



Replicação do protocolo incremental intermitente de nado em dias diferentes: análise de variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas.

Dissertação apresentada com vista à obtenção do 2º ciclo em Treino Desportivo, especialização em Treino de Alto Rendimento, da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, ao abrigo do Decreto-Lei nº 74/2006, de 24 de março, na redação dada pelo Decreto-Lei nº 65/2018 de 16 de agosto.

Orientador: Professor Doutor Ricardo Fernandes

Co-orientador: Professor Doutor Rodrigo Zacca

Ana Mónica Inácio Elói

Porto, 2020



Elói, A. M. I. (2020) Replicação do protocolo incremental intermitente de nado em dias diferentes: análise de variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas, Porto: A. Elói. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Treino Desportivo – Treino de Alto Rendimento, apresentado à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

PALAVRAS-CHAVE: NATAÇÃO PURA DESPORTIVA, PROTOCOLO INCREMENTAL INTERMITENTE, REPETIBILIDADE, VARIÁVEIS CARDIORRESPIRATÓRIAS, VARIÁVEL METABÓLICA, VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS

PALAVRAS-CHAVE: SWIMMING, INTERMITTENT INCREMENTAL PROTOCOL, REPEATABILITY, CARDIORESPIRATORY VARIABLES, METABOLIC VARIABLE, BIOMECHANICAL VARIABLES.

Agradecimentos

Esta dissertação foi todo um caminho de aprendizagens, desafios, tristezas e alegrias, e claro, tive a oportunidade de contar com o apoio de diversas pessoas, que direta ou indiretamente contribuíram para a construção deste percurso. Assim, gostaria de homenagear algumas pessoas que foram cruciais para a minha agilidade nas diversas áreas, tanto a nível profissional como pessoal.

Ao Professor Doutor Ricardo Fernandes por ter aceitado ser meu orientador, mantendo sempre o seu profissionalismo, e ajudando, apoiando e partilhando diariamente informações importantes para o trabalho.

Ao Professor Doutor Rodrigo Zacca, que aceitou ser meu co-orientador, pela ajuda incansável de dúvidas que foram surgindo, pelas recolhas de dados e partilha de conhecimento, e acima de tudo pelo encorajamento e incentivo.

Um especial agradecimento para a estudante de Doutoramento Ana Sofia Monteiro por me ajudar diariamente na construção de ideias, esclarecimento de grandes dúvidas e por me ter apoiado durante este ciclo. E aos meus colegas do gabinete de Natação Aléxia Fernandes, Filipa Cardoso, Eduardo Santos, Ricardo Cardoso e Diogo Duarte pela constante partilha de conhecimento e ideias que transmitiram para a realização da dissertação, pelo esclarecimento de dúvidas, pelos momentos partilhados e também pela vossa amizade.

Ao Colégio Luso-Internacional do Porto Swimming Team, principalmente à Mestre Lígia Costa e ao Mestre Ivan Reis pelo compartilhamento de ideias e soluções que fazem a treinadora que sou hoje.

Ao Gonçalo Vieira, pelo apoio constante e sacrifício em aturar os meus momentos menos bons e torná-los melhores, pelas conversas e desabafos. Muito obrigada por seres quem és e por todo o apoio que me tens dado durante todos estes anos.

E agradecer sobretudo à minha família por toda a preocupação e disponibilidade demonstrada durante todos os anos da minha vida, e especialmente no que toca à conclusão desta etapa, e principalmente por servirem como modelos a seguir.

A todos muito obrigada!

Índice

Agradecimentos	III
Índice de figuras	VII
Índice de tabelas	IX
Índice de equações	XI
Resumo	XIII
Abstract	XV
Abreviaturas	XVII
1. Introdução	1
2. Material e métodos	7
3. Resultados	13
4. Discussão	31
5. Conclusões	41
6. Sugestões para estudos futuros	43
7. Referências bibliográficas	45

Índice de figuras

Figura 1	Diagrama dos fatores determinantes do rendimento desportivo do nadador (adaptado de Fernandes & Vilas-Boas, 2006).	1
Figura 2	Protocolo incremental intermitente adaptado de Pyne et al. (2001) e Fernandes et al. (2003).	8
Figura 3	Pacer visual (Pacer2Swim, KulzerTEC, Aveiro, Portugal).	8
Figura 4	Exemplo de determinação do limiar anaeróbio de um nadador determinado através de uma regressão linear e uma exponencial.	10
Figura 5	Representação gráfica da eficiência do consumo de oxigénio.	11
Figura 6	Gráficos de análise de concordância entre o primeiro momento e segundo momento de avaliação de Bland-Altman nas diferentes variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas e os patamares (respetivamente): limites de concordância (linhas tracejadas), viés (linha tracejada negrita) e declive da regressão.	25
Figura 7	Eficiência do consumo de oxigénio dos dois momentos de avaliação de cada nadador.	28
Figura 8	Relação entre o consumo máximo de oxigénio e o declive da eficiência do consumo de oxigénio.	28
Figura 9	Relação entre o dispêndio energético e a velocidade nos dois momentos de avaliação de cada nadador.	30

Índice de tabelas

Tabela 1	Valores médios $\pm$ DP das variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas obtidos durante os dois momentos do protocolo incremental intermitente.	14
Tabela 2	Magnitude do efeito das respectivas variáveis e patamares.	16
Tabela 3	Coeficiente de variação (%) das respectivas variáveis e momentos de avaliação.	17
Tabela 4	Valores médios $\pm$ DP das variáveis ventilatórias e metabólica avaliadas durante o protocolo incremental intermitente.	26

Índice de equações

Equação 1	$v = \dot{E} \cdot (e_p / D)$	2
Equação 2	$DC = v \cdot FG^{-1}$	10

Resumo

A avaliação do comportamento das variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas é muito importante. Para a avaliação e controlo do treino na natação. No entanto, estudos que analisaram sua repetibilidade num curto intervalo de tempo são muito escassos. O objetivo desta dissertação consistiu em estudar a replicação do protocolo incremental intermitente na Nataação Pura Desportiva na técnica de crol em dias diferentes com base em variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas. Dezoito nadadores realizaram 7 x 200 m na técnica de crol, com incrementos de velocidade de $0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e intervalos de 30 s entre cada patamar. As trocas gasosas respiratórias foram avaliadas de forma contínua respiração a respiração através de analisadores de gases portáteis. Observou-se um aumento progressivo de todas as variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas ao longo do protocolo incremental. Existiu repetibilidade nas seguintes variáveis: concentrações de lactato sanguíneas ($[\text{La}^-]$) nos patamares 1, 3, 5, 6 e 7; consumo de oxigénio (O_2) absoluto e relativo ($\dot{\text{V}}\text{O}_2$) nos patamares 1, 2, 4 e 6; produção de dióxido de carbono ($\dot{\text{V}}\text{CO}_2$) nos patamares 1, 2 e 4; volume corrente (VC) nos patamares 1, 2, 3, 4 e 7; ventilação ($\dot{\text{V}}\text{E}$) em todos os patamares; frequência respiratória (FR) nos patamares 1, 2, 3 e 7; quociente respiratório (R) nos patamares 1, 2 e 3; concentrações fracionadas de O_2 expirado (FeO_2) nos patamares 1, 2, 4, 5 e 7 e as concentrações fracionadas de CO_2 expirado (FeCO_2) nos patamares 1; $p > 0.05$; $0.48 < r < 1.00$; $0.66 < \text{CCI} < 1.00$), a frequência gestual (FG) nos patamares 1, 3, 5, 5, 6 e 7 e a distância de ciclo (DC) em todos os patamares. No caso do consumo máximo de O_2 ($\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}$) os valores não foram repetíveis ($p = 0.01$; $r = 0.45$; $\text{CCI} = 0.94$) apesar da velocidade associada se apresentar ($v\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{máx}}$; $p = 0.18$; r e $\text{CCI} = 0.97$). Pode-se concluir que as variáveis estudadas se observaram repetíveis a um intervalo de 48 a 72 h ao longo do protocolo incremental intermitente. A repetibilidade destas variáveis diminui com o aumento da intensidade.

PALAVRAS-CHAVE: NATAÇÃO PURA DESPORTIVA, PROTOCOLO INCREMENTAL INTERMITENTE, REPETIBILIDADE, VARIÁVEIS CARDIORRESPIRATÓRIAS, VARIÁVEL METABÓLICA, VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS.

Abstract

The evaluation of the behavior of cardiorespiratory, metabolic and biomechanical variables is very important. For the evaluation and control of swimming training. However, studies that have analyzed their repeatability in a short period of time are very scarce. The purpose of this dissertation was to study the replication of the intermittent incremental protocol in swimming on different days based on cardiorespiratory, metabolic and biomechanical variables. Eighteen swimmers performed 7 x 200 m in the crol technique, with speed increments of $0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and intervals of 30 s between each step. Respiratory gas exchange was evaluated in a continuous breath-by-breath using portable gas analyzers. A progressive increase of all cardiorespiratory, metabolic and biomechanical variables was observed along the incremental protocol. There was repeatability in the following variables: blood lactate concentrations ($[\text{La-}]$) at stages 1, 3, 5, 6 and 7; absolute and relative oxygen (O_2) uptake ($\dot{\text{V}}\text{O}_2$) at stages 1, 2, 4 and 6; carbon dioxide production ($\dot{\text{V}}\text{CO}_2$) at stages 1, 2 and 4; tidal volume (TV) at stages 1, 2, 3, 4 and 7; ventilation ($\dot{\text{V}}\text{E}$) on all stages; respiratory frequency (RF) on stages 1, 2, 3 and 7; respiratory quotient (R) on stages 1, 2 and 3; averaged expiratory concentration of O_2 (FeO_2) on stages 1, 2, 4, 5 and 7 and averaged expiratory concentration of CO_2 (FeCO_2) on stages 1; $p > 0.05$; $0.48 < r < 1.00$; $0.66 < \text{CCI} < 1.00$), the stroke frequency (SR) at stages 1, 3, 5, 6 and 7 and the stroke length (SL) at all stages. In the case of the maximum uptake of O_2 ($\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$) the values were not repeatable ($p = 0.01$; $r = 0.45$; $\text{CCI} = 0.94$) despite the associated speed ($v\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$; $p = 0.18$; r and $\text{CCI} = 0.97$). It can be concluded that the variables studied were repeatable at an interval of 48 to 72 h along the intermittent incremental protocol. The repeatability of these variables decreases with increasing intensity.

KEY WORDS: SWIMMING, INTERMITTENT INCREMENTAL PROTOCOL, REPEATABILITY, CARDIORESPIRATORY VARIABLES, METABOLIC VARIABLES, BIOMECHANICAL VARIABLES.

Abreviaturas

%	Porcentagem
[La ⁻]	Concentrações de lactato sanguíneo
±	Mais ou menos
C	Custo energético
CO ₂	Dióxido de carbono
CV	Coeficiente de variação
D	Arrasto hidrodinâmico
DC	Distância por ciclo
DP	Desvio-padrão
Ė	Dispêndio energético
e.g.	Por exemplo
e _p	Eficiência propulsiva
FADEUP	Faculdade de Desporto da Universidade do Porto
FeCO ₂	Concentrações fracionadas de dióxido de carbono expirado
FeO ₂	Concentrações fracionadas de oxigénio expirado
FG	Frequência gestual
FINA	<i>Fédération Internationale de Natation</i>
FR	Frequência respiratória
L	Litros
LAn	Limiar anaeróbio
LAn _{Met}	Limiar anaeróbio metabólico
LAn _{Vent}	Limiar anaeróbio ventilatório
log $\dot{V}E$	Logaritmo da ventilação
m	Metros
mL	Mililitros
NPD	Natação Pura Desportiva
O ₂	Oxigénio
OUE	Eficiência do consumo de oxigénio
R	Quociente respiratório
s	Segundos
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
v	Velocidade

VC	Volume corrente
$\dot{V}CO_2$	Produção de dióxido de carbono
$\dot{V}E$	Ventilação
$vLAN_{Met}$	Velocidade ao limiar anaeróbio metabólico
$\dot{V}O_2$	Consumo de oxigénio
$\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$	Consumo máximo de oxigénio
$v\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$	Velocidade ao consumo máximo de oxigénio

1. Introdução

A avaliação e controlo do treino é um aspeto fulcral a contemplar no processo de planificação de qualquer modalidade desportiva, permitindo a recolha de informação relevante para o conhecimento e melhoria do processo do treino (Fernandes, 2002; Vilas Boas, 1989). Neste processo as alterações fisiológicas, biomecânicas e psicológicas são monitorizadas com o propósito de alcançar o pico de forma num momento de competição específico (Maglischo, 2003). O estímulo a que se é sujeito no treino e a adaptação observada é um processo multifatorial, em que os métodos aplicados irão ter repercussão no desempenho (Figueiredo, et al., 2013). Aprimorar as metodologias usadas para a avaliação de variáveis determinantes do desempenho é fundamental para a melhoria da eficácia do processo de treino e é de interesse para os treinadores, atletas e equipa multidisciplinar envolvida na modalidade monitorizada (Cardoso et al., 2003).

A Natação Pura Desportiva (NPD) enquanto modalidade individual, cíclica e fechada utiliza ações propulsivas dos membros superiores e inferiores para garantir uma propulsão contínua. Complementarmente, é considerada uma modalidade mista devido aos fatores bioenergéticos e biomecânicos assumirem um papel fundamental no desempenho do nadador. Estes enquadram-se num conjunto de determinantes do rendimento do nadador, onde também se incluem os psicológicos genéticos e contextuais (Fernandes & Vilas-Boas, 2006; Figura 1).

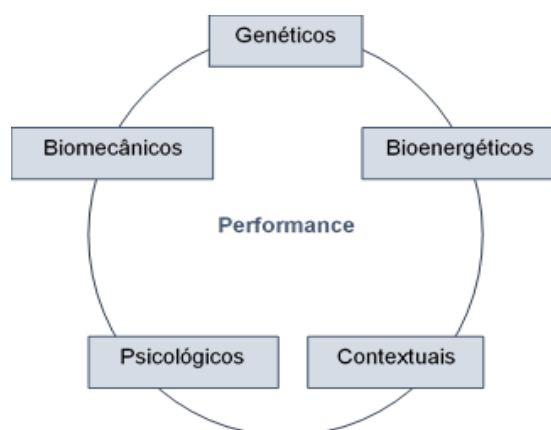


Figura 1 - Diagrama dos fatores determinantes do rendimento desportivo do nadador (adaptado de Fernandes & Vilas-Boas, 2006).

Deste conjunto de determinantes do rendimento do nadador, os fatores bioenergéticos e biomecânicos são os mais investigados e controlados (Sousa et al., 2014). A sua importância também se encontra descrita na equação geral da performance, proposta por di Prampero et al. (1974) e Pendergast et al. (1977):

Equação 1
$$v = \dot{E} * (e_p / D),$$

onde a velocidade de nado “v” é determinada pelo produto entre o dispêndio energético “ $\dot{E}$ ” (resultante do metabolismo aeróbio e anaeróbio) e a razão entre a eficiência mecânica propulsiva total “ e_p ” e a força de arrasto hidrodinâmico oposta ao deslocamento do nadador “D” (indicador que se refere ao desempenho técnico do nadador; Fernandes & Vilas-Boas, 2006). Assim, um dos principais objetivos do processo do treino consiste em melhorar a economia de nado, tanto pelo aumento da eficiência mecânica propulsiva como pela diminuição do arrasto hidrodinâmico, de forma a diminuir o dispêndio energético para uma mesma velocidade (Zamparo et al., 2011).

Os eventos competitivos em NPD são constituídos por diversas distâncias de nado (desde 50 a 1500 m) e, consequentemente, caracterizados por diversas durações e intensidades (Figueiredo et al., 2011). Embora seja utilizada energia fornecida tanto pelo sistema anaeróbio como o aeróbio (Wakayoshi et al., 1992), o segundo apresenta um papel determinante na prestação desportiva já que a maior parte dos eventos competitivos em NPD utiliza a energia proveniente desse sistema energético (Gastin, 2001). Deste modo os nadadores e treinadores devem conhecer a relevância da avaliação do consumo de oxigénio ($\dot{V}O_2$) que permite fornecer informação sobre o estado de adaptação do nadador ao exercício aeróbio (Fernandes et al., 2003; Tanji & Nabekura, 2019; Zacca et al., 2019) mas também das concentrações de lactato sanguíneo ([La⁻]) para melhor compreender o metabolismo anaeróbio (Faude et al., 2009).

O valor máximo do $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$) relacionado com o sistema aeróbio é usada principalmente como indicador de potência aeróbia (di Prampero, 1986; Libicz et al., 2005; Pelarigo et al., 2014). O $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ é considerado uma variável fisiológica

muito importante, sendo um indicador muito relevante nas principais áreas de interesse para o treino e desempenho do nadador como marcador da intensidade do exercício (Fernandes et al., 2008; Hale, 2008; Sousa et al., 2015). O $\dot{V}O_2\text{máx}$ caracteriza-se como a taxa mais elevada de captação, transporte e utilização do oxigénio pelo metabolismo celular por unidade de tempo (Baba et al., 1996; Bassett & Howley, 2000; Possamai et al., 2019). A velocidade de nado mínima associada ao $\dot{V}O_2\text{máx}$ ($v\dot{V}O_2\text{máx}$) é avaliada com o intuito de medida de potência aeróbia do nadador, valor muito útil para a avaliação e controlo de treino (Fernandes & Vilas-Boas, 2012) e com elevada aplicabilidade prática no processo de treino.

As $[La^-]$ contribuem também como indicador de avaliação da capacidade aeróbia do desempenho do nadador, atribuindo informações acerca da intensidade do treino e também da adaptação que o nadador sofreu (Brooks, 2020; Faude et al., 2009; Olbrecht et al., 1985). À medida que a intensidade de um exercício aumenta (e.g. velocidade de nado), os sistemas de produção de energia necessária para executar a tarefa vão-se alterando (Smith et al., 2002). Relacionando as $[La^-]$ com a velocidade de nado consegue-se determinar o limiar anaeróbio (LAn), referindo-se à maior intensidade de exercício sustentável para um certo período de tempo onde existe equilíbrio entre a produção e remoção das $[La^-]$ (Fernandes et al., 2011; Ribeiro et al., 2015; Wakayoshi et al., 1992).

Para que as medições das variáveis influenciadoras do rendimento do nadador sejam viáveis é necessário utilizar-se protocolos adequados, validados e práticos. Como a comunidade científica tem-se centrado bastante no estudo do $\dot{V}O_2$ e respetiva cinética, é importante saber o comportamento de outras variáveis cardiorrespiratórias e de que forma se associam. Isso é fundamental para melhor compreender os efeitos fisiológicos que ocorrem durante o nado, dado que não tem sido valorizado na literatura. O sistema respiratório juntamente com o sistema cardiovascular constituem um mecanismo eficaz no transporte de oxigénio (O_2) e remoção de dióxido de carbono (CO_2 ; Kenney et al., 2012). Como tal, com o aumento da intensidade do exercício as respostas destes sistemas sofrem alterações, como por exemplo mudanças na ventilação ($\dot{V}E$), no volume

corrente (VC), na frequência respiratória (FR) e no quociente respiratório (R; West, 2012).

Com base nas variáveis acima descritas existem índices relacionados com performance, como o limiar anaeróbio ventilatório (LAN_{vent}). Este índice encontra-se dependente da relação da $\dot{V}E$ com a velocidade, sendo que este índice é não linear (Ribeiro et al., 2015), podendo ser identificado através do aumento da $\dot{V}E$ e da produção excessiva de CO_2 (Au et al., 2018). Outro índice igualmente relevante, a eficiência do consumo de oxigénio (*oxygen uptake efficiency* - OUE), permite estimar a função cardiopulmonar durante testes laboratoriais submáximos e máximos, encontrando-se fortemente relacionado com o $\dot{V}O_{2max}$ dado que deriva da relação entre o $\dot{V}O_2$ e a $\dot{V}E$ (Baba et al., 1996).

Complementarmente, os fatores biomecânicos da influenciadores do rendimento do nadador, como a frequência gestual (FG) e a distância por ciclo (DC), devem também ser avaliados visto que são confiáveis, práticos, facilmente medidos e relevantes para os treinadores (Dekerle et al., 2005; Smith et al., 2002; Zacca et al., 2019). Estes não apresentam o mesmo comportamento considerando a velocidade de nado (Fernandes et al., 2011), dado que, à medida que a velocidade aumenta, a FG tem tendência a aumentar e a DC a diminuir (de Jesus et al., 2016). Deste modo, fornecer informação relevante para os treinadores com base nestas variáveis de desempenho poderá permitir o desenvolvimento de melhorias técnicas dos nadadores e, assim, a melhoria da performance.

Uma das lacunas existentes no processo de avaliação e controlo do treino é perceber se os dados recolhidos durante uma avaliação são consistentes, ou seja, se irão sofrer alterações por serem avaliados em dias diferentes. De facto, é importante confirmar não só a validade dos protocolos e equipamentos utilizados, mas também a repetibilidade, isto é, quão repetível serão as variáveis avaliadas (Costa et al., 2012; Evans & Rose, 1988). A análise da repetibilidade irá melhorar a confiabilidade dos dados (Barker, 2011), sendo de importante relevância repetir o teste num curto período de tempo para verificar/compreender a consistência do desempenho do nadador.

Esta dissertação tem como objetivo replicar um protocolo incremental intermitente na técnica de crol em dias diferentes (com dois a três dias de intervalo), observando o comportamento das variáveis cardiorrespiratórias ($\dot{V}O_2$ absoluto e relativo, $\dot{V}CO_2$, VC, $\dot{V}E$, FR, R, concentrações fracionadas de O_2 e CO_2 expirados [FeO_2 e $FeCO_2$, respectivamente]), metabólica ($[La^-]$) e biomecânicas (v, FG e DC). Colocou-se como hipótese a existência de repetibilidade das variáveis em estudo durante o protocolo incremental intermitente.

2. Material e métodos

Caracterização da amostra

Participaram neste estudo voluntariamente dezoito nadadores (16 do sexo masculino e 2 do sexo feminino) com idades compreendidas entre os 20 e 60 anos (36.28 ± 14.07), massa corporal 73.56 ± 10.81 kg, altura 175.72 ± 8.25 cm, pontos FINA 400 m crol 274.00 ± 117.75 , com três a quatro treinos semanais, 1 h e 30 min por treino e 12 anos de prática. O protocolo experimental foi realizado de acordo com a Declaração de Helsínquia, segundo aprovação do comité de ética da instituição de Ensino Superior. A todos nadadores foram comunicados os procedimentos experimentais e os eventuais riscos, tendo sido preenchido um consentimento informado.

Metodologia

O protocolo de avaliação decorreu na piscina da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto (FADEUP) que apresenta 25 m de comprimento e 1.80 m de profundidade, com temperaturas da água e do ar de ~ 27.5 e $\sim 26.0^\circ$ C (respetivamente) e níveis de humidade de $\sim 65\%$. Os nadadores começaram por realizar um aquecimento de 600 m a uma intensidade baixa a moderada (Fernandes et al., 2010) e, posteriormente, cada participante executou, com 48 a 72 h de intervalo, duas repetições de 7 x 200 m, com incrementos de $0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ com 30 s de intervalo entre cada patamar (Figura 2; Pyne et al., 2001; Fernandes et al., 2003). Foi utilizada a técnica de crol, sendo que as partidas se efetuaram dentro de água e para a realização das viragens utilizou-se a técnica aberta sem deslize subaquático (Fernandes et al., 2011).

A velocidade do último patamar determinou-se de acordo com o melhor tempo no momento aos 400 m livres em piscina de 25 m e, de seguida, subtraíram-se seis incrementos de velocidade sucessivos para determinar o tempo alvo de cada patamar, permitindo assim a determinação da velocidade média alvo para cada 200 m (de Jesus et al., 2015). Para manter as velocidades predefinidas, foi utilizado um *pacer* visual (Figura 3; Pacer2Swim, KulzerTEC, Aveiro, Portugal) com uma luz a cada 1 m localizado no fundo da piscina. A cronometragem foi

realizada manualmente através de um cronómetro digital (Finis, Inc., California, USA) por utilizadores experientes.

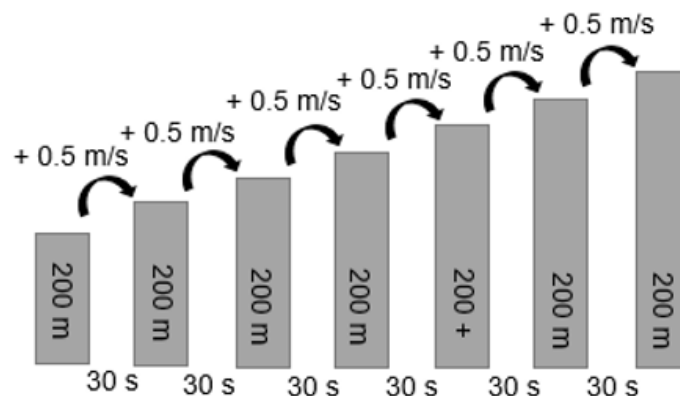


Figura 2 - Protocolo incremental intermitente adaptado de Pyne et al. (2001) e Fernandes et al. (2003).

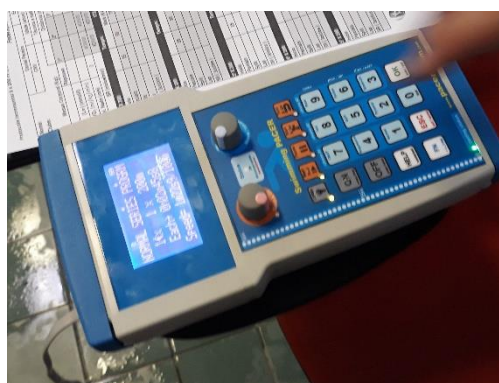


Figura 3 - Pacer visual (Pacer2Swim, KulzerTEC, Aveiro, Portugal).

A avaliação das variáveis cardiorrespiratórias efetuou-se a respiração a respiração através de analisadores de gases portáteis (Figura 4) suspensos num cabo de aço a 2 m da superfície da água e conectados ao nadador através de um *snorkel* respiratório (Aquatrainer®, Cosmed, Roma, Itália; Ribeiro et al., 2016). Cada nadador efetuou as avaliações com os diferentes equipamentos de forma randomizada, sendo que ambos, assim como o *snorkel* respiratório, se encontram validados (Baldari et al., 2012; Perez-Suarez et al., 2018; Ribeiro et al., 2016). Previamente a cada sessão de avaliação o analisador de gases e a turbina foram calibrados com concentrações de gases conhecidas (16% oxigénio [O₂] e 5% dióxido de carbono [CO₂]) e com uma seringa de 3 L (respetivamente).

Para a avaliação das $[La^-]$ foram coletadas amostras de sangue capilar através de um doseador portátil (Lactate Pro, Arkay, Inc., Kyoto, Japão) durante os 30 s de intervalo entre patamares, no final do protocolo e ao 1º, 3º, 5º e 7º min de período de recuperação após o último patamar (até que os valores máximos de $[La^-]$ fossem atingidos).

A análise das variáveis cardiorrespiratórias foi feita utilizando os últimos 30 s de cada patamar, incluindo-se os valores de cada variável compreendidos entre a média ± 4 DP para diminuir o ruído existente entre respirações (devido a tosse, deglutição ou interrupções de sinal; Özyener et al., 2001; Sousa et al., 2014). Para a delimitação dos domínios de intensidade foram utilizados (i) critérios fisiológicos primários, particularmente a ocorrência de um *plateau* nos valores de $\dot{V}O_2$ ($< 2.1 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; Taylor et al., 1955) e secundários, como elevados níveis de $[La^-]$ ($> 8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) e elevado R (≥ 1.15) e (ii) a curva lactatemia-velocidade (de Jesus et al., 2014; Howley et al., 1995). Os critérios primários e secundários permitiram identificar o $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ e a velocidade mínima de nado à qual ocorre ($v\dot{V}O_{2\text{máx}}$; Hill & Lupton, 1923), correspondendo à intensidade severa.

Através da curva lactatemia-velocidade foi determinado o limiar anaeróbio metabólico (LAN_{Met} ; Figura 5) e a velocidade correspondente ($vLAN_{\text{Met}}$) através do ponto de interseção de uma regressão linear e outra exponencial determinado pelo método dos mínimos quadrados (Fernandes et al., 2011; Machado et al., 2006). Este ponto delimita superiormente a intensidade baixa a moderada na qual se verifica uma estabilização no comportamento do $\dot{V}O_2$ após um aumento rápido e baixas variações nas $[La^-]$. Por outro lado, o domínio de intensidade pesada é delimitado inferiormente por este valor, caracterizando-se por aumentos nos valores de $\dot{V}O_2$ e nas $[La^-]$ (Burnley & Jones, 2007; Fernandes et al., 2003). Para a determinação do LAN_{Vent} relacionou-se a $\dot{V}E$ à velocidade de nado em cada patamar, através da interseção de uma regressão linear e outra exponencial (Ribeiro et al., 2015).

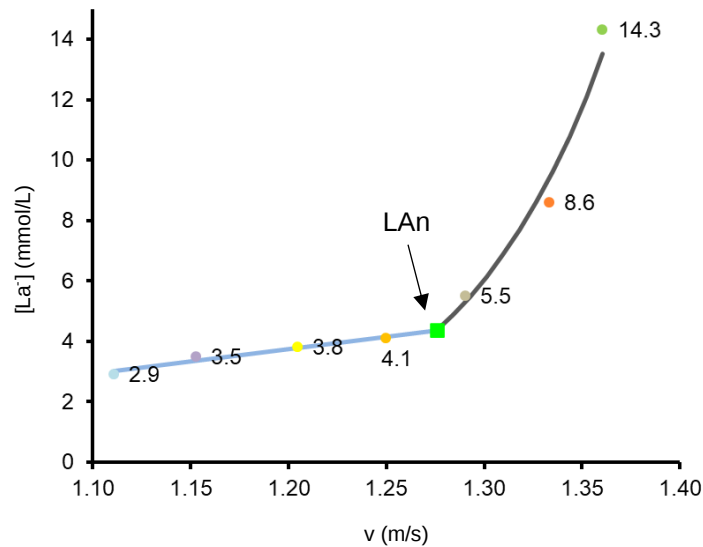


Figura 4 - Exemplo de determinação do limiar anaeróbio de um nadador determinado através de uma regressão linear e uma exponencial. [La⁻] – concentrações de lactato sanguíneas; v – velocidade; LAn – limiar anaeróbio.

A FG foi calculada manualmente utilizando um cronómetro digital com um cronofrequencímetro (Finis, Inc., Califórnia, USA) através da contagem dos ciclos dos membros superiores realizados pelo nadador por minuto, permitindo a sua análise a cada três ciclos de nado. A DC foi calculada a partir da razão entre a velocidade e a FG (Equação 2; Craig & Pendergast, 1979):

Equação 2
$$DC = v \cdot FG^{-1}.$$

O OUE foi determinado a partir do declive da relação linear entre o $\dot{V}O_2$ e o logaritmo da $\dot{V}E$ ($\log \dot{V}E$). Um declive mais acentuado da reta corresponde a um maior valor de $\dot{V}O_2$ durante o exercício, pelo que este índice representa a eficiência da $\dot{V}E$ em relação ao $\dot{V}O_2$ (Figura 5; Akkerman et al., 2010; Baba et al., 1996).

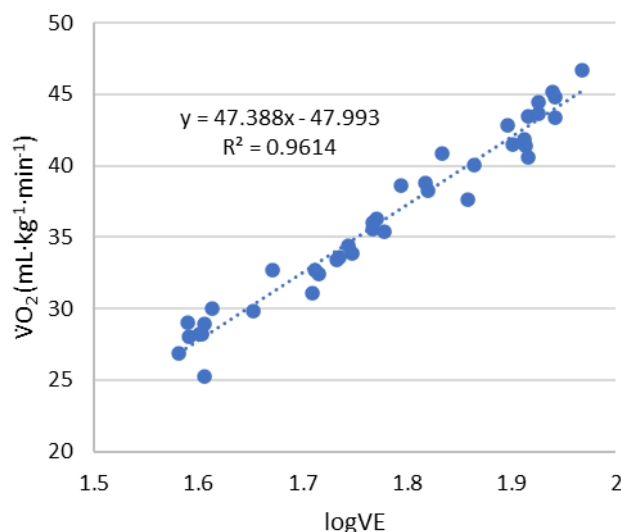


Figura 5 - Representação gráfica da eficiência do consumo de oxigênio.

O dispêndio energético ($\dot{E}$) de cada patamar foi calculado através da adição dos valores “net” de $\dot{V}O_2$ (diferença entre o valor médio do último min de exercício e o valor de repouso) e os valores resultantes da transformação das $[La^-]$ “net” (diferença entre dois patamares consecutivos) em equivalentes de O_2 , utilizando-se a constante de proporcionalidade de $2.7 \text{ mL}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$ (di Prampero et al., 1978). A contribuição energética dos fosfatos de alta energia foi considerada negligenciável (Fernandes et al., 2006; Thevelein et al., 1984). O custo energético (C) foi determinado pelo $\dot{E}$ associado a uma determinada velocidade de deslocamento em cada patamar do protocolo incremental (Barbosa et al., 2005; Fernandes et al., 2006).

A análise estatística dos dados foi realizada na versão 26.0 do programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Na análise exploratória foram determinados os valores médios $\pm$ desvio padrão (DP) de todas as variáveis em estudo e foram verificados os pressupostos de normalidade através do teste Shapiro-Wilk. Posteriormente foi aplicado o Teste-T de medidas repetidas para a comparação dos valores das diferentes variáveis entre momentos de avaliação. O coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de correlação intraclasse (CCI < 0.40 pobre, 0.40 a 0.75 bom e > 0.75 excelente; Fleiss, 1986) permitiram quantificar o grau de associação e fiabilidade

entre os momentos e respectivos patamares (respetivamente) das variáveis analisadas.

Adicionalmente foi calculado o tamanho do efeito (Cohen's D) em que um tamanho de efeito de 0.0 a 0.19 foi considerado insignificante, 0.2 a 0.59 pequeno, 0.6 a 1.19 moderado, 1.2 a 1.99 grande, 2.0 a 3.99 muito grande e > 4.0 quase perfeito (Hopkins, 2002). Para detetar a extensão da variabilidade em relação ao desempenho médio das variáveis fisiológicas e biomecânicas analisadas foi calculado o coeficiente de variação (CV). Complementarmente, foi realizada a análise de concordância de Bland-Altman (1986) para avaliar a concordância entre os momentos de avaliação através dos limites de concordância (média $\pm$ 1.96 DP) e reta de regressão para avaliar a repetibilidade. Para todos os procedimentos estatísticos foi estabelecido um nível de significância de 5%.

3. Resultados

Os valores médios $\pm$ DP das variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas avaliadas durante o protocolo incremental intermitente nos momentos um e dois (M1 e M2, respectivamente) encontram-se descritos na Tabela 1. Pode-se observar um comportamento incremental devido ao aumento da velocidade ao longo dos patamares, em ambos os momentos, existindo repetibilidade ao longo dos patamares, exceto no patamar 7 ($p = 0.01$). O aumento da intensidade de nado estimula o incremento de determinadas variáveis, como as $[La^-]$, FG, $\dot{V}O_2$ absoluto e relativo, $\dot{V}CO_2$, VC, $\dot{V}E$, FR, R e FeO_2 e a diminuição da $FeCO_2$.

Verificou-se também, que os valores de $\dot{V}O_2$ absoluto não apresentaram diferenças entre momentos nos patamares 1, 2, 4 e 6 ($t = -0.18, 0.90, -0.15$ e -1.41 , respectivamente; $p > 0.18$), tal como nos valores de $\dot{V}O_2$ relativo ($t = -0.13, 0.53, -0.87$ e -1.44 , respectivamente; $p > 0.17$). No $\dot{V}CO_2$ observou-se repetibilidade nos patamares 1, 2 e 4 ($t = -0.71, -1.17$ e -1.97 , respectivamente; $p > 0.07$). O VC demonstrou repetibilidade nos patamares 1, 2, 3, 4 e 7 ($t = 0.37, -0.68, 0.37, -1.93$ e 1.79 , respectivamente; $p > 0.07$), a FR nos patamares 1, 2, 3 e 7 ($t = 2.11, 2.65, 1.49$ e -0.68 , respectivamente; $p > 0.11$), o R nos patamares 1, 2 e 3 ($t = 0.59, 0.88$ e 0.74 , respectivamente; $p > 0.47$), as FeO_2 foi repetível nos patamares 1, 2, 4, 5 e 7 ($t = 1.01, 1.14, 2.01, 1.76$ e 1.23 , respectivamente; $p > 0.06$) e a $FeCO_2$ apenas no patamar 1 ($t = -1.45$; $p = 0.17$). Quanto às variáveis biomecânicas, a FG foi repetível em todos os patamares exceto no patamar 2 ($t = 2.40$; $p = 0.03$). E por fim os valores das $[La^-]$ apresentaram repetibilidade nos patamares 1, 3, 5, 6 e 7 ($t = 2.11, 1.49, 0.36, 0.07$ e -0.68 , respectivamente; $p > 0.05$). Na variável biomecânica DC e na variável cardiorrespiratória $\dot{V}E$ existiu repetibilidade ao longo de todo o protocolo incremental intermitente ($p > 0.09$ e $p > 0.07$, respectivamente).

Tabela 1 - Valores médios $\pm$ DP das variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas obtidos durante os dois momentos do protocolo incremental intermitente.

Variáveis	M1 P1	M2 P1	M1 P2	M2 P2	M1 P3	M2 P3	M1 P4	M2 P4
v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0.91 $\pm$ 0.13	0.90 $\pm$ 0.13	0.95 $\pm$ 0.13	0.95 $\pm$ 0.13	1.00 $\pm$ 0.13	1.00 $\pm$ 0.14	1.04 $\pm$ 0.13	1.04 $\pm$ 0.13
[La ⁻] ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	3.5 $\pm$ 0.9	3.0 $\pm$ 0.7	3.6 $\pm$ 1.2*	3.0 $\pm$ 0.8	4.0 $\pm$ 1.4	3.6 $\pm$ 1.2	4.6 $\pm$ 1.3*	4.2 $\pm$ 1.3
FG ($\text{ciclo}\cdot\text{min}^{-1}$)	24.5 $\pm$ 3.1	24.4 $\pm$ 2.9	25.8 $\pm$ 3.1*	24.9 $\pm$ 2.7	26.8 $\pm$ 3.4	26.5 $\pm$ 3.3	28.1 $\pm$ 3.4	27.8 $\pm$ 3.3
DC ($\text{m}\cdot\text{ciclo}^{-1}$)	2.23 $\pm$ 0.25	2.23 $\pm$ 0.25	2.21 $\pm$ 0.25	2.28 $\pm$ 0.23	2.22 $\pm$ 0.23	2.24 $\pm$ 0.24	2.22 $\pm$ 0.22	2.24 $\pm$ 0.20
$\dot{V}\text{O}_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	2132.0 $\pm$ 427.0	2135.9 $\pm$ 439.6	2325.2 $\pm$ 475.6	2305.3 $\pm$ 451.2	2461.0 $\pm$ 473.9*	2520.6 $\pm$ 466.0	2670.8 $\pm$ 541.7	2675.5 $\pm$ 492.5
$\dot{V}\text{O}_2$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$)	29.5 $\pm$ 5.0	29.5 $\pm$ 5.00	31.6 $\pm$ 6.0	31.4 $\pm$ 6.0	34.1 $\pm$ 5.7*	34.6 $\pm$ 5.6	36.3 $\pm$ 6.1	36.6 $\pm$ 6.1
$\dot{V}\text{CO}_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	1796.89 $\pm$ 354.51	1822.56 $\pm$ 366.38	2019.02 $\pm$ 450.99	2076.73 $\pm$ 433.06	2161.73 $\pm$ 440.06*	2275.23 $\pm$ 424.98	2376.02 $\pm$ 475.64	2497.01 $\pm$ 478.94
VC (ml)	2277.49 $\pm$ 535.18	2251.64 $\pm$ 541.13	2297.45 $\pm$ 742.86	2409.96 $\pm$ 576.04	2390.87 $\pm$ 461.05	2373.08 $\pm$ 496.54	2357.65 $\pm$ 457.48	2510.03 $\pm$ 506.37
$\dot{V}\text{E}$ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	53.4 $\pm$ 11.9	52.3 $\pm$ 12.5	60.6 $\pm$ 13.6	59.1 $\pm$ 15.1	68.6 $\pm$ 12.5	66.6 $\pm$ 15.1	75.2 $\pm$ 15.4	73.2 $\pm$ 16.1
FR ($\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$)	24.48 $\pm$ 5.73	24.03 $\pm$ 5.67	25.72 $\pm$ 5.20*	25.27 $\pm$ 4.88	29.15 $\pm$ 5.51	28.79 $\pm$ 5.60	31.61 $\pm$ 5.60*	30.04 $\pm$ 6.08
R	0.84 $\pm$ 0.08	0.86 $\pm$ 0.06	0.87 $\pm$ 0.10	0.90 $\pm$ 0.06	0.88 $\pm$ 0.09	0.91 $\pm$ 0.05	0.89 $\pm$ 0.08*	0.93 $\pm$ 0.05
FeO ₂ (%)	16.12 $\pm$ 0.66	16.02 $\pm$ 0.69	16.32 $\pm$ 0.62	16.18 $\pm$ 0.74	16.60 $\pm$ 0.54*	16.35 $\pm$ 0.74	16.63 $\pm$ 0.66	16.47 $\pm$ 0.69
FeCO ₂ (%)	4.25 $\pm$ 0.71	4.36 $\pm$ 0.62	4.16 $\pm$ 0.64*	4.39 $\pm$ 0.63	3.95 $\pm$ 0.64*	4.27 $\pm$ 0.69	3.94 $\pm$ 0.66*	4.19 $\pm$ 0.55

Variáveis	M1 P5	M2 P5	M1 P6	M2 P6	M1 P7	M2 P7
v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1.09 $\pm$ 0.12	1.09 $\pm$ 0.12	1.13 $\pm$ 0.12	1.13 $\pm$ 0.12	1.18 $\pm$ 0.11*	1.20 $\pm$ 0.12
[La ⁻] ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	5.4 $\pm$ 1.6	5.3 $\pm$ 1.6	7.1 $\pm$ 2.1	7.1 $\pm$ 2.7	11.8 $\pm$ 3.7	12.3 $\pm$ 4.3
FG ($\text{ciclo}\cdot\text{min}^{-1}$)	29.4 $\pm$ 3.2	29.4 $\pm$ 3.6	31.5 $\pm$ 3.3	31.6 $\pm$ 3.4	34.2 $\pm$ 3.3	34.6 $\pm$ 3.2
DC ($\text{m}\cdot\text{ciclo}^{-1}$)	2.22 $\pm$ 0.27	2.23 $\pm$ 0.23	2.16 $\pm$ 0.25	2.15 $\pm$ 0.23	2.08 $\pm$ 0.25	2.08 $\pm$ 0.22
$\dot{V}\text{O}_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	2836.9 $\pm$ 485.2*	2896.6 $\pm$ 485.8	3013.1 $\pm$ 509.4	3063.2 $\pm$ 506.7	3195.1 $\pm$ 525.4*	3276.2 $\pm$ 508.3
$\dot{V}\text{O}_2$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$)	38.9 $\pm$ 6.3*	39.8 $\pm$ 6.5	41.7 $\pm$ 6.1	42.4 $\pm$ 6.0	43.7 $\pm$ 6.2*	44.8 $\pm$ 5.7
$\dot{V}\text{CO}_2$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	2523.14 $\pm$ 432.27*	2751.69 $\pm$ 467.02	2699.76 $\pm$ 400.36*	2947.14 $\pm$ 537.94	2882.65 $\pm$ 516.71*	3278.96 $\pm$ 540.07
VC (ml)	2405.37 $\pm$ 416.47*	2577.41 $\pm$ 500.95	2388.48 $\pm$ 417.81*	2479.19 $\pm$ 491.65	2465.81 $\pm$ 482.91	2399.63 $\pm$ 472.16
$\dot{V}\text{E}$ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	86.1 $\pm$ 15.9	84.8 $\pm$ 16.4	99.0 $\pm$ 16.6	94.7 $\pm$ 18.0	111.4 $\pm$ 14.4	111.5 $\pm$ 12.4
FR ($\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$)	36.25 $\pm$ 7.59*	33.82 $\pm$ 6.35	42.19 $\pm$ 7.89*	39.55 $\pm$ 9.09	46.31 $\pm$ 8.39	48.18 $\pm$ 8.17
R	0.89 $\pm$ 0.08*	0.95 $\pm$ 0.06	0.90 $\pm$ 0.09*	0.96 $\pm$ 0.08	0.92 $\pm$ 0.11*	1.00 $\pm$ 0.06
FeO ₂ (%)	16.88 $\pm$ 0.76	16.71 $\pm$ 0.79	17.18 $\pm$ 0.85*	16.93 $\pm$ 0.80	17.40 $\pm$ 0.66	17.31 $\pm$ 0.58
FeCO ₂ (%)	3.72 $\pm$ 0.73*	4.08 $\pm$ 0.71	3.47 $\pm$ 0.79*	3.89 $\pm$ 0.67	3.36 $\pm$ 0.72*	3.65 $\pm$ 0.63

Legenda: M1: primeiro momento de avaliação; M2: segundo momento de avaliação; P1 a P7: patamar 1 a patamar 7 respetivamente; v: velocidade; [La⁻]: concentrações de lactato sanguíneo; FG: frequência gestual; DC: distância de ciclo; $\dot{V}\text{O}_2$: consumo de oxigénio; $\dot{V}\text{CO}_2$: produção de dióxido de carbono; VC: volume corrente; VE: ventilação; FR: frequência respiratória; R: quociente respiratório; FeO₂: concentração expiratória média de oxigénio; FeCO₂: concentração expiratória de dióxido de carbono; * p < 0.05 entre o M1 e M2 do respetivo patamar.

Complementarmente, os valores de $\dot{V}O_2$ (relativo e absoluto), $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$, FR, FeO_2 e $FeCO_2$ apresentaram uma relação positiva forte a muito forte e um CCI excelente entre os momentos de avaliação ao longo de todo o protocolo ($0.75 \leq r \leq 0.98$; $0.82 \leq CCI \leq 0.98$; $0.20 \leq 95\% \text{ IC} \leq 1.00$; $p < 0.001$). O mesmo se observou nas variáveis biomecânicas: velocidade, FG e DC ($0.76 \leq r \leq 1.00$; $0.85 \leq CCI \leq 1.00$; $0.58 \leq 95\% \text{ CI} \leq 1.00$; $p < 0.001$). O VC apresenta uma relação positiva moderada (patamar 2; $r = 0.52$; $CCI = 0.68$; $95\% \text{ IC} = 0.08 \text{ a } 0.89$ $p < 0.05$) a forte (restantes patamares; $0.78 \leq r \leq 0.96$; $0.85 \leq CCI \leq 0.97$; $0.44 \leq 95\% \text{ IC} \leq 0.99$; $p < 0.00$).

Contrariamente, os valores de $[La^-]$ apresentaram uma relação positiva fraca entre o M1 e M2 no patamar 5 ($r = 0.48$; $p < 0.05$), apesar de apresentam um bom CCI ($CCI = 0.66$; $95\% \text{ IC} = 0.07 \text{ a } 0.87$; $p < 0.05$), nos patamares 2, 3, 4 e 7 a relação é positiva moderada e o CCI de boa a excelente ($0.62 \leq r \leq 0.72$; $0.66 \leq CCI \leq 0.84$; $0.11 \leq 95\% \text{ IC} \leq 0.94$; $p < 0.05$), e não apresentou relação e CCI no patamar 1 e 6 ($-0.47 \leq 95\% \text{ IC} \leq 0.81$; $p > 0.05$). A variável R apenas apresentou relação positiva forte no patamar 1 ($r = 0.71$; $CCI = 0.82$; $95\% \text{ IC} = 0.50 \text{ a } 0.93$ $p < 0.001$). É possível observar a magnitude de efeito respectivo a cada patamar e o coeficiente de variação (CV) das respectivas variáveis com os momentos de avaliação e patamares nas Tabelas 2 e 3 (respectivamente).

Tabela 2 - Magnitude do efeito das respectivas variáveis e patamares.

Variáveis	P1		P2		P3		P4		P5	
	d	Efeito	d	Efeito	d	Efeito	d	Efeito	d	Efeito
v	0.25	Pequeno	0.05	Insignificante	0.14	Insignificante	0.27	Pequeno	-0.35	Pequeno
[La]	0.50	Moderado	0.63	Moderado	0.35	Pequeno	0.58	Pequeno	0.08	Insignificante
FG	0.10	Insignificante	0.57	Pequeno	0.23	Pequeno	0.29	Pequeno	0.02	Insignificante
DC	0.02	Insignificante	-0.43	Pequeno	-0.15	Insignificante	-0.18	Insignificante	-0.06	Insignificante
$\dot{V}O_2$	-0.04	Insignificante	0.22	Pequeno	-0.63	Moderado	-0.04	Insignificante	-0.67	Moderado
$\dot{V}O_2$	-0.03	Insignificante	0.13	Insignificante	-0.59	Pequeno	-0.21	Pequeno	-0.69	Moderado
$\dot{V}CO_2$	-0.17	Insignificante	-0.29	Pequeno	-0.53	Pequeno	-0.48	Pequeno	-0.84	Moderado
VC	0.09	Insignificante	-0.17	Insignificante	0.09	Insignificante	-0.47	Pequeno	-1.11	Moderado
VE	0.21	Pequeno	0.28	Pequeno	0.32	Pequeno	0.27	Pequeno	0.16	Insignificante
FR	0.14	Insignificante	0.22	Pequeno	0.15	Insignificante	0.67	Moderado	0.70	Moderado
R	0.14	Insignificante	0.22	Pequeno	0.18	Insignificante	0.67	Moderado	0.71	Moderado
FeO_2	0.24	Pequeno	0.28	Pequeno	0.68	Moderado	0.49	Pequeno	0.41	Pequeno
$FeCO_2$	-0.35	Pequeno	-0.75	Moderado	-0.83	Moderado	-0.64	Moderado	-0.92	Moderado

Variáveis	P6		P7	
	d	Efeito	d	Efeito
v	-0.29	Pequeno	-0.75	Moderado
[La]	0.02	Insignificante	-0.16	Insignificante
FG	-0.06	Insignificante	-0.24	Pequeno
DC	0.02	Insignificante	0.00	Insignificante
$\dot{V}O_2$	-0.34	Pequeno	-0.63	Moderado
$\dot{V}O_2$	-0.35	Pequeno	-0.62	Moderado
$\dot{V}CO_2$	-0.77	Moderado	-1.17	Moderado
VC	-0.59	Pequeno	0.42	Moderado
VE	0.48	Pequeno	-0.02	Insignificante
FR	0.60	Moderado	-0.38	Pequeno
R	0.71	Moderado	-0.41	Pequeno
FeO_2	0.77	Moderado	0.29	Pequeno
$FeCO_2$	-0.94	Moderado	-0.62	Moderado

Legenda: P1 a P7: patamar 1 a patamar 7 respetivamente; v: velocidade; [La-]: concentrações de lactato sanguíneo; FG: frequência gestual; DC: distância de ciclo; $\dot{V}O_2$: consumo de oxigénio; $\dot{V}CO_2$: produção de dióxido de carbono; VC: volume corrente; VE: ventilação; FR: frequência respiratória; R: quociente respiratório; FeO_2 : concentração expiratória média de oxigénio; $FeCO_2$: concentração expiratória de dióxido de carbono.

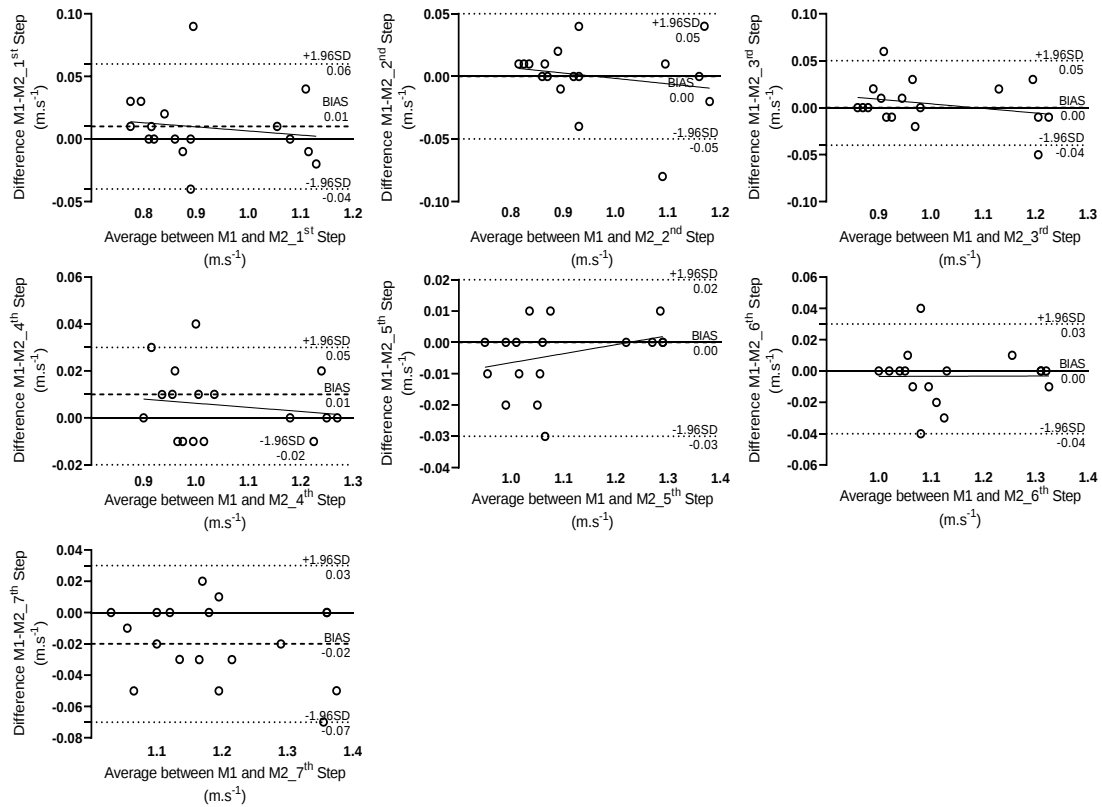
Tabela 3 - Coeficiente de variação (%) das respectivas variáveis e momentos de avaliação.

Variáveis	M1_P1	M2_P1	M1_P2	M2_P2	M1_P3	M2_P3	M1_P4	M2_P4	M1_P5	M2_P5	M1_P6	M2_P6	M1_P7	M2_P7
v	14.34	14.30	13.29	13.44	12.96	13.61	12.50	12.60	11.26	11.13	10.62	10.62	9.60	10.00
[La]	24.50	24.50	33.88	26.49	35.45	33.61	28.78	32.56	29.10	30.62	29.96	38.70	30.83	34.66
FG	12.56	11.97	11.99	10.86	12.50	12.55	12.20	11.97	11.01	12.36	10.55	12.12	9.61	9.21
DC	11.21	11.21	11.31	10.09	10.36	10.71	9.91	8.93	12.16	10.31	11.57	10.70	12.02	10.58
$\dot{V}O_2$	20.03	20.58	20.45	19.57	19.14	18.49	20.28	18.41	17.08	16.84	16.91	16.68	16.42	15.58
$\dot{V}O_2$	16.80	16.81	19.01	19.21	16.77	16.26	16.93	16.79	16.18	16.36	14.61	13.91	14.09	12.73
$\dot{V}CO_2$	19.73	20.10	22.34	20.85	20.36	18.68	20.02	19.18	17.13	17.12	14.83	18.45	21.50	16.45
VC	23.50	24.03	32.33	23.90	19.27	20.92	19.40	20.17	17.31	19.47	17.49	19.71	19.98	19.52
VE	22.31	23.92	22.49	25.58	18.29	22.65	20.51	21.96	18.45	19.16	16.78	19.28	12.95	11.48
FR	23.41	23.60	20.22	19.31	18.90	19.45	17.72	20.24	20.96	18.78	18.70	22.33	18.23	16.85
R	9.99	6.58	11.49	6.70	10.29	5.66	8.80	5.38	9.16	6.42	10.00	7.96	11.96	6.00
FeO ₂	4.09	4.31	3.80	4.57	3.25	4.53	3.97	4.19	4.50	4.73	4.95	4.91	3.79	3.35
FeCO ₂	16.71	14.25	15.38	14.35	16.20	16.16	16.75	13.13	19.62	17.40	22.77	17.90	21.56	17.26

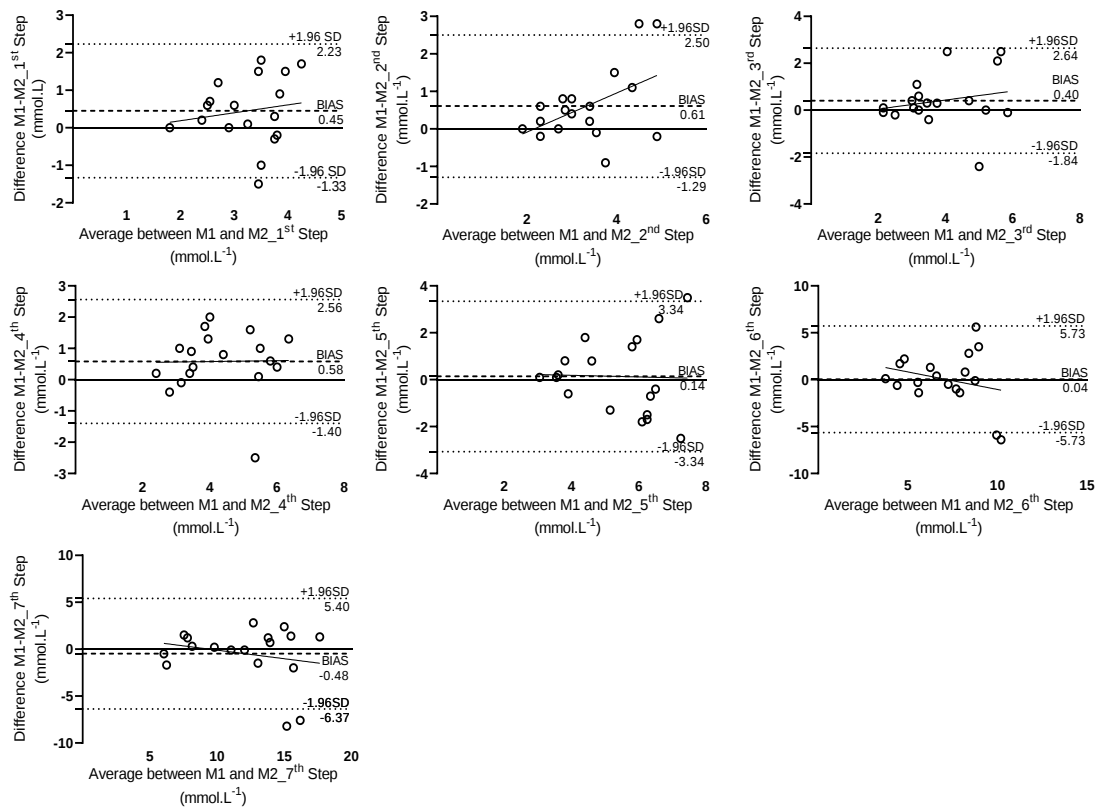
Legenda: M1: primeiro momento de avaliação; M2: segundo momento de avaliação; P1 a P7: patamar 1 a patamar 7 respectivamente; v: velocidade; [La-]: concentrações de lactato sanguíneo; FG: frequência gestual; DC: distância de ciclo; $\dot{V}O_2$: consumo de oxigênio; $\dot{V}CO_2$: produção de dióxido de carbono; VC: volume corrente; VE: ventilação; FR: frequência respiratória; R: quociente respiratório; FeO₂: concentração expiratória média de oxigênio; FeCO₂: concentração expiratória de dióxido de carbono.

Da mesma forma, os gráficos de Bland-Altman (Figura 6) revelaram uma distribuição consistente com todos os valores dentro dos limites de concordância, exceto nos declives das retas de regressão das $[La^-]$ no patamar 2 ($p = 0.04$), do R no patamar 3 e 7 ($p = 0.03$) e no VC no patamar 5 ($p = 0.02$), mostrando um erro sistemático.

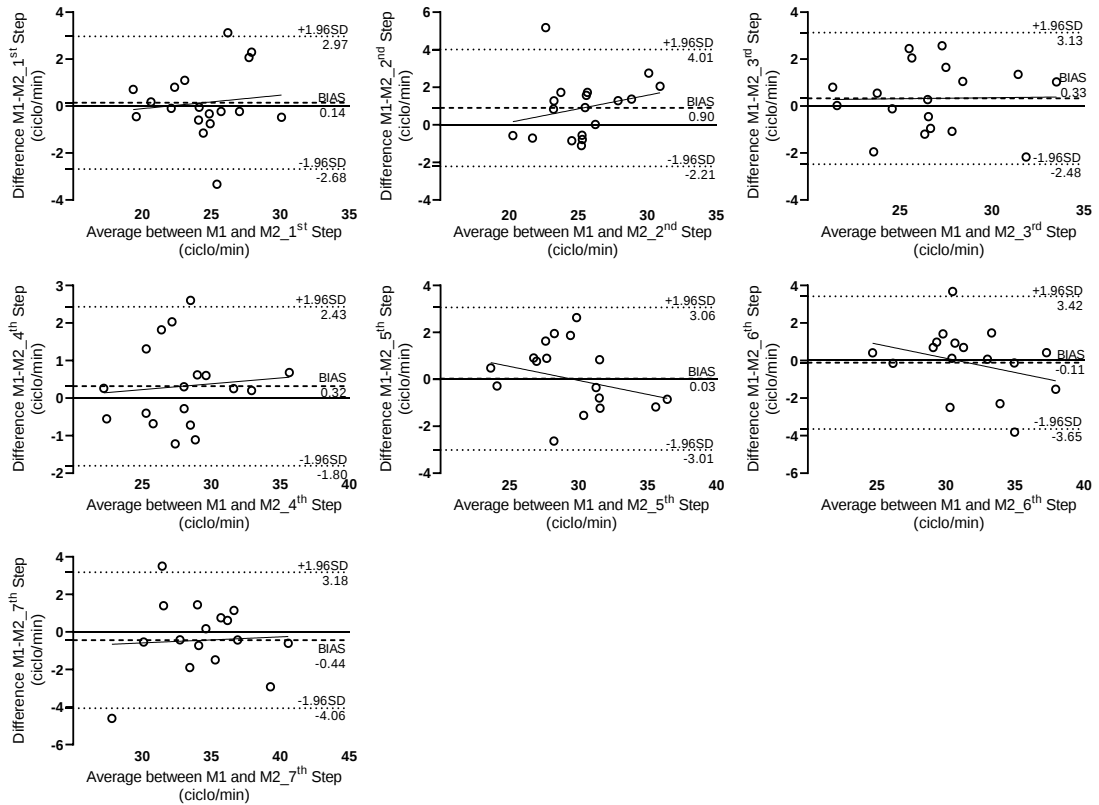
Velocidade



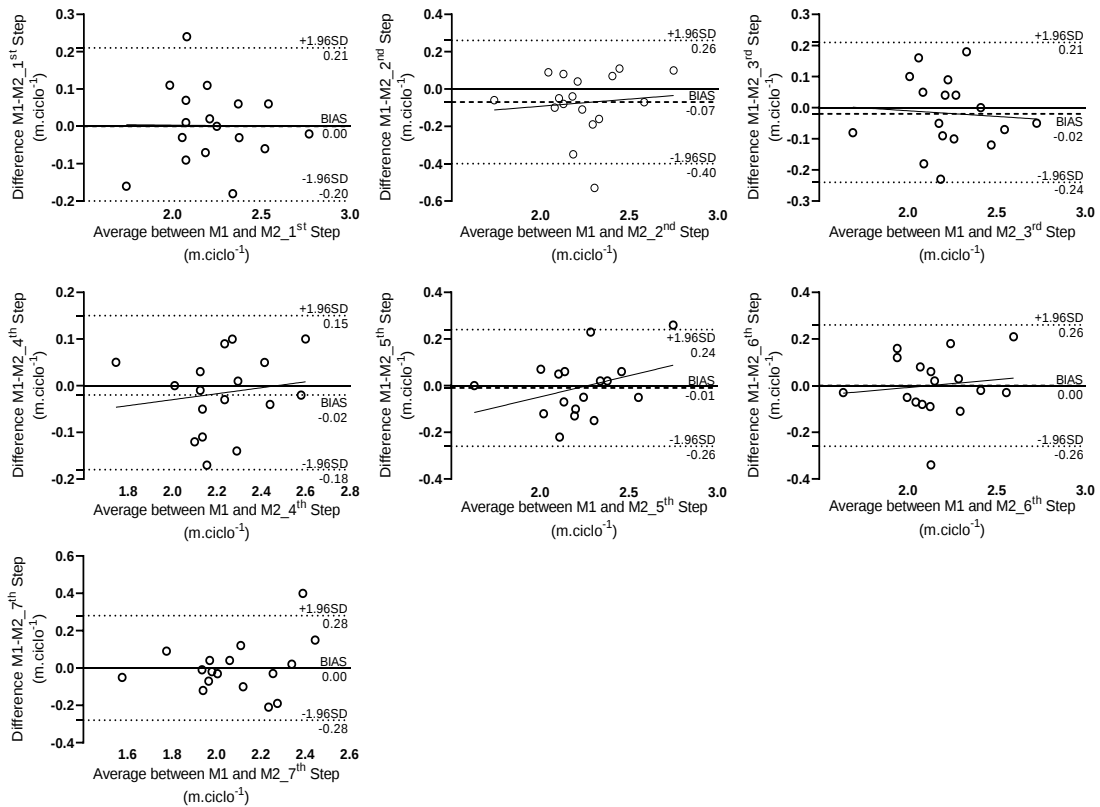
Concentrações de lactato sanguíneo



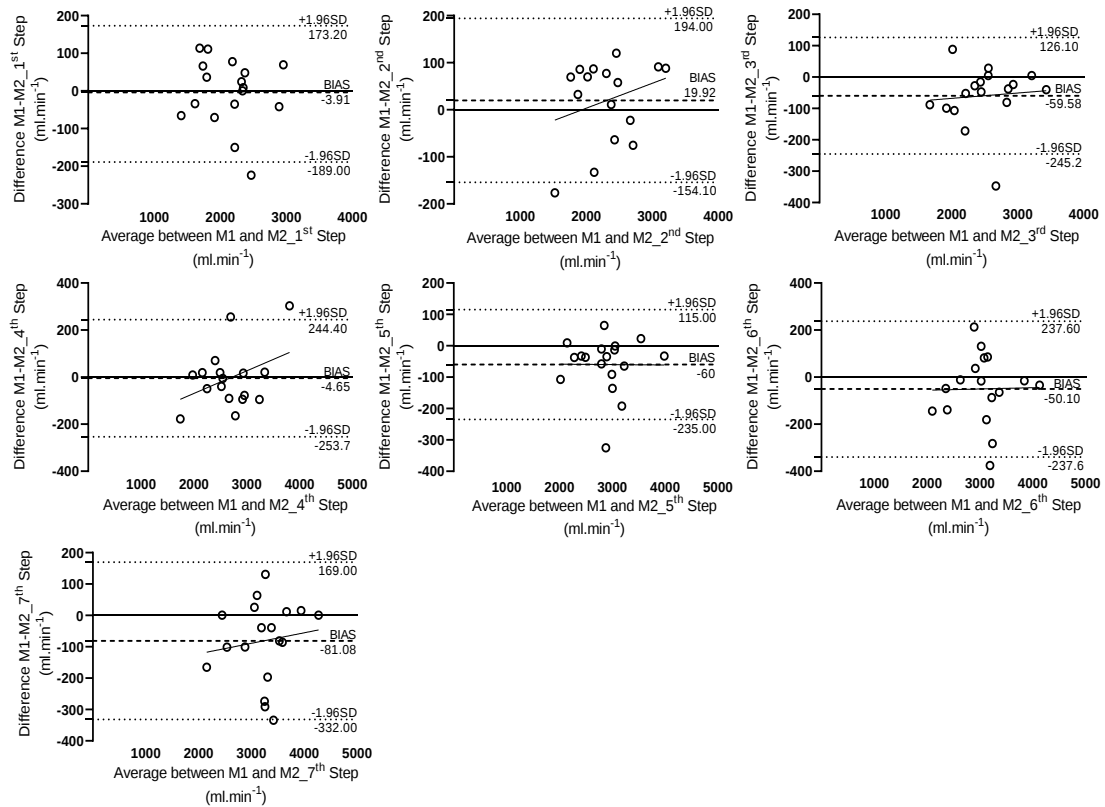
Frequência gestual



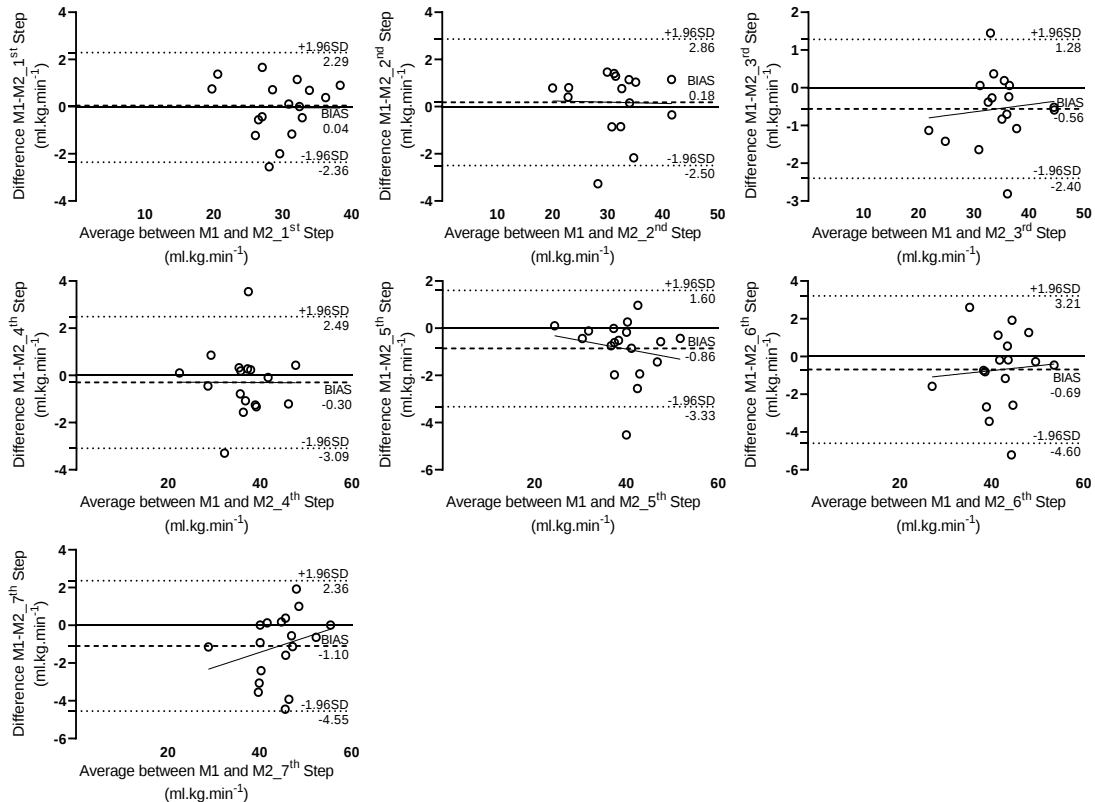
Distância de ciclo



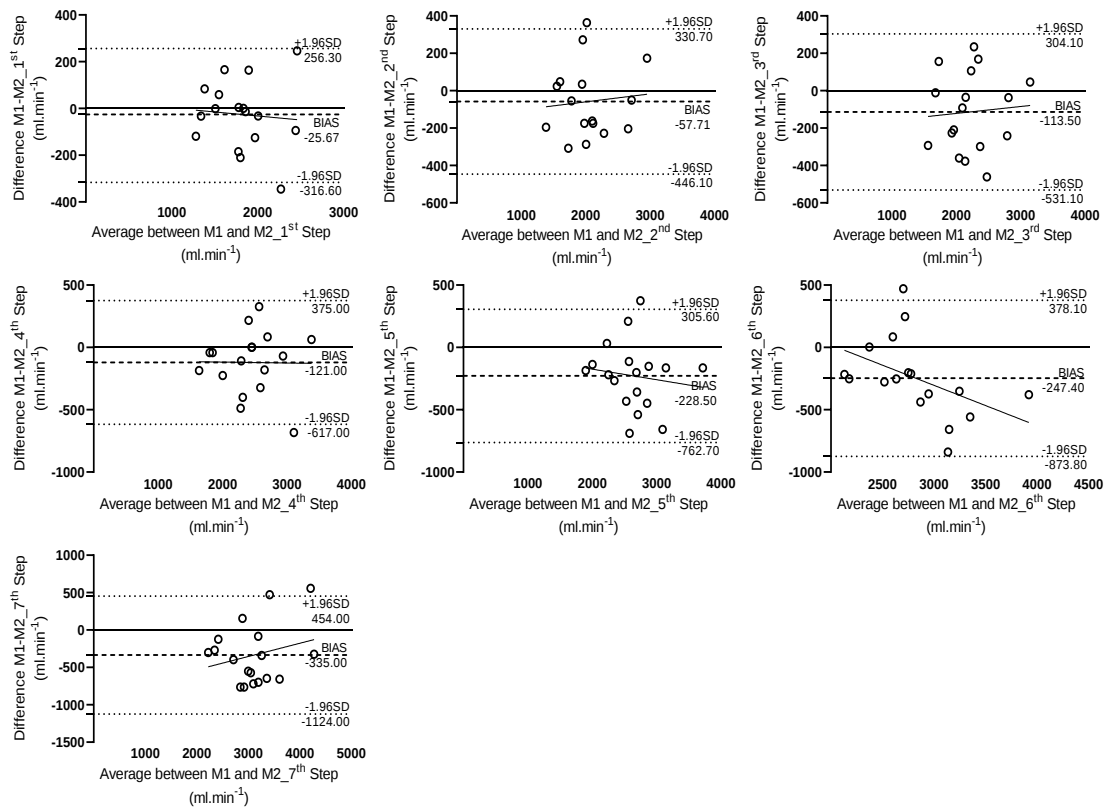
Consumo de oxigénio absoluto



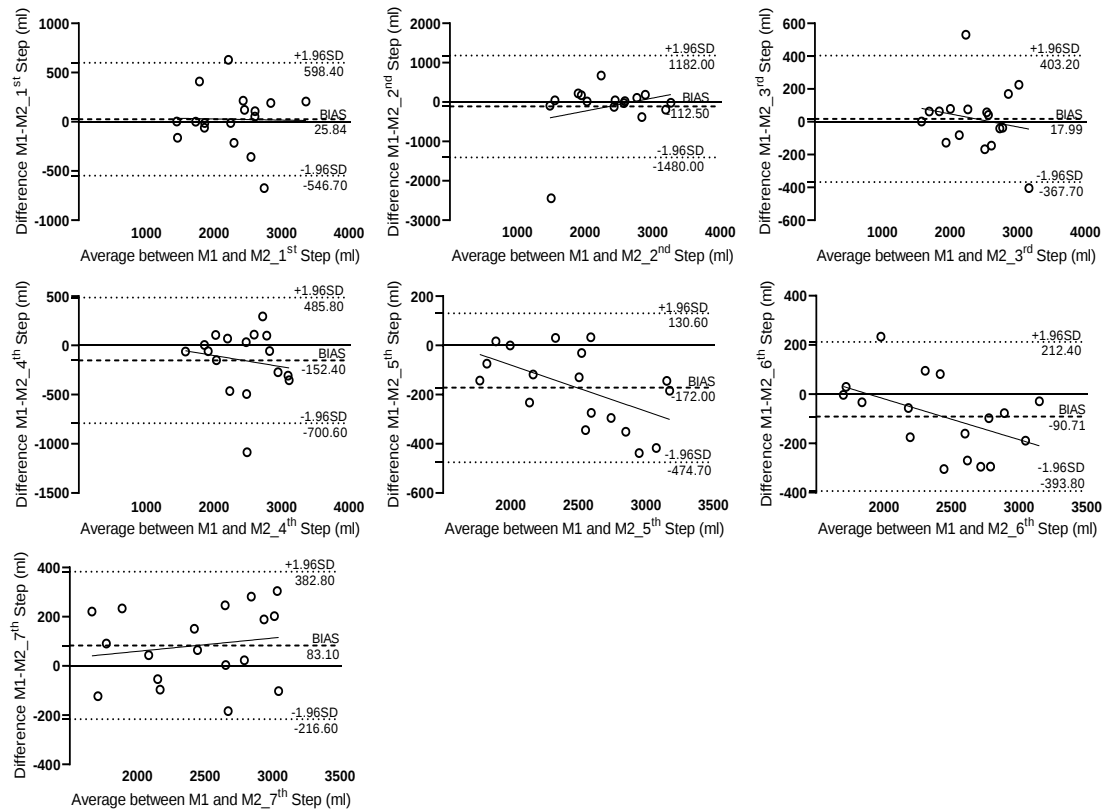
Consumo de oxigénio relativo



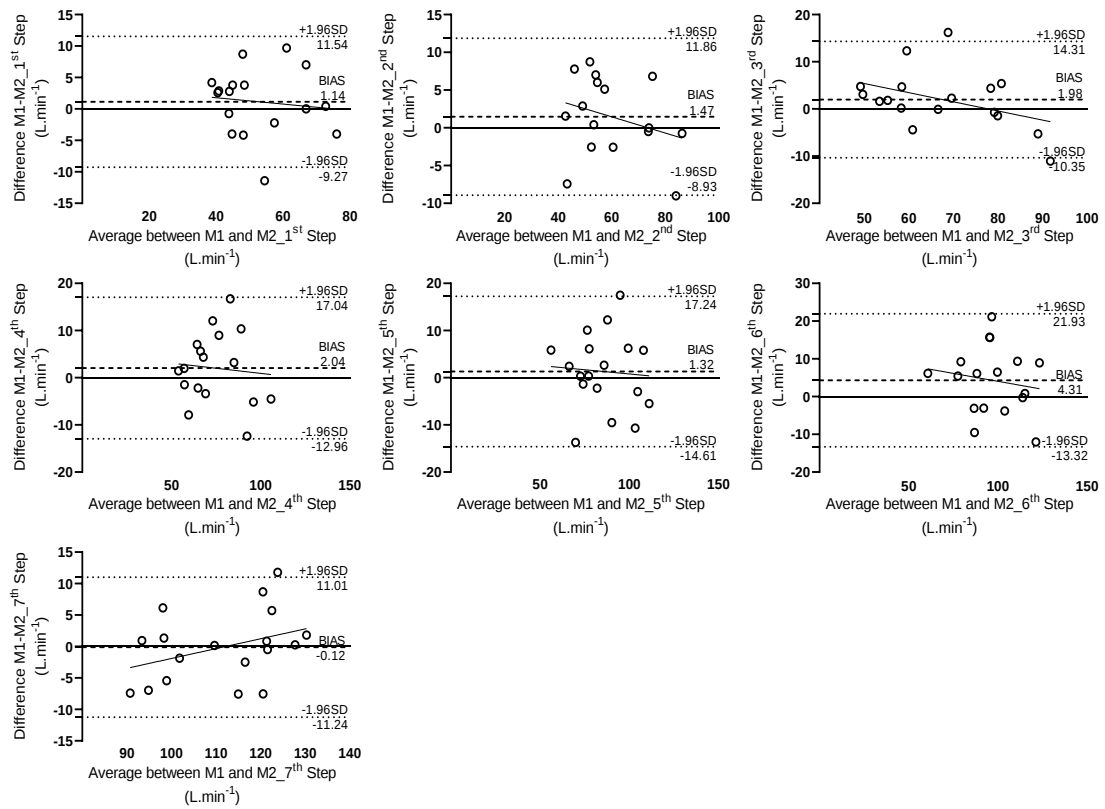
Produção de dióxido de carbono



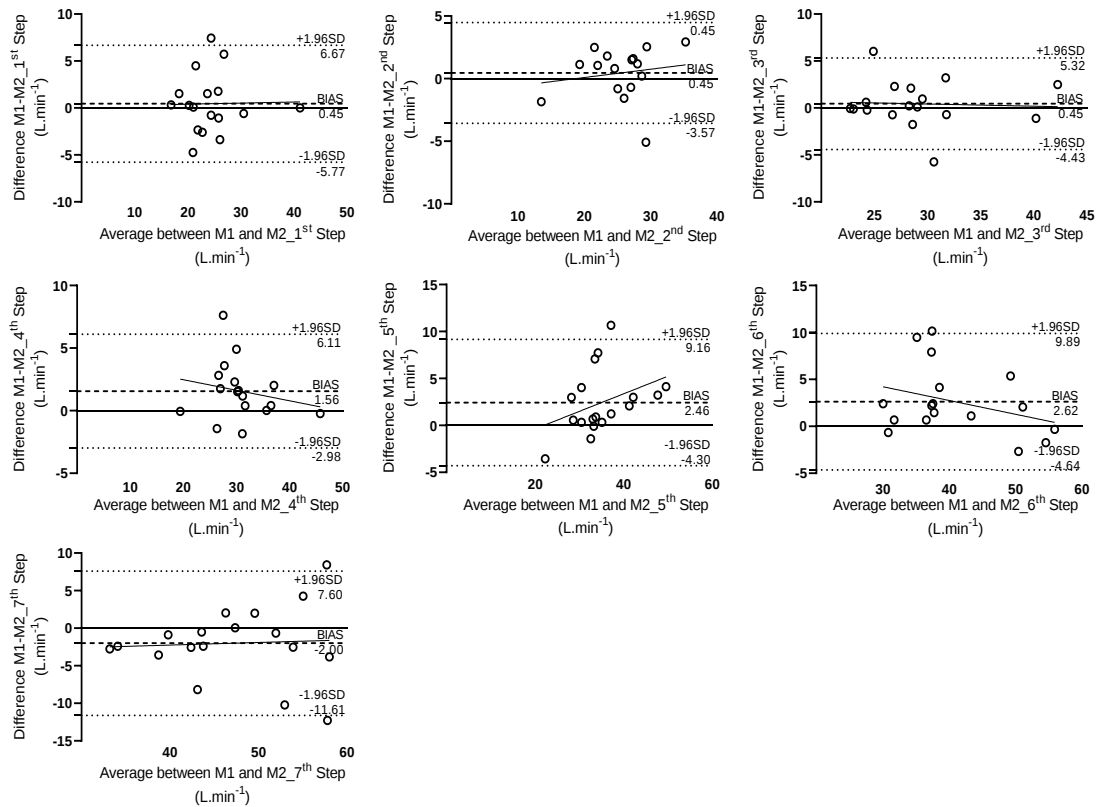
Volume corrente



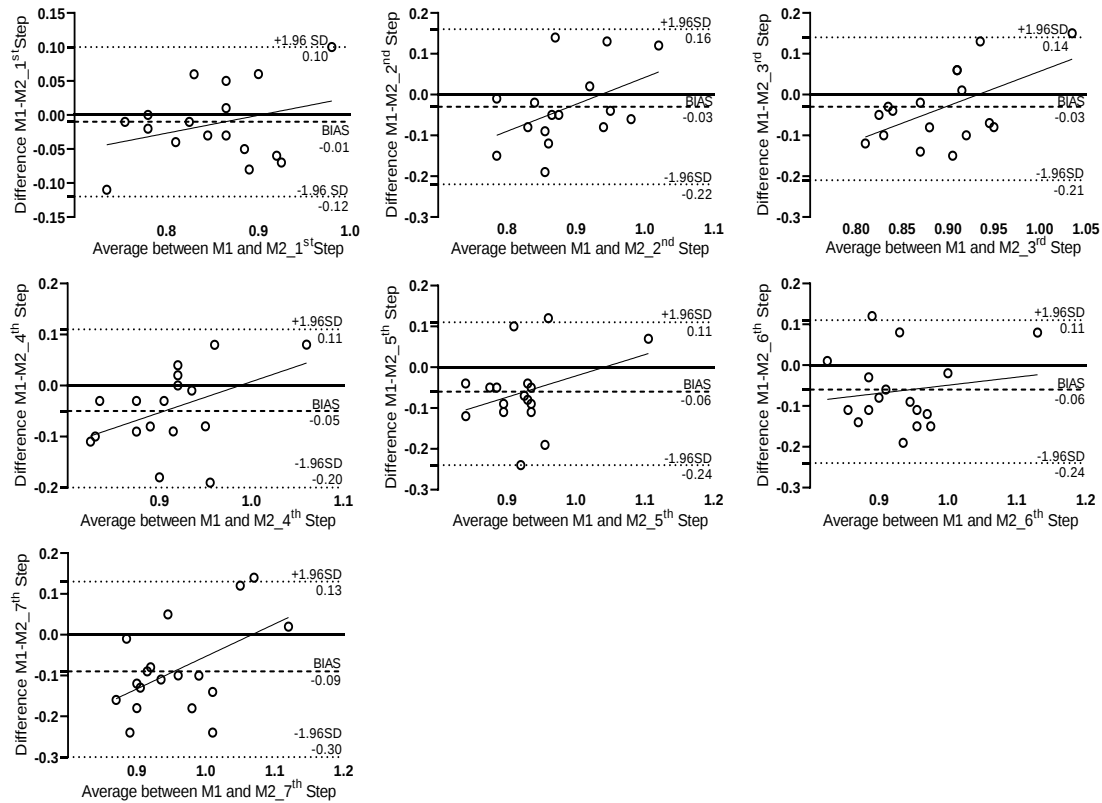
Ventilação



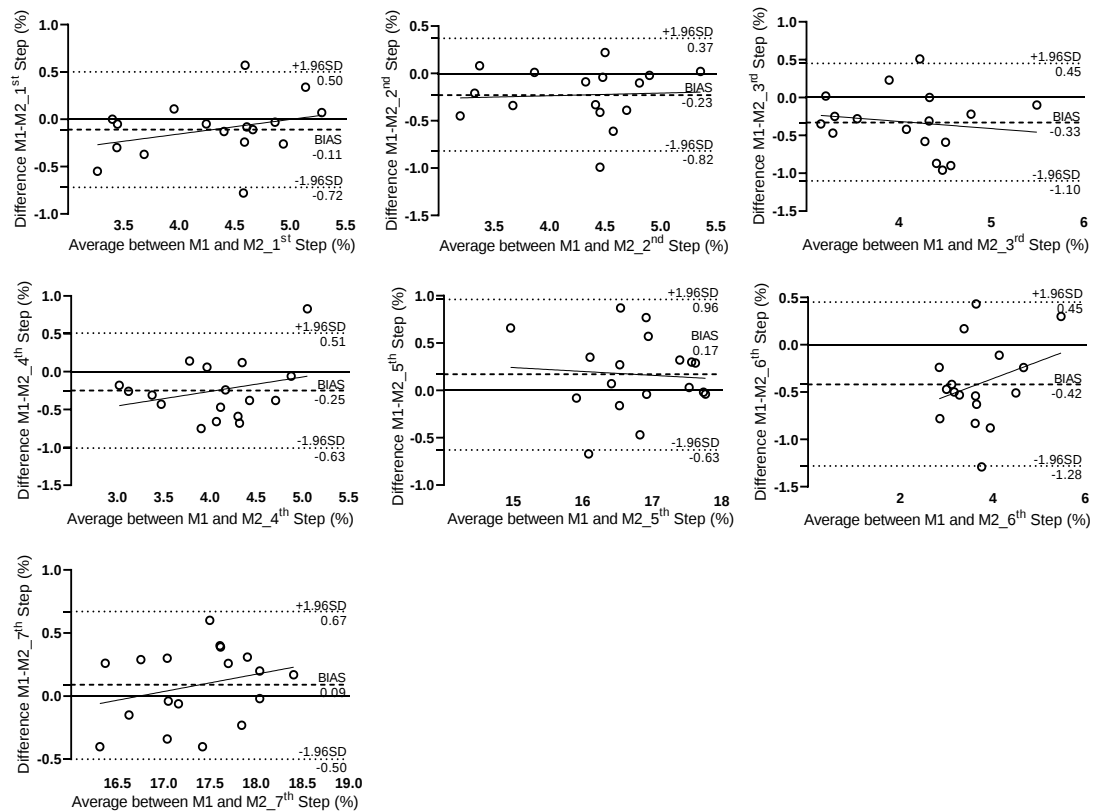
Frequência respiratória



Quociente respiratório



Concentrações fracionadas de oxigénio expirado



Concentrações fracionadas de dióxido de carbono expirado

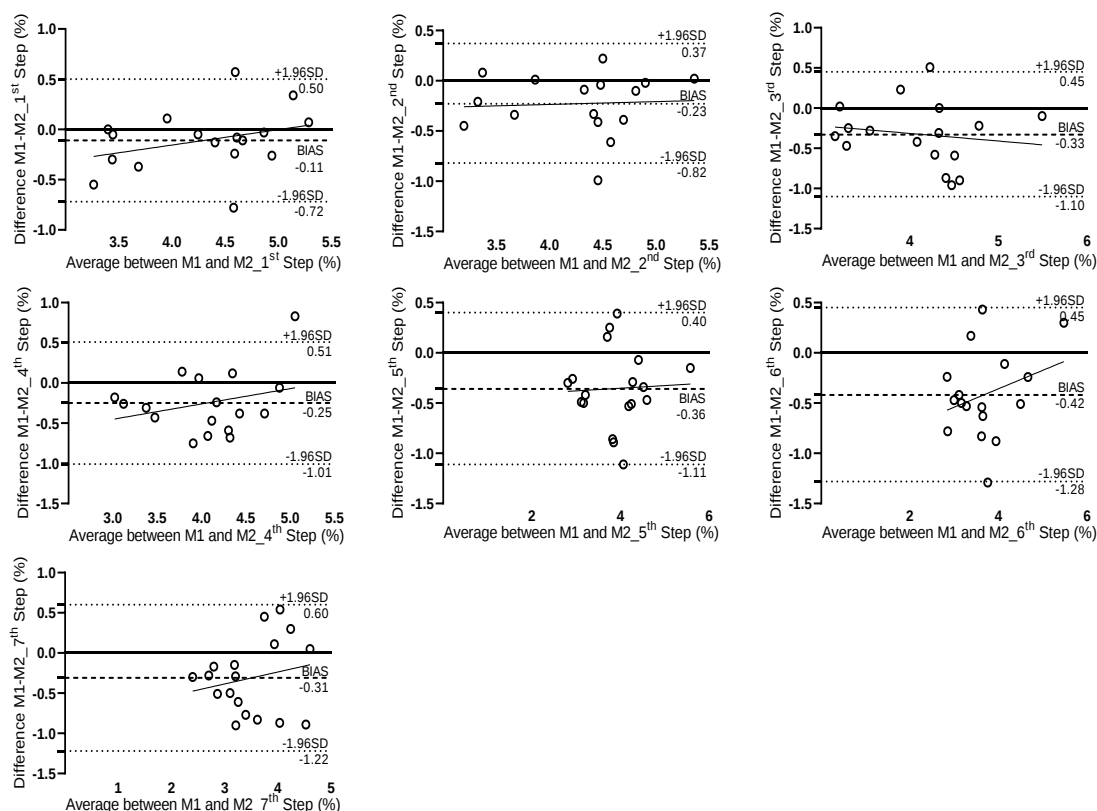


Figura 6 - Gráficos de análise de concordância entre o primeiro momento e segundo momento de avaliação de Bland-Altman nas diferentes variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas e os patamares (respetivamente): limites de concordância (linhas tracejadas), viés (linha tracejada negrita) e declive da regressão.

O $\dot{V}O_2$ máx não se observa repetível entre momentos de avaliação ($t = -2.77$; $p = 0.01$; Tabela 4), uma vez que no M1 o $\dot{V}O_2$ máx foi atingido no patamar seis por dez nadadores e no patamar sete por oito nadadores e, contrariamente, no M2 este foi atingido no patamar seis por nove nadadores e no patamar sete por nove nadadores, observa-se um $\dot{V}O_2$ máx superior no M2. Relativamente ao LAN_{Met} e $vLAN_{Met}$ não foram observadas diferenças entre o M1 e o M2 ($t = 1.9$ e -1.29 ; $p = 0.001$, respetivamente), apresentando uma relação positiva forte e muito forte ($r = 0.88$ e 0.98 , respetivamente) e excelente fiabilidade ($CCI = 0.93$ e 0.99). Da mesma forma, o LAN_{Vent} , $vLAN_{Vent}$ e os valores das $[La^-]$ não apresentaram diferenças entre o M1 e o M2 ($p < 0.05$; $t = -0.24$, -1.63 e 1.96 , respetivamente)

observando-se uma relação positiva muito forte ($r = 0.95, 0.98$ e 0.90 , respetivamente) e uma excelente fiabilidade ($CCI = 0.97, 0.99$ e 0.95 , respetivamente).

Tabela 4 - Valores médios $\pm$ DP das variáveis ventilatórias e metabólica avaliadas durante o protocolo incremental intermitente.

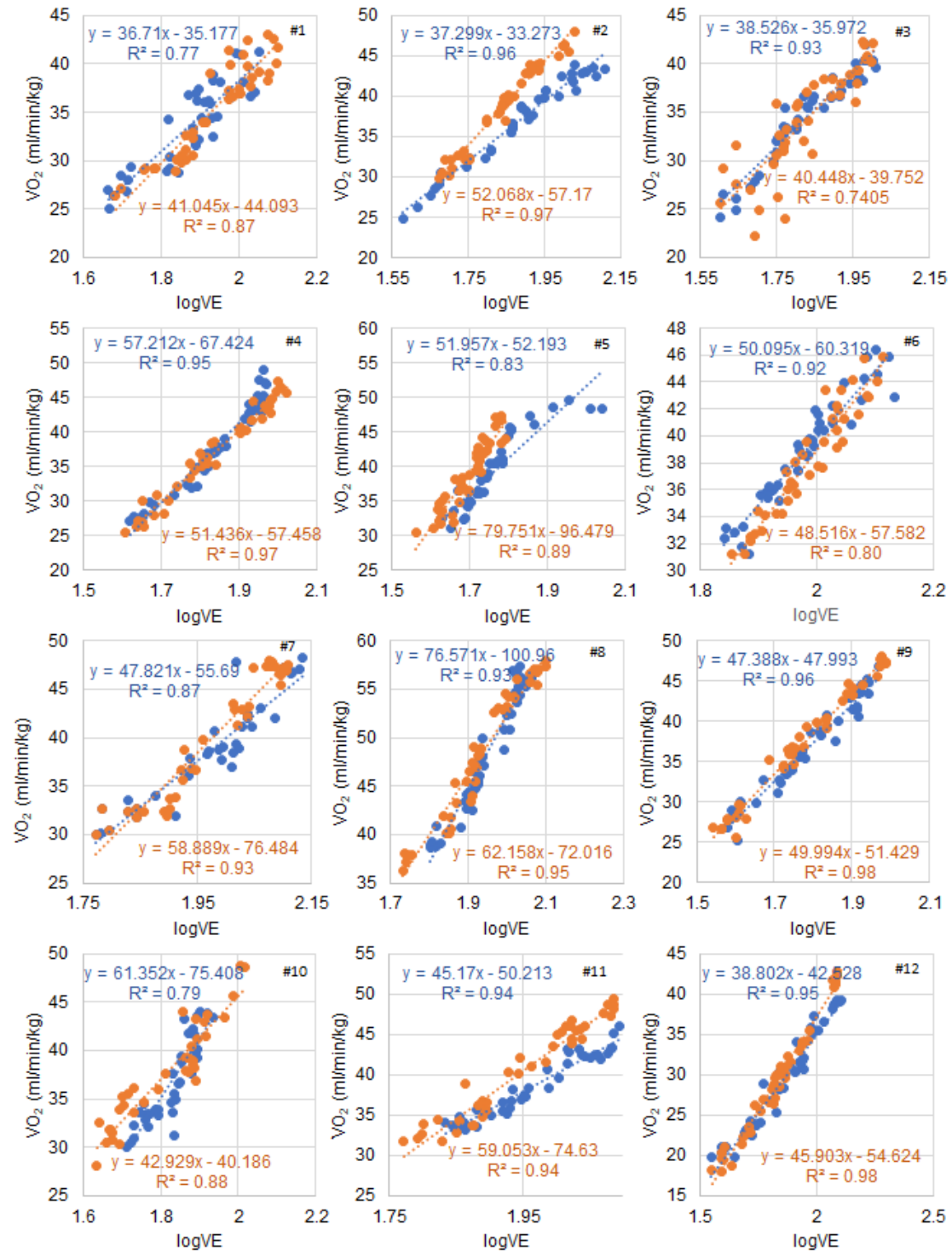
	M1	M2	Correlação (p)	ICC (p)
	Média $\pm$ DP			
$\dot{V}O_{2\text{máx}}$ (ml·kg·min ⁻¹)	42.79 $\pm$ 6.50*	44.18 $\pm$ 5.96	0.95 (0.00)	0.94 (0.00)
$v\dot{V}O_{2\text{máx}}$ (m·s ⁻¹)	1.15 $\pm$ 0.12	1.16 $\pm$ 0.12	0.97 (0.00)	0.97 (0.00)
LAN_{Met} (mmol·L ⁻¹)	4.63 $\pm$ 1.24	4.36 $\pm$ 1.24	0.88 (0.00)	0.93 (0.00)
$vLAN_{\text{Met}}$ (m·s ⁻¹)	1.06 $\pm$ 0.13	1.07 $\pm$ 0.13	0.98 (0.00)	0.99 (0.00)
LAN_{Vent} (L·min ⁻¹)	78.18 $\pm$ 15.53	78.51 $\pm$ 17.41	0.95 (0.00)	0.97 (0.00)
LAN_{Vent} (mmol·L ⁻¹)	4.82 $\pm$ 1.37	4.55 $\pm$ 1.26	0.90 (0.00)	0.95 (0.00)
$vLAN_{\text{Vent}}$ (m·s ⁻¹)	1.06 $\pm$ 0.12	1.07 $\pm$ 0.12	0.98 (0.00)	0.99 (0.00)

Legenda: M1: primeiro momento de avaliação; M2: segundo momento de avaliação; $\dot{V}O_{2\text{máx}}$: consumo máximo de oxigénio; $v\dot{V}O_{2\text{máx}}$: velocidade ao consumo máximo de oxigénio; LAN_{Met} : limiar metabólico anaeróbio; $vLAN_{\text{Met}}$: velocidade ao limiar metabólico anaeróbio; LAN_{Vent} : limiar ventilatório; $vLAN_{\text{Vent}}$: velocidade ao limiar ventilatório; *p < 0.05

Em ambos os momentos de avaliação, observou-se um aumento exponencial nos valores das $[La^-]$ a partir do patamar quatro correspondendo assim ao domínio de intensidade baixa a moderada (à exceção de um nadador o apresentar no patamar três no primeiro momento). No caso do domínio de intensidade pesada (relacionados com o LAN_{Met} e o $\dot{V}O_{2\text{máx}}$) este correspondeu ao quinto e sexto patamares para oito nadadores no primeiro momento e para 10 nadadores no segundo momento, e vice-versa no segundo momento de avaliação. E o domínio de intensidade pesada correspondeu ao $\dot{V}O_{2\text{máx}}$.

Os valores do declive da eficiência do consumo de oxigénio (Figura 7) apresentaram repetibilidade entre momentos de avaliação ($t = -1.09$; $p = 0.29$) e uma relação positiva moderada entre o M1 e M2 ($r = 0.60$). Relacionando este índice com valores de $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ (Figura 8) verificou-se uma existência de uma

relação positiva moderada em ambos os momentos (Figura 9; $r = 0.67$ e $r = 0.57$, para M1 e M2, respectivamente).



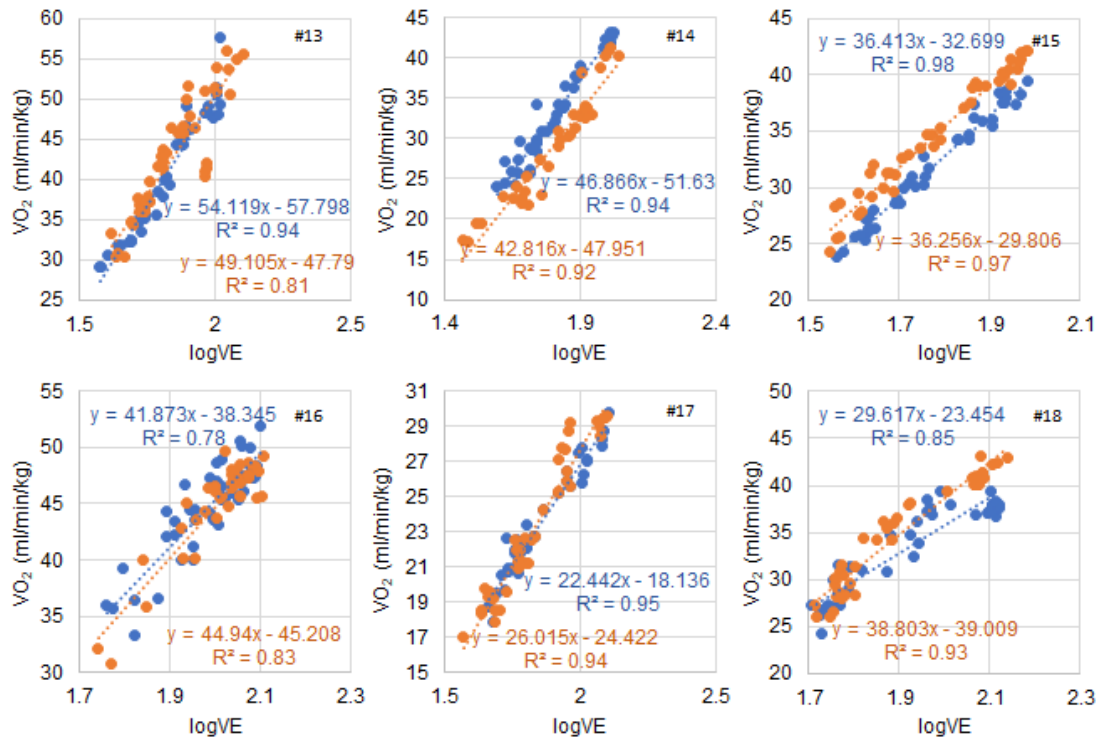


Figura 7 - Eficiência do consumo de oxigênio dos dois momentos de avaliação de cada nadador. $\dot{V}O_2$ - consumo de oxigênio; $\log V_E$ – logaritmo da ventilação; Cor azul – primeiro momento de avaliação; Cor de laranja – segundo momento de avaliação.

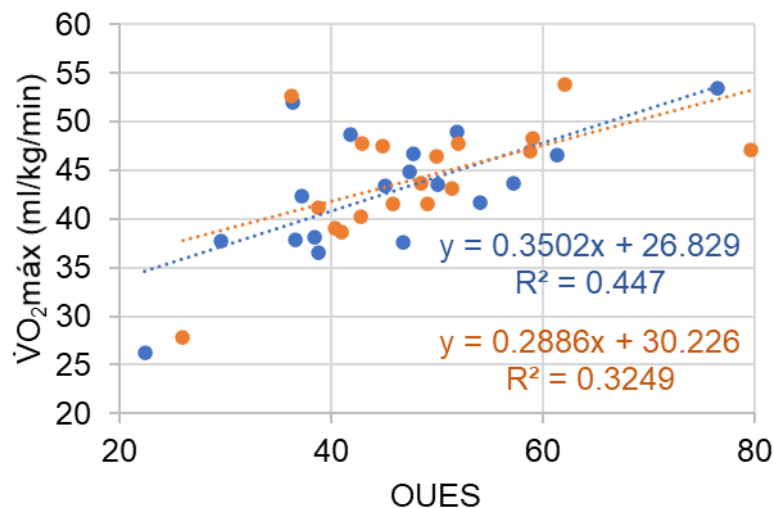
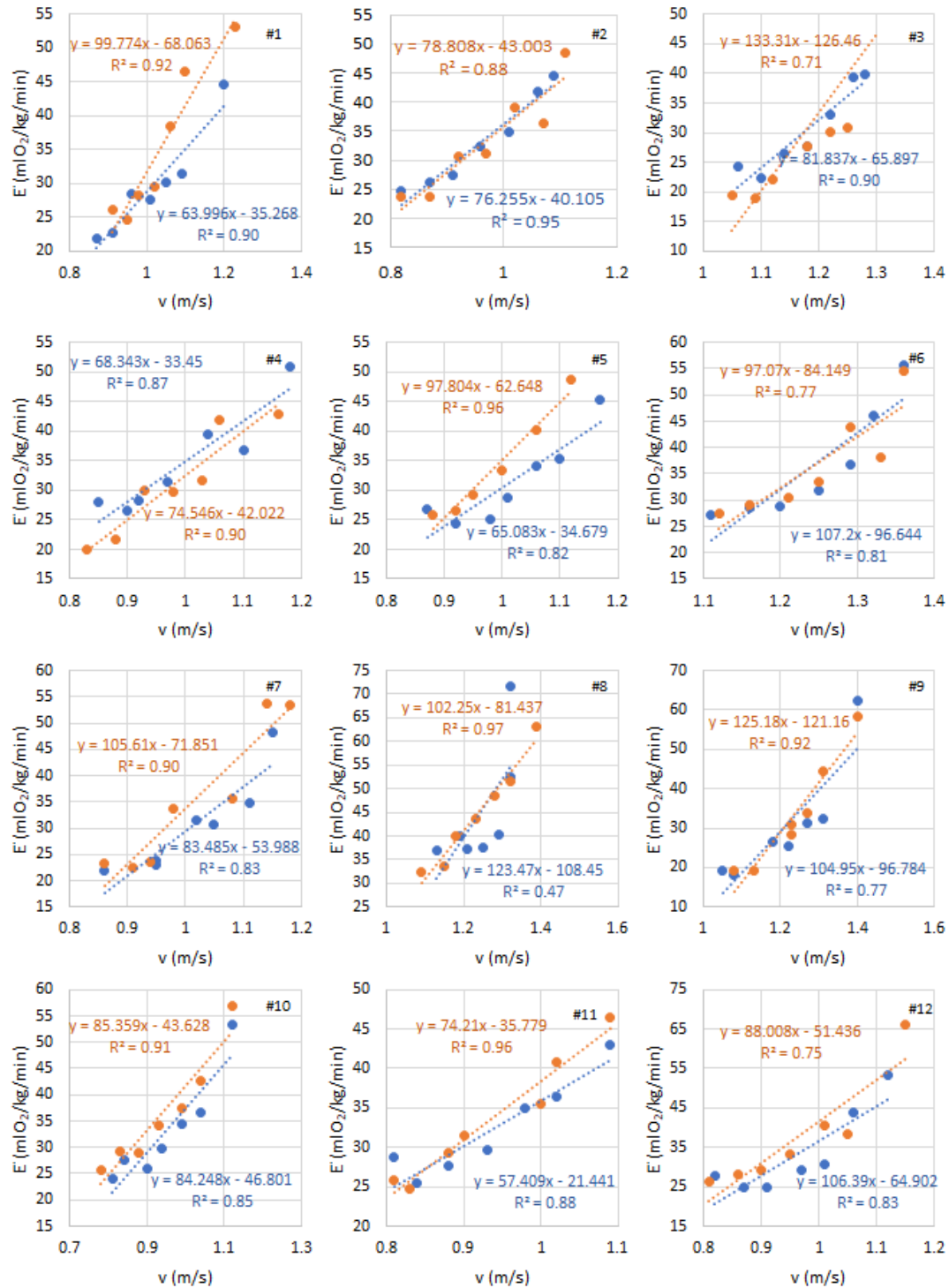


Figura 8 – Relação entre o consumo máximo de oxigênio e o declive da eficiência do consumo de oxigênio. $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ - consumo máximo de oxigênio; OUES – declive da eficiência do consumo de oxigênio; Cor azul – primeiro momento de avaliação; Cor de laranja – segundo momento de avaliação.

Na Figura 9 está apresentado o $\dot{E}$ e a respetiva velocidade ao longo do protocolo incremental intermitente. O C apresenta valores de 91.44 ± 19.32 e 82.91 ± 20.64 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ para o M1 e M2, respetivamente ($p = 0.10$; $t = 1.73$) e demonstrou uma boa fiabilidade ($\text{CCI} = 0.62$; $p = 0.03$), apesar de não ter apresentado uma relação estatisticamente relevante ($r = 0.45$; $p = 0.06$).



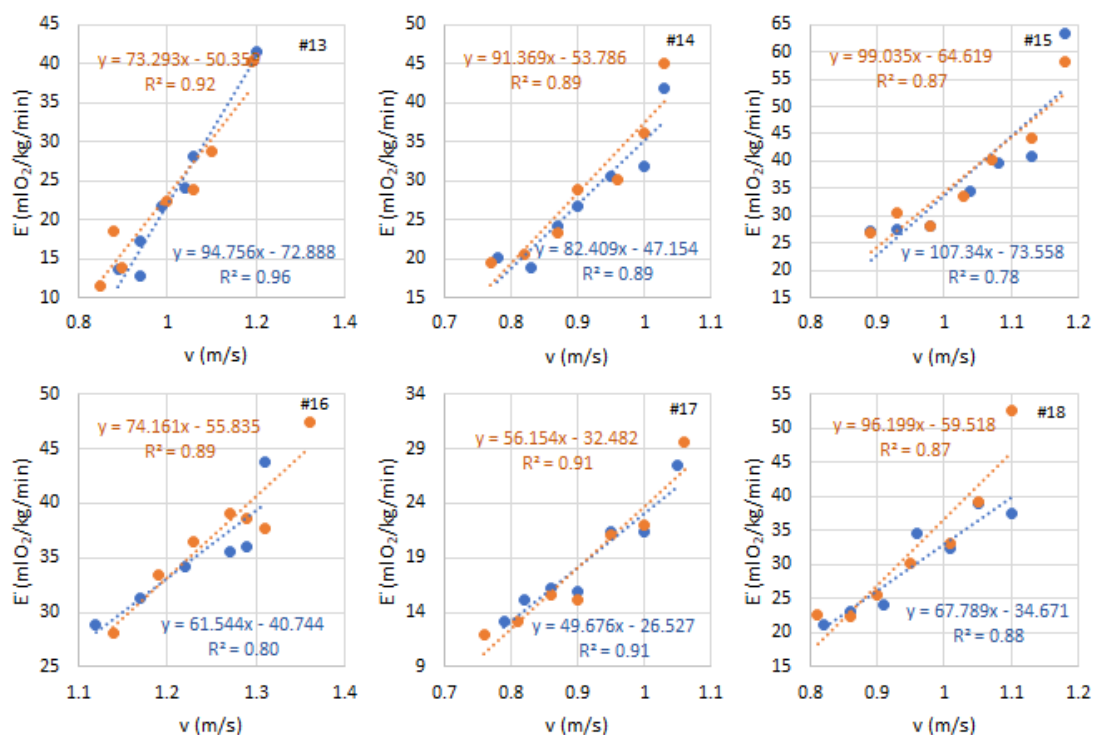


Figura 9 - Relação entre o dispêndio energético e a velocidade nos dois momentos de avaliação de cada nadador. $\dot{E}$ - dispêndio energético; v - velocidade; Cor azul - primeiro momento de avaliação; Cor de laranja - segundo momento de avaliação.

4. Discussão

A generalidade dos desportos de rendimento têm como objetivo alcançar o melhor resultado possível num contexto de competição (Barbosa et al., 2007). Assim, a combinação de fatores fisiológicos com fatores biomecânicos desempenham um papel imprescindível na prestação do nadador (Pendergast et al., 2006), devendo ser monitorados com regularidade de forma a desenvolver melhores métodos de treino de modo a superar o desempenho (Ribeiro et al., 2017). Portanto, parece bastante importante conhecer aprofundadamente o comportamento das diferentes variáveis e os índices relacionados e perceber se com dias de avaliação diferentes os valores observados se mantêm semelhantes. Neste seguimento, o objetivo principal desta dissertação foi verificar se existe replicação das variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas num protocolo incremental intermitente.

A resposta ao exercício pode ser caracterizada tendo em conta a intensidade da tarefa. Nesse sentido, o protocolo incremental intermitente pode ser dividido em domínios de intensidade: (i) domínio de intensidade baixa a moderada; (ii) domínio de intensidade pesada e; (iii) domínio de intensidade severa. Recentemente foi descrito um quarto domínio, o domínio de intensidade extrema (Burnley & Jones, 2007; Hill et al., 2002). Historicamente o domínio de intensidade baixa a moderada é o mais estudado (de Jesus et al., 2014; Poole & Jones, 2012; Whipp et al., 1981), onde se incluem todas as velocidades até ao LAn (inclusive) e o $\dot{V}O_2$ se estabiliza, observando-se pouca ou nenhuma alteração nos valores das $[La^-]$ (Burnley & Jones, 2007; de Jesus et al., 2015; Sousa et al., 2011).

O domínio de intensidade pesada corresponde às intensidades acima no LAn, em que no final de cada patamar é notório a presença da componente lenta no $\dot{V}O_2$ (Billat, 2000) e uma acumulação significativa das $[La^-]$. Na intensidade severa não existe estabilização dos valores de $\dot{V}O_2$ e das $[La^-]$, isto é, os valores de $\dot{V}O_2$ vão ser superiores à intensidade anterior observando-se uma componente lenta mais expressiva e uma maior acumulação das $[La^-]$ (Burnley

& Jones, 2007; de Jesus et al., 2015). De facto, o aprimoramento das velocidades de nado (com o treino) irá modificar positivamente os valores das diferentes variáveis aos vários domínios de intensidades, melhorando a $\dot{V}O_2$ e a v_{LAN} (Ribeiro et al., 2017). O domínio de intensidade extremo é alcançado quando o nadador atinge a exaustão, e esta ocorre antes de se atingir o $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$, acontecendo normalmente em eventos competitivos (Burnley & Jones, 2007; Hill et al., 2002).

Para a avaliação da prestação aeróbia existem diversos protocolos, nomeadamente os retangulares e os incrementais (contínuos ou intermitentes). Os protocolos retangulares podem ser constituídos por uma distância ou tempo fixos, sendo frequentemente utilizados dada a sua fácil aplicabilidade (Zacca et al., 2016). Um exemplo de um protocolo com uma distância fixa é o teste de 400 m (T_{400}), um teste não-invasivo realizado à intensidade máxima, utilizado para estimar a potência aeróbia máxima e prescrever intensidades para o treino da NPD, pois encontra-se relacionado com a $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ (Fernandes et al., 2008; Wakayoshi et al., 1992; Zacca et al., 2016). Por outro lado, um protocolo de tempo fixo comumente utilizado é o teste de 30 min de nado contínuo (T_{30}) para a prescrição de intensidades de nado à velocidade da capacidade aeróbia (Olbrecht et al., 1985).

Por sua vez, nos protocolos incrementais contínuos, os incrementos administrados são realizados sem período de repouso. No caso da avaliação em condições de laboratório, estes incrementos podem ser conseguidos através do aumento da velocidade ou e.g. através da inclinação da passadeira (Kuipers et al., 2003; Riboli et al., 2017). No caso da NPD, este protocolo não é frequentemente utilizado uma vez que o controlo dos incrementos de velocidade só é conseguido com a utilização de um *pacer* visual colocado no fundo da piscina ou auditivo, ou através de uma *swimming flume*, o que não é de fácil acesso, mas sobretudo por não ser possível fazer recolhas da $[La^-]$ durante o protocolo.

Um dos protocolos mais utilizados para a avaliação e controlo do treino é o de 7 x 200 m onde existe um incremento na velocidade de $0.05\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e 30 s de

intervalo entre cada patamar (Fernandes et al., 2003; Madsen & Lohberg, 1987; Pyne et al., 2001). A utilização de patamares de 200 m centra-se no facto de ser possível alcançar um estado estacionário no metabolismo ao final de ~ 3 min de exercício (Fernandes et al., 2012; Gore, 2000), e os 30 s de recuperação são executados por permitem a análise das $[La^-]$ (indicador de avaliação e controlo do treino). Atualmente, a avaliação do $\dot{V}O_2$ é de fácil realização, pois através de um analisador de gases portátil é possível analisar os valores de forma contínua, respiração a respiração (Sousa et al., 2013). Assim, este tornou-se um protocolo padrão para a NPD frequentemente aplicado pelo nosso grupo (de Jesus et al., 2014; Fernandes et al., 2003).

Os métodos de recolha dos gases expirados evoluíram ao longo do tempo desde a utilização do saco de Douglas (Hale, 2008) até aos analisadores portáteis (e.g. COSMED K5). Neste estudo, embora tenham sido utilizados dois analisadores de gases portáteis distintos (COSMED K4b² e o K5) ambos são equipamentos válidos na sua utilização não sendo expectável existir diferenças nos valores determinados. Esta evolução deve-se à inclusão de um modo de câmara de mistura permitindo misturar os gases expiratórios de três a seis respirações permitindo uma avaliação mais precisa do O_2 e CO_2 (COSMED, 2016). Apesar de algumas diferenças, como o peso (K5 apresenta 900 g com bateria), ser *toutch*, dispor uma porta USB que permite um download em tempo real dos dados e ser muito preciso em exercícios de baixa intensidade (Perez-Suarez et al., 2018). Artigos indicam que a utilização do K5 apresenta um bom desempenho quando o K4b² (Duffield et al., 2004; McLaughlin et al., 2001).

Através da utilização dos analisadores de gases foi possível uma avaliação contínua das variáveis respiração a respiração no protocolo incremental intermitente 7 x 200 m e apesar de terem sido executados em dois momentos de avaliação diferentes estes foram realizados à mesma hora para não alterar o ritmo circadiano (Vitale & Weydahl, 2017). Para diminuir o ruído existente entre respirações causado provocado pela deglutição, tosse ou suspiro (Fernandes et al., 2012; Reis et al., 2010) e foi executada uma filtragem em todas as variáveis, utilizando os últimos 30 s (Özyener et al., 2001; Sousa et al., 2015).

Um dos primeiros estudos a analisar a repetibilidade do $\dot{V}O_2\text{máx}$ e outras variáveis cardiorrespiratórias foi realizado em cavalos, tendo-se observado uma boa repetibilidade nos valores de $\dot{V}O_2\text{máx}$, FC e V ($r > 0.77$; $p < 0.05$; Evans & Rose, 1988). No caso da NPD, embora já se tenham realizado estudos à $v\dot{V}O_2\text{máx}$ na natação, previamente determinada através do protocolo incremental intermitente, em que estavam interessados em determinar o tempo na qual essa intensidade pode ser mantida até à exaustão (Fernandes et al., 2003; Sousa et al., 2014), ainda não se avaliou repetibilidade deste mesmo protocolo (7 x 200 m). Nos nossos resultados à medida que os nadadores executavam o protocolo incremental intermitente é possível observar um aumento progressivo das variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas devido ao estímulo que o nadador é sujeito. Isto é, à medida que a intensidade do exercício aumenta as variáveis sofrem alterações (Rossiter, 2011).

O $\dot{V}O_2$ é uma das variáveis cardiorrespiratórias mais estudadas na NPD (Cardoso et al., 2003; de Jesus et al., 2014; de Jesus et al., 2015; Fernandes et al., 2008). Nos valores determinados ao longo dos dois momentos de avaliação observa-se um crescimento destes durante o protocolo, que vão de encontro aos resultados reportados na literatura (de Jesus et al., 2015; Sousa et al., 2013). Embora se tenha verificado que não apresenta repetibilidade nos patamares três, cinco e sete ($p < 0.05$) os valores são muito semelhantes, complementarmente, a elevada correlação e repetibilidade observada na regressão de Bland-Altman e no CCI entre os momentos confirma a repetibilidade da utilização do protocolo 7 x 200 m.

O $\dot{V}O_2\text{máx}$ também é considerado uma das variáveis fisiológicas mais importantes na avaliação do desempenho do nadador utilizando-se como marcador de intensidade de exercício, representando a potência máxima a que o sistema oxidativo consegue trabalhar (Barbosa et al., 2007; Fernandes et al., 2008). Os valores de $\dot{V}O_2\text{máx}$ foram compreendidos entre 36.29 e 50.14 mL·kg⁻¹·min⁻¹ e a $v\dot{V}O_2\text{máx}$ entre 1.03 e 1.28 m·s⁻¹, apresentando valores inferiores aos reportados em estudos que envolveram a avaliação de nadadores através de um protocolo incremental idêntico mas com amostras de maior nível desportivo

(Fernandes et al., 2008; Sousa et al., 2015). Embora exista repetibilidade na $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, os valores do $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ não se observaram repetíveis, visto que os patamares a que o $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ocorre no M1 e no M2 nem sempre coincidiram, apesar de apresentarem uma relação positiva muito forte.

Tal como se verificou para o $\dot{V}O_2$, todas as variáveis cardiorrespiratórias tiveram um comportamento semelhante e verificam-se relacionadas. No $\dot{V}CO_2$ observa-se um aumento dos valores consequente do metabolismo aeróbio, isto é, com os incrementos da intensidade de nado a acumulação das $[La^-]$ aumenta, que por sua vez estimula uma maior produção de CO_2 (Kenney et al., 2012; Poole & Jones, 2012; Whipp et al., 1982). A $\dot{V}E$, caracterizada pelo volume de ar que entra e sai dos pulmões, deriva do produto do VC e da FR (Kenney et al., 2012) e à medida que a intensidade de nado aumenta, existe uma maior demanda de O_2 para a produção de energia que, por sua vez, irá aumentar o estímulo ventilatório (Pelarigo et al., 2016; Sousa et al., 2015; West, 2012).

O VC é tido como a quantidade de ar que entra e sai dos pulmões a cada respiração (West, 2012). Foi observado um comportamento semelhante no estudo de Lomax & Castle (2011), em que o VC e a FR aumentam, porque o corpo irá ter uma maior necessidade de aumentar a absorção de O_2 , e como tal existirá um incremento na FG (devido ao cansaço físico). Complementarmente, o R refere-se à razão entre o volume de O_2 consumido e de CO_2 expirado, subindo de 0.8 em repouso para 1.0 ou mais em exercício, tal como nos resultados por nós encontrados. Este aumento parece retratar uma maior dependência de hidratos de carbono para produção de energia (West, 2012).

No que diz respeito à repetibilidade das variáveis cardiorrespiratórias anteriormente mencionadas os valores são incrementais de patamar em patamar mantendo-se repetíveis na maior parte das variáveis. Nos patamares abaixo do LAn é onde existe uma maior repetibilidade nos patamares e deve-se ao facto a esses patamares se encontrarem abaixo do LAn, existindo uma homeostasia do corpo neste domínio de intensidade (Faude et al., 2009). Acima do LAn menos variáveis se apresentam repetíveis nos respetivos patamares. Isto ocorre visto que a manutenção do equilíbrio homeostático irá exigir uma elevada

coordenação do sistema respiratório e circulatório e grande parte desta coordenação é realizada por uma regulação involuntária da $\dot{V}E$, e como os músculos respiratório entram em fadiga facilmente, a capacidade de restabelecer a homeostase torna-se mais difícil (Faude et al., 2009; Kenney et al., 2012).

Como já foi referido anteriormente, à medida que a intensidade do exercício aumenta, o corpo do nadador irá sofrer algumas mudanças, ou seja, o metabolismo aeróbio que está a ser utilizado irá ser alterado a fim de existirem contribuições aeróbias e anaeróbias, levando ao aumento das $[La^-]$ sanguíneas e musculares (Gastin, 2001; Pelarigo et al., 2016). Logo, os valores desta variável vão de encontro ao apresentado na literatura, observando-se inicialmente em exercícios de intensidades baixas a moderadas um equilíbrio fisiológico, isto é, um baixo crescimento das $[La^-]$ (3.5 a 4.6 e 3.0 a 4.2 mmol·L⁻¹, M1 e M2, respetivamente). De seguida é possível identificar um ponto na qual a produção de lactato aumenta exponencialmente chegando a valores máximos (Burnley & Jones, 2007; Fernandes et al., 2011; Fernandes et al., 2010; Smith et al., 2002).

A respeito da repetibilidade esta não se verifica no patamar dois e quatro, e poderá acontecer no patamar dois devido a este patamar se encontrar no domínio de intensidade baixa a moderada. Consequentemente a velocidade do patamar ainda é baixa para o nadador conseguindo retomar a uma estabilidade fisiológica pois consegue diminuir as $[La^-]$ (de Souza Castro & Mota, 2010), e no outro momento de avaliação essa remoção pode não ser tão eficaz (Fernandes et al., 2011). No patamar quatro possivelmente por ser o último patamar da transição da intensidade baixa a moderada para a pesada. Estas diferenças também se pode dever ao facto do estado nutricional do atleta ou das as condições ambientais (por exemplo a alta temperatura ou humidade) (Smith et al., 2002).

O LAN_{Met} é caracterizado como o ponto da interceção da regressão linear e exponencial dos valores das $[La^-]$ (Figueiredo et al., 2013) observando-se assim repetível tal como a velocidade associada a este. Os valores observados neste

estudo são superiores àqueles reportados na literatura (4.63 ± 1.24 e 4.36 ± 1.24 , M1 e M2 respectivamente) (Fernandes et al., 2011; Fernandes et al., 2010; Ribeiro et al., 2015). No entanto, o valor fixo de $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ não considera a individualidade do nadador e sobrestima os nadadores aerobicamente treinados (Faude et al., 2009; Fernandes et al., 2011; Stegmann & Kindermann, 1982). Logo os nadadores do nosso estudo não se encontram treinados aerobicamente e também são nadadores com uma média de idade superior à literatura. Assim, a avaliação do LAN_{Met} de um nadador é importante para estabelecer zonas de treino, mas estabelecendo-as de forma individual (Burnley & Jones, 2007; Figueiredo et al., 2013).

Com o aumento das $[\text{La}^-]$, a combinação deste com bicarbonato de sódio irá formar lactato de sódio, água e CO_2 que como consequência estimula quimiorrecetores que irão aumentar a $\dot{V}\text{E}$, logo o LAN_{Vent} reflete-se com o aumento dos valores de CO_2 , tal como apresentado nos resultados, não apresentando diferenças (Kenney et al., 2012; Poole & Jones, 2012). Adicionalmente, tal como na literatura observa-se que os valores das $[\text{La}^-]$ foram ligeiramente superiores em ambos os momentos no LAN_{Vent} , e a velocidade correspondente ao LAN_{Met} pode ser utilizada para estimar parâmetros ventilatórios, por não observar diferenças, pois as velocidades de ambos os LAN são idênticas (Kenney et al., 2012; Ribeiro et al., 2015).

Combinando os dados fisiológicos com os biomecânicos na NPD é umas das principais áreas relevantes, pois dependendo da intensidade do exercício irá influenciar a técnica e a fisiologia (Fernandes et al., 2011; Keskinen & Komi, 1993; Toussaint et al., 2006). Normalmente com o aumento da velocidade durante um protocolo incremental intermitente existe um aumento da FG e uma diminuição da DC (Fernandes et al., 2011; Figueiredo et al., 2013; Zacca et al., 2019b). Adicionalmente cada nadador tem a sua FG e DC pois existe uma variabilidade individual nestas variáveis devido a características antropométricas, coordenação, técnicas e flexibilidade muscular (Fernandes et al., 2011; Keskinen & Komi, 1993; Pelayo et al., 1996).

Verificou-se também que, de acordo com os dados obtidos estes indicam que à medida que a velocidade e intensidade aumenta existe um aumento da FG (de Souza Castro et al., 2006; Fernandes et al., 2011; Zacca et al., 2019). A DC manteve-se estável durante a intensidade baixa a moderada e diminuiu progressivamente a partir do LAn, momento a partir do qual o corpo perde a sua homeostasia e a técnica de nado se altera (Derkele et al., 2005; Figueiredo et al., 2013; Pelarigo et al., 2016). Corroborando esta afirmação estas variáveis biomecânicas apresentam uma excelente repetibilidade durante o protocolo em ambos os momentos exceto no patamar dois na FG devido às $[La^-]$, logo as necessidades energéticas influenciam as características biomecânicas. A literatura reporta que o LAn_{Met} não representa apenas um limite fisiológico, mas também biomecânico (Figueiredo et al., 2013; Keskinen & Komi, 1993).

Complementarmente, pretendemos também estudar o índice OUE (regressão logarítmica) indicando com que eficiência o O_2 é extraído e absorvido pelo organismo, isto é, caracterizado pelo aumento do $\dot{V}O_2$ em resposta a uma determinada $\dot{V}E$, logo maiores declives indica uma maior eficiência ventilatória (Baba et al., 1996). A nível fisiológico, o OUE encontra-se relacionado com o desenvolvimento da acidose metabólica (que é controlada pela distribuição do sangue para os músculos esqueléticos) e do espaço morto pulmonar (que é afetada pela perfusão nos pulmões), todas estas funções agregadas num único índice (Akkerman et al., 2010; Baba et al., 1996). Este índice já foi estudado em diferentes atletas (Pelarigo et al., 2014; Pelarigo et al., 2016).

Na OUE observa-se um aumento do $\dot{V}O_2$ em relação à $\dot{V}E$ (Akkerman et al., 2010) e os valores do declive da reta do M1 e do M2 encontram-se com uma relação forte e muito forte em concordância com Baba et al. (1996), apesar das diferenças nas idades e nas condições de protocolo. Da mesma forma, relacionando os dois momentos de avaliação não foi possível observar a existência de repetibilidade ($p = 0.29$). O mesmo se observou na relação do OUES com o $\dot{V}O_{2máx}$ ($p = 0.23$ e 0.09 , M1 e M2 respetivamente) com uma relação positiva moderada, contrariamente ao observado na literatura (Baba et al., 1996). Esta diferença deve-se ao facto de os valores de $\dot{V}O_2$ ao longo do

protocolo em alguns patamares não se observar repetibilidade, tal como no $\dot{V}O_2\text{máx.}$

Na NPD, tal como noutros formas cíclicas de locomoção (como a corrida ou o andar), o $\dot{E}$ aumenta em função da velocidade (Zamparo et al., 2020) e a quantificação da taxa do $\dot{E}$ define a economia de nado (Barbosa et al., 2007). Assim, este índice é considerado um determinante do desempenho em eventos baseados em resistência (Barker, 2011), pois a qualidade técnica da execução de um exercício, isto é, a energia que o nadador irá despende numa determinada distância, em que irá definir o C ($\dot{E}$ - considerado um determinante fisiológico fundamental no desempenho da NPD) (di Prampero et al., 1974; Zamparo et al., 2005; Zamparo et al., 2011). Para determinar o $\dot{E}$ de cada patamar foram utilizados os valores de $\dot{V}O_2$ e as $[La^-]$, e torna-se importante o cálculo destes índices, visto que nadadores mais económicos conseguem nadar mantendo um C mais baixo, ou seja, capacidade de poupar substratos energéticos e nadar a uma menor percentagem da sua potência aeróbia máxima (Barbosa et al., 2005; Barbosa et al., 2007).

Tendo em conta as quatro técnicas de nado a técnica de crol é a mais económica (em várias velocidades) fortemente relacionado com o ciclo gestual e com as variações intracíclicas da velocidade (Barbosa et al., 2006; Barbosa et al., 2007). Nos resultados apresentados observa-se um aumento das $[La^-]$ e do $\dot{V}O_2$ com o aumento da velocidade e consequentemente um aumento linear da $\dot{E}$ (Vilas-Boas & Santos, 1994), também pelo fato de realizarem um protocolo incremental intermitente 7 x 200 m. De fato, pelo aumento da intensidade de nado o nadador irá recrutar grupos musculares maiores mas menos eficientes aumentando o $\dot{E}$ (Barbosa et al., 2005; Capelli et al., 1998 ; Fernandes & Vilas-Boas, 2006; Figueiredo et al., 2013).

5. Conclusões

A análise e correta interpretação dos dados por nós obtidos é muito importante no desenvolvimento do trabalho dos nadadores, treinadores e investigadores.

Sendo possível concluir que:

- i. Ao longo do protocolo existiu um aumento incremental de todas as variáveis cardiorrespiratórias, metabólica e biomecânicas;
- ii. Com o aumento da intensidade do exercício as variáveis demonstram uma menor repetibilidade;
- iii. As variáveis que apresentaram repetibilidade ao longo de todo o protocolo foram a DC e a $\dot{V}E$, e a variável com menor repetibilidade foi a $FeCO_2$.

6. Sugestões para estudos futuros

A presente dissertação teve como objetivo principal verificar se existe repetibilidade no protocolo incremental intermitente na técnica de crol com um intervalo de 48 a 72 h, para poder fornecer aos investigadores e treinadores informações imprescindíveis na avaliação e controlo do treino. E com base nesta dissertação, e apesar de se conhecer muito acerca da fisiologia de nado, continuam a existir lacunas, e parece-nos muito importante continuar a estudar e a investigar este tema, nomeadamente:

- i. Avaliar a repetibilidade com atletas de alto rendimento;
- ii. Analisar outras variáveis como a FC e a contribuição de cada sistema energético em cada patamar do protocolo incremental intermitente;
- iii. Analisar a repetibilidade da cinética do $\dot{V}O_2$ durante o protocolo incremental intermitente realizado num intervalo de dois a três dias.

7. Referências bibliográficas

- Akkerman, M., van Brussel, M., Hulzebos, E., Vanhees, L., Helders, P. J., & Takken, T. (2010). The oxygen uptake efficiency slope: what do we know? *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention*, 30(6), 357-373.
- Au, J. S., Sithamparapillai, A., Currie, K. D., Krassioukov, A. V., MacDonald, M. J., & Hicks, A. L. (2018). Assessing Ventilatory Threshold in Individuals With Motor-Complete Spinal Cord Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 99(10), 1991-1997.
- Baba, R., Nagashima, M., Goto, M., Nagano, Y., Yokota, M., Tauchi, N., & Nishibata, K. (1996). Oxygen uptake efficiency slope: a new index of cardiorespiratory functional reserve derived from the relation between oxygen uptake and minute ventilation during incremental exercise. *Journal of the American College of Cardiology*, 28(6), 1567-1572.
- Baldari, C., Fernandes, R., Meucci, M., Ribeiro, J., Vilas-Boas, J. P., & Guidetti, L. (2012). Is the New AquaTrainer® Snorkel Valid for VO₂ Assessment in Swimming? *International journal of sports medicine*, 34.
- Barbosa, T., Keskinen, K. L., Fernandes, R., Colaço, P., Lima, A., & Vilas-Boas, J. P. (2005). Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *European journal of applied physiology*, 93, 519-523.
- Barbosa, T. M., Fernandes, R., Keskinen, K. L., Colaço, P., Cardoso, C., Silva, J., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *International Journal of Sports Medicine*, 27(11), 894-899.
- Barbosa, T. M., Fernandes, R. J., & Vilas Boas, J. P. (2007). Economia de nado e tempo limite à velocidade mínima de vo₂max: novas descobertas. *In Actas do 30º Congresso Técnico-Científico da Associação Portuguesa de Técnicos de Nataação*.
- Barker, A. R., Armstrong N. (2011). Exercise Testing Elite Young Athletes. Medicine Sport Science. In M. A. M. Armstrong N. (Ed.), *The Young Athlete* (Vol. 56, pp. 106-125). Basel: Karger.

- Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(1), 70-84.
- Billat, V. L. (2000). VO₂ slow component and performance in endurance sports. *British Journal of Sports Medicine*, 34(2), 83-85.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1(8476), 307-310.
- Brooks, G. A. (2020). Lactate as a fulcrum of metabolism. *Redox Biology*, 35, 101454.
- Burnley, M., & Jones, A. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*, 7.
- Capelli, C., Pendergast, D. R., & Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *European Journal of Applied Physiology* 78(5), 385-393.
- Cardoso, C., Fernandes, R. J., Magalhaes, J., Santos, P., Colaco, P. J., Soares, S. M., Carmo, C., Barbosa, T. M., & Vilas-Boas, J. P. (2003). Comparison of continuous and intermittent incremental protocols for direct VO₂ assessment. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, 313-318.
- COSMED. (2016). K5 Wearable Metabolic Technology. disponível em <https://www.cosmed.com/wearit/>
- Costa, A., Costa, M., Carlos, D., Guerra, L., Silva, A., & Barbosa, T. (2012). Reproducibility of an aerobic endurance test for nonexpert swimmers. *Journal of multidisciplinary healthcare*, 5, 215-221.
- Craig, A. B., Jr., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 11(3), 278-283.
- de Jesus, K., Guidetti, L., de Jesus, K., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. J. (2014). Which are the best VO₂ sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? *International journal of sports medicine*, 35(12), 1030-1036.
- de Jesus, K., Sanders, R., de Jesus, K., Ribeiro, J., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2016). The Effect of Intensity on 3-Dimensional Kinematics and Coordination in Front-Crawl Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), 768-775.

- de Jesus, K., Sousa, A., de Jesus, K., Ribeiro, J., Machado, L., Rodríguez, F., Keskinen, K., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2015). The effects of intensity on $\dot{V}O_2$ kinetics during incremental free swimming. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(9), 918-923.
- de Souza Castro, F., Guimarães, A., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Effect of swimming intensity and breathing in front crawl body roll angles for swimmers and triathletes. *Revista Brasileira de Biomecânica*, 7, 85.
- de Souza Castro, F., & Mota, C. (2010). Energetic and performance in 200 m front crawl under maximal intensity. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 18, 67.
- Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Marchand, F. H., & Pelayo, P. (2005). Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *International Journal of Sports Medicine*, 26(1), 53-58.
- di Prampero, P. E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*, 7(2), 55-72.
- di Prampero, P. E., Pendergast, D., Wilson, D. R., & Rennie, D. W. (1978). Blood lactatic acid concentrations in high velocity swimming. In F. B. Eriksson B (Ed.), (pp. 249-261). Baltimore: University Park Press.
- di Prampero, P. E., Pendergast, D. R., Wilson, D. W., & Rennie, D. W. (1974). Energetics of swimming in man. In *Journal of Applied Physiology* (Vol. 37).
- Duffield, R., Dawson, B., Pinnington, H. C., & Wong, P. (2004). Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(1), 11-22.
- Evans, D. L., & Rose, R. J. (1988). Determination and repeatability of maximum oxygen uptake and other cardiorespiratory measurements in the exercising horse. *Equine Veterinary Journal*, 20(2), 94-98.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469-490.
- Fernandes, R., Billat, V., Cruz, A. C., Colaço, P., Cardoso, C., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Does net energy cost of swimming affect time to exhaustion at the individual's maximal oxygen consumption velocity? *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 46, 373-380.

- Fernandes, R., Jesus, K., Baldari, C., Sousa, A., Vilas-Boas, J. P., & Guidetti, L. (2012). Different $\dot{V}O_2\text{max}$ Time-Averaging Intervals in Swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 33.
- Fernandes, R., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step Length and Individual Anaerobic Threshold Assessment in Swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 940-946.
- Fernandes, R. J. (2002). Exemplificação de um protocolo de avaliação e controlo do treino em jovens nadadores. *II Jornadas de Natação - Santa Maria da Feira. 9 e 10 de Maio de 2002*.
- Fernandes, R. J., Cardoso, C. S., Soares, S. M., Ascensao, A., Colaco, P. J., & Vilas-Boas, J. P. (2003). Time limit and $\dot{V}O_2$ slow component at intensities corresponding to $\dot{V}O_2\text{max}$ in swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 24(8), 576-581.
- Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., Colaco, P., Querido, A. J., Machado, L. J., Morais, P. A., Novais, D. Q., Marinho, D. A., & Vilas Boas, J. P. (2008). Time limit at $\dot{V}O_2\text{max}$ velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2), 145-150.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Pinheiro, A., Vilar, S., Colaço, P., & Vilas-Boas, J. P. (2010). Assessment of individual anaerobic threshold and stroking parameters in swimmers aged 10–11 years. *European Journal of Sport Science*, 10(5), 311-317.
- Fernandes, R. J., & Vilas-Boas, J. P. (2012). Time to Exhaustion at the $\dot{V}O_2\text{max}$ Velocity in Swimming: A Review. *Journal of Human Kinetics*, 32, 121-134.
- Figueiredo, P., Pendergast, D. R., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Interplay of biomechanical, energetic, coordinative, and muscular factors in a 200 m front crawl swim. *BioMed Research International*, 2013, 897232.
- Figueiredo, P., Zamparo, P., Sousa, A., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2011). An energy balance of the 200 m front crawl race. *European Journal of Applied Physiology*, 111(5), 767-777.
- Fleiss, J. L. (1986). *The Design and Analysis of Clinical Experiments*. New York: John Wiley & Sons.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31(10), 725-741.

- Gore, C. J. (2000). *Physiological Testes for Elite Athletes* (1 ed.). United States of America.
- Hale, T. (2008). History of developments in sport and exercise physiology: A. V. Hill, maximal oxygen uptake, and oxygen debt. *Journal of Sports Sciences*, 26(4), 365-400.
- Hill, A. V., & Lupton, H. (1923). Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen. *QJM: An International Journal of Medicine*, 16(62), 135-171.
- Hill, D. W., Poole, D. C., & Smith, J. C. (2002). The relationship between power and the time to achieve VO₂max. *Medicine & Science in Sports Exercise*, 34(4), 709-714.
- Hopkins, W. G. (2002). A Scale of Magnitudes for Effect Statistics: A New View of Statistics., disponível
- Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr., & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(9), 1292-1301.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012). *Physiology of Sport and Exercise*.
- Keskinen, K. L., & Komi, P. V. (1993). Stroking Characteristics of Front Crawl Swimming during Exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(3), 219.
- Kuipers, H., Rietjens, G., Verstappen, F., Schoenmakers, H., & Hofman, G. (2003). Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. *International Journal of Sports Medicine*, 24(7), 486-491.
- Libicz, S., Roels, B., & Millet, G. P. (2005). VO₂ responses to intermittent swimming sets at velocity associated with VO₂max. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(5), 543-553.
- Lomax, M., & Castle, S. (2011). Inspiratory muscle fatigue significantly affects breathing frequency, stroke rate, and stroke length during 200-m front-crawl swimming. *J Strength Cond Res*, 25(10), 2691-2695.
- Machado, L., Almeida, M., Morais, P., Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Assessing the individual anaerobic threshold: The mathematical model. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6, 142-144.
- Madsen, O., & Lohberg, M. (1987). The lowdown on lactates. 24, 21-26.

- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming Fastest. The essential reference on technique, training and program design.*
- McLaughlin, J., King, G. A., Howley, E., Bassett, D., & Ainsworth, B. (2001). Validation of the COSMED K4 b(2) portable metabolic system. *International Journal of Sports Medicine*, 22, 280-284.
- Olbrecht, J., Madsen, Ö., Mader, A., Liesen, H., & Hollmann, W. (1985). Relationship Between Swimming Velocity and Lactic Concentration During Continuous and Intermittent Training Exercises. *International journal of sports medicine*, 6, 74-77.
- Özyener, F., Rossiter, H. B., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (2001). Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. *The Journal of Physiology*, 533(Pt 3), 891-902.
- Pelarigo, J., Dalamitros, A., Sousa, A., Fernandes, R., Greco, C., & Vilas-Boas, J. P. (2014). *Relationship between the oxygen uptake efficiency plateau and the lactate threshold in endurance swimmers.*
- Pelarigo, J. G., Greco, C. C., Denadai, B. S., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., & Pendergast, D. R. (2016). Do 5% changes around maximal lactate steady state lead to swimming biophysical modifications? *Human Movement Science*, 49, 258-266.
- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D., & Tourny, C. (1996). Stroking Characteristics in Freestyle Swimming and Relationships with Anthropometric Characteristics. 12(2), 197.
- Pendergast, D. R., Capelli, C., Craig jr. , A. B., Di Prampero, P. E., Minetti, A. E., Mollendorf, J., Termin, A., & Zamparo, P. (2006). Biophysics in swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming X*, 6(Suppl 2), 185-189.
- Pendergast, D. R., Di Prampero, P. E., Craig, A. B., Jr., Wilson, D. R., & Rennie, D. W. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 43(3), 475-479.
- Perez-Suarez, I., Martin-Rincon, M., Gonzalez-Henriquez, J. J., Fezzardi, C., Perez-Regalado, S., Galvan-Alvarez, V., Juan-Habib, J. W., Morales-Alamo, D., & Calbet, J. A. L. (2018). Accuracy and Precision of the COSMED K5 Portable Analyser. *Frontiers in Physiology*, 9(1764).

- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2012). Oxygen uptake kinetics. *Comprehensive Physiology*, 2(2), 933-996.
- Possamai, L. T., Campos, F. S., Salvador, P., Aguiar, R. A., Guglielmo, L. G. A., De Lucas, R. D., Caputo, F., & Turnes, T. (2019). Similar VO₂max assessment from a step cycling incremental test and verification tests on the same or different day. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*.
- Pyne, D. B., Lee, H., & Swanwick, K. M. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 291-297.
- Reis, J. F., Millet, G. P., Malatesta, D., Roels, B., Borrani, F., Vleck, V. E., & Alves, F. B. (2010). Are oxygen uptake kinetics modified when using a respiratory snorkel? *International journal of sports physiology and performance*, 5(3), 292-300.
- Ribeiro, J., Figueiredo, P., Guidetti, L., Alves, F., Toussaint, H., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. J. (2016). AquaTrainer® Snorkel does not Increase Hydrodynamic Drag but Influences Turning Time. *International Journal of Sports Medicine*, 37(4), 324-328.
- Ribeiro, J., Figueiredo, P., Sousa, M., De Jesus, K., Keskinen, K., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2015). Metabolic and ventilatory thresholds assessment in front crawl swimming. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(7-8), 701-707.
- Ribeiro, J., Toubekis, A. G., Figueiredo, P., de Jesus, K., Toussaint, H. M., Alves, F., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2017). Biophysical Determinants of Front-Crawl Swimming at Moderate and Severe Intensities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 241-246.
- Riboli, A., Ce, E., Rampichini, S., Venturelli, M., Alberti, G., Limonta, E., Veicsteinas, A., & Esposito, F. (2017). Comparison between continuous and discontinuous incremental treadmill test to assess velocity at VO₂max. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(9), 1119-1125.
- Rossiter, H. B. (2011). Exercise: Kinetic considerations for gas exchange. *Comprehensive Physiology*, 1(1), 203-244.

- Smith, D. J., Norris, S. R., & Hogg, J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers: scientific tools. *Sports Medicine*, 32(9), 539-554.
- Sousa, A., De Jesus, K., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Cinética do Consumo de Oxigénio a Intensidades de Nado Moderada e Extrema. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 19(3), 186-190.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Pyne, D., Zamparo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2014). Exercise Modality Effect on Bioenergetical Performance at VO₂max Intensity. *Medicine and science in sports and exercise*, published ahead of print.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Pyne, D. B., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2015). Exercise Modality Effect on Bioenergetical Performance at V'O₂max Intensity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(8), 1705-1713.
- Sousa, A. C., Figueiredo, P., Oliveira, N. L., Oliveira, J., Silva, A. J., Keskinen, K. L., Rodríguez, F. A., Machado, L. J., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2011). VO₂ kinetics in 200-m race-pace front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 32(10), 765-770.
- Stegmann, H., & Kindermann, W. (1982). Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol.l(-1) lactate. *International Journal of Sports Medicine*, 3(2), 105-110.
- Tanji, F., & Nabekura, Y. (2019). Oxygen uptake and respiratory exchange ratio relative to the lactate threshold running in well-trained distance runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59.
- Taylor, H. L., Buskirk, E., & Henschel, A. (1955). Maximal Oxygen Intake as an Objective Measure of Cardio-Respiratory Performance. *Journal of Applied Physiology*, 8(1), 73-80.
- Thevelein, X., Daly, D., & Persyn, U. (1984). Measurement of total energy use in the evaluation of competitive swimmers. 668-676.
- Toussaint, H. M., Carol, A., Kranenborg, H., & Truijens, M. J. (2006). Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(9), 1635-1642.

- Vilas-Boas, J. P., & Santos, P. (1994). *Comparison of Swimming Economy in Three Breaststroke Techniques*. Comunicação apresentada.
- Vilas Boas, J. P. (1989). Controlo de treino em Natação: considerações gerais, rigor e operacionalidade dos métodos de avaliação. *Comunicação apresentada nas Jornadas Técnico Galaico-Ourienses de Natação - Corunha*.
- Vitale, J. A., & Weydahl, A. (2017). Chronotype, Physical Activity, and Sport Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(9), 1859-1868.
- Wakayoshi, K., Ikuta, K., Yoshida, T., Udo, M., Moritani, T., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1992). Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*, 64(2), 153-157.
- West, J. B. (2012). *Respiratory Physiology* (Ninth Edition ed.).
- Whipp, B. J., Davis, J. A., Torres, F., & Wasserman, K. (1981). A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental Exercise Physiology*, 50(1), 217-221.
- Whipp, B. J., Ward, S. A., Lamarra, N., Davis, J. A., & Wasserman, K. (1982). Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental Exercise Physiology*, 52(6), 1506-1513.
- Zacca, R., Azevedo, R., Peterson Silveira, R., Vilas-Boas, J. P., Pyne, D. B., Castro, F. A. S., & Fernandes, R. J. (2019). Comparison of Incremental Intermittent and Time Trial Testing in Age-Group Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 801-810.
- Zacca, R., Fernandes, R. J., Pyne, D. B., & Castro, F. A. (2016). Swimming Training Assessment: The Critical Velocity and the 400-m Test for Age-Group Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1365-1372.
- Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F., & Capelli, C. (2005). Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *European journal of applied physiology*, 94, 697-704.

- Zamparo, P., Capelli, C., & Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: a historical perspective. *European Journal of Applied Physiology*, 111(3), 367-378.
- Zamparo, P., Cortesi, M., & Gatta, G. (2020). The energy cost of swimming and its determinants. *European Journal of Applied Physiology*, 120(1), 41-66.