

Caracterização biofísica dos 5000 m crol em águas abertas

Dissertação apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, no âmbito do 2º Ciclo de estudos para obtenção do grau de Mestre em Treino de Alto Rendimento Desportivo – Natação, de acordo com o Decreto-lei nº 74/2006 de 24 de março.

Orientador: Professor Doutor Ricardo Fernandes

Coorientador: Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas

Tiago da Silva Oliveira

Porto, setembro de 2018



Oliveira, T. (2018). Caracterização biofísica dos 5000 m crol em águas abertas. Dissertação de 2º ciclo em Treino de Alto Rendimento Desportivo. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Palavras-Chave: NATAÇÃO, BIOENERGÉTICA, BIOMECÂNICA, CROL, ÁGUAS ABERTAS.

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível com a preciosa ajuda e motivação de várias pessoas. Por muito que aqui escreva, nem todas as palavras são suficientes para agradecer a todos os que percorreram comigo este caminho e que, certamente, levarei comigo para a vida:

- Ao Professor Doutor Ricardo Fernandes pela disponibilidade apresentada ao longo de todo o processo, pelos conhecimentos transmitidos, pela forma como me ajudou a conduzir este projeto até ao fim.

- Ao Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas por me dar os seus conselhos quando tudo parece impossível de realizar. Muito obrigado por ter sido, na sua sala, o primeiro a dizer para avançar com este projeto quando os riscos eram elevados. Obrigado por acreditar em mim.

- À Professora Doutora Susana Soares um enorme obrigado pela ajuda sempre demonstrada e simpatia que teve ao longo deste percurso, principalmente, na altura de recolhas em que o material parece interminável.

- À Professora Doutora Beatriz Gomes pela ajuda em todo o processo em Montemor-o-Velho, que, sem a sua ajuda, tudo seria praticamente impossível, senão mesmo impossível, de realizar.

- Ao Professor Doutor Rodrigo Zacca o meu enorme obrigado. Mais que um colega, um amigo que levarei para a vida. Obrigado por todos os conselhos, pela incansável ajuda nas recolhas, na preparação e tratamento dos dados. Este trabalho fica mais enriquecido com a tua ajuda.

- À Federação Portuguesa de Natação pela disponibilidade demonstrada em contribuir para que este projeto fosse possível, dando assim mais um voto de confiança na evolução da disciplina em Portugal.

- Aos nadadores que se disponibilizaram a realizar este trabalho, porque sem a ajuda deles, nada disto seria possível... como se costuma dizer “sem artistas não existe circo”, bem como aos seus respetivos treinadores e clubes.

- À minha irmã, a minha mais pequena e mais importante do mundo, obrigado por seres tu mesma. Espero não ter sido um exemplo para ti nesta caminhada pelo meio dos livros, porque tu consegues bem mais.
- Aos meus pais, por serem os melhores pais do mundo e nunca terem desistido de mim, pelo apoio incondicional que deram ao longo dos meus anos de estudante. A eles agradeço o homem que sou hoje, porque se não fossem eles, eu não estaria a escrever esta dissertação. Do fundo do coração, obrigado!
- Aos meus avós, os meus segundos pais, obrigado por estarem sempre lá, pelas palavras carinhosas que me dão todos os dias, pelo amor que nos transmitem diariamente... sem dúvida a minha fonte de inspiração.
- À Vânia por ser a minha pessoa. Obrigado por todas as noites perdidas, por todas as conversas e incentivos, por todos os alertas (porque eu também os oiço, não parecendo). Obrigado por estares sempre comigo nos bons e nos maus momentos, obrigado por me fazeres acreditar quando mais ninguém acredita... como diz a música: "Tu és trevo de quatro folhas".
- A toda a minha família por me apoiar ao longo destes anos.
- Aos treinadores que levaram comigo durante as várias épocas de competição, obrigado pela paciência e dedicação. Uma palavra em especial ao meu treinador de sempre (e para sempre): ao Domingos Pinto, o meu enorme obrigado por seres a pessoa que és no meu coração e por tudo que me ensinaste, quer como nadador, como profissional e como homem.
- A todos os meus grandes amigos pelas palavras de conforto, compreensão e ajuda nos momentos em que a vida coloca obstáculos à nossa frente.
- Ao Mestre Diogo Carvalho pela disponibilidade e ajuda ao longo deste processo.
- Ao Ricardo Freire por toda a disponibilidade, compreensão e ajuda durante a fase experimental.

Índice

Índice de figuras	VII
Índice de tabelas	IX
Índice de equações	XI
Resumo	XIII
Abstract	XV
Abreviaturas	XVIII
1. Introdução	1
2. Material e Métodos	15
2.1 Caracterização da amostra	15
2.2 Procedimento experimental.....	15
2.3 Análise Estatística	20
3. Resultados.....	23
4. Discussão	27
5. Conclusão.....	35
6. Sugestões para estudos futuros	37
7. Bibliografia	39

Índice de figuras

Figura 1: Pirâmide dos sete fatores essenciais para o sucesso nas águas abertas (Munatones, 2008)	3
Figura 2: Evolução do número de participações no Campeonato Nacional de 5 km Indoor (FPN, 2018)	5
Figura 3: Diagrama síntese dos fatores determinantes do rendimento desportivo do nadador (Fernandes, 1999).....	8
Figura 4: Pista do Centro de Alto Rendimento de Montemor-o-Velho	16
Figura 5: Analisadores portáteis de lactato (Lactate Pro, Arkay, Inc., Quioto, Japão) e de glicemia (Accu-Chek Aviva, Hoffman- La Roche Ltd., Basileia, Suíça)	17
Figura 6: Avaliação dos parâmetros ventilatórios durante os 5000 m com o analisador portátil de gases (K4b2, Cosmed, Roma, Itália)	18
Figura 7: Captação de imagens do teste de 5 x 1000 m com a camara HDR-CX160E (Sony, Quioto, Japão), à esquerda, e com a camara GoPro Hero 3+ (GoPro, Califórnia, EUA), à direita	19
Figura 8: Cronofrequencímetro Finis 3 x 300 (Califórnia, Estados Unidos) e utilizado para controlo da FG dos nadadores.....	20
Figura 9: Contribuição energética no teste 5000 m crol	25
Figura 10: Exemplo da curva de modelação realizada para a cinética do VO ₂ durante os 5000 m	31

Índice de tabelas

Tabela 1: Atividades das seleções nacionais águas abertas	6
Tabela 2: Principais resultados internacionais dos nadadores portugueses de águas abertas entre 2012 e 2017.....	7
Tabela 3: Definição dos domínios de intensidade e zonas bioenergéticas de treino correspondentes (Fernandes, 2013)	12
Tabela 4: Caracterização antropométrica e do historial de treino dos nadadores participantes no estudo	15
Tabela 5: Valores médios \pm DP das variáveis bioenergéticas, biomecânicas e ventilatórias do teste 5000 m.....	24

Índice de equações

Equação 1	$v = E \cdot (ep \cdot D - 1)$	9
Equação 2	$VO_{2t} = A_0 + A_p \cdot 1 - et - TD_{\rho TP}$	17
Equação 3	$Anala = b \cdot La_{-basal} \cdot M$	18
Equação 4	$C = E \cdot v - 1$	19
Equação 5	$DC = v \cdot FG - 1$	20

Resumo

Compreender os determinantes biofísicos da natação de águas abertas é fundamental para melhorar a performance e atingir níveis competitivos elevados. A investigação científica em águas abertas está a dar os primeiros passos, sendo ainda escassa, não se conhecendo nenhum estudo que efetue uma análise biofísica em distâncias e ambientes oficiais (5, 7.5 e 10 km). O objetivo desta tese foi identificar e caracterizar os determinantes biofísicos do rendimento da técnica de crol numa distância de 5000 m em ambiente aberto, simulando uma situação competitiva. Sete nadadores, quatro do sexo masculino e três do sexo feminino, foram avaliados num protocolo de 5 x 1000 m para avaliação das variáveis bioenergéticas, como a concentração sanguínea de lactato ($[La^-]$) e glicemia, das variáveis biomecânicas, como a frequência gestual (FG), velocidade (v), distância por ciclo (DC) e o índice de braçada (IB), bem como das variáveis ventilatórias, como o consumo de oxigénio (cinética do $\dot{V}O_2$), a ventilação pulmonar (VE) e o coeficiente respiratório (R). Nas variáveis biomecânicas registamos um valor médio de v de $1.27 \pm 0.07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ao longo do teste, registando também o valor médio $33.8 \pm 2.2 \text{ m}\cdot\text{ciclo}^{-1}$ para a FG, $2.27 \pm 0.19 \text{ m}\cdot\text{ciclo}^{-1}$ para DC, $7.47 \pm 0.49 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ciclo}^{-1}$ para o IB, enquanto nas variáveis bioenergéticas registamos o valor médio de $2.4 \pm 0.9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ para $[La^-]$ e $86 \pm 6 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$ para glicemia. Nas variáveis ventilatórias obtivemos um valor médio de $\dot{V}O_{2\text{absoluto}}$ de $2.61 \pm 0.61 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, um valor médio de $72.6 \pm 19.4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ na VE e, no R, registamos um valor médio de 0.99 ± 0.04 , sendo que o gasto energético e o custo energético obtiveram um valor médio de $637 \pm 54 \text{ kJ}$ e $0.6 \pm 0.05 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-1}$ com a fonte aeróbia representando $\sim 95.6\%$. Os resultados sugerem que nos 5000 m em águas abertas, a contribuição energética aeróbia desempenha um papel fundamental na demanda de energia dos nadadores existindo também um equilíbrio fisiológico a par de um ajuste biomecânico.

Palavras-Chave: NATAÇÃO, BIOENERGÉTICA, BIOMECÂNICA, CROL, ÁGUAS ABERTAS.

Abstract

Understanding the biophysical determinants of open water swimming is fundamental to enhance performance and achieve high-standard levels in competitive swimming. Scientific research in open water is taking its first steps and is still scarce, and no studies are known to carry out a biophysical analysis at official distances and environments (5, 7.5 and 10 km). The purpose of this Thesis was to identify and characterize front crawl biophysical performance determinants in 5000 m in open environment, simulating a competitive situation. Seven swimmers, four males and three females, were evaluated in a 5 x 1000 m protocol for the assessment of bioenergetic variables, such as blood lactate concentration ($[La^-]$) and blood glucose, of biomechanical variables, such as stroke rate (SR), velocity (v), stroke length (SI) and stroke index (SI), and also of ventilatory variables, such as oxygen uptake ($\dot{V}O_2$ kinetics), pulmonary ventilation and respiratory coefficient. In the biomechanical variables we recorded a mean value of the velocity of $1.27 \pm 0.07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, during the test, recorded also a mean value $33.8 \pm 2.2 \text{ cycles}\cdot\text{min}^{-1}$ for stroke rate, $2.27 \pm 0.19 \text{ m}\cdot\text{cycle}^{-1}$ for stroke length, $7.47 \pm 0.49 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cycle}^{-1}$ for stroke index (SI), while in the bioenergetic variables we recorded a mean value of $2.4 \pm 0.9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ for $[La^-]$ and $86 \pm 6 \text{ mg}\cdot\text{dL}^{-1}$ for blood glucose. In the ventilatory variables we recorded a mean value of the $\dot{V}O_{2\text{absolute}}$ of $2.61 \pm 0.61 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, a mean value of $72.6 \pm 19.4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ for pulmonary ventilation and, in respiratory coefficient, we recorded a mean value of 0.99 ± 0.04 , with energy expenditure and energy cost ranged around $637 \pm 54 \text{ kJ}$ and $0.6 \pm 0.05 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-1}$ with the aerobic pathway accounting for $\sim 95.6\%$. The results suggest that in 5000 m open water swimming, the aerobic energy contribution plays a fundamental role in energy demand swimmers and there is also a physiological balance along with a biomechanical fit.

Key words: SWIMMING, BIOENERGETIC, BIOMECHANICS, FRONT CRAWL, OPEN WATER

Abreviaturas

[La ⁻]	Concentração sanguínea de lactato
±	Mais ou menos
♀	Género feminino
♂	Género masculino
Ap	Amplitude do consumo de oxigénio
Aer	Componente energética aeróbia
Ana _{ala}	Componente energética anaeróbia alática
Ana _{la}	Componente energética anaeróbia láctica
b	Equivalente energético
bpm	Batimentos por minuto
C	Custo energético
CHO	Hidratos de carbono
CN	Campeonato nacional
cm	Centímetros
D	Arrasto hidrodinâmico
DC	Distância percorrida por ciclo
DP	Desvio-padrão
É	Dispêndio energético
e _p	Eficiência mecânica propulsiva
FC	Frequência cardíaca
FG	Frequência gestual
FINA	Fédération Internationale de Natation
FPN	Federação Portuguesa de Natação
IB	Índice de braçada
kJ	Kilojoule
km	Quilómetros
LAN	Limiar Anaeróbio

LEN	Ligue Européenne de Natation
M	Massa corporal
min	Minutos
ml	Mililitros
NP	Natação pura
O ₂	Oxigénio
R	Quociente respiratório
s	Segundos
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
t	Tempo
τ	Constante de tempo
TD	Tempo de atraso
v	Velocidade
VE	Ventilação pulmonar
VO ₂	Consumo de oxigénio

1. Introdução

O meio aquático é considerado um ambiente confortável ao ser humano. Contudo, na antiguidade, a natação era vista como uma atividade de sobrevivência, bem como para poder pescar ou, simplesmente, não se afogar após uma queda no rio (Lewin, 1979) mas também como técnica militar. Mas afinal o que entendemos por natação? Entendemos a natação como forma de sustentação e deslocação de uma pessoa através de movimentos necessários e sem tocar no solo ou noutro apoio sólido (Rodríguez, 1997). Assim sendo, podemos definir natação como uma habilidade que permite ao ser humano deslocar-se na água devido às forças propulsivas geradas autonomamente sobretudo através dos membros superiores, inferiores e do tronco, vencendo as resistências que se lhe opõem.

A natação é uma modalidade desportiva individual, fechada, contínua e cíclica. É também uma modalidade mista, uma vez que o rendimento desportivo do nadador está intimamente dependente de fatores bioenergéticos e biomecânicos (Fernandes & Vilas-Boas, 2006). Apesar de algumas alterações no nome das disciplinas, atualmente são cinco as associadas a esta modalidade: natação pura, polo aquático, natação artística, saltos para a água e natação de águas abertas, sendo esta última das mais recentes disciplinas da *Fédération Internationale de Natation* (FINA), órgão que regula a natação a nível internacional e que reconheceu oficialmente a natação de águas abertas como disciplina em 1986 (Kruger et al., 2011).

A primeira grande competição internacional da disciplina de Águas Abertas foi o Campeonato do Mundo em Perth, em 1991, com a prova de 25 km e a prova de 10 km teve a sua estreia no programa de Campeonatos do Mundo em Fukuoka, em 2001. A maior conquista da disciplina foi a integração da prova de 10 km nos Jogos Olímpicos de Pequim, em 2008. Atualmente são disputados os títulos mundiais e europeus dos 5, 10 e 25 km a nível individual e os 4 x 1250 m a nível coletivo. Os Campeonatos da Europa são organizados pela *Ligue Européenne*

de Natation (LEN), que supervisiona os desportos aquáticos na Europa e se encontra filiada na FINA. A LEN também organiza uma competição de elite, a *Len Open Water Cup*, esta época disputada em seis etapas com distâncias que vão dos 6 aos 10 km.

As competições de natação de águas abertas têm lugar num ambiente distinto da natação pura, uma vez que a dinâmica do meio que os nadadores podem encontrar é muito variada (Neves, 2017). Esta disciplina apresenta aspetos singulares que lhe conferem caráter próprio e com necessidades de preparação diferentes (Swift, 2003). As competições podem ser realizadas em diferentes espaços (rios, lagos, albufeiras, mar e pistas), com água salgada ou doce, em águas paradas ou com correntes e com temperaturas que podem variar entre os 16 e os 31°C (Borges, 2015). Podem apresentar diferentes tipos de partidas (com ou sem plataforma e com ou sem ordem pré-estabelecida), diferentes configurações de percurso e número variado de voltas e de marcadores de circuito, variando também as condições de abastecimento, número de nadadores a participar, estratégias e velocidades de nado.

Existem outras características que a diferenciam da natação pura, como por exemplo as distâncias a percorrer, as referências visuais (que servem como orientação) e o nado em grupo (que proporciona o contacto físico). Devido a esta variedade de fatores, a natação de águas abertas representa a mais diversa e fisiologicamente desafiadora disciplina da FINA (Shaw et al., 2014) e os nadadores de águas abertas desenvolvem características muito específicas, seja a nível mental ou físico (Borges, 2015). Nadadores de águas abertas têm de ser capazes de se adaptar e lidar com o inesperado (Munatones, 2008) e devem ter uma boa capacidade aeróbia associada à capacidade de nadar a velocidades elevadas durante longos períodos de tempo (VanHeest et al., 2004).

Baseado na proposta efetuada por Munatones (2008, Figura 1) são sete os pilares que suportam a preparação de um nadador de águas abertas: (i) treino de base, que representa todo o trabalho que o nadador realiza em piscina, sendo composto por um elevado volume de treino; (ii) treino de velocidade, fundamental para garantir uma boa colocação aquando da partida, para responder às

diferentes acelerações da competição e para o momento de chegada; (iii) treino de tolerância à distância, que tem o objetivo de preparar física e psicologicamente o nadador para as distâncias da competição; (iv) treino específico, que consiste em simular situações de competição na piscina (contorno de boias, nado em grupo e nado na esteira); (v) treino técnico, que prevê preparar o nadador para as situações de competição; (vi) treino de aclimatização, fundamental para o nadador quando este espera situações adversas à sua zona de conforto; e (vii) treino tático, que consiste na preparação de uma tática para a competição, antecipando todos os cenários possíveis.

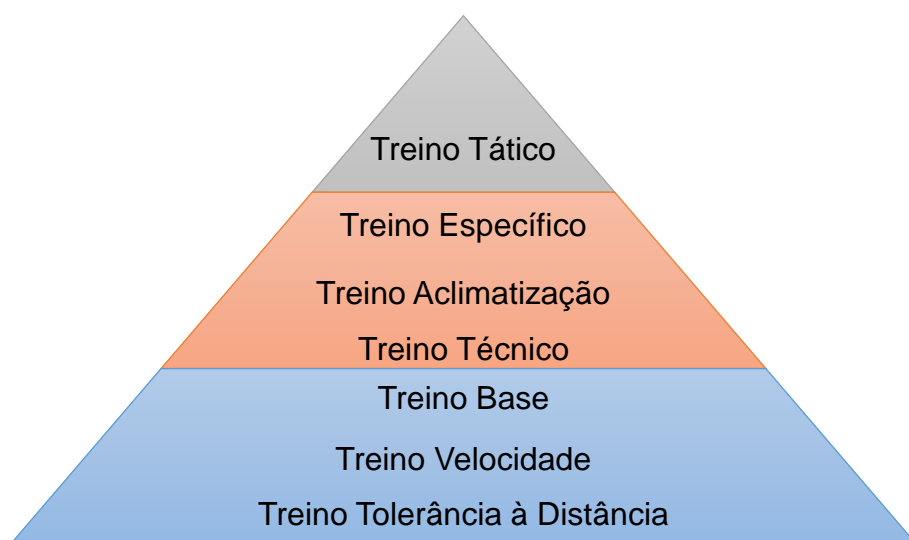


Figura 1: Pirâmide dos sete fatores essenciais para o sucesso nas águas abertas (Munatones, 2008).

Mesmo sabendo das diferenças existentes entre natação de águas abertas e natação pura, as marcas realizadas pelos nadadores em provas de natação pura (800/1500 m livres) tornam-se um importante critério de afirmação na disciplina de águas abertas (Vorontsov, 2008), uma vez que alguns dos melhores classificados nos 10 km nos Jogos Olímpicos realizaram igualmente boas classificações nas competições de piscina (Borges, 2015).

A velocidade de nado a que as provas internacionais de águas abertas são disputadas tem tido uma evolução constante, sendo que as médias a que os

nadadores competem têm evoluído ano após ano, independentemente do local e das condições que a competição oferece (Borges, 2015). Complementarmente, uma prova de águas abertas tem como característica específica a variação de velocidades em determinados momentos da mesma, sendo que os nadadores utilizam estratégias pré-definidas para alcançar a vitória (Borges, 2015). Posteriormente, a introdução da utilização dos fatos de neoprene em competições de águas abertas teve uma influência positiva na velocidade de nado em ambos os géneros, verificando-se uma melhoria mais significativa no setor feminino em distâncias mais longas (Ulsamer et al., 2014).

Em eventos de longa duração (> 30 min), os nadadores adotam um perfil uniforme ao longo da prova, selecionando a velocidade de nado que são capazes de manter até ao final da competição, principalmente, a partir do momento em que existe uma fadiga muscular e psicológica acumulada que provoca a diminuição do rendimento do nadador (Rodriguez et al., 2017). Como a natação de águas abertas é uma disciplina onde o resultado final se baseia na classificação final e não na diferença dos tempos entre os nadadores, estes devem ter consciência de todos os fatores extrínsecos, entre os quais os adversários, e ter uma boa capacidade aeróbia para maximizar o rendimento na competição.

Como já referido, nesta disciplina os nadadores estão em contacto frequente nadando logo atrás ou ao lado do adversário, reduzindo assim o custo energético do nado, permitindo economizar energia para alcançar velocidades mais elevadas no final da competição. Sabemos também que os nadadores de sucesso de águas abertas utilizam o aumento de velocidade na parte final da competição como estratégia, sendo a segunda parte da prova mais rápida que a primeira (Baldassarre et al., 2017), ou inversamente, assumem a liderança da competição desde o início. Uma estratégia adotada na prova de 10 km no Campeonato Mundial de 2015 foi a mudança de velocidade nos últimos 2.5 km, ou seja, um ritmo de nado constante nos três primeiros quartos da prova, existindo alguns picos de velocidade, enquanto no último quarto a velocidade foi significativamente elevada comparativamente à restante competição (Rodriguez et al., 2017).

Em Portugal, a disciplina tem vindo a desenvolver-se de forma consistente, quer a nível do número de nadadores (Borges, 2015; FPN, 2018), quer a nível de competições nacionais organizadas pela Federação Portuguesa de Natação (FPN). Podemos constatar um aumento do número de nadadores masculinos no Campeonato Nacional de 5 km Indoor (Figura 2).

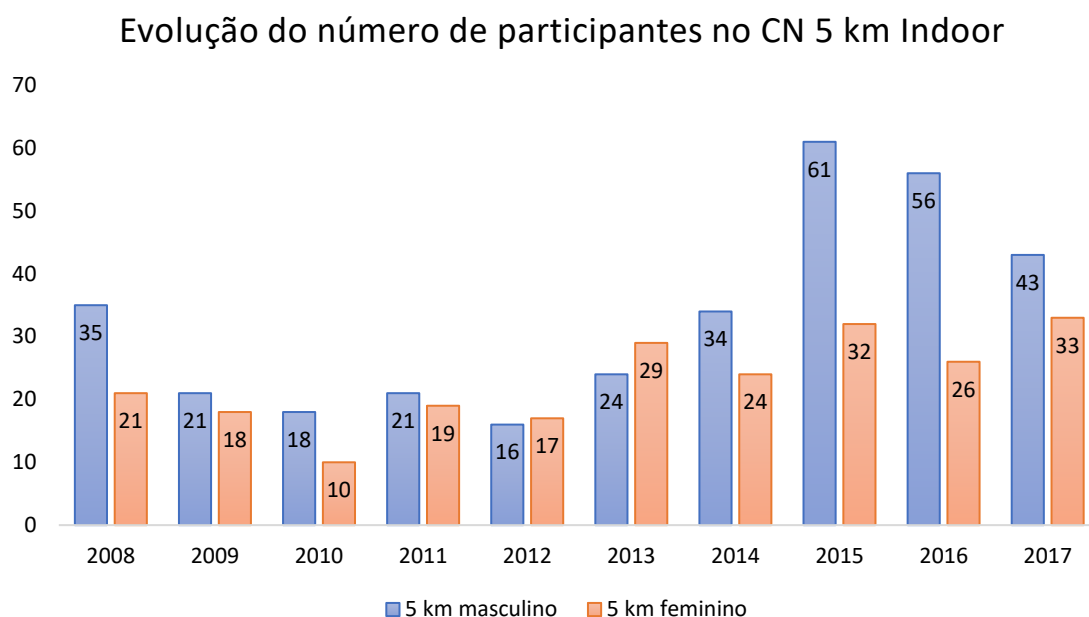


Figura 2: Evolução do número de participações no Campeonato Nacional de 5 km Indoor (FPN, 2018).

A FPN, em conjunto com as respetivas federações internacionais, organiza uma das mais conceituadas etapas da *10 km Swimming World Cup*, em Setúbal, cuja primeira edição foi em 2007 e uma *Len Cup*, prova com 10 km, que teve em novembro de 2015 a sua estreia, no Funchal. De referir que a prova de apuramento olímpico, a *Marathon Swimming Olympic Games Qualification Tournament*, para os Jogos Olímpicos Londres' 2012 e Rio de Janeiro' 2016, foram ambas realizadas em Portugal, mais precisamente em Setúbal. No que respeita às atividades das seleções nacionais, a irregularidade tem sido uma constante, ficando muito aquém das necessidades inerentes ao alto rendimento desportivo (Borges, 2015).

Sabendo da importância da participação em competições nacionais e, principalmente, internacionais para o crescimento das águas abertas enquanto modalidade desportiva e da experiência competitiva dos nadadores, as adversidades e a tentativa de possibilitar maior e melhor contacto internacional a nadadores portugueses por parte da FPN ainda não correspondiam à três anos atrás às necessidades do alto rendimento desportivo (Borges, 2015, Tabela 1). No entanto, as prestações internacionais dos nadadores portugueses têm sido de boa qualidade, como podemos constatar na Tabela 2, onde são apresentadas as melhores classificações obtidas nas principais competições internacionais no período (2012-2017), destacando-se as duas participações olímpicas em Londres' 2012 e Rio de Janeiro' 2016.

Tabela 1: Atividades das seleções nacionais águas abertas.

Ano	Competições	Participações
2012	8	18
2013	5	24
2014	5	20
2015	7	31
2016	12	25
2017	8	38

Tabela 2: Principais resultados internacionais dos nadadores portugueses de águas abertas entre 2012 e 2017.

Competição	Local	Ano	Prova	Classificação	Nadador
Jogos Olímpicos	Londres	2012	10km	19º	Arseniy Lavrentyev
	Rio de Janeiro	2016	10km	24º	Vânia Neves
Campeonatos do Mundo Absolutos	Barcelona	2013	5km	14º	Vasco Gaspar
	Budapeste	2017	5km	19º	Angélica André
	Barcelona	2013	10km	33º	Vasco Gaspar
	Budapeste	2017	10km	35º	Angélica André
	Barcelona	2013	25km	27º	Arseniy Lavrentyev
Campeonatos do Mundo Juniores	Hoorn	2016	5km	21º	Diogo Cardoso
	Welland	2012	5km	9º	Florabela Machado
	Welland	2012	7.5km	8º	Angélica André
Campeonatos da Europa Absolutos	Hoorn	2016	10km	15º	Diogo Marques
	Hoorn	2016	5Km	19º	Rafael Gil
	Hoorn	2016	5km	13º	Angélica André
	Piombino	2012	10Km	20º	Mário Bonança
	Hoorn	2016	10Km	5º	Angélica André
	Piombino	2012	25Km	2º	Arseniy Lavrentyev
Campeonato da Europa de Juniores	Berlin	2014	25Km	11º	Angélica André
	Tenero	2015	5Km	26º	Diogo Nunes
	Kocaeli	2013	5Km	19º	Florabela Machado
	Tenero	2015	7.5Km	17º	Diogo Marques
10Km Swimming World Cup	Kocaeli	2013	7.5Km	10º	Florabela Machado
	Canadá	2015	10Km	9º	Hugo Ribeiro
Len Cup	Setúbal	2015	10Km	5º	Angélica André
	Madeira	2016	10Km	3º	Rafael Gil
	Madeira	2016	10Km	2º	Angélica André

Dado o aumento progressivo do número de participantes e o número de competições ao longo dos anos nas principais competições internacionais (Baldassarre et al., 2017; Vogt et al., 2013), o conhecimento técnico-científico na

disciplina é escasso, levando a que os profissionais que a acompanham sintam a necessidade de procurar esse conhecimento em disciplinas de exigência semelhante, na busca do incremento do rendimento dos nadadores de águas abertas.

O controlo e avaliação do treino tem sido apresentado como um aspeto fundamental à planificação de qualquer modalidade sendo uma tarefa primordial no processo de treino (Vilas-Boas, 1989), definido como um conjunto de tarefas que permitem a avaliação dos resultados e adequação dos programas e exercícios de treino, bem como o desenvolvimento dos fatores de rendimento e objetivação do processo de treino (Fernandes et al., 2009). O modelo proposto por Fernandes (1999) interrelaciona vários fatores que, direta ou indiretamente, influenciam o rendimento do nadador, sugerindo assim um modelo que interrelaciona aspetos genéticos, biomecânicos, bioenergéticos, psicológicos e contextuais e que se constituem como determinantes do rendimento desportivo do nadador (Figura 3).

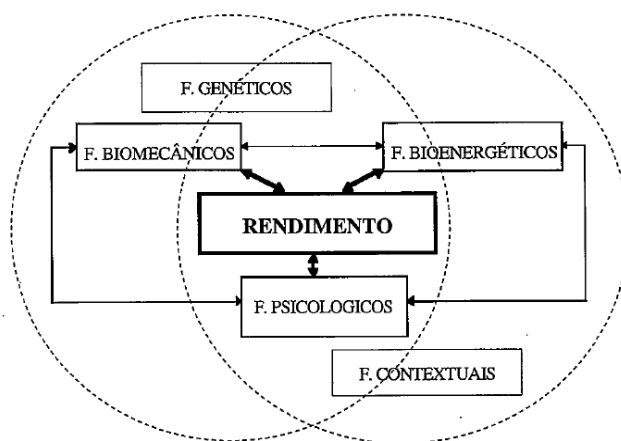


Figura 3: Diagrama síntese dos fatores determinantes do rendimento desportivo do nadador (Fernandes, 1999).

Quando o objetivo passa por atingir o alto rendimento, os fatores fisiológicos e biomecânicos, determinantes evidentes no rendimento (Barbosa et al., 2006), passam a ser analisados de forma a tornar o trabalho mais específico. Esse

trabalho mais específico passa pela procura de novas técnicas de recuperação e melhoria na eficiência técnica (Vilas-Boas, 1989; Toubekis et al., 2005; Rama et al., 2006). Ou seja, o perfil biofísico do nadador tem como objetivos primários o incremento da economia e/ou eficiência do nadador (Barbosa et al., 2006). É consensual que uma abordagem biofísica é um elemento que maximiza a *performance* e permite ao nadador atingir níveis mais elevados em competição (Barbosa et al., 2010; Vilas-Boas, 2010). A *performance* de um nadador pode ser expressa por:

Equação 1
$$v = \dot{E} \cdot (e_p \cdot D^{-1})$$

onde v é a velocidade de nado, \dot{E} é o dispêndio energético, e_p expressa a eficiência mecânica propulsiva e D representa o arrasto hidrodinâmico oposto ao deslocamento do nadador. Esta equação pode ser descrita como “equação geral da performance do nadador” e o seu desenvolvimento teórico ficou a dever-se, principalmente, aos trabalhos de di Prampero et al. (1974), Rennie et al. (1975), Pendergast et al. (1977), Pendergast et al. (1978) e Holmer (1983), evidenciando que o resultado final do nadador é diretamente dependente da energia total disponível, da eficiência propulsiva e da resistência hidrodinâmica a que se sujeita.

A comunidade científica tem avaliado o \dot{E} dos nadadores através da quantificação energética das fontes aeróbias e anaeróbias (Toussaint & Beek, 1992; Olbrecht, 2000; Zamparo et al., 2011), nomeadamente através da determinação do consumo de oxigénio ($\dot{V}O_2$) como medida do metabolismo aeróbio e da concentração sanguínea de lactato ($[La^-]$) como indicador do metabolismo anaeróbio láctico (Fernandes, 2013). Tem sido verificado que a manutenção do exercício após alguns segundos, depende de uma suplementação adequado e utilização de oxigénio (Jones & Poole, 2005). A intensidades submáximas a avaliação do $\dot{V}O_2$ é suficiente para fornecer uma medida geral do \dot{E} do esforço (Zamparo et al., 2011) mas, a intensidades mais elevadas, a sua determinação é mais desafiadora, uma vez que a contribuição anaeróbia não pode ser negligenciada (Sousa et al., 2013).

Fernandes et al. (2012) consideram que a análise da cinética do $\dot{V}O_2$ é uma ferramenta útil quer para o treino quer para o diagnóstico em natação, particularmente para melhorar a compreensão da tolerância ao exercício, do efeito que parâmetros tradicionais de função fisiológica e indicadores de eficiência/economia de nado têm na resposta do $\dot{V}O_2$ durante o nado (Bentley et al., 2007; Reis et al., 2012a; Rodríguez et al., 2003; Sousa et al., 2011).

O controlo da frequência cardíaca (FC), da $[La^-]$ e da glicemia têm-se tornado prática comum no processo de avaliação e controlo de treino. Segundo Maglischo (2003), o valor da FC pode ser utilizado para monitorizar a resposta do nadador à carga de treino, avaliar as alterações na condição física e na prescrição das intensidades de treino e, quando retirada após um esforço submáximo, constitui um método para determinar a intensidade do exercício (Maglischo, 2003). As medições da $[La^-]$ fornece uma resposta bioenergética ao exercício, correlacionando a concentração de lactato muscular, venoso e capilar com a *performance* (Maglischo, 2003; Vescovi et al., 2011) e é tido como indicador da ativação do uso de hidratos de carbono como combustível do metabolismo aeróbio (Beneke et al., 2009).

Além da avaliação da $[La^-]$, a análise dos níveis de glicose, o substrato da via glicolítica, pode servir como um indicador útil do nível desportivo do nadador (Makar & Bielec, 2013), antecipando o seu comportamento em resposta ao esforço de nado. A intensidade e a duração do exercício são determinantes no consumo de glicose pelo musculo esquelético (SyLOW et al., 2016), logo o exercício constitui um forte indutor de alterações glicémicas, quer devido ao aumento da captação periférica de glicose (Hardin et al., 1995), quer devido às respostas hormonais (Robergs & Roberts, 2000). Contudo, uma elevada percentagem dos estudos que analisam os efeitos da intensidade do exercício nos níveis de glicose em natação, são conduzidos em populações com diabetes (Makar & Bielec, 2013).

O sucesso desportivo do nadador é também determinado pela sua capacidade de se propulsionar, enquanto reduz a resistência hidrodinâmica ao seu deslocamento (Fernandes, 2013). Uma vez que a eficiência propulsiva e o

arrasto hidrodinâmico são de difícil, morosa e dispendiosa avaliação, a sua análise habitualmente recai sobre os parâmetros cinemáticos: a frequência gestual (FG) e a distância percorrida por ciclo (DC). A relação entre a FG, a DC e a v, de acordo com a distância percorrida, tem sido um dos maiores pontos de interesse na investigação biomecânica (Barbosa et al., 2010; Figueiredo et al., 2013). Outro indicador de grande utilidade para medir a habilidade técnica do nadador é o índice de braçada (IB; Costill et al., 1985), assumindo-se que quanto mais elevado o IB, melhor será a proficiência técnica do nadador (Vilas-Boas, 2013).

Fernandes (2013) apresenta um resumo dos quatro domínios de intensidade do exercício: baixa-moderada, pesada, severa (Burnley & Jones, 2007) e extrema (Hill et al., 2002) com parâmetros que delimitam as respostas fisiológicas e biomecânicas, bem como o espectro de tempo e as zonas bioenergéticas de treino correspondentes (Tabela 3).

Tabela 3: Definição dos domínios de intensidade e zonas bioenergéticas de treino correspondentes (Fernandes, 2013).

Domínio	Limites	$\dot{V}O_2$	[La ⁻] (mmol.L ⁻¹)	FC (bpm)	FG (ciclos.min ⁻¹)	Espectro De Tempo	Zonas de treino
(Baixa) / Moderada	≤LAN	Duas componentes; Estado de equilíbrio atingido em 3 min	< 3-4	<150/160	< 35	≥ 30 min	Capacidade Aeróbia 1 e 2
Pesada	>LAN	Três componentes; Evidencia de Componente lenta (SC); estado de equilíbrio em 10-20 min; $\dot{V}O_2$ elevado	4/5-7	160-170	35-40	10-20 min	Capacidade Aeróbia 3
Severa	< $\dot{V}O_{2máx}$	Duas/três componentes; SC desenvolve-se continuamente abaixo do $\dot{V}O_{2máx}$; sem estado de equilíbrio; $\dot{V}O_{2máx}$ é alcançado se sustentado	8-10	170-190	40-45	3-6 min	Potência Aeróbia
Extrema	> $\dot{V}O_{2máx}$	Duas componentes; sem evidencia de SC; $\dot{V}O_{2máx}$ não é alcançado	>10	>190	>45	< 120 s	Capacidade e Potência Anaeróbia

A otimização das variáveis determinantes do rendimento conduz a um aperfeiçoamento da performance. O mais aproximado que aparece na literatura é a análise de intensidade de nado correspondente ao limiar anaeróbio (LAN), determinado através de algumas repetições de 30 min de nado contínuo aquando da realização do teste da máxima fase estável de $[La^-]$ (Dekerle et al., 2005; Pelarigo et al., 2016) e a caracterização biofísica de 5000 m em piscina (Neves, 2017). É fundamental que os agentes envolvidos tenham conhecimento das alterações que podem acontecer em longas distâncias, bem como as consequências dessas alterações. Assim na presente dissertação realizou-se uma caracterização combinada de fatores bioenergéticos e biomecânicos, i.e., uma caracterização biofísica, numa distância de 5000 m na técnica de crol num ambiente natural, tendo como objetivos da mesma os seguintes parâmetros:

- i) Compreender qual o domínio de intensidade que os nadadores utilizam na distância de 5000 m;
- ii) Analisar o comportamento biomecânico e biofísico do nadador ao longo da distância;
- iii) Transportar para a prática desportiva estratégias para que se consiga maximizar o rendimento dos nadadores de águas abertas em competição.

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização da amostra

No presente estudo participaram sete nadadores filiados na FPN (três do sexo feminino e quatro do sexo masculino), especialistas em provas de águas abertas, sendo que dois nadadores estão integrados nos escalões de júnior e os restantes no escalão sénior. As suas principais características antropométricas, bem como o seu historial de treino, são apresentados na Tabela 4 onde foi possível constatar que os nadadores são mais pesados e mais altos que as nadadoras.

Tabela 4: Caracterização antropométrica e do historial de treino dos nadadores participantes no estudo.

	Feminino	Masculino	Total
Massa corporal (kg)	59.3 ± 2.9*	80.5 ± 13.8*	71.4 ± 15.2
Altura (cm)	168.0 ± 2.7*	179.5 ± 5.6*	174.6 ± 7.5
Idade (anos)	21.3 ± 5.1	20.0 ± 1.6	20.6 ± 3.6
Prática de natação (anos)	13.0 ± 4.6	10.8 ± 1.5	11.7 ± 3.1
Frequência de treino			
Unidades de treino semanais	9.3 ± 0.6	9.5 ± 1.3	9.4 ± 1.0
Horas semanais	19.3 ± 5.1	19.5 ± 3.7	19.4 ± 4.0
km semanais	57.3 ± 11.4	57.5 ± 12.6	57.4 ± 11.1

*P<0.05

2.2 Procedimento experimental

O estudo realizado consistiu numa simulação de 5000 m crol em ambiente favorável a competições de natação de águas abertas, mais especificamente numa pista (Figura 4). Para esse efeito, os nadadores realizaram partida dentro de água e foi feito um intervalo de 1 min ao final de cada 1000 m. O procedimento experimental consistia em realizar 5000 m respeitando as estratégias de provas dos nadadores simulando uma situação real dessa mesma distância. Facto de referir que, durante as pausas realizadas para recolha dos dados fisiológicos, os atletas não tinham nenhum abastecimento, condições que são encontradas nas

provas de 5000 m. Este método de avaliação dos nadadores esteve de acordo com estratégias adotadas em prova pelos mesmos e também estratégia já utilizada no Campeonato do Mundo e Jogos Olímpicos (Baldassarre et al., 2017; Rodriguez & Veiga, 2017).



Figura 4: Pista do Centro de Alto Rendimento de Montemor-o-Velho.

As variáveis bioenergéticas avaliadas foram a $[La^-]$, a glicemia, o $\dot{V}O_2$ (onde se incluiu a sua cinética), a FC, o \dot{E} e o custo energético (C). Para determinar a $[La^-]$ e a glicemia foram retiradas amostras de sangue capilar da ponta do dedo indicador do nadador e quantificadas através de analisadores portáteis de lactato (Lactate Pro 2, Arkay, Inc., Quioto, Japão) e de glicose sanguínea (Accu-Chek Aviva, Hoffman-La Roche Ltd., Basileia, Suíça) (Figura 5). Estas variáveis foram analisadas durante o minuto de intervalo em cada 1000 m. A FC foi controlada continuamente, em intervalos de 5 s, durante todo o exercício, através de um cardiófrequencímetro Polar Vantage NV (Polar Eletro Oy, Kempele, Finlândia), fornecendo um indicador mais exato do mecanismo central do esforço a que o nadador está sujeito (Fernandes, 2013).



Figura 5: Analisadores portáteis de lactato (Lactate Pro, Arkay, Inc., Quioto, Japão) e de glicemia (Accu-Chek Aviva, Hoffman- La Roche Ltd., Basileia, Suíça).

Foi utilizado um analisador de gases portátil (K4b², Cosmed, Roma, Itália), conectado ao nadador por um snorkel e uma válvula respiratória de baixa resistência hidrodinâmica (Aquatrainer, Cosmed, Roma, Itália, Figura 6, Ribeiro et al., 2016), com o objetivo de analisar o $\dot{V}O_2$ e a sua cinética ao longo do teste. O analisador de gases portátil telemétrico foi calibrado antes de cada sessão de teste com gases de concentração conhecidos (16% O₂ e 5% CO₂). Os valores das trocas gasosas, particularmente do $\dot{V}O_2$, foram gravados respiração-a-respiração, tendo sido considerados apenas os valores de $\dot{V}O_2$ compreendidos entre a média \pm 4 DP, a cada 10 s e com três suavizações (de Jesus et al., 2014). Para os parâmetros ventilatórios estudados, o valor de cada distância foi obtido pela média do último minuto do tempo de nado. A cinética do $\dot{V}O_2$ foi modelada pela seguinte função exponencial:

Equação 2
$$\dot{V}O_2(t) = A_0 + A_p \cdot (1 - e^{-(t-TD_p)/\tau_p})$$

onde $\dot{V}O_2(t)$ representa o $\dot{V}O_2$ por unidade de tempo (ml·min⁻¹), A_0 é a amplitude basal de $\dot{V}O_2$ (ml·min⁻¹), A_p é a amplitude do $\dot{V}O_2$ (ml·min⁻¹), TD é o tempo de atraso do $\dot{V}O_2$ (s) e τ é a constante de tempo (s). Foi utilizada esta função uma vez que a intensidades moderadas de exercício são habitualmente descritas por modelações monoexponenciais (Ozyener et al., 2001).



Figura 6: Avaliação dos parâmetros ventilatórios durante os 5000 m com o analisador portátil de gases (K4b2, Cosmed, Roma, Itália).

O $\dot{V}O_2$ foi assumido como sendo o somatório das componentes energéticas aeróbia (Aer) e anaeróbia láctica (Ana_{la}) (Fernandes et al., 2005; Fernandes et al., 2006). A contribuição Aer foi calculada através da multiplicação do integral no tempo do $\dot{V}O_2$ de repouso ($\dot{V}O_{2basal}$) pela relação de tempo nos intervalos de tempo apropriados (mLO_2) e, em seguida, expressa em kJ assumindo um equivalente de energia de $20.9 \text{ kJ} \cdot LO_2^{-1}$ (Figueiredo et al., 2011; Sousa et al., 2014; Zamparo et al., 2011). A contribuição Ana_{la} foi estimada através da energia proveniente da produção de ácido láctico (equação 3):

Equação 3
$$Ana_{la} = b \cdot [La^-]_{basal} \cdot M$$

onde $[La^-]_{basal}$ é o lactato de repouso, b é o equivalente energético para a acumulação de lactato no sangue capilar ($2.7 \text{ ml } O_2 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) (di Prampero et al., 1978; Thevelein et al., 1984) e M (kg) é a massa corporal do nadador. Neste caso, a contribuição do sistema anaeróbio alático foi desconsiderada (Vilas-Boas, 1996) pois o exercício é de intensidade moderada. As variáveis foram expressas em kJ assumindo um equivalente de energia de $20.9 \text{ kJ} \cdot IO_2^{-1}$ (Zamparo et al., 2011).

O C foi determinado por representar a energia despendida para se percorrer uma determinada distância (di Prampero, 1986; Pendergast et al., 2003; Zamparo et

al., 2001), sendo considerado o declive da regressão linear obtida através da relação de \dot{E} com a v correspondente a cada repetição do teste (Fernandes et al., 2006).

Equação 4
$$C = \dot{E} \cdot v^{-1}$$

No presente estudo, as variáveis biomecânicas sujeitas a avaliação foram a v , a FG, a DC e o IB. A sua determinação foi feita com recurso a imagens capturadas por uma câmara de vídeo (HDR-CX160E, Sony, Quioto, Japão, Figura 7), duas câmaras de ação (GoPro Hero 3+, GoPro, Califórnia, Estados Unidos da América, Figura 8) e a cronómetros com cronofrequencímetros.

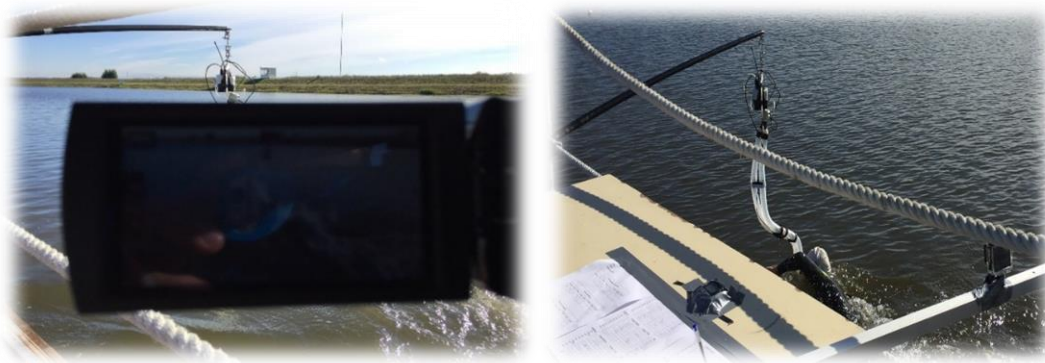


Figura 7: Captação de imagens do teste de 5 x 1000 m com a camara HDR-CX160E (Sony, Quioto, Japão), à esquerda, e com a camara GoPro Hero 3+ (GoPro, Califórnia, EUA), à direita.

A FG foi calculada pelo quociente entre o número de ciclos realizados pelos membros superiores numa determinada distância e o tempo gasto nesse percurso (Maglischo, 2003). Neste caso particular, a FG foi determinada recorrendo-se a um cronofrequencímetro de base 3 (3 x 300M Stopwatch, Finis, California, Estados Unidos, Figura 9), permitindo o seu cálculo automático através da análise de três ciclos. A DC foi sendo considerada como um dos fatores com maior preponderância para se alcançar o sucesso em competição (Toussaint et al., 2006) e foi calculada através da razão entre v e FG (Craig & Pendergast, 1979). O IB foi definido pelo produto da DC com a v (Costill et al., 1985).

Equação 5

$$DC = v \cdot FG^{-1}$$

Os tempos finais e parciais de cada nadador foram obtidos por cronometragem manual (3 x 300M Stopwatch, Finis, Califórnia, Estados Unidos, Figura 9) e a v foi calculada através do quociente entre a distância percorrida e o tempo gasto a percorrer essa distância.



Figura 8: Cronofrequencimetro Finis 3 x 300 (Califórnia, Estados Unidos) e utilizado para controle da FG dos nadadores.

2.3 Análise Estatística

A análise estatística dos dados foi efetuada na versão 25.0 do programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Na análise exploratória de dados foram calculados parâmetros de tendência central (média) e dispersão (desvio padrão) para todas as variáveis, tendo sido verificados os pressupostos de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk. Posteriormente, realizou-se uma análise inferencial onde se recorreu ao teste ANOVA para medidas repetidas, para comparar as variáveis nas repetições de 1000 m (excluindo o efeito do sexo, utilizando este como covariável). O teste Post Hoc de Bonferroni foi utilizado para identificar diferenças entre as distâncias sempre que fosse obtido um valor de F significativo. O eta quadrado (η^2) teste foi utilizado para quantificar a percentagem de variância explicada por cada covariável (tamanho

de efeito) e interpretamos como: $0 < \eta^2 < 0.04$ efeito trivial; $0.04 \leq \eta^2 \leq 0.24$ pequeno; $0.25 \leq \eta^2 < 0.64$ moderado; ≥ 0.64 efeito grande (Ferguson, 2009). Foi estabelecido um nível de significância de $\alpha = 5\%$ dado ser o valor mais convencional para pesquisas na área das ciências humanas. Utilizamos o procedimento estatístico bootstrapping com 1000 amostras para calcular os parâmetros do modelo monoexponencial do $\dot{V}O_2$, onde a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação foram calculados para estimar cada parâmetro.

3. Resultados

No presente estudo foram analisadas as variáveis biomecânicas, onde observamos que os valores de v e DC se mantiveram constantes ao longo dos 5000 m, enquanto a FG e o IB sofreram alterações ao longo do tempo. Considerando as variáveis fisiológicas, a FC foi a única variável a sofrer alterações ao longo do teste, enquanto a $[La^-]$ e a Glicemia mantiveram os valores constantes ao longo do exercício.

A cinética do $\dot{V}O_2$ também foi alvo de estudo, juntamente com as variáveis ventilatórias (VE e R). Foram também calculados o \dot{E} e o C, bem como a contribuição energética em cada 1000 m do teste. Foi feita uma comparação entre o sexo masculino e feminino em todas as variáveis acima descritas e não foram observadas quaisquer diferenças, pelo que nadadores e nadadoras foram todos avaliados num só grupo. A comparação das variáveis ao longo do tempo são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Valores médios \pm DP das variáveis bioenergéticas, biomecânicas e ventilatórias do teste 5000 m.

	Distância 1000		Distância 2000		Distância 3000		Distância 4000		Distância 5000		Efeito tempo			
	Média	\pm DP	Média	\pm DP	Média	\pm DP	Média	\pm DP	Média	\pm DP	F	p	Eta ²	Poder
Tempo (s)	816.9	54.1	830.8	72.6	756.4	46.8	820.8	70.8	734.8	39.5	4.93	0.06	0.50	0.51
v (m·s⁻¹)	1.23	0.09	1.21	0.11	1.32	0.10	1.23	0.10	1.36	0.08	5.46	0.06	0.52	0.52
FG (ciclos·min⁻¹)	31.8	2.6	32.0	1.9	34.7	2.5	33.0	2.2	37.3	1.5	26.74	0.00¥	0.84	1.00
DC (m·ciclo⁻¹)	2.33	0.16	2.28	0.22	2.29	0.18	2.24	0.23	2.20	0.14	1.20	0.34	0.19	0.31
IB (m²·s⁻¹·ciclo⁻¹)	7.93	0.70	7.84	0.50	7.25	0.55	7.60	0.53	6.73	0.29	16.35	0.00¥	0.77	1.00
A₀ (mL·kg⁻¹·min⁻¹)	8.86	3.40	15.88	4.16	19.36	4.60	15.74	5.02	16.68	5.36	2.55	0.07	0.34	0.61
A_p (mL·min⁻¹)	25.5	3.5	18.5	4.2	20.0	4.9	19.7	4.3	23.3	8.1	2.96	0.10	0.37	0.45
TD_p (s)	23.27	17.75	18.18	20.98	5.00	2.98	3.53	3.63	3.93	2.92	4.03	0.06	0.45	0.53
τ_p (s)	27.03	18.49	22.60	12.97	11.56	7.27	19.09	8.40	18.18	7.20	1.09	0.39	0.18	0.28
$\dot{V}O_{2\text{absoluto}}$ (L·min⁻¹)	2.38	0.67	2.37	0.55	2.73	0.52	2.48	0.63	3.07	0.69	11.16	0.00¥	0.69	0.99
$\dot{V}O_{2\text{relativo}}$ (mL·kg⁻¹·min⁻¹)	33.21	3.34	33.32	2.54	38.59	2.24	34.67	3.02	43.13	3.97	9.92	0.00¥	0.67	0.99
VE (L·min⁻¹)	64.3	20.6	64.1	17.0	76.1	16.4	68.1	20.7	90.6	22.2	16.93	0.00¥	0.77	1.00
R	0.97	0.05	0.96	0.05	1.0	0	0.97	0.05	1.03	0.05	1.02	0.42	0.17	0.19
É (kJ)	0.74	0.21	0.73	0.17	0.87	0.16	0.76	0.22	1.00	0.22	12.23	0.00¥	0.71	1.00
C (kJ·m⁻¹)	0.60	0.17	0.59	0.10	0.65	0.13	0.62	0.13	0.73	0.16	5.41	0.00¥	0.52	0.93
[La⁻] (mmol·L⁻¹)	2.30	0.84	1.90	0.66	2.27	0.88	1.50	0.43	3.97	1.87	4.03	0.10	0.45	0.83
Glicemia (mg·dL⁻¹)	77	10	90	11	91	11	81	7	91	13	1.002	0.40	0.17	0.17
FC (b·min⁻¹)	144.0	14.0	146.0	11.0	161.0	11.0	154.0	12.0	175.0	10.0	14.81	0.00¥	0.75	1.00

A₀ = amplitude do consumo de oxigênio da fase primária; TD= tempo de atraso da fase primária; τ = constante de tempo da fase primária; v= velocidade; FG= frequência gestual; DC= distância por ciclo;; $\dot{V}O_2$ = consumo de oxigênio; VE= ventilação pulmonar; R= quociente respiratório; C= custo energético; É= dispêndio energético; [La⁻]= concentração sanguínea de lactato; FC= frequência cardíaca; ¥Efeito de tempo significativo ($p \leq 0.05$)

Relativamente às variáveis cinemáticas analisadas, apenas duas sofreram alterações ao longo do tempo, sendo estas a FG ($F= 26.74$, $p<0.05$, $\eta_p^2= 0.84$) e o IB ($F= 16.35$, $p<0.05$, $\eta_p^2= 0.77$). Considerando as variáveis bioenergéticas, apenas a FC sofreu alterações ao longo do tempo ($F= 14.81$, $p<0.05$, $\eta_p^2= 0.75$), enquanto a $[La^-]$ ($F= 4.03$, $p>0.05$, 0.45) e a Glicemia ($F= 1.00$, $p>0.05$, $\eta_p^2= 0.17$) não sofreram alterações ao longo do teste. Nas variáveis ventilatórias o $\dot{V}O_{2\text{absoluto}}$ ($F= 11.16$, $p<0.05$, $\eta_p^2= 0.69$) e $\dot{V}O_{2\text{relativo}}$ ($F= 9.92$, $p<0.05$, $\eta_p^2= 0.67$) também foram registadas mudanças em função do tempo, e o mesmo sucedeu com os valores de VE ($F= 16.93$, $p<0.05$, $\eta_p^2= 0.77$), enquanto o R manteve-se constante ao longo do teste ($F= 1.02$, $p>0.05$, $\eta_p^2= 0.17$). Verificou-se que o C, como o \dot{E} , sofreram alterações ao longo dos 5000 m ($F= 5.41$, $p<0.05$, $\eta_p^2= 0.52$ e $F= 12.23$, $p<0.05$, $\eta_p^2= 0.71$, respetivamente).

A contribuição energética, ilustrada na Figura 9, no teste de 5000 m foi predominantemente aeróbia. Como referido anteriormente, a contribuição anaeróbia alática é desconsiderada por se tratar de um exercício de longa duração e com intensidade moderada.

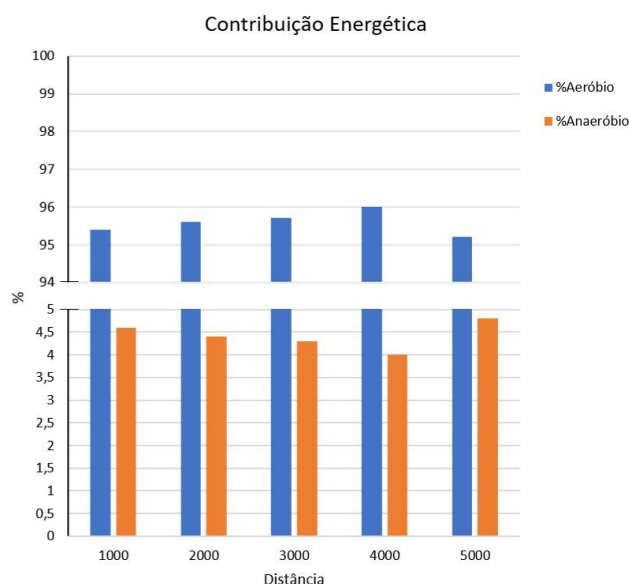


Figura 9: Contribuição energética no teste 5000 m crol.

4. Discussão

O nadador de águas abertas tem características muito individuais como: (i) capacidade de análise e adaptação; (ii) elevada capacidade de trabalho; (iii) resiliência; (iv) capacidade aeróbia consistente; (v) inteligência tática/estratégica; (vi) elevada disponibilidade mental; (vii) foco nos objetivos, e por último, (viii) capacidade de ajuste às diferentes situações (Borges, 2016). Estes nadadores realizam a sua preparação maioritariamente em piscina e, em determinados momentos da época, utilizam as competições de natação pura como parte integrante da sua preparação para as competições de águas abertas. O propósito desta dissertação foi apresentar uma análise global das alterações fisiológicas e biomecânicas em 5000 m, na técnica de crol, em ambiente natural de águas abertas, de forma a compreender as alterações destes fatores que influenciam o rendimento desportivo dos nadadores.

Nadadores de águas abertas utilizam estratégias que passam por manter uma v constante em determinados momentos da prova para manter um equilíbrio metabólico (Pelayo et al., 2007), afirmação que corrobora os nossos resultados na primeira, segunda e quarta distância de 1000 m. No entanto, observamos que existe uma tendência para o aumento da v na terceira e quinta distância, resultados que podemos comparar com as estratégias utilizadas pelos nadadores (Borges, 2015; Rodriguez & Veiga, 2017).

Zingg et al., (2014) estudou a v dos nadadores internacionais em provas de 5 km da FINA World Cup, onde registou uma v média de $1.47 \pm 0.20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, enquanto no nosso estudo registamos uma v média de $1.26 \pm 0.01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Esta disparidade dos valores pode ser explicada pelo contexto em que os nadadores são inseridos, uma vez que este estudo é realizado em protocolo controlado e sem componente competitiva enquanto que Zingg et al., (2014) analisaram esta variável em ambiente competitivo. No entanto, estes valores já se aproximam aos resultados alcançados por Neves (2017), onde a v média no teste de 5 x 1000 m é de $1.30 \pm 0.07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

As variáveis biomecânicas FG, DC e IB têm sido utilizadas para a análise do nível de habilidade técnica do nadador (Seifert et al., 2004), sendo a avaliação destes fatores considerada importante para o planeamento do treino e na descrição do desempenho (Figueiredo et al., 2011; Termin & Pendergast, 2000), através da construção de séries, como por exemplo, a contagem de braçadas em séries mais longas. De acordo com a literatura, a DC é considerada um fator fundamental no sucesso do nadador enquanto o IB é considerado a expressão da capacidade do nadador se deslocar a uma determinada v com o menor número possível de braçadas (Costill et al., 1985). As variáveis FG e DC representam o estado técnico de um nadador e sofrem alterações com o aparecimento da fadiga (Mujika et al., 2000). No entanto, em situações competitivas, os nadadores com melhor habilidade técnica parecem apresentar uma maior capacidade de manutenção da DC durante mais tempo (Craig et al., 1985), facto que podemos observar no nosso estudo. Maior FG está associada a um maior C, independentemente da massa corporal e da v (Barbosa et al., 2007), dados que reforçam os resultados por nós obtidos, uma vez que os nadadores para conseguirem manter a v ou até mesmo aumentar, apresentaram adaptações biomecânicas para combater o aparecimento da fadiga inerente ao exercício prolongado.

De acordo com os dados obtidos neste estudo é possível verificar que, das variáveis biomecânicas analisadas, a FG e o IB não se mantiveram constantes ao longo do tempo. Observamos um aumento progressivo da FG e uma diminuição do IB, resultados que já foram comprovados anteriormente, e que podem ser explicados através dos reajustes biomecânicos feitos pelo nadador a tarefas de longa duração e com intensidades moderadas devido ao aparecimento de fadiga (Alberty et al., 2009; Dekerle et al., 2005; Neves, 2017; Pelarigo et al., 2016).

Relativamente às variáveis bioenergéticas, a $[La^-]$ manteve-se constante ao longo do protocolo, facto corroborado pela literatura (Baron et al., 2005; Whipp & Ward, 1990) onde em exercícios de intensidades moderadas se verificou um estado de equilíbrio fisiológico, i.e., o lactato é produzido e removido em valores iguais (Beneke et al., 2011). Ao analisar o valor médio de $[La^-]$ do nosso estudo

($2.4 \pm 0.9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$), este é corroborado pela literatura, onde é descrito uma variação de 1.9 a $3.3 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, em nado a intensidades moderadas (Baron et al., 2005; Dekerle et al., 2005; Fernandes et al., 2011; Pelarigo et al., 2011). Analisando pormenorizadamente, verificamos que na última distância de 1000 m, o valor de $[\text{La}^-]$ é superior ($4.0 \pm 1.9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) ao descrito na literatura.

Analisando uma segunda variável bioenergética, verificamos que os valores de glicemia foram estáveis. Estes dados são apoiados pela literatura, onde é afirmado que a manutenção da glicemia é importante para evitar a glicogenólise e atenuar distúrbios homeostáticos, como a hipoglicemia. A intensidade do exercício determina, na maioria, o comportamento glicémico (Silva & Azevedo, 2007), sendo este comportamento influenciado pelo nível físico dos sujeitos, pela capilarização, concentração e dimensões das mitocôndrias (McArdle et al., 2011). As maiores fontes de energia do músculo durante o exercício são os hidratos de carbono (CHO) e os lípidos. Os lípidos são um maior reservatório, potencialmente inesgotável, contudo as reservas de CHO são limitadas, com 300-500g de glicogénio no músculo esquelético, 60-100 g de glicogénio no fígado e 4-5g de glicose no sangue, num indivíduo em repouso (SyLOW et al., 2016). Em exercícios prolongados o organismo recorre tanto aos CHO como aos lípidos para produzir energia. À medida que as reservas de CHO diminuem, aumenta a participação dos lípidos no processo energético até se converter na principal fonte de energia (Karmanovski et al., 2002). Como fator importante no rendimento do nadador a ingestão de CHO ao longo de exercícios prolongados são importantes para retardar o aparecimento de fadiga (Murray, 2007).

A variação da FC é uma ferramenta útil na prática clínica e na investigação fisiológica, refletindo a capacidade de adaptação do sistema cardiovascular à carga interna e externa no repouso e em exercício (Aubert et al., 2003). A FC, como já referido, foi analisada em intervalos de 5s de forma contínua ao longo do teste, sofrendo alterações ao longo das várias distâncias. Este facto pode ser explicado pelo exercício ser realizado em situações ambientais adversas, ou seja, realizado numa pista ao ar livre quando os nadadores realizam a preparação em ambientes controlados na maioria da época, apresentando um

stress único, resultado em adaptações nos sistemas cardiovascular, respiratório e neuromuscular (Valenzano et al., 2016). De acordo com Treffene et al. (1980), os nadadores bem treinados alcançam o *plateau* de FC 90 s após o início do exercício. De forma geral os valores da FC em intensidades moderadas são inferiores a 160 bpm (Fernandes, 2013), valor que apoia o nosso estudo que obteve uma média de 156 bpm. No entanto, a literatura mostra que, em exercícios prolongados, o valor da FC pode oscilar entre os 150 – 178 bpm (Dekerle et al., 2005; Fernandes et al., 2011; Pelarigo et al., 2016), valores que já corroboram com as variações analisadas ao longo das diferentes distâncias.

Os valores de $\dot{V}O_2$ foram medidos diretamente respiração-a-respiração em função do tempo para uma intensidade de nado constante e moderada. Fernandes (2013) afirma que nadar a uma intensidade contínua e baixa a moderada depende da capacidade de extrair, distribuir e utilizar O_2 , da capacidade em manter o exercício dentro do limiar anaeróbio (LAN) e da capacidade em realizar o exercício com o menor C possível. O estudo da cinética do $\dot{V}O_2$ em exercícios de patamares apresenta três fases (Poole & Erickson, 2011): (i) componente cardiodinâmica, correspondente a um rápido aumento alveolar de $\dot{V}O_2$ permitindo um plateau transiente de 15 – 20 s (Whipp, 1987); (ii) componente primária ou componente rápida, associada ao $\dot{V}O_2$ muscular, com a duração de 30 – 45 s (Burnley & Jones, 2007); (iii) fase de estabilização, associada ao aumento exponencialmente do $\dot{V}O_2$ até atingir um stedy state e tem uma duração de 2-3 min (Xu & Rhodes, 1999). Para melhor compreensão da tolerância ao exercício e do efeito que as variáveis fisiológicas têm na relação com o $\dot{V}O_2$ (Reis et al., 2012a; Sousa et al., 2011) devemos analisar a cinética do $\dot{V}O_2$, que segundo Fernandes & Vilas-Boas (2012), é um processo útil para o processo de treino e para avaliação dos nadadores.

No nosso estudo os valores de $\dot{V}O_2$ sofreram alterações ao longo do tempo, facto que contraria a literatura onde referem que em intensidades baixas a moderadas existe um estado de equilíbrio fisiológico do $\dot{V}O_2$ (Baron et al., 2005; Neves, 2017; Pelarigo et al., 2016). Estes valores podem ser justificados por: (i) diferentes níveis de capacidade aeróbia; (ii) alterações na intensidade nas diferentes

distâncias; (iii) uma amostra reduzida; (iv) diferenças antropométricas entre os nadadores; (v) duração do teste (aproximadamente 1h15). Níveis elevados de $\dot{V}O_2$ podem levar ao aumento do stress oxidativo em exercícios de águas abertas, e esse stress, pode afetar de forma negativa a performance e a integridade celular (Bryer & Goldfarb, 2006; Turgay et al., 2016).

Ozyener et al. (2001) referem que as intensidades são bem descritas por modelações monoexponenciais, contrariamente das intensidades elevadas que são melhor caracterizadas por ajustes biexponenciais. Tendo em consideração as intensidades a que foi realizado o nosso estudo, a cinética do $\dot{V}O_2$ poderá ser descrita considerando-se a existência de uma única fase (componente rápida) e, por conseguinte, a utilização de um ajuste biexponencial torna-se desnecessária. Na figura 10 é possível observar um exemplo da curva de modelação realizada para a cinética do $\dot{V}O_2$ ao longo do nosso teste.

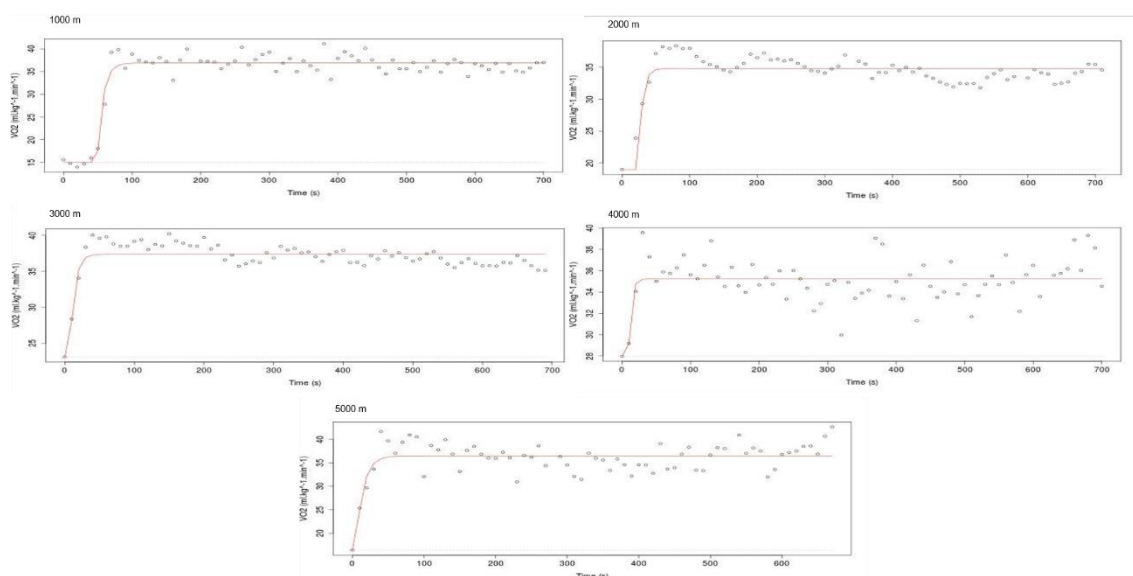


Figura 10: Exemplo da curva de modelação realizada para a cinética do $\dot{V}O_2$ durante os 5000 m.

No que diz respeito às variáveis da cinética do $\dot{V}O_2$ verificamos que não sofrem alterações ao longo do tempo. Os valores da amplitude da fase primária (A_p) por nós registados estão em concordância com os valores apresentados na literatura

para intensidades baixas a moderadas (de Jesus et al., 2014; Neves, 2017; Pelarigo et al., 2017; Sousa et al., 2013). Os valores observados foram reduzidos, algo que pode ser explicado pela intensidade a que o teste foi realizado (moderada e correspondente às zonas de treino de capacidade aeróbia 1 e 2) e, conseqüentemente a uma demanda de oxigénio inferior, bem como à duração do nosso teste. Os valores de TD_p e τ_p observados são diferentes daqueles encontrados em estudos mais recentes (Neves, 2017; Pelarigo et al., 2017; Reis et al., 2012a, 2012b). Se nas primeiras duas distâncias de 1000 m os valores foram superiores, nas restantes esses valores foram semelhantes ou inferiores. Valores de TD_p reduzidos são associados a uma obtenção de um estado de equilíbrio em menor tempo e, usualmente, isto está relacionado com um melhor estado de preparação do nadador e, conseqüentemente, a um estado de fadiga retardado (Burnley & Jones, 2007; Jones & Burnley, 2009). Nadadores bem treinados e que apresentem estas características são capazes de ter uma menor utilização do metabolismo anaeróbio, para uma mesma velocidade, durante a transição de repouso para o exercício (Burnley & Jones, 2007). Considerando os nossos resultados, podemos constatar que os nadadores da nossa amostra conseguem ser mais económicos que indivíduos menos treinados retardando assim o aparecimento da fadiga, tal facto se deve ao seu nível de preparação. Apesar das duas primeiras distancias de 1000 m terem apresentado valores contraditórios, isso pode ser explicado pela adaptação dos nadadores ao snorkel bem como à válvula respiratória e, também, à utilização do fato de neoprene.

A VE, designada pelo volume de ar que entra e sai dos pulmões, verificou-se alterações ao longo das repetições de 1000 m. Apesar das variações, estes dados estão em concordância com estudos anteriores (Neves, 2017; Pelarigo et al., 2016). Os valores da VE registados foram variando simultaneamente com as variações dos valores de $\dot{V}O_2$. Já o R, designado pelo quociente entre o volume de CO_2 expirado e de O_2 consumido, indicando o tipo de substrato que está a ser utilizado em determinado esforço (Wilmore et al., 2008). Durante o estudo observamos que os valores de R se mantiveram constantes sugerindo uma maior utilização de CHO devido a uma maior solicitação de fibras musculares

tipo II (Robergs & Robergs, 2000; Wilmore & Costill, 2001), fibras altamente recrutadas em exercícios de endurance, como o caso do nosso estudo.

A performance em natação é definida através da conversão do \dot{E} em trabalho propulsivo a uma determinada eficiência energética. O C é definido como a energia despendida para percorrer uma determinada distância (Barbosa et al., 2010; diPrampo et al., 1974, 2011; Pendergast et al., 2003; Zamparo et al., 2011), sendo que o seu cálculo permite determinar a participação energética aeróbia e anaeróbia e avaliar quantitativamente o nível do gesto técnico dos nadadores (Silva et al., 2006). Estas duas variáveis diferem quer com a intensidade quer com a duração (diPrampo et al., 2011). Calculamos o C e, conseqüentemente, o \dot{E} utilizando os valores de $\dot{V}O_2$ e $[La]$. O cálculo destas duas variáveis torna-se importante uma vez que os nadadores mais económicos conseguem nadar a uma menor percentagem da sua potência aeróbia máxima e, conseqüentemente, poupar substratos energéticos (Zamparo et al., 2005), possibilitando uma melhor performance no final de competições de longa duração, neste caso específico os 5000 m em águas abertas. Os valores encontrados nestas duas variáveis, a par dos valores de $\dot{V}O_2$, tiveram alterações durante o teste, que podem ser justificadas pela duração do teste, como referido por diPrampo et al. (2011) e pela estratégia utilizada pelos nadadores (Borges, 2016).

5. Conclusão

Após uma reflexão e análise aos resultados por nós alcançados, existem fatores que podemos retirar desta dissertação de forma a melhorar o desempenho dos nadadores de águas abertas em competições nacionais como internacionais. As principais conclusões que retiramos desta dissertação são:

- (i) Os nadadores realizam a prova de 5000 m no domínio de intensidade baixa-moderado. Desta forma, os treinadores devem potencializar o regime aeróbio sem descurar as restantes áreas de treino, sendo estas necessárias na resposta dos nadadores aos diferentes estímulos das competições;
- (ii) Em esforços prolongados, e na resposta às estratégias de provas, existe um aumento da FG e diminuição do IB, de forma a combater a fadiga inerente ao exercício, sendo necessário otimizar estes ajustes nos treinos;
- (iii) Os nadadores de águas abertas devem ingerir CHO para retardar o aparecimento de fadiga estando predispostos a responder a variações de intensidade no desenrolar de uma competição. No entanto, como o comportamento glicémico é individual, estes devem saber as suas necessidades para otimizar o rendimento.

6. Sugestões para estudos futuros

Os estudos na natação de águas abertas são muito escassos. Apesar dos presentes esforços em explorar o mundo das águas abertas, existem muitos fatores que acabam por escapar, sendo o propósito do nosso grupo reduzir este número de fatores. Por isso, deixamos em aberto alguns estudos que achamos interessantes e que vêm de encontro ao que idealizamos:

- i) Realizar este mesmo teste, mas desta vez em distância olímpica de natação de águas abertas (10 km);
- ii) Analisar e traçar o perfil psicológico do nadador no antes, durante e após a competição, percebendo qual o papel das variáveis psicológicas numa prova de longa duração.

7. Bibliografia

- Alberty, M., Sidney, M., Pelayo, P., & Toussaint, H. (2009). Stroking characteristics during time to exhaustion tests. *Medicine Science in Sports Exercise, 41*(3), 637.
- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports medicine, 33*(12), 889-919.
- Baldassarre, R., Bonifazi, M., Zamparo, P., & Piacentini, M. F. (2017). Characteristics and challenges of open-water swimming performance: A review. *International journal of sports physiology and performance, 12*(10), 1275-1284.
- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport, 13*(2), 262-269.
- Barbosa, T. M., Garrido, M. F., & Bragada, J. (2007). Physiological adaptations to head-out aquatic exercises with different levels of body immersion. *Journal of Strength and Conditioning Research, 21*(4), 1255.
- Barbosa, T. M., Keskinen, K. L., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva. *Motricidade, 201*-213.
- Baron, B., Dekerle, J., Depretz, S., Lefevre, T., & Pelayo, P. (2005). Self selected speed and maximal lactate steady state speed in swimming. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 45*(1), 1.
- Beneke, R., Heck, H., Hebestreit, H., & Leithäuser, R. M. (2009). Predicting maximal lactate steady state in children and adults. *Pediatric exercise science, 21*(4), 493-505.

- Beneke, R., Leithäuser, R. M., & Ochentel, O. (2011). Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 8-24.
- Bentley, D. J., Newell, J., & Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis. *Sports medicine*, 37(7), 575-586.
- Borges, J. M. (2015). Águas Abertas, o outro lado da natação. In *Actas do 37º Congresso Técnico Científico da APTN. Anadia*.
- Borges, J. M. (2016). Estratégias para enquadramento do treino específico em Águas Abertas.
- Bryer, S. C., & Goldfarb, A. H. (2006). Effect of high dose vitamin C supplementation on muscle soreness, damage, function, and oxidative stress to eccentric exercise. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 16(3), 270-280.
- Burnley, M., & Jones, A. M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*, 7(2), 63-79.
- Costill, D. L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy Expenditure During Front Crawl Swimming: Predicting Success in Middle-E. *Int. J. Sports Med*, 6, 266-270.
- Craig, A. B., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sports*, 11(3), 278-283.
- Craig, A. B., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., & Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci Sports Exerc*, 17(6), 625-634.
- De Jesus, K., Guidetti, L., 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.

- Dekerle, J., Pelayo, P., Clipet, B., Depretz, S., Lefevre, T., & Sidney, M. (2005). Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. *International journal of sports medicine*, 26(07), 524-530.
- di Prampero, P. E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International journal of sports medicine*, 7(2), 55.
- di Prampero, P. E., Meyer, M., Cerretelli, P., & Piiper, J. (1978). Energetics of anaerobic glycolysis in dog gastrocnemius. *Pflügers Archiv*, 377(1), 1-8.
- di Prampero, P. E., Pendergast, D. R., Wilson, D. W., & Rennie, D. W. (1974). Energetics of swimming in man. *Journal of applied Physiology*, 37(1), 1-5.
- di Prampero, P. E., Pendergast, D., & Zamparo, P. (2011). Swimming economy (energy cost) and efficiency. *World book of swimming: from science to performance*, 297-312.
- Ferguson, C. J. (2009). An effect size primer: A guide for clinicians and researchers. *Professional Psychology: Research and Practice*, 40(5), 532.
- Fernandes, R. (1999). *Caracterização fisiológica, cineantropométrica e psicológica do nadador pré-júnior* (Doctoral dissertation, Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física).
- Fernandes, R. (2013). Biophysical characterization of low to extreme Swimming intensities: seminar.
- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *International journal of sports medicine*, 32(12), 940.
- Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. (2012). Time to exhaustion at the VO₂max velocity in swimming: a review. *Journal of human kinetics*, 32, 121-134.
- Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. P. (2006). Tempo limite à intensidade mínima correspondente ao consumo máximo de oxigénio: novos desenvolvimentos num parâmetro de recente investigação em natação. *Motricidade*, 2(4).

- Fernandes, R., Oliveira, E., & Colaço, P. (2009). Bioenergetical assessment and training control as useful tools to improve performance in cyclic sports. *Journal of Contemporary athletics*, 41(1), 51-72.
- 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.
- 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.
- Hill, D. W., Poole, D. C., & Smith, J. C. (2002). The relationship between power and the time to achieve. VO (2max). *Medicine and science in sports and exercise*, 34(4), 709-714.
- Holmer, I. (1983). Energetics and mechanical work in swimming. *Biomechanics and medicine in swimming*, 14, 154-164.
- Jones, A. M., & Burnley, M. (2009). Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. *International journal of sports physiology and performance*, 4(4), 524-532.
- Kormanovski, A., Lara-Padilla, E., Díaz-Franco, E., Licea-Mendoza, J., Piñera-Limas, F., & Castañeda-Ibarra, F. J. (2002). Hypoglycemia during long swim: The factor of food. *Revista Médica del Hospital General de México*, 65(3), 121-127.
- Kruger, M., Saayman, M., & Ellis, S. (2011). A motivation based typology of open-water swimmers. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 33(2), 59-79.
- Lewin, G. (1979). *Natação*. Madri: Augusto Pilha Teleña.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest*. Human Kinetics.

- Makar, P., & Bielec, G. (2013). Lactate and glucose concentrations in assessing anaerobic capacity in an elite junior swimmer—a case study. *Human Movement, 14*(4), 360-365.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2011). Fisiologia do exercício: nutrição, energia e desempenho humano. *Traduzido por Giuseppe Taranto. 7ª ed. Rio Janeiro: Guanabara Koogan.*
- Mujika, I, Goya, A., Padilla, S., Grijalba, A., Gorostiaga, E., & Ibanez, J. (2000). Physiological responses to a 6-d taper in middle-distance runners: influence of training intensity and volume. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32*(2), 511-517.
- Munatones, S. (2008). Seven essentials of open Water success. In *Swimming World Magazine* online.
- Murray, B. (2007). Hydration and physical performance. *Journal of the American College of Nutrition, 26*(sup5), 542S-548S.
- Neves, V. (2017). Caracterização biofísica da técnica de crol numa distância de 5000 m. Dissertação de 2º ciclo em Treino de Alto Rendimento Desportivo. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
- Olbrecht, J. (2000). The science of winning.
- 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*(3), 891-902.
- Pelarigo, J. G., Denadai, B. S., & Greco, C. C. (2011). Stroke phases responses around maximal lactate steady state in front crawl. *Journal of science and medicine in sport, 14*(2), 168-e1.
- Pelarigo, J. G., Fernandes, R. J., Ribeiro, J., Denadai, B. S., Greco, C. C., & Vilas-Boas, J. P. (2017). Comparison Of Different Methods For The Swimming Aerobic Capacity Evaluation. *The Journal of Strength & Conditioning Research.*

- 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.
- Pendergast, D. R., Di Prampero, P. E., Craig Jr, A. B., Wilson, D. R., & Rennie, D. W. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *Journal of Applied Physiology, 43*(3), 475-479.
- Pendergast, D. R., Di Prampero, P. E., Craig, A. B., & Rennie, D. W. (1978). The influence of selected biomechanical factors on the energy cost of swimming. *Swimming medicine IV, Md. University Park Press. Baltimore*, 367-378.
- Pendergast, D., Zamparo, P., Di Prampero, P. E., Capelli, C., Cerretelli, P., Termin, A., ... & Mollendorf, J. (2003). Energy balance of human locomotion in water. *European Journal of Applied Physiology, 90*(3-4), 377-386.
- Poole, D. C., & Erickson, H. H. (2011). Highly athletic terrestrial mammals: horses and dogs. *Compr Physiol, 1*(1), 1-37.
- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2005). Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine. *Journal of Sports Science and Medicine, 4*(1), 84-84.
- Rama, L., Santos, J., Gomes, P., & Alves, F. (2006). Determinant factors related to performance in young swimmers. *Biomechanics and Medicine in Swimming X. Eds: Vilas-Boas, JP, Alves, F and Marques, A. Porto: Portuguese Journal of Sport Science, 246-249.*
- Reis, J. F., Alves, F. B., Bruno, P. M., Vleck, V., & Millet, G. P. (2012). Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European journal of applied physiology, 112*(5), 1689-1697.
- Reis, J. F., Alves, F. B., Bruno, P. M., Vleck, V., & Millet, G. P. (2012a). Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European journal of applied physiology, 112*(5), 1689-1697.

- Reis, J. F., Alves, F. B., Bruno, P. M., Vleck, V., & Millet, G. P. (2012b). Oxygen uptake kinetics and middle distance swimming performance. *Journal of science and medicine in sport*, 15(1), 58-63.
- Rennie, D. W., Pendergast, D. R., & Di Prampero, P. E. (1975). Energetics of swimming in man (Vol. 2, pp. 97-104). *Baltimore: University Park Press*.
- Ribeiro, J., Figueiredo, P., Guidetti, L., Alves, F., Toussaint, H., Vilas-Boas, J. P., ... & Fernandes, R. J. (2016). AquaTrainer® snorkel does not increase hydrodynamic drag but influences turning time. *International journal of sports medicine*, 37(04), 324-328.
- Robergs, R. A., & Roberts, S. (2000). *Fundamental principles of exercise physiology: for fitness, performance, and health*. McGraw-Hill College.
- Rodriguez, F. A., Keskinen, K. L., Keskinen, O. P., & Malvela, M. (2003). Oxygen uptake kinetics during free swimming: a pilot study. *IX Biomechanics and Medicine in Swimming*, 379-384.
- Rodríguez, L. (1997). História da natação e evolução dos estilos. *Natação, Saltos e Waterpolo*, 19 (1), 18-49.
- Rodriguez, L., & Veiga, S. (2017). Effect of the pacing strategies on the open water 10km World Swimming Championships performances. *International journal of sports physiology and performance*, 1-19.
- Seifert, L., Chollet, D., & Bardy, B. G. (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. *Journal of sports sciences*, 22(7), 651-660.
- Shaw, G., Koivisto, A., Gerrard, D., & Burke, L. M. (2014). Nutrition considerations for open-water swimming. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 24(4), 373-381.
- Silva, A. J., Reis, V. M., Marinho, D., Carneiro, A. L., Novaes, G., & Aidar, F. J. (2006). Economia de nado: factores determinantes e avaliação. *Rev. bras. cineantropom. desempenho hum*, 8(3).

- Silva, A. S., & de Azevedo, W. K. C. (2007). Comportamento glicêmico em treinamentos de natação com caráter aeróbio e anaeróbio. *REVISTA DE EDUCAÇÃO FÍSICA/JOURNAL OF PHYSICAL EDUCATION*, 76(137).
- Sousa, A. C., Figueiredo, P., Oliveira, N. L., Oliveira, J., Silva, A. J., Keskinen, K. L., ... & Fernandes, R. J. (2011). V̇ O₂ Kinetics in 200-m Race-Pace Front Crawl Swimming. *International journal of sports medicine*, 32(10), 765-770.
- Sousa, A. C., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2014). Kinetics and Metabolic Contributions Whilst Swimming at 95, 100, and 105% of the Velocity at. *BioMed research international*, 2014.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Anaerobic alactic energy assessment in middle distance swimming. *European journal of applied physiology*, 113(8), 2153-2158.
- Swift, W. (2003). Australian Swimming Coaches and Teachers. In Gold Coast. Queensland: Association Convention.
- Sylow, L., Nielsen, I. L., Kleinert, M., Møller, L. L., Ploug, T., Schjerling, P., & Richter, E. A. (2016). Rac1 governs exercise-stimulated glucose uptake in skeletal muscle through regulation of GLUT4 translocation in mice. *The Journal of physiology*, 594(17), 4997-5008.
- Termin, B., & Pendergast, D. R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *Journal of Swimming Research*, 14.
- Thevelein, X., Daly, D., & Persyn, U. (1984). Measurement of total energy use in the evaluation of competitive swimmers. In: N. Bachl, L. Prakop, R. Suckert (eds.). *Current Topics in Sports Medicine*, pp. 668-676.
- Toubekis, A. G., Douda, H. T., & Tokmakidis, S. P. (2005). Influence of different rest intervals during active or passive recovery on repeated sprint swimming performance. *European journal of applied physiology*, 93(5-6), 694-700.
- Toussaint, H. M., & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports medicine*, 13(1), 8-24.

- 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 and Science in Sports and Exercise*, 38(9), 1635-1642.
- Treffene, R. J., Dickson, R., Craven, C., Osborne, C., Woodhead, K., & Hobbs, K. (1980). Lactic acid accumulation during constant speed swimming at controlled relative intensities. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 20(3), 244-254.
- Turgay, F., Özkol, M. Z., Vural, F., Aksit, T., Özçaldıran, B., Ongun, M. A., ... & Nalçakan, M. (2017). The Physiological Responses to 5000 m Open Water Swimming Exercise in Children. *Turkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 9(1), 1-11.
- Valenzano, A., Moscatelli, F., Triggiani, A. I., Capranica, L., De Ioannon, G., Piacentini, M. F., ... & Cibelli, G. (2016). Heart-rate changes after an ultraendurance swim from Italy to Albania: a case report. *International journal of sports physiology and performance*, 11(3), 407-409.
- Vanheest, J. L., Mahoney, C. E., & Herr, L. (2004). Characteristics of elite open-water swimmers. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 302-305.
- Vescovi, J. D., Rupf, R., Brown, T. D., & Marques, M. C. (2011). Physical performance characteristics of high-level female soccer players 12–21 years of age. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(5), 670-678.
- Vilas-Boas, J. P. (1989). Controlo do treino em Nataç o: considera es gerais, rigor e operacionalidade dos m todos de avalia o. *Comunica o apresentada  s Jornadas T cnicas Galaico-Durienses de Nata o. Corunha, Espanha.*
- Vilas-Boas, J. P. (1996). Speed fluctuations and energy cost of different breaststroke techniques. *Biomechanics and medicine in swimming VII*, 7, 167-171.

- Vilas-Boas, J. P. (2010). The Leon Lewillie Memorial Lecture: Biomechanics and Medicine in Swimming. *Past, Present and Future*. In PL Kjendlie, R. Stallman, & J. Cabri (Eds.) *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, 12-19.
- Vilas-Boas, J. P. (2013). O índice de braçada como indicador do nível de adequação mecânica da técnica em natação. *Kinesis*, 6(1).
- Vogt, P., Rüst, C. A., Rosemann, T., Lepers, R., & Knechtle, B. (2013). Analysis of 10 km swimming performance of elite male and female open-water swimmers. *Springerplus*, 2(1), 603.
- Whipp, B. J. (1987). Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation*, 76(6 Pt 2), VI18-28.
- Whipp, B. J., & Ward, S. A. (1990). Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(1), 62-71.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2008). *Physiology of Sport and Exercise* (4th ed. Ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Wilmore, J., & COSTILL, D. (2001). *Physiology of sport*. Kiev.: Olympiiskaya literatura.
- Xu, F., & Rhodes, E. C. (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine*, 27(5), 313-327.
- 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(5-6), 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., Capelli, C., & Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: a historical perspective. *European journal of applied physiology*, 111(3), 367-378.

Zamparo, P., Perini, R., Peano, C., & di Prampero, P. E. (2001). The self selected speed of running in recreational long distance runners. *International journal of sports medicine*, 22(08), 598-604.

Zingg, M. A., Rüst, C. A., Rosemann, T., Lepers, R., & Knechtle, B. (2014). Analysis of swimming performance in FINA World Cup long-distance open water races. *Extreme physiology & medicine*, 3(1), 2.