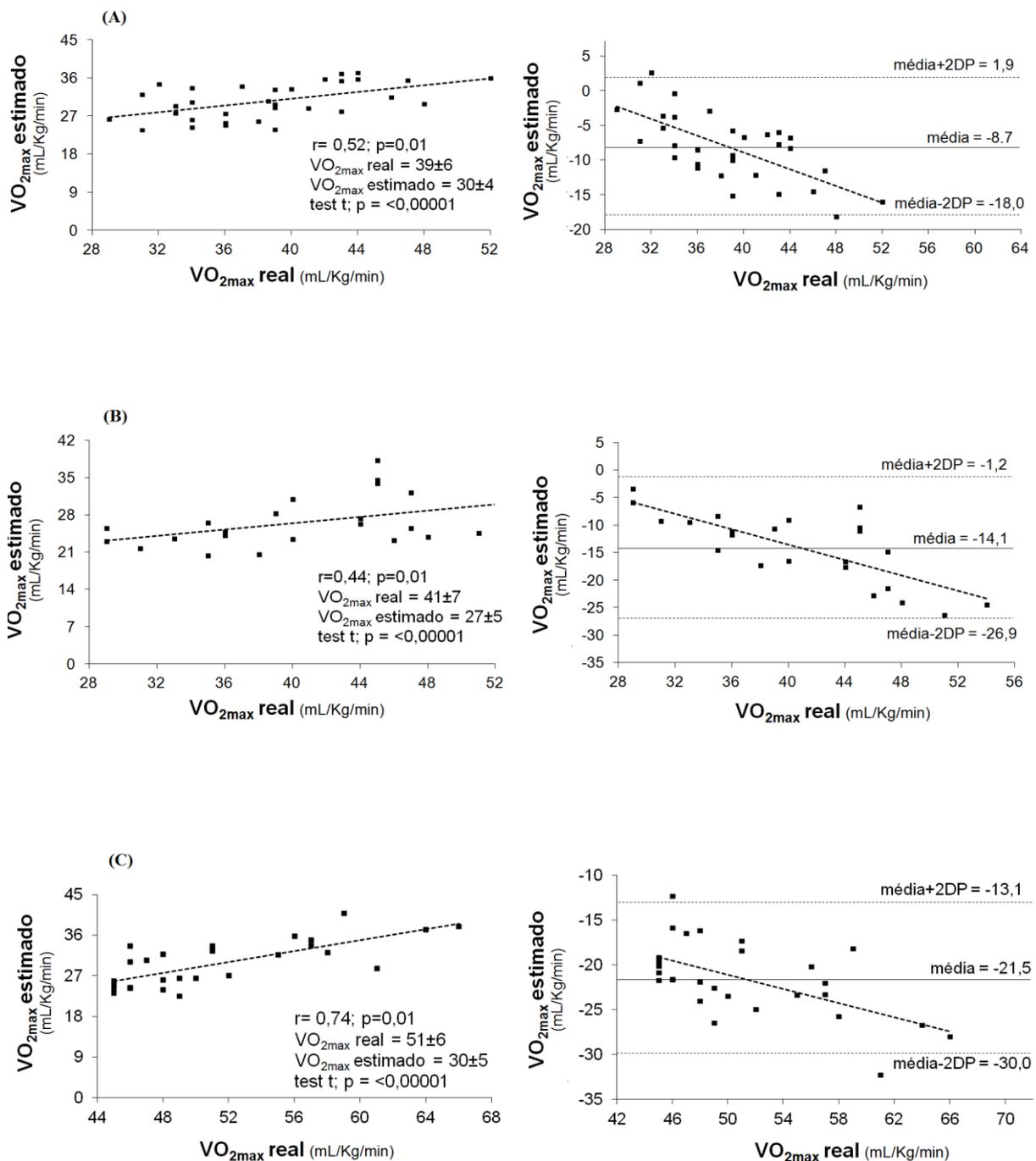
(2006), e subestimativas de 33%, 8%, 11%, 13% para as equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente, de Verma, Sharma e Kishore (1998). Entretanto, os desvios padrões das diferenças obtidas entre VO<sub>2max</sub> estimado vs. VO<sub>2max</sub> real foram muito elevados, quase sempre superiores as médias. De fato, os coeficientes de variação [(desvio padrão ÷ média) x 100] foram 203% para a equação de Lima e Abatti (2006) e de 74%, 328%, 197% e 114% para as equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente, de Verma, Sharma e Kishore (1998). Em virtude disso, na maioria das vezes, o VO<sub>2max</sub> estimado de cada voluntário se desviou em torno de 30% a 100% do VO<sub>2max</sub> real, sinalizando para baixa capacidade de extrapolação. As comparações das médias de VO<sub>2max</sub> estimado vs. VO<sub>2max</sub> real sempre apresentaram diferença estatística ( $p < 0,0001$ ; teste *t-student*), fortalecendo a interpretação de discordância. As linhas de tendência se apresentaram sempre declinadas, apontando para erros maiores de estimativas nos valores mais elevados de VO<sub>2max</sub>.



**Figura 1** - Gráficos de dispersão (esquerda) e Bland-Altman (direita) entre  $VO_{2max}$  real vs. estimado pela equação de Lima e Abatti (2006) dos grupos não praticante de exercício (SE; Figura 1A), praticantes de musculação (PM; Figura 1B) e praticantes de corrida de longa distância (PC; Figura 1C).

Nota: Abaixo da linha tendência estão descritos os valores de  $r$  e Média $\pm$ DP do  $VO_{2max}$  real e estimado, bem como os valores de  $p$  (significância) referentes a correlação de *Pearson* e teste *t*.

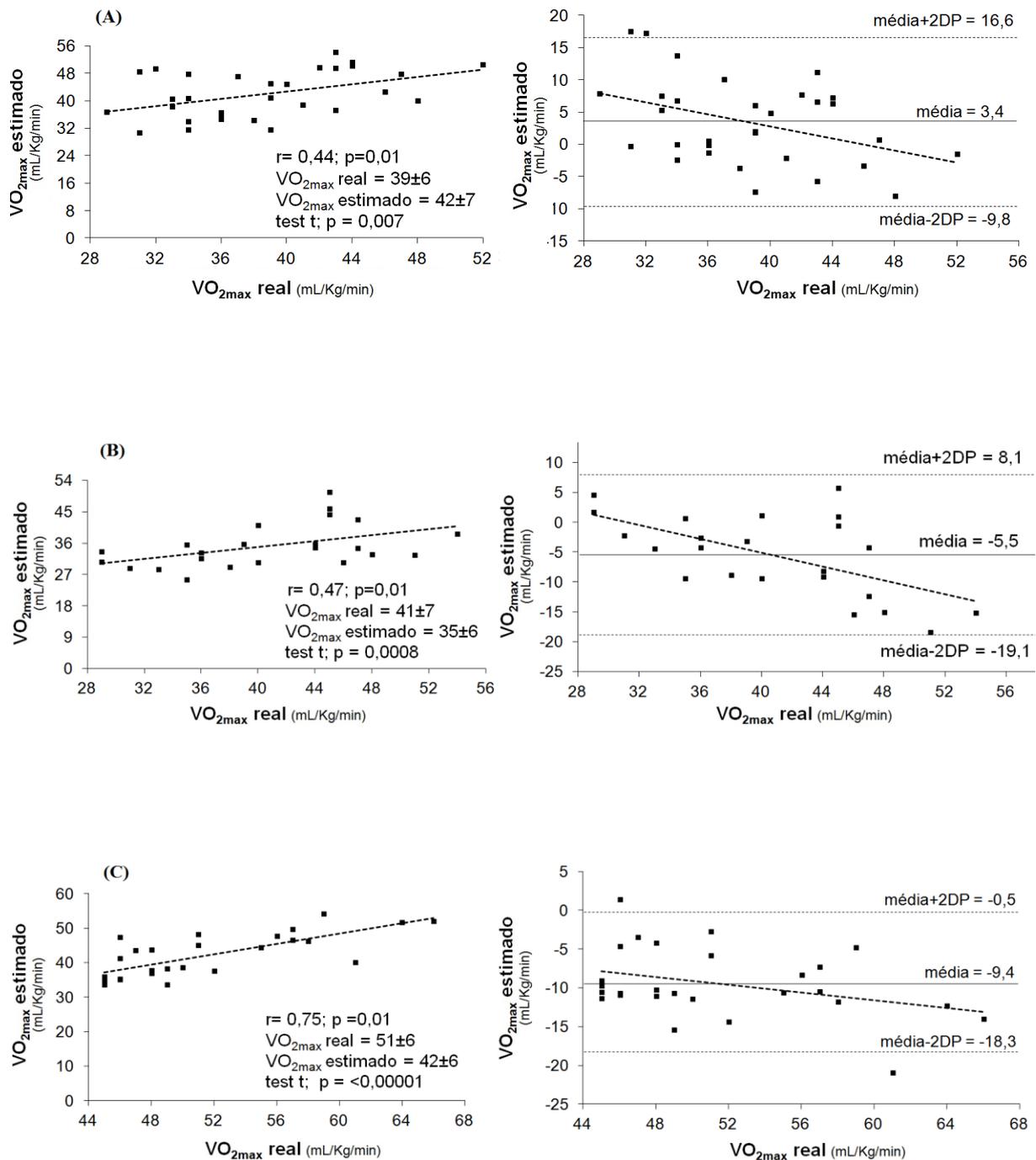
Fonte: Os autores.



**Figura 2** - Gráficos de dispersão (esquerda) e Bland-Altman (direita) entre VO<sub>2max</sub> real vs. estimado pela equação 1 de Verma, Sharma e Kishore (1998) dos grupos não praticante de exercício (SE; Figura 2A), praticantes de musculação (PM; Figura 2B) e praticantes de corrida de longa distância (PC; Figura 2C).

Nota: Abaixo da linha tendência estão descritos os valores de r e Média±DP do VO<sub>2max</sub> real e estimado, bem como os valores de p (significância) referentes a correlação de Pearson e teste t.

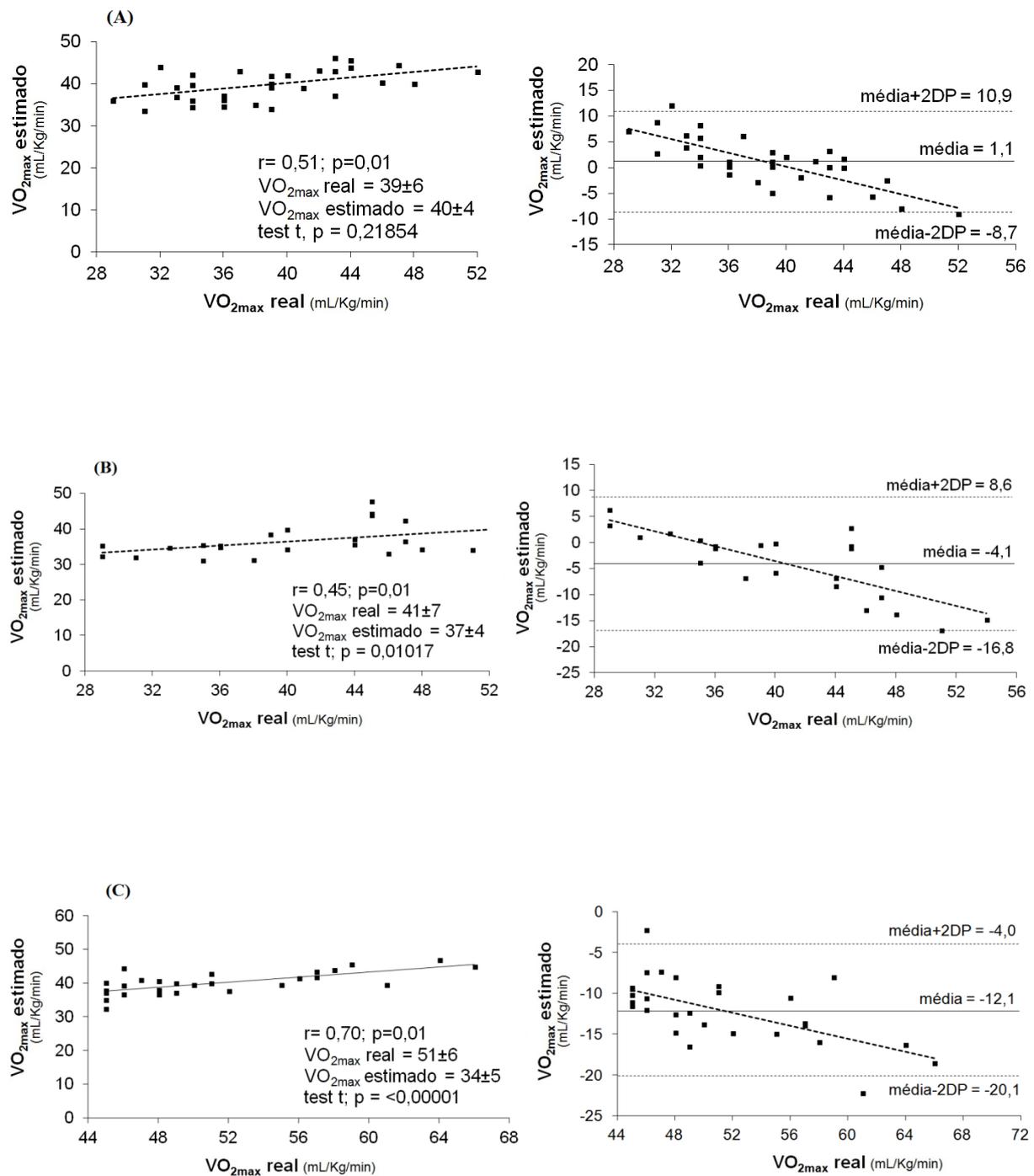
Fonte: Os autores.



**Figura 3** - Gráficos de dispersão (esquerda) e Bland-Altman (direita) entre  $VO_{2max}$  real vs. estimado pela equação 2 de Verma, Sharma e Kishore (1998) dos grupos não praticante de exercício (SE; Figura 3A), praticantes de musculação (PM; Figura 3B) e praticantes de corrida de longa distância (PC; Figura 3C).

Nota: Abaixo da linha tendência estão descritos os valores de  $r$  e Média $\pm$ DP do  $VO_{2max}$  real e estimado, bem como os valores de  $p$  (significância) referentes a correlação de Pearson e teste t.

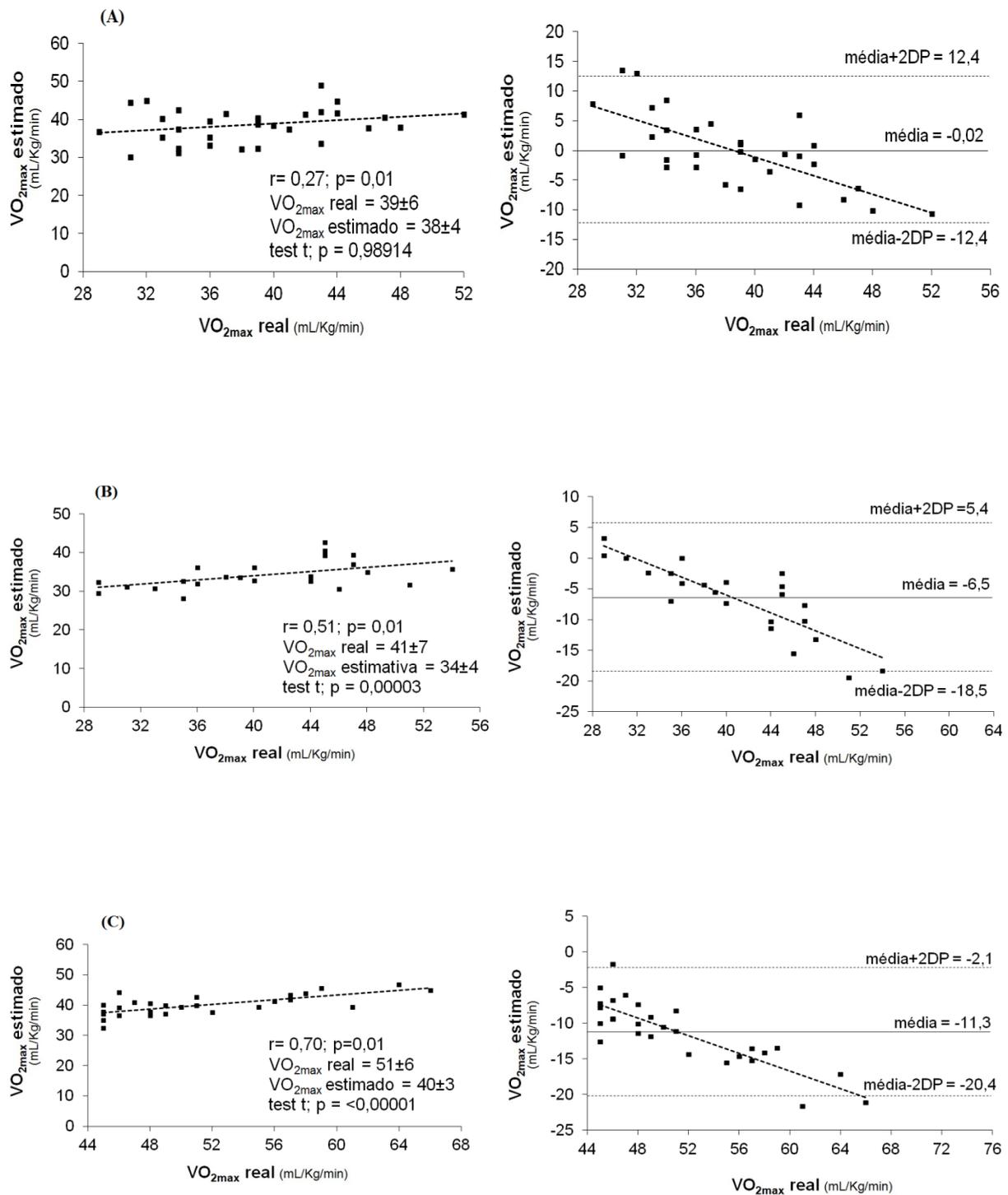
Fonte: Os autores.



**Figura 4** - Gráficos de dispersão (esquerda) e Bland-Altman (direita) entre VO<sub>2max</sub> real vs. estimado pela equação 3 de Verma, Sharma e Kishore (1998) dos grupos não praticante de exercício (SE; Figura 4A), praticantes de musculação (PM; Figura 4B) e praticantes de corrida de longa distância (PC; Figura 4C).

Nota: Abaixo da linha tendência estão descritos os valores de r e Média±DP do VO<sub>2max</sub> real e estimado, bem como os valores de p (significância) referentes a correlação de Pearson e teste t.

Fonte: Os autores.



**Figura 5** - Gráficos de dispersão (esquerda) e Bland-Altman (direita) entre  $VO_{2max}$  real vs. estimado pela equação 4 de Verma, Sharma e Kishore (1998) dos grupos não praticante de exercício (SE; Figura 5A), praticantes de musculação (PM; Figura 5B) e praticantes de corrida de longa distância (PC; Figura 5C).

Nota: Abaixo da linha tendência estão descritos os valores de  $r$  e Média $\pm$ DP do  $VO_{2max}$  real e estimado, bem como os valores de  $p$  (significância) referentes a correlação de Pearson e teste t.

Fonte: Os autores.

## DISCUSSÃO

Os principais resultados são que as equações preditivas de VO<sub>2max</sub> avaliadas no presente estudo, as quais foram produzidas a partir de variáveis que independem de exercício físico, geraram medidas de baixa concordância quando confrontadas com as medidas de VO<sub>2max</sub> obtidas pelo teste padrão-ouro. Para a equação de Lima e Abatti (2006), os valores menos concordantes foram, em ordem, para os grupos SE, PM e PC. Nas equações de Verma, Sharma e Kishore (1998), os valores menos concordantes seguiram a ordem PC, PM e SE. Apesar de termos observado coeficientes de correlação de moderados a elevados, a concordância das medidas foi, de modo geral, muito baixa e produziu grande variação entre os avaliados. A maioria das equações apresentou tendência em subestimar os maiores valores de VO<sub>2max</sub>.

Os parâmetros antropométricos e os valores de VO<sub>2max</sub> confirmaram que a estratificação dos grupos contemplou nosso interesse, que era obter três grupos com características antropométricas e fisiológicas distintas. De fato, os maiores IMC, peso corporal e perimetrias do grupo PM eram esperados devido ao maior volume muscular. Era também esperado que o grupo PC apresentasse maior média de VO<sub>2max</sub>, pois trata-se de uma adaptação ao treinamento aeróbio já bem descrita.

A equação de Lima e Abatti (2006) foi selecionada porque os autores utilizaram amostra de brasileiros. As equações encontradas na literatura internacional são, habitualmente, produzidas em amostras que não correspondem às características étnicas e socioculturais da população brasileira (GAMA NETO; FARINATTI, 2004). Entretanto, a equação de Lima e Abatti (2006) superestimou em demasia os valores de VO<sub>2max</sub> do grupo SE (aproximadamente 30%; 12 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). Nossa expectativa era que essa equação produzisse melhores estimativas para nosso grupo de voluntários não treinados, uma vez que se suas características se aproximavam mais da amostra usada por Lima e Abatti (2006). Surpreendentemente, nos grupos treinados as diferenças entre o VO<sub>2max</sub> estimado e VO<sub>2max</sub> real foram menores, principalmente para o grupo de corredores, embora seja necessário considerar que houve alta dispersão dos dados.

A equação de Lima e Abatti (2006) foi construída a partir dos parâmetros IMC e idade, sendo que a idade tem impacto negativo sobre o incremento de VO<sub>2max</sub>. A amostra desse mesmo estudo (LIMA; ABATTI, 2006) foi composta por 30 homens de 20 a 30 anos de idade (23±3 anos de idade; média±DP), 72±7 kg e 1,78±0,06 m). Destacamos que a idade discretamente maior dos voluntários do nosso estudo parece não ter sido a responsável pelas superestimativas geradas pela equação de Lima e Abatti (2006). Evidência disso é que nosso grupo PC apresentou idade superior (38±2 anos) e, apesar da similaridade em relação ao peso corporal, foi o grupo que apresentou menor discordância entre as mensurações. De fato, a variável idade se associa fortemente com VO<sub>2max</sub> em idosos (MAILEY et al., 2010), mas não em pessoas mais jovens (POLICARPO-BARBOSA et al., 2008), sugerindo que a influência da variável idade se ajusta a uma exponencial positiva.

Lima e Abatti (2006) realizaram validação cruzada com três grupos, sendo um grupo com características similares, um grupo de atletas de mesma idade e outro grupo de árbitros com idade levemente superior (~ 27 anos). Esses autores identificaram que sua equação produziu erros percentuais de apenas 4,7% a 5,5%. Essa margem de erro é similar ou inferior às equações que necessitam de exercício físico (JACKSON et al. 1990; JURCA et al., 2005). Entretanto, os autores não avaliaram o grau de concordância por Bland-Altman. Diferentemente do estudo de Lima e Abatti (2006), nossos resultados apontaram baixa concordância entre as medidas, em particular para o grupo SE. Entretanto, prudentemente, Lima e Abatti (2006) sinalizaram que a equação proposta por eles deve ser evitada para grupos com características distintas dos sujeitos que eles estudaram.

De maneira geral, as equações de Verma, Sharma e Kishore (1998) subestimaram o VO<sub>2max</sub> e apresentaram valores muito dispersos, independente do nível de treinamento físico dos sujeitos. Essas equações foram construídas a partir das variáveis idade, peso corporal e/ou estatura. Os valores mais concordantes foram para o grupo SE, seguidos pelos grupos PM e PC. De um modo amplo, essas equações apresentaram menores concordâncias e maiores subestimativas para VO<sub>2max</sub> superiores a 40 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>. Certamente essa é uma das

principais explicações para o fato de o grupo PC ter apresentado os valores menos concordantes e as maiores subestimativas, pois os voluntários desse grupo foram os que apresentaram maiores valores de  $VO_{2max}$  no TCPE. Por outro lado, as subestimativas e baixas concordâncias encontradas no grupo PM são aparentemente explicadas pelo maior peso de seus segmentos corporais. No estudo de Verma, Sharma e Kishore (1998), a amplitude de peso corporal foi de 44 - 85 kg, enquanto que, em nosso estudo, a amostra do grupo PM apresentou média de  $89 \pm 2$  kg.

Os voluntários estudados por Verma, Sharma e Kishore (1998), sendo esses 146 homens originários da Índia, apresentaram amplitude de idade e  $VO_{2max}$  de 21-58 anos e  $1,60-3,79 L/min^{-1}$ , respectivamente. Os autores propuseram um nomograma em que a partir das variáveis peso, estatura e idade pode-se facilmente encontrar o valor estimado de  $VO_{2max}$ . O estudo deles, entretanto, apresentou duas importantes limitações. A primeira é que os autores estimaram o  $VO_{2max}$  a partir de uma metodologia que envolvia exercício físico submáximo, a qual foi previamente desenvolvida pelo mesmo grupo de trabalho (VERMA; GUPTA; MALHOTRA, 1977). A segunda é que o exercício físico submáximo foi realizado em bicicleta ergométrica, e não esteira rolante. Sabe-se que o  $VO_{2max}$  obtido a partir do ergômetro bicicleta é menor que o obtido em esteira rolante e, por isso, esse último tem sido o mais recomendado (GRANT et al., 1995; AMERICAN HEART ASSOCIATION, 2010). A diferença de ergômetro poderia explicar ao menos em parte a baixa concordância e as subestimativas das equações de Verma, Sharma e Kishore (1998) que encontramos em nosso estudo.

As equações que testamos não consideraram o nível de atividade física dos sujeitos. Há sugestão de que a intensidade da atividade aeróbia é o fator mais determinante na maioria dos modelos (GAMA NETO; FARINATTI, 2004). É possível que a inclusão da variável "nível de aptidão física" seja indispensável na elaboração de equações preditivas sem utilização de teste de esforço. No estudo de Policarpo-Barbosa et al. (2008), envolvendo 137 homens ( $25 \pm 6$  anos) e 106 mulheres ( $24 \pm 5$  anos), em que o objetivo foi desenvolver modelos de estimativa da aptidão cardiopulmonar sem a realização de

teste de esforço em jovens brasileiros, foi verificada alta correlação ( $r \geq 0.95$ ) e EPE inferior a 5%. Além das variáveis sexo, IMC ou peso corporal, os autores também incluíram nível de aptidão física, uma vez que o modelo de regressão apontou essa necessidade. Ao mesmo tempo, idade não foi incluída por não ter se mostrado uma variável impactante. Nesse mesmo estudo, a amplitude de idade foi de 17 a 45 anos ( $26 \pm 7$  anos; média $\pm$ DP), portanto não foi muito diferente da nossa amostra. Mailey et al. (2010) também verificaram que o  $VO_{2max}$  de idosos (média  $67 \pm 6$  anos; média $\pm$ DP) teve alta concordância com o  $VO_{2max}$  obtido pela equação preditiva de Jurca et al. (2005), os quais, entre outras variáveis, usaram o nível de aptidão física na equação. Ressalta-se que Jurca et al. (2005) trabalharam com amostra de adultos (média de 46 anos), e, apesar disso, a equação desenvolvida por eles permitiu boa extrapolação para idosos.

De qualquer forma, nossa hipótese era de que as equações preditivas estimariam bem o  $VO_{2max}$  do grupo SE, já que o treinamento físico induz alterações antropométricas e fisiológicas marcantes e, portanto, distintas dos voluntários estudados por Lima, Abatti (2006), Verma, Sharma e Kishore (1998). Malek et al. (2007) estudaram pessoas treinadas e verificaram que equações elaboradas para estimar o limiar ventilatório desse público produziam valores muito discordantes daqueles obtidos por TCPE. Em nosso estudo, entretanto, as equações preditivas não apresentaram boa concordância pra nenhum dos grupos estudados.

Diante disso, nossa interpretação é que as equações que estudamos no presente trabalho não parecem adequadas para estimar o  $VO_{2max}$  de adultos, independente do perfil antropométrico e fisiológico. Diferente de outros tempos, em que a realização de TCPE era algo muito distante da realidade da população, hoje temos outro cenário. A realização de TCPE por laboratórios especializados estão mais acessíveis. Diante disso, sempre que possível, o TCPE deve ser a primeira opção (GHORAYEB et al., 2013). Entretanto, se o TCPE ainda não puder ser acessado por parte da população, nossos resultados apontam que a segunda opção não deveria ser equações que desconsideram esforço físico ou informações da aptidão física em seus modelos.

Essa nossa interpretação, entretanto, não legitima automaticamente as equações formuladas a partir de dados que consideram esforço físico ou informações da aptidão física como melhores que as equações que estudamos. Infelizmente não foi possível estudar no presente trabalho equações que envolviam esforços físicos e dados de aptidão física, de modo que não podemos fazer extrapolações a partir de dados que não temos.

Uma questão importante de discussão é o fato de o coeficiente de correlação não ter representado apropriadamente a concordância das medidas. De fato, no presente estudo encontramos boa correlação ( $r = 0,70$  a  $0,75$ ) entre medidas e, concomitantemente, muito baixa concordância (Desvio médio =  $-9$  a  $-21$  mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>; Grupo PC). Por outro lado, encontramos correlações fracas a intermediárias ( $r = 0,27$  a  $0,44$ ) concomitantes com medidas menos discordantes (Desvio médio =  $-0,02$  e  $3,4$  mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>; Grupo SE).

Bland e Altman (1986) já haviam apontado que a mudança na escala de medida não interfere numa correlação, mas interfere na concordância das medidas. Em virtude disso, eles propuseram outra técnica de análise. Trata-se de uma técnica simples, em que inicialmente se faz a subtração do valor estimado pelo valor real. O pressuposto é que se duas medidas são iguais, o resultado será zero. Portanto, quanto mais próximo de zero, menos discordantes serão os resultados obtidos por dois instrumentos. Posteriormente, confecciona-se um gráfico de dispersão plotando os valores obtidos (eixo y) com a média dos valores dos dois instrumentos (eixo x). No presente estudo, optamos por colocar os valores reais no eixo x, pois, conforme Bland e Altman (1986), a estratégia de se calcular a média dos valores obtidos por dois instrumentos seria para aquelas circunstâncias em que não é possível saber qual dos instrumentos gera o valor mais próximo do real. No presente estudo, entretanto, nós trabalhamos com o padrão ouro e, portanto, trata-se do valor mais próximo do real.

Um importante ponto para discussão é se erros entre 5% e 20%, que são frequentemente encontrados nas equações preditivas (JACKSON et al., 1990; JURCA et al., 2005; LIMA; ABATTI, 2006; MAGRANI; POMPEU, 2010; ARAÚJO, 2012; GHORAYEB et al., 2013), seriam, de fato, úteis. O EPE indica a variação não explicada pela linha de regressão, sendo,

portanto, uma medida da discrepância entre as variáveis observadas e preditas (GAMA NETO; FARINATTI, 2004). Erros de estimativa em torno de 20% podem ser encontrados mesmo em equações que dependem de teste de esforço físico (ARAÚJO, 2012). Se, por exemplo, simularmos um EPE de 10% para alguém que tenha obtido, por alguma equação, VO<sub>2max</sub> de 50 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>, teríamos que aceitar que o valor real para um intervalo de confiança de 95% estaria entre 40 e 60 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>. Se simularmos erro de 20%, o valor real estaria dentro de um espectro tão amplo (30 a 70 mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) que não ofereceria qualquer contribuição prática. Essa discussão é bastante importante, pois, de modo geral, quem utiliza tais equações são profissionais inseridos no mercado. Esse profissional, o qual pode ter pouca aproximação ao método científico e talvez pouco discernimento dos conceitos de validade, precisão, concordância e reprodutibilidade, possivelmente interpretará que equações avalizadas por revistas científicas sejam suficientes para que ele possa aplicar.

É preciso também destacar que, mesmo em validações cruzadas, é comum encontrar resultados mais distantes que os obtidos na amostra original (HOUSH et al., 1995). Por exemplo, Malek et al (2007) investigaram a validade de 14 equações de estimativas do limiar ventilatório em 144 pessoas treinadas aerobiamente. As equações testadas foram baseadas em parâmetros que não envolviam exercício físico. Todas as equações subestimaram em demasia o limiar ventilatório, e a discordância dos valores ficou entre 41% a 62%.

Outra questão refere-se à qualidade do estudo. Na revisão sistemática realizada por Gama Neto e Farinatti (2004), os autores verificaram que dentre 23 equações, apenas 5 cumpriram todos os critérios de qualidade necessários, que são: justificativa teórica, critério de validação, erro padrão estimado reportado, validação cruzada e equação relatada. E, ainda, é preciso destacar que o atendimento a esses critérios qualifica o estudo, mas não necessariamente estabelece uma maior capacidade de predição da equação. Essas questões permitem assinalar que quem optar pelo uso de equações preditivas precisará ter bastante clareza de suas limitações.

Uma limitação importante do nosso estudo é que, infelizmente, em virtude do presente trabalho

ter sido gerado a partir de um banco de dados, não foi possível obter parâmetros que nos permitissem investigar um maior número de equações. E, principalmente, isso nos impediu de investigar equações que consideram esforço físico e nível de aptidão física nas suas construções. Há sugestão de que equações que contemplem esforço físico ou nível de aptidão físico possam produzir melhores estimativas (POLICARPO-BARBOSA et al., 2008; MAILEY et al., 2010).

Diante disso, como proposições futuras, será necessário avaliar a concordância de equações que dependem de esforço físico e do autorrelato de atividade física. Embora o autorrelato do nível de atividade física possua limitações como necessidade da percepção pessoal (GAMA NETO; FARINATTI, 2004), sabe-se que o  $VO_{2max}$  de homens saudáveis treinados aerobicamente pode superar em mais de 100% o de homens não treinados (McARDLE; KATCH, F.; KATCH, V., 2008), merecendo, portanto, investigação.

Em resumo, os resultados do presente estudo permitem inferir que equações preditivas de  $VO_{2max}$

produzidas a partir de variáveis que independem de exercício físico apresentam baixa concordância com valores obtidos diretamente em TCPE. A baixa concordância se mantém mesmo em situações de altos coeficientes de correlação, ratificando que o coeficiente de correlação não pode ser aceito isoladamente como justificativa para validar equações preditivas. As equações estudadas, de maneira geral, geram subestimativas maiores para os valores de  $VO_{2max}$  mais altos, sendo mais marcante acima  $40 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . A baixa concordância ocorre em grupos treinados e não treinados, embora, dependendo da equação, seja maior em um ou outro. O conjunto de resultados nos obriga a refutar nossa hipótese inicial de que equações preditivas que não envolvem esforço físico estimariam bem o  $VO_{2max}$  de não praticantes de treinamento físico. Por outro lado, confirma nossa hipótese de que essas equações não estimariam bem o  $VO_{2max}$  dos voluntários treinados.

## **VO<sub>2MAX</sub> ESTIMATED BY PREDICTIVE EQUATIONS PRESENTS LOW CONCORDANCE WITH THAT OBTAINED BY CARDIOPULMONARY TEST - GOLD STANDARD**

### **ABSTRACT**

The aim was to evaluate the concordance between measurements of  $VO_{2max}$  obtained by exercise cardiopulmonary test (gold-standard) vs. that obtained by predictive equations. Men (21-55 years-old) were grouped into Resistance training (RT; n=31), long-distance runners (R; n=28) and non-exercise practitioners (C; n=35). Five equations were tested, one of them made from Brazilian sample. The concordance was evaluated by Bland-Altman, and correlation analysis by Pearson's coefficient (r). The r between gold-standard vs. equations ranged 0.27 to 0.75, with  $p < 0.05$  for the most analysis, however, with low concordance. Regarding the equation obtained in Brazilians, the values with lower concordance were, following the order: C, RT and R. In relation to others equations, again with lower concordance, the order was R, RT and C. The worst estimates were to higher  $VO_{2max}$  values, mainly for  $>40 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . In conclusion, the predictive equations tested generate low concordance when compared to  $VO_{2max}$  gold-standard test, mainly for  $VO_{2max} > 40 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .

**Keywords:** Maximal Oxygen Consumption. Resistance Training. Running.

### **REFERÊNCIAS**

- AMERICAN HEART ASSOCIATION. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, Dallas, v.122, p. 191-225, 2010.
- ARAÚJO, C. G. S. Devemos substituir o teste ergométrico convencional pelo teste cardiopulmonar de Exercício? *Revista do DERC*, Rio de Janeiro, v.18, no. 2, p. 56-59, 2012.
- BLAIR, S. N. et al. Physical fitness and all-cause mortality: A prospective study of healthy men and women. *JAMA*, Chicago, v. 262, p. 2395-2401, 1989.
- BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, London, v.1, p. 307-310, 1986.
- FAFF, J. Physical activity, physical fitness, and longevity. *Biology of Sport*, Warszawa, v. 21, no. 1, p. 3-24, 2004.
- GAMA NETO, G. A. M.; FARINATTI, P. T. V. Equações de predição da aptidão cardiorrespiratórias em testes de exercício e sua aplicabilidade em estudos epidemiológicos: uma revisão sistemática. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, vo. 20, n. 1, p. 48-56, 2004.
- GHORAYEB, N. et al. Diretriz em Cardiologia do Esporte e do Exercício da Sociedade Brasileira de Cardiologia e da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, São Paulo, 100, p. 1-41, 2013. Supl. 2.

- GRANT, S. et al. A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. **British Journal of Sports Medicine**, London, v. 29, no. 3, p. 147-152, 1995.
- HAIR, J. F. et al. **Análise Multivariada de Dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- HEIL, D. P. et al. Nonexercise regression models to estimate peak oxygen consumption. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 27, no. 4, p. 599-606, 1995.
- HOUSH, D. J. et al. Anthropometric estimation of thigh muscle cross-sectional area. **Medicine and Science in Sports Exercise**, Baltimore, v. 27, no. 5, p. 784-791, 1995.
- JACKSON, A. S. et al. Prediction of functional aerobic capacity without exercise testing. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Baltimore, v. 22, no. 6, p. 863-870, 1990.
- JURCA, R. et al. Assessing cardiorespiratory fitness without performing exercise testing. **American Journal of Preventive Medicine**, New York, v. 29, no. 3, p.185-193, 2005.
- LIMA, F. L.; ABATTI, P. J. Formulação de equações preditivas do VO<sub>2max</sub> baseada em dados que independem de exercícios físicos. **Semina**, Londrina, v. 27, no. 2, p. 139-149, 2006.
- MAGRANI, P.; POMPEU, F. A. M. S. Equações para a previsão da potência aeróbia (VO<sub>2</sub>) de jovens adultos brasileiros. **Arquivos Brasileiro de Cardiologia**, São Paulo, v. 94, n. 6, p. 763-770, 2010.
- MAILEY, E. L. et al. Construct validation of a non-exercise measure of cardiorespiratory fitness in older adults. **BMC Public Health**, London, v.10, no. 59, Feb. 2010.
- MALEK, M.H. et al. Cross-validation of ventilatory threshold prediction equations on aerobically trained men and women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v. 21, no.1, p. 29-33, 2007.
- McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- POLICARPO-BARBOSA, F. et. al. Modelo matemático para levantamento epidemiológico da aptidão física cardiorrespiratórias em teste de esforço. **Revistade Salud Pública**, Bogotá, v.10,n. 2, p. 260-268, 2008.
- SUI, X. et al. Cardiorespiratory fitness and adiposity as mortality predictors in older adults. **JAMA**, Chicago, v. 298, no. 21, p. 2507-2516, 2007.
- VERMA, S. S.; GUPTA, J. S.; MALHOTRA, M. S. Prediction of maximal aerobic power in man. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 36, no. 3, p 215-222, 1977.
- VERMA, S. S.; SHARMA, Y. K.; KISHORE, N. Prediction of maximal aerobic power in healthy Indian males 21-58 years of age. **Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie**, Stuttgart, v. 82, no.1 p. 103-110, 1998.

Recebido em 12/12/2013

Revisado em 01/10/2014

Aceito em 11/02/2015

---

**Endereço para correspondência:** Wellington Lunz. Núcleo de Pesquisa e Extensão em Ciências do Movimento (NUPEM), Centro de Educação Física e Desportos da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES); Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória - ES - CEP 29075-910. E-mail: welunz@gmail.com