

UNIVERSIDADE DO PORTO

Faculdade de Desporto



**Avaliação do potencial anaeróbio de nadadores
de natação adaptada com base na determinação
de limiares de fadiga a partir de curvas de
variação intracíclica da velocidade**

Dissertação apresentada com vista à obtenção do 2º ciclo em Atividade Física Adaptada, 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: Professora Doutora Susana Maria Soares

Coorientador: Professor Doutor Ricardo Jorge Pinto Fernandes

Pedro Jorge Marques Rocha

Porto, 2020

Catálogo:

Rocha, P. (2020). *Avaliação do potencial anaeróbio de nadadores de natação adaptada com base na determinação de limiares de fadiga a partir de curvas de variação intracíclica da velocidade*. Porto: P. Rocha. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Atividade Física Adaptada, apresentado à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

PALAVRAS-CHAVE: POTENCIAL ANAERÓBIO; NATAÇÃO ADAPTADA; VELOCIMETRIA; VELOCIDADE INTRACÍCLICA; LIMIARES DE FADIGA

Agradecimentos

A elaboração de uma dissertação de mestrado é um processo de luta constante contra as incertezas que temos sobre as nossas capacidades. É uma disputa entre o desejo de querer mostrar a nós mesmos que somos capazes da realização de um tão moroso e exigente trabalho, em luta contra o receio das nossas fraquezas e de estados de espírito derrotistas antes do início da escrita.

Apesar de a tarefa se ter mostrado árdua, acabou por ser executada, devido não só a mim, mas também à ajuda preciosa de quem me apoiou ao longo da escrita. Serve assim este texto para agradecer a quem esteve ao meu lado e me apoiou ao longo desta caminhada.

Um primeiro agradecimento será para minha orientadora, a Professora Doutora Susana Soares. Um obrigado por ter sido compreensiva com as minhas faltas de confiança, dando respostas assertivas e motivadoras que me encheram de otimismo nos primeiros tempos de elaboração escrita. Foi uma tremenda conselheira e uma peça fulcral na feitura desta dissertação.

Um segundo agradecimento ao Professor Leandro Machado, pela sua paciência nas explicações sobre o funcionamento do programa *MatLab*. A sua ajuda foi fundamental para a construção dos resultados.

Um obrigado à minha mãe, por ter sido a razão de ter continuado o meu percurso académico e estar agora numa orgulhosa fase final dos meus estudos superiores. Foi o meu incentivo em lutas passadas e continua a ser meu incentivo para lutar futuramente.

Um agradecimento à minha irmã Diana, por ter sido uma das minhas inspirações na iniciação deste projeto. Com um percurso académico mais avançado do que o meu, tornou-se um dos fundamentos para eu tentar ser mais e melhor todos os dias. Obrigado pela amizade e pela ligação à realidade.

Grato ao resto da família e amigos que estiveram presentes quando precisei de ouvir uma palavra de conforto. Vocês também ajudaram para que este trabalho tivesse um final, porque um trabalho não é só de quem o escreve, mas também de quem apoia aquele que o constrói.

Um último agradecimento a toda a Faculdade de Deporto da Universidade do Porto. Dos professores aos funcionários, todos eles contribuíram para que crescesse como homem mais sábio e mais respeitador do próximo. Que o que realizei nestas páginas verta o quanto me ajudaram a ser melhor, que faça justiça ao quanto levo desta instituição.

Índice

Índice de Figuras	VII
Índice de Tabelas	IX
Resumo	XI
Abstract.....	XIII
Abreviaturas	XV
Introdução	1
Estado da Arte.....	1
Material e Métodos	8
Amostra.....	8
Protocolo	8
Instrumento.....	8
Tratamento de dados	10
Procedimentos estatísticos	13
Resultados	13
Discussão.....	16
Conclusão	22
Referências	23
Anexo.....	25

Índice de Figuras

Figura 1 – Esquema síntese dos fatores determinantes do rendimento desportivo do nadador (Fernandes & Vilas-Boas, 2006).	2
Figura 2 - Caixa exterior (a) e componentes internos (b) do velocímetro eletromecânico.	9
Figura 3. Painel para introdução de dados para configuração do ensaio e ecrã de início do ensaio (acima) e curva da velocidade instantânea produzida após o nado (abaixo).	Erro! Marcador não definido.
Figura 4 - Exemplo de corte das velocidades instantâneas de nado livre correspondentes ao impulso, partida e chegada à parede.....	10
Figura 5 – Gráficos procedentes da análise das wavelets de uma curva de velocidade instantânea para inspeção visual, sendo observável uma zona de alteração do comportamento da frequência (limiar de fadiga), sensivelmente aos cinco segundos. 11	
Figura 6 - Exemplo de gráfico em que o limiar de fadiga determinado a partir da análise da transformada contínua de wavelets está assinalado sobre o traçado velocimétrico correspondente.	11
Figura 7 - Exemplo de periodograma obtido após aplicação da rotina de análise desenvolvida no programa MatLab.	12
Figura 8 - Gráfico da velocidade instantânea referente ao intervalo de tempo considerado para análise, com a velocidade filtrada a 1.0 e a 2.0Hz sobreposta e os limiares de fadiga assinalados.	12

Índice de Tabelas

Tabela 1- Valores médios e respetivos desvios-padrão das variáveis velocimétricas e afins referentes a um esforço all out de 25m realizado por nadadores de elite de natação adaptada e de natação pura.....	14
Tabela 2 – Valores médios e respetivos desvios-padrão das variáveis velocimétricas e afins, obtidas depois de aplicada a rotina MatLab às curvas velocimétricas de nado de cada nadador.	15
Tabela 3 – Valores médios e respetivos desvios-padrão das variáveis velocimétricas e afins obtidas nos dois intervalos temporais definidos pelo limiar de fadiga.....	16

Resumo

A avaliação do potencial anaeróbio parece ser primordial para o controlo de treino das vias anaeróbias estimuladas durante a preparação desportiva dos nadadores. Um método inovador e alternativo de avaliação daquele potencial, baseado na análise de curvas da variação intracíclica da velocidade, obteve resultados promissores quando aplicado em nadadores de natação pura, não tendo, contudo, sido experimentado em nadadores da natação adaptada. Foi objetivo desta dissertação avaliar o potencial anaeróbio de nadadores de natação adaptada utilizando aquele método de forma a determinar a sua valia quando utilizado para calcular o potencial anaeróbio de nadadores de natação adaptada. Participaram no estudo 14 nadadores de elite, sete de natação adaptada (23.14 ± 4.67 anos, 62.63 ± 14.20 kg de massa corporal e 171 ± 0.14 cm de altura; 4 S8, 2 S9 e 1 S7) e 7 de natação pura (16.74 ± 1.15 anos, 65.24 ± 10.20 kg de massa corporal e 173 ± 0.09 cm de altura), que realizaram um percurso de 25 m de nado *all out* conectados a um velocímetro eletromecânico que permitiu obter o registo da velocidade instantânea de nado. O tratamento das curvas de velocidade geradas pelo velocímetro fez-se utilizando uma rotina escrita no programa *MatLab*, a qual permitiu determinar os limiares de fadiga que se suspeita identificarem uma zona de transição da dominância do metabolismo alático para o láctico. A análise dos resultados revelou que as velocidades máxima e média do percurso subaquático, a velocidade média de nado e o índice de fadiga foram superiores para os nadadores de natação pura. O coeficiente de variação da velocidade média e o número de ciclos nadados, foram superiores nos nadadores de natação adaptada. Após aplicação da rotina *MatLab* foi possível identificar limiares de fadiga médios para os dois grupos de nadadores (adaptada: 7.71 ± 1.25 vs pura: 6.36 ± 0.90 s, $p \leq 0.05$). No grupo da natação adaptada, nenhuma variável foi diferente no segundo intervalo temporal definido pelo limiar de fadiga. No grupo da natação pura, o tempo e distância total de nado e o número de ciclos nadados foram superiores no segundo intervalo temporal. Dado que os limiares de fadiga distinguem zonas temporais de comportamento distinto, seria de esperar que maior número de variáveis fosse distinta nos dois intervalos, pelo a determinação do potencial anaeróbio por via da análise das curvas de variação intracíclica da velocidade, com determinação de limiares de fadiga, tem de ser assumida com algum cuidado para os nadadores de natação adaptada. O perfil dos resultados conduz também à suspeição de que o desenvolvimento deste potencial poderá estar limitado nos nadadores de adaptada, o que poderá dever-se a um conteúdo de treino predominantemente aeróbio ou às limitações mecânicas (e eventualmente fisiológicas) impostas por cada deficiência. Concluiu-se, assim, que a determinação do potencial anaeróbio nos nadadores de adaptada com este método carece ainda de desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: POTENCIAL ANAERÓBIO; NATAÇÃO ADAPTADA; VELOCIMETRIA; VELOCIDADE INTRACÍCLICA; LIMIARES DE FADIGA

Abstract

The evaluation of the anaerobic potential appears to be essential for the training control of the anaerobic pathways which are stimulated during the sports preparation of swimmers. An innovative and alternative method assessing that potential, based on the analysis of intracyclic velocity variation curves, revealed promising results when applied to pure swimmers. However, it has never been tried with para swimmers. The aim of this research was to evaluate the anaerobic potential of para swimmers using that method to conclude over its value when used to calculate the anaerobic potential of para swimmers. The study included 14 elite swimmers, seven para swimmers (23.14 ± 4.67 years, 62.63 ± 14.20 kg of body weight and 171 ± 0.14 cm in height; 4 S8, 2 S9 and 1 S7) and 7 able-bodied swimmers (16.74 ± 1.15 years old, 65.24 ± 10.20 kg of body weight and 173 ± 0.09 cm in height), who performed a 25 m swim all out course connected to an electromechanical speedometer that made it possible to obtain an instant swimming speed record. The speed curves generated by the speedometer were analyzed using a routine written in the MatLab program, which allowed the determination of the fatigue thresholds that are suspected to separate a zone of dominance of the anaerobic alactic pathway from the lactic pathway. The maximum and mean speeds of the underwater move, the mean swimming speed and the fatigue index were higher in able-bodied swimmers. The coefficient of variation of the mean speed and the number of cycles swam were higher in para swimmers. After applying the MatLab routine, it was possible to identify average fatigue thresholds for both groups of swimmers (para swimmers: 7.71 ± 1.25 s vs able-bodied: 6.36 ± 0.90 s, $p \leq 0.05$). In the para swimmer's group, no variable was different in the second time interval defined by the fatigue threshold. In the able-bodied swimmer's group, the total swimming time and distance and the number of cycles swam were higher in the second time interval. Once the fatigue thresholds distinguish time zones of different behavior, it would be expected that more variables were different in the two intervals. In consequence, it was concluded that the determination of the anaerobic potential through the analysis of the intracyclic speed variation curves, with determination of fatigue thresholds, has to be taken with some care for para swimmers. The profile of the results leads to the suspicion that the development of this potential may be limited in para swimmers, which may be due to a predominantly aerobic training content or to the mechanical (and possibly physiological) limitations imposed by each deficiency. It was concluded, therefore, that the determination of anaerobic potential in para swimmers with this method still needs to be developed.

KEYWORDS: ANAEROBIC POTENTIAL; PARA SWIMMING; VELOCIMETRY; INTRACYCAL SPEED; FATIGUE THRESHOLDS

Abreviaturas

Abreviaturas	Descrição
%	percentagem
±	mais ou menos
ATP	trifosfato de adenosina
ATP-CP	trifosfato de adenosina e creatina fosfato
cm	centímetros
D	força de arrasto hidrodinâmico
Ė	input energético total
ep	eficiência mecânica propulsiva total
kg	quilogramas
m	metros
mm	milímetro
min	minutos
ms	milissegundos
m.s ⁻¹	metros por segundo
O ₂	oxigénio
p ³¹	fósforo 31
p. ex	por exemplo
s	segundos
USB	<i>universal serial bus</i>
v	velocidade de nado
v(t)	variação da velocidade ao longo do tempo
VO ₂ máx	consumo máximo de oxigénio

Nota: devido à inexistência de uma nomenclatura genericamente aceite relativa à designação dos nadadores portadores e não portadores de deficiência, optou-se por usar as designações de natação adaptada/nadadores da adaptada e natação pura/nadadores da pura para distinguir os dois grupos amostrais do presente estudo.

Introdução

Acredita-se que o controlo do desenvolvimento do potencial anaeróbio de cada nadador é fundamental para perceber qual o seu potencial competitivo, devendo o processo de treino estar adaptado e ser modificado em função das exigências colocadas nas diferentes provas (Rodríguez & Mader, 2011). Os métodos avaliativos da capacidade de performance anaeróbia podem ser divididos em métodos diretos e indiretos, mas nem uns nem outros avaliam o potencial de forma satisfatória, quer para os investigadores da natação, quer para os treinadores. Estes métodos foram também pouco o nado utilizados na natação adaptada, pelo que pouco se sabe sobre o desenvolvimento deste potencial nesta população.

Desejando que processo de treino de nadadores com deficiência mostre melhorias avaliáveis da *performance* e sabendo que foi proposto por Soares (2007) um método inovador e alternativo de avaliação do potencial anaeróbio que mostrou alguns resultados promissores em nadadores da natação pura desportiva, levantou-se a possibilidade de aplicar o mesmo método em nadadores de natação adaptada. Este método tem por base a análise de curvas de variação intracíclica da velocidade de nado, nomeadamente do declínio desta capacidade ao longo de um esforço *all out*.

O objetivo desta dissertação é, pois, o de avaliar o potencial anaeróbio de nadadores de adaptada utilizando o método proposto por de forma a concluir sobre a sua valia para esta população. Coloca-se a hipótese de que será possível calcular limiares de fadiga indicadores de potencial anaeróbio para nadadores de adaptada através deste método.

Estado da Arte

Para o desenvolvimento de uma dissertação científica é necessário rever a literatura das áreas que enquadram o conteúdo sobre o qual a pesquisa incide. Recorrendo às bases de dados científicas mais reconhecidas, nomeadamente *Scopus*, *PubMed*, *Web Of Science* e *SPORTDiscus*, esclareceu-se o estado de conhecimento relativo ao assunto a tratar e definiu-se o problema científico para o qual, aparentemente, ainda não existe solução. Tratando-se de uma atividade que necessita de ser crítica e que exige alguma reflexão, as informações recolhidas e explanadas no texto abaixo estão divididas em três temas principais e, em conjunto, conduzem ao problema que se pretende resolver.

O primeiro tema foca-se nas características e nos fatores que determinam o rendimento desportivo de um nadador, com vista a destacar a componente fisiológica do treino, em particular, do treino do potencial anaeróbio. O segundo tema aborda a temática do controlo do treino centrado na avaliação do potencial

anaeróbio de nadadores. Primeiro, explicar-se-á o funcionamento do metabolismo anaeróbio, para depois se descreverem os testes típicos de avaliação daquele potencial. O terceiro tema incidirá sobre a modalidade de natação adaptada, que será globalmente caracterizada e comparada com a natação pura, nomeadamente no que se refere à adequação dos métodos de avaliação do potencial anaeróbio a esta população.

Sobre as características e fatores que determinantes do rendimento desportivo de um nadador, como é explicado por Fernandes & Vilas-Boas (2006), a natação pura desportiva é uma modalidade individual, cíclica e fechada, cujas ações sequenciadas dos membros superiores e inferiores visam assegurar uma propulsão contínua. A natação pura desportiva também pode ser considerada uma modalidade mista, devido ao facto de o rendimento do nadador estar intimamente relacionado com fatores bioenergéticos e biomecânicos, que são considerados parte incontornável do complexo conjunto de fatores influenciadores do rendimento na modalidade, os quais aparentam ter uma forte influência recíproca (Figura 1).

A importância dos fatores bioenergéticos e biomecânicos pode ser demonstrada na equação da *performance* proposta por Di Prampero et al. (1974):

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

Nesta equação, a velocidade de nado “v”, indicador por excelência do rendimento do nadador, é determinada pelo *input* energético total ($\dot{E}$), decorrente dos metabolismos aeróbio e anaeróbio e pela razão estabelecida entre a eficiência mecânica propulsiva total (ep) e a força de arrasto hidrodinâmico (D), que reflete a habilidade técnica do nadador.

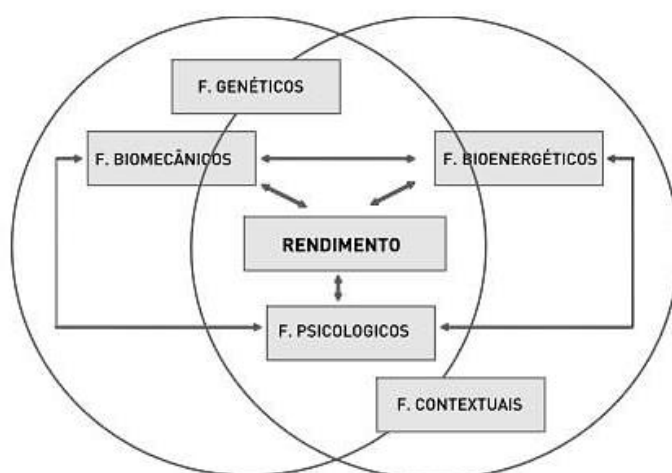


Figura 1 – Esquema síntese dos fatores determinantes do rendimento desportivo do nadador (Fernandes & Vilas-Boas, 2006).

A velocidade de nado é então determinada pela eficiência dos processos metabólicos e pela qualidade mecânica do nado. Focando-nos um pouco nos primeiros, os autores Gastin & Lawson (1994) revelaram, em finais do século passado, que os efeitos do treino no desenvolvimento do potencial anaeróbio são pouco conhecidos, prevalecendo até hoje a ideia de que serão mais facilmente observáveis no desenvolvimento das competências aeróbias, alvitando até que o sistema anaeróbio possa ser pouco ou nada treinável. Num trabalho de Campos et al. (2017), afirmou-se que, num esforço de nado, a contribuição anaeróbia total pode ser avaliada pelo deficit de oxigénio acumulado e pela soma das contribuições glicolítica e fosfagénica. Apesar disso, segundo os mesmos autores, ainda pouco se sabe sobre a contribuição anaeróbia total nas várias distâncias da natação, ainda que eles mesmos apontem os maiores valores de contribuição anaeróbia para as distâncias de 200 e 400m. Centrando agora a atenção na mecânica de nado, importa referir Ribeiro et al. (2016), que estudaram a importância da força dos membros propulsores para vencer a resistência da água, uma vez que o arrasto varia exponencialmente com a velocidade. A produção e, principalmente, a sua aplicação são muito condicionadas pela correção e solidez do gesto técnico. Muita força incorretamente aplicada não produzirá deslocamento com velocidade. Dentro da mesma linha de pensamento Marinho & Fernandes (2003), já haviam mostrado que a posição corporal é um dos aspetos fulcrais da execução técnica correta do crol e costas. Acrescentam que a incorreção numa das componentes críticas que a compõem (alinhamento horizontal, alinhamento lateral e/ou rotação do corpo sobre o eixo longitudinal) poderá levar a alterações acentuadas no trajeto motor dos membros superiores, modificando significativamente a produção da força propulsiva e podendo provocar o aumento do arrasto hidrodinâmico, com a consequente perda de velocidade. Posto isto, os autores afirmaram, inclusivamente, jogar ser pertinente alertar a comunidade técnica ligada à natação pura desportiva para a procura do desenvolvimento do rendimento do nadador baseado na sua eficiência do nado, procurando evitar o treino fundamentado única e exclusivamente na carga e sobrecarga física.

Baseando-se na equação da *performance* acima descrita e dentro da lógica que se vem seguindo no texto, Vilas-Boas (1989) considera desde há muito tempo, que a objetivação do processo de treino é indispensável para a obtenção de resultados de excelência e, nesta perspetiva, atribui grande relevância ao controlo do treino dos nadadores. O controlo do treino é definido pelo autor, como sendo a agregação de tarefas inerentes à avaliação do estado de desenvolvimento dos pressupostos de rendimento desportivo e, por conseguinte, também do resultado e adequação dos exercícios e programas de treino. Já se afirmou antes que as componentes fisiológicas do treino de um nadador são determinantes para o seu rendimento desportivo, particularmente as relacionadas com o funcionamento das vias metabólicas anaeróbias. A importância destas vias deve-se ao facto de na natação pura desportiva (desconsiderando as águas abertas) a maioria das provas se situar entre os 50

e os 200 m, sendo os seus esforços representados maioritariamente em domínio anaeróbio, prevalentemente em adultos treinados (Troup, 1999). Agregando a esta lógica a necessidade do controlo do treino e do melhor entendimento da *performance* desportiva, a avaliação do potencial anaeróbio dos nadadores parece requerer especial dedicação. A avaliação do desempenho anaeróbio de nadadores não está, contudo, tão evoluída quanto desejável, verificando-se carência de métodos (particularmente de um *gold standard*) e da eficiência dos mesmos, como se verá mais abaixo.

A respeito da avaliação do potencial anaeróbio de nadadores. O controlo do desenvolvimento do potencial anaeróbio de cada nadador parece ser fundamental para perceber qual o seu potencial competitivo, devendo o processo de treino estar adaptado e ser modificado em função das exigências colocadas pela prova principal do nadador. Rodríguez & Mader (2011) justificam o postulado anterior pela curta duração da maioria das provas de natação pura que, como já foi subentendido, se situam globalmente abaixo dos 2 min, verificando-se que as exigências metabólicas em competição dependem em grande parte da produção de energia de fonte anaeróbia (Olbrecht & Mader, 2006).

O funcionamento do metabolismo anaeróbio pode ser revisto em autores clássicos como (Powers & Howley, 1997). Estes autores evidenciaram que por forma a avaliar o potencial anaeróbio de um nadador é necessário conhecer os processos energéticos instigados em função dos vários tipos de esforço. Quando ocorre um esforço anaeróbio de curta duração, a título de exemplo, uma prova de 50 m na natação, a hidrólise do ATP disponível a nível muscular assegura as primeiras contrações (via ATP-CP). No final deste tempo, que se estima poder variar entre os 8 e os 12 s, a via anterior deixa de ser capaz de sustentar a máxima intensidade de esforço em regime de predominância, acabando por ser necessário o contributo do sistema anaeróbio láctico (via glicolítica). O contributo do sistema anaeróbio lácteo poderá, em teoria, acontecer através de uma transição mais ou menos abrupta da via alática para uma de maior dependência da glicólise anaeróbia.

Para compreensão do metabolismo anaeróbio é relevante definir os conceitos de potência anaeróbia e de capacidade anaeróbia. (isto é, sem haver intenção tática de dosear o esforço para o suportar por mais tempo). A capacidade anaeróbia refere-se à quantidade total de energia disponível de um sistema. Sendo difícil avaliar de forma separada a potência e a capacidade anaeróbias, a expressão de um potencial anaeróbio parece não ser descabida quando se fala de avaliação da *performance* anaeróbia.

Gastin (1994) explicitou há já longo tempo que parece não existir nenhum método de avaliação da capacidade de *performance* anaeróbia que seja universalmente aceite, devido à inexistência de um mecanismo direto facilmente aplicável para a validação da capacidade individual de desempenho anaeróbio. Os métodos avaliativos da capacidade de *performance* anaeróbia que se encontram descritos na literatura podem ser divididos em métodos diretos e indiretos. Dentro dos métodos diretos, destacam-se a biopsia muscular percutânea (Bell et al., 1980) e a ressonância magnética nuclear do P³¹ (Hancock

et al., 2005). Os métodos diretos apresentam algumas limitações, pelo facto de serem invasivos, muito dispendiosos e limitados relativamente à informação que fornecem sobre a produção total de energia anaeróbia em exercícios envolvendo mais que um grupo muscular. Dentro dos métodos indiretos, destacam-se o deficit de oxigénio, a dívida de oxigénio, a frequência cardíaca e a lactatemia.

Segundo Gastin (1994), o deficit de oxigénio é definido como o equivalente de O_2 da energia que não é fornecida pelo metabolismo aeróbio durante o exercício, sendo indicado pela diferença entre a energia fornecida pelo sistema aeróbio e a exigência energética total do trabalho. O autor acrescenta que, apesar de limitado, o método continua a ser promissor enquanto medida de capacidade anaeróbia, por constituir um meio não invasivo de quantificar a produção de energia anaeróbia durante exercícios exaustivos. No entanto, este método não é aplicável em esforços de muita duração do tipo *all out*, durante os quais o metabolismo aeróbio nem sempre chega a ser estimulado de forma dominante.

A dívida de oxigénio refere-se ao consumo de oxigénio medido durante a recuperação de um esforço em que o valor basal do volume de oxigénio foi ultrapassado. Na década de 80 do século passado, alguns autores, como Fellmann et al. (1986), por exemplo, consideraram a dívida de oxigénio um indicador fiável da capacidade anaeróbia, havendo contudo outros, seus contemporâneos, que desaconselharam o seu uso, apelando à desacreditação do método (Vandewalle et al., 1987). A descrença no método da dívida de oxigénio resultou do reconhecimento de que há vários fatores que afetam o consumo de oxigénio correspondente ao período de recuperação do esforço. Destacam-se a forte dissociação existente entre o VO_2 em repouso e a acumulação e destino do lactato, para além de outros fatores que estimulam o funcionamento mitocondrial pós-esforço, tais como a elevação da temperatura, a atividade hormonal elevada, alteração das concentrações de fosfagénios no músculo e as necessidades energéticas relacionadas com a reposição da homeostase Rowland (1996).

O registo da alteração da frequência cardíaca em reposta ao exercício pode ser já considerado um procedimento clássica de controlo e avaliação do treino. As técnicas de captação da frequência evoluíram da simples palpação da artéria carótida, ou radial, ou outra, imediatamente após a finalização do esforço, até à utilização de dispositivos de telemetria (Magel, 1970). Na década de 70 considerava-se que a frequência cardíaca podia ser utilizada para avaliação da *performance* (Magel & McArdle, 1970), mas posteriormente a sua utilização deixou de reunir tanta popularidade (Maglischo, 2003; Navarro & Arsenio, 1999). O reconhecimento da labilidade da frequência cardíaca, por efeito de agentes químicos, como a cafeína (Green & Suls, 1996), por exemplo, ou por ação de outros fatores, como a alteração das emoções (Appelhans & Luecken, 2006) traduziu-se, nos nossos dias, num uso muito restrito deste parâmetro para efeitos avaliativos, ainda que o mesmo continue a ser utilizado no dia-a-dia do treino, mas sempre acompanhado de outros indicadores. Olhando particularmente para o uso da frequência cardíaca enquanto parâmetro de treino e de avaliação de esforços anaeróbios de curta duração e de intensidade máxima, pode dizer-se que esta não será de grande utilidade, visto que o coração precisa de um tempo de adaptação para ajustar as suas força e frequência de contração em função

das exigências sistêmicas, o qual pode corresponder à duração do esforço realizado. Adicionalmente, a frequência cardíaca máxima não chega a ser atingida antes da cessação do exercício.

A oportunidade do uso da lactatemia pós-esforço, enquanto ferramenta de medida em várias atividades desportivas, foi já determinada por vários autores (Rushall, 1991; Simon, 1997; Smith et al., 2002). A produção de lactato provém da via metabólica anaeróbia, sendo a sua concentração máxima pós-exercício vista como um indicador da participação do metabolismo anaeróbio como via fornecedora de energia. Apresenta-se como um indicador de potencial anaeróbio pouco fiável, uma vez que o valor medido pode resultar de inúmeros fatores possíveis de alterar as concentrações de lactato em função da intensidade de esforço realizado. Adicionalmente, as concentrações de lactato capilar após-esforço mostram o resultado da relação produção-remoção, não quantificando a totalidade de lactato produzido, mas sim o lactato presente na corrente sanguínea que resulta do equilíbrio entre a produção e a remoção. A quantificação da totalidade de lactato produzido só é possível com recurso a uma biopsia muscular. De acordo com Vilas-Boas (1989) a lactatemia, enquanto medida única e isolada de outros indicadores de esforço, não proporciona evidência suficiente para a alteração do programa de treino de um nadador. Contudo, o mesmo autor não renega o valor deste método, salientando que os resultados obtidos são de grande importância para o controlo do treino se devidamente ponderados, consideradas as suas limitações e limitando as comparações realizadas apenas ao âmbito intraindividual.

Em síntese, todos os métodos avaliativos da capacidade de *performance* anaeróbia descritos, tanto diretos como indiretos, apresentam algum tipo de limitação, não se revelando como ferramentas de avaliação suficientemente confortáveis para os treinadores. Soares (2007), seguindo esta preocupação, procurou desenvolver um método inovador e alternativo de avaliação do potencial anaeróbio, que teve na sua base de desenvolvimento a análise de curvas da variação intracíclica da velocidade. O método em questão, que será descrito mais à frente, já foi aplicado em nadadores da natação pura desportiva, tendo revelado resultados promissores (Soares et al., 2014), não tendo ainda sido, contudo, experimentado em nadadores de natação adaptada.

Em relação à caracterização da modalidade de natação adaptada e comparação com a natação pura. A natação adaptada pode ser praticada por nadadores com todo o tipo de deficiência, reconhecendo-se divisões nas quais se integram diferentes praticantes, nomeadamente os que têm deficiência visual, deficiências físicas, deficiências auditivas e/ou deficiências intelectuais. Para enquadrar um sujeito com deficiência num painel competitivo, existe um sistema de classificação algo complexo e cuja justeza é difícil de apurar (Hogarth et al., 2020a), visto existirem quadros de deficiência (particularmente motora) extremamente difíceis de classificar e quadros de multideficiência custosos de enquadrar.

Em termos de treino, tanto a natação pura desportiva como a natação adaptada deverão, teoricamente, revelar fortes parecenças relativamente à resposta fisiológica ao esforço dos nadadores. Como tal, o treino da determinante fisiológica deverá ser idêntico nas duas modalidades, sem

distinções severas ao nível do planeamento da carga. Contudo, se a deficiência do nadador for inibidora do normal funcionamento do metabolismo celular ou a afetação motora for tal que determinados estímulos físicos sejam impossíveis de realizar é provável que não se consigam estimular processos metabólicos relacionados com esforços de maior potência e velocidade. Avançando para além de um discurso teórico baseado na lógica, em vários estudos tentou já discorrer-se, de uma forma mais concreta, sobre as influências que as deficiências motoras têm no desempenho do nado em nadadores de natação adaptada. Os estudos abaixo referidos, a título de exemplo, relacionaram a deficiência de membros no arrasto aquático, um dos grandes condicionadores da *performance*, expressa pela velocidade de nado.

Payton et al. (2020) concluiu que nadadores com deficiências motoras e neuromusculares centrais estão predispostos a um alto arrasto ativo durante o nado de crol, o que afeta seu desempenho. Hogarth et al. (2020a) consideraram os nadadores com deficiência de membros uma população central dentro da natação adaptada. No seu estudo, examinaram a contribuição dos membros para o desempenho nos eventos competitivos, tendo mostrado que a ação dos membros superiores e a distância da prova implicam diferentes contribuições. A mão, o braço e o pé contribuem de forma distinta para o desempenho em diferentes técnicas de nado.

Apesar da existência de competições distintas para os nadadores com deficiência, acredita-se, como se pode deduzir do que já foi referido acima, que o processo de treino incide maioritariamente nas mesmas áreas bioenergéticas que se definem para os nadadores de natação pura. Sendo o processo de treino fisiológico idêntico para os nadadores com deficiência, espera-se que o controlo de treino a realizar não seja, também ele, muito dissemelhante. Referindo-nos concretamente à avaliação da resposta anaeróbia ao esforço de nado, espera-se que os métodos, diretos e indiretos, conhecidos para avaliação do potencial anaeróbio sejam aplicados com o mesmo sucesso. Contudo, não podemos deixar de reconhecer que os testes têm de ter sempre alguma adaptação, nomeadamente nos protocolos de exercício, o que levanta a dúvida de se, com as incontornáveis alterações, os testes continuam a medir aquilo que se propõem medir, ou seja, levanta-se a dúvida sobre a sua fiabilidade.

Querendo que o processo de treino de nadadores com deficiência se traduza em melhorias da *performance* avaliáveis e sabendo que foi proposto por Soares (2007) um método inovador e alternativo de avaliação do potencial anaeróbio que mostrou alguns resultados promissores em nadadores da natação pura desportiva, levantou-se a possibilidade de aplicar o mesmo método em nadadores de natação adaptada. Este método tem por base a análise de curvas de variação intracíclica da velocidade de nado, nomeadamente do declínio desta capacidade ao longo de um esforço *all out*.

Esta dissertação tem como objetivo avaliar o potencial anaeróbio de nadadores de adaptada utilizando o método proposto por Soares (2007) de forma a concluir sobre a sua valia quando utilizado para calcular o potencial anaeróbio daqueles nadadores. Parte-se da hipótese de que será possível calcular limiares de fadiga indicadores de potencial anaeróbio.

Parte dos resultados do presente estudo já foi apresentada na 13^a edição do Encontro de Investigação Jovem da Universidade do Porto (**Anexo**).

Material e Métodos

Amostra

A amostra do presente estudo foi constituída por 14 nadadores de elite, sete de natação adaptada com deficiência motora [23.14±4.67 anos, 62.63±14.20 kg de massa corporal e 171±0.14 cm de altura; S8 (n=4), S9 (n=2) e S7 (n=1)] e sete de natação pura (16.74±1.15 anos, 65.24±10.20 kg de massa corporal e 173±0.09 cm de altura), sendo cada grupo constituído por duas nadadoras e cinco nadadores. A participação no estudo foi voluntária e com termo de consentimento informado assinado pelos nadadores ou pelos seus encarregados de educação.

Protocolo

O protocolo consistiu no registo da velocidade instantânea, obtida com velocímetro eletromecânico, ao longo de 25 m de nado *all out*. A partida foi realizada dentro de água e o percurso efetuado na técnica de crol.

Instrumento

O registo de velocidade instantânea foi obtido utilizando um velocímetro eletromecânico que foi conectado ao nadador (no ponto central da região lombar, à altura da cintura pélvica, numa posição média entre as duas articulações coxofemorais) através de um fio de *nylon* que se desenrolava à medida que aquele se deslocava. Com este procedimento foi possível determinar a curva velocidade/tempo [$v(t)$] de nado. O velocímetro utilizado foi desenvolvido nos laboratórios de Biomecânica e de Natação da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, em conjunto com o Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da mesma universidade.

O instrumento consiste numa caixa retangular, com 27.5 cm de largura, 19.5 cm de comprimento e 8 cm de altura (Figura 2). No seu interior existem dois carretos. Um dos carretos serve de local de enrolamento do fio e por estar conectado a um motor de freio garante a insignificância da inércia de todo o sistema e a manutenção do fio em tensão permanente (este motor que permite também o enrolamento do cabo após a finalização do nado). O outro carro tem um diâmetro útil fixo de 25 mm e é o local por onde passa apenas uma volta de fio. Um codificador incremental acoplado ao sistema gera um número de impulsos constante a cada volta do carro (50 Hz) durante o desenrolamento do fio. Os impulsos gerados pelo codificador são processados num

microcontrolador que comporta uma unidade de microprocessamento e que os traduz em valores de velocidade.

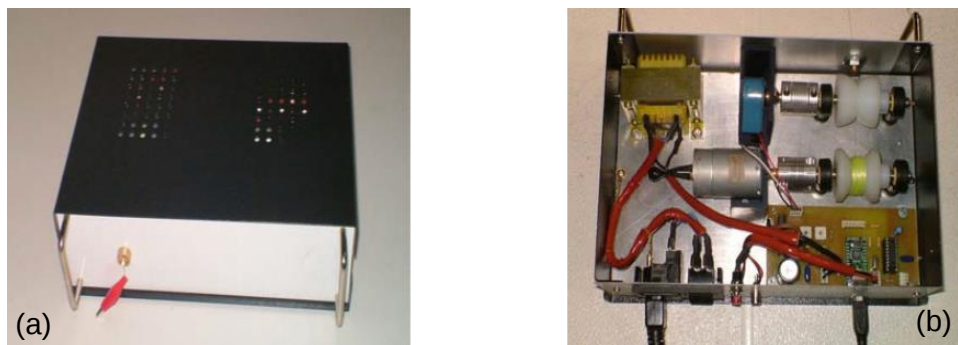


Figura 2 - Caixa exterior (a) e componentes internos (b) do velocímetro eletromecânico.

O microcontrolador do velocímetro faz a comunicação com o computador, enviando informação através de um cabo USB. A informação recebida no computador é depois processada num programa criado pela mesma equipa que construiu e desenvolveu o instrumento (Lima, 2006). O programa desenvolvido permite a introdução dos dados do nadador: nome, sobrenome, sexo, data de nascimento, peso (kg) e altura (m); permite também a introdução dos dados do ensaio: número, data, hora e observações (Figura 3, acima). O *software* verifica, ainda, os valores de velocidade calculados pelo microcontrolador a cada 20 ms, realizando o respetivo traçado da relação $v(t)$ (Figura 3, abaixo). O *software* calcula os valores máximo, médio e mínimo da velocidade, a distância percorrida e o tempo de duração do ensaio. Os dados são exportados para um ficheiro em formato CSV (excel), a partir do qual se pode aceder a todas as coordenadas da função $v(t)$.

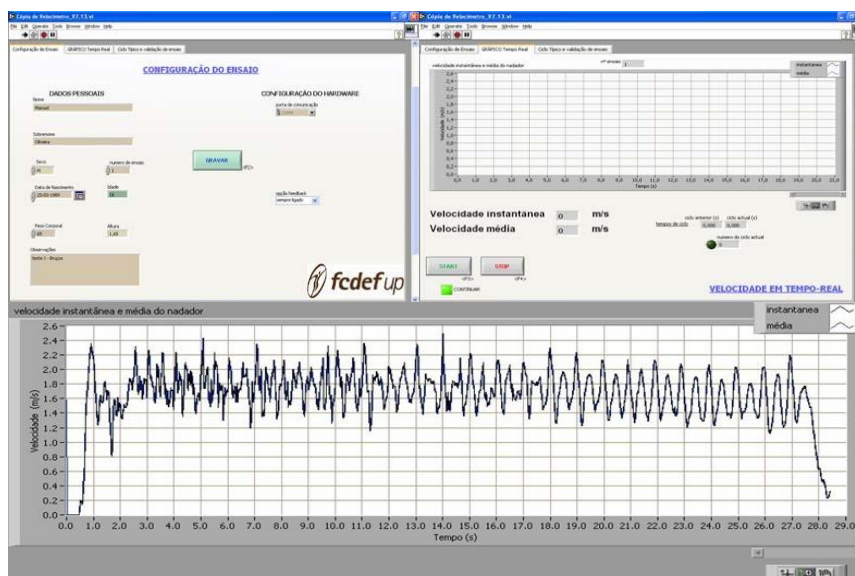


Figura 3. Painel para introdução de dados para configuração do ensaio e ecrã de início do ensaio (acima) e curva da velocidade instantânea produzida após o nado (abaixo).

Tratamento de dados

O do tratamento das curvas de velocidade foi realizado para a determinação de eventuais limiares de fadiga (pontos de queda evidente da velocidade de nado), utilizando a rotina de Soares (2007). Por forma a determinar a ocorrência dos limiares de fadiga, com base em curvas de velocidade, faz-se correr a rotina no programa *MatLab*. Primeiro delimita-se o traçado gráfico que se pretende ver analisado, que não será, assim, constituído pelo tempo de duração total de cada teste. No caso presente (Figura 4) procurou excluir-se o efeito do impulso e traçado sequente, quando severamente distinto do padrão de nado, e o momento de finalização do teste, que se designa como chegada.

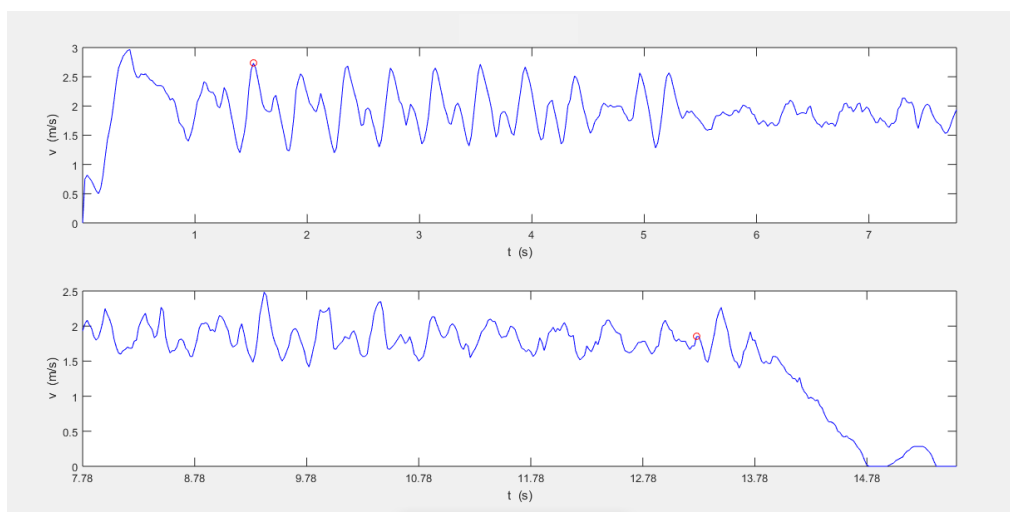


Figura 4 - Exemplo de corte das velocidades instantâneas de nado livre correspondentes ao impulso, partida e chegada à parede.

Posteriormente, a rotina corre uma análise usando a transformada contínua de *wavelets* calculadas sobre os dados da curva depois do corte dos extremos. A transformada contínua de *wavelets* permite identificar a frequência instantânea contida no sinal, isto é, mostra o conteúdo de frequências do sinal ao longo do tempo. O *output* da análise por *wavelets* é apresentado de quatro formas gráficas distintas (Figura 5), permitindo discriminar um ou mais pontos de separação de zonas (intervalos temporais) com diferentes características espectrais. A estes pontos chamamos, ainda de forma não definitiva e pouco rigorosa, limiares de fadiga. Será importante referir que, como é aparente pelos gráficos de contorno da figura 5, não será possível com a análise das *wavelets* extrair a localização exata do limiar de fadiga. Consegue-se apenas obter uma região onde o comportamento do conteúdo da frequência se altera e a correspondente região de alteração do comportamento da curva de velocidade.

A validade do limiar de fadiga será testada, em seguida, através da observação do comportamento da velocidade nas diferentes zonas discriminadas. No exemplo da figura 6, são verificáveis mudanças no padrão de velocidade após os 5s. Verifica-se, por vezes, que a amplitude das flutuações de

velocidade e a velocidade máxima por braçada decrescem com o tempo e que as elevadas frequências presentes na curva de velocidade também desaparecem no fim do teste. Em alguns momentos, este procedimento de análise visual é suficiente para rejeitar o limiar previamente determinado. Após ultrapassar esta fase, as diferentes zonas são analisadas e as diferenças graficamente expressas num periodograma, que é normalizado ao seu próprio valor de amplitude máxima (Figura 7)

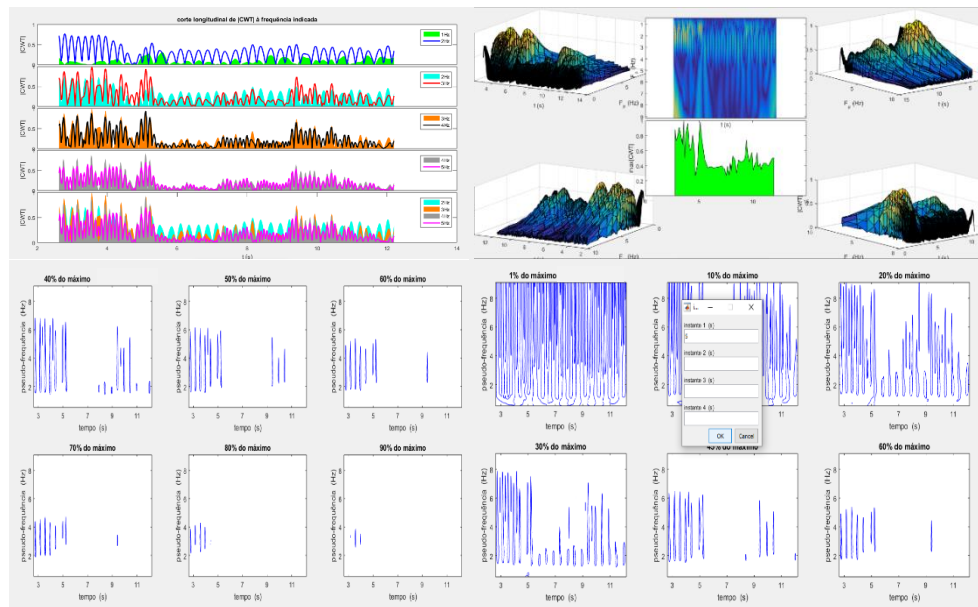


Figura 5 – Gráficos procedentes da análise das wavelets de uma curva de velocidade instantânea para inspeção visual, sendo observável uma zona de alteração do comportamento da frequência (limiar de fadiga), sensivelmente aos cinco segundos.

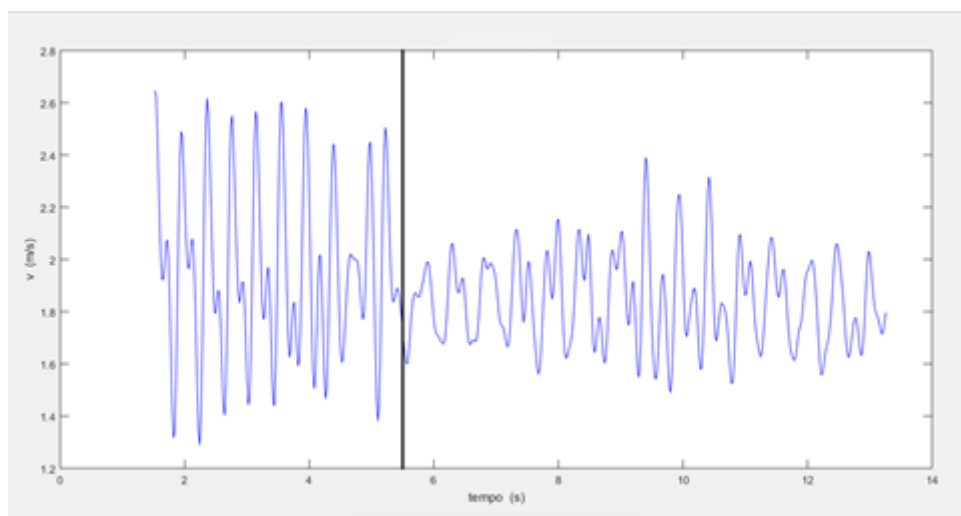


Figura 6 - Exemplo de gráfico em que o limiar de fadiga determinado a partir da análise da transformada contínua de *wavelets* está assinalado sobre o traçado velocimétrico correspondente.

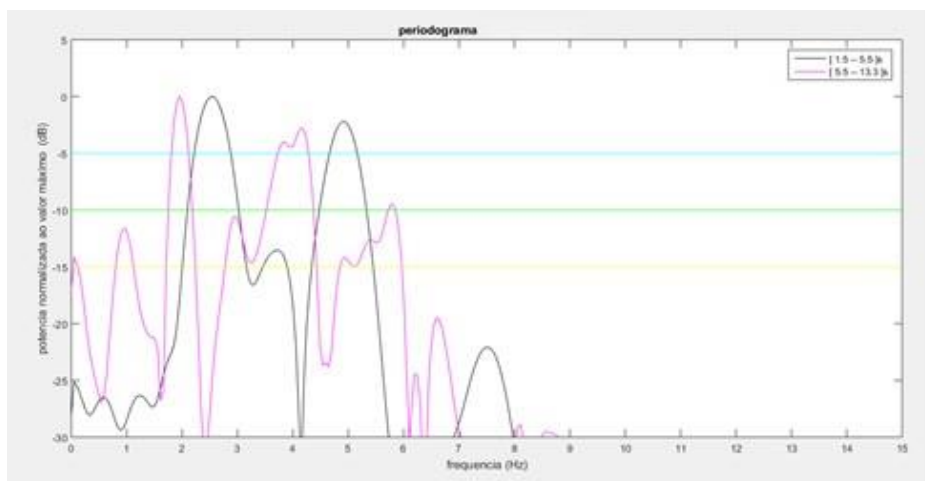


Figura 7 - Exemplo de periodograma obtido após aplicação da rotina de análise desenvolvida no programa *MatLab*.

Depois do exame visual dos periodogramas, os limiares de fadiga discriminados podem ser aceites, se as frequências dos valores dos lobos principais e as respetivas amplitudes e valores das frequências forem marcadamente diferentes entre zonas. Nos casos em que tal não acontece, há que proceder a uma nova análise dos gráficos de contorno das *wavelets* e repetir o processo.

Posteriormente à aceitação do periodograma, o programa mostra, ainda, um gráfico onde as velocidades filtradas, com um filtro passa-baixo com uma frequência de corte de 1.0 Hz e com um filtro passa-baixo com uma frequência de corte de 2.0 Hz, são colocadas sobre a velocidade instantânea correspondente ao intervalo de tempo tratado. Este diagrama é mais uma ferramenta para confirmar as opções tomadas anteriormente (Figura 8).

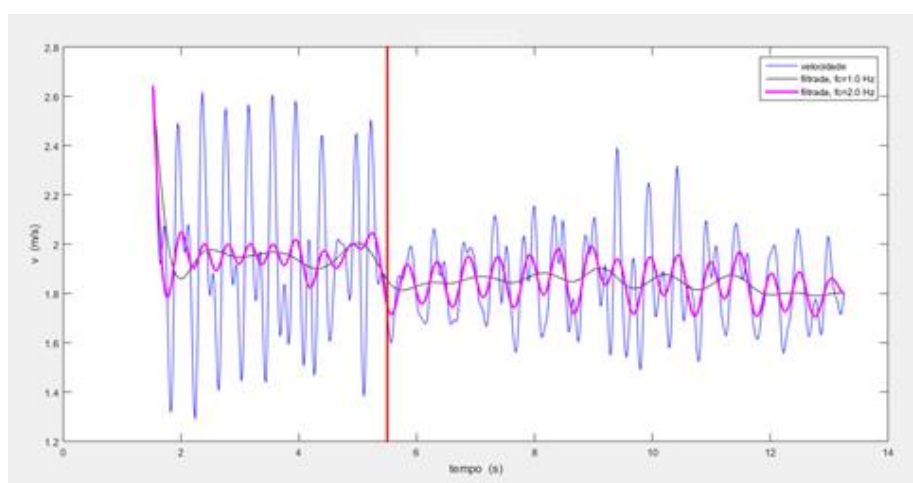


Figura 8 - Gráfico da velocidade instantânea referente ao intervalo de tempo considerado para análise, com a velocidade filtrada a 1.0 e a 2.0 Hz sobreposta e os limiares de fadiga assinalados.

No final da rotina, o programa irá escrever um ficheiro de dados com uma listagem de variáveis apresentadas para os dois intervalos de tempo definidos pelo limiar de fadiga predeterminado, como o tempo e a distância de esforço, as velocidades e respetivos desvios-padrão, o índice de fadiga, o decaimento da velocidade, o coeficiente de variação da velocidade média, o número de ciclos realizados, o tempo e distância de ciclo, a frequência gestual e o índice de ciclo. O índice de fadiga e o coeficiente de variação foram calculados utilizando as seguintes equações:

$$IF = [(max - min)/max]*100$$

$$CV = (sd/vmed)*100$$

onde: IF – índice de fadiga; max – máximo; min – mínimo; CV – coeficiente de variação; sd – desvio padrão; vmed – velocidade média

Procedimentos estatísticos

A análise estatística dos dados foi realizada no programa SPSS, versão 26.0 para *Windows*. Dado que os pressupostos da estatística paramétrica foram cumpridos, tendo-se, nomeadamente, garantido a normalidade da amostra em análise exploratória, foi utilizado o teste *t* de *student* para comparação de médias de amostras independentes (comparação de nadadores da natação adaptada e da natação pura) e de medidas repetidas (comparações intragrupo). O nível de significância foi estabelecido em 5%.

Resultados

A análise do perfil de velocidade *all out* de nadadores de elite de natação adaptada e de natação pura (Tabela 1) mostrou que os valores de velocidade máxima do percurso subaquático, velocidade média do percurso subaquático, velocidade média de nado, índice de fadiga, coeficiente de variação e ciclos de nado dos nadadores de adaptada se distinguem dos da pura. Os valores foram menores para os nadadores de adaptada em comparação com os da pura nas variáveis de velocidade máxima do percurso subaquático, velocidade média do percurso subaquático, velocidade média de nado e índice de fadiga. Foram maiores para os nadadores de adaptada em comparação com os da pura nas variáveis coeficiente de variação e ciclos de nado. As restantes variáveis velocimétricas e outras associadas não foram diferentes nos dois grupos.

Tabela 1- Valores médios e respetivos desvios-padrão das variáveis velocimétricas e afins referentes a um esforço *all out* de 25m realizado por nadadores de elite de natação adaptada e de natação pura.

	Nadadores adaptada x±sd	Nadadores pura x±sd
Velocidade de impulsão máxima (m.s ⁻¹)	2.98±0.66	3.14±0.40
Velocidade de impulsão média (m.s ⁻¹)	1.81±0.40	2.09±0.26
Velocidade máxima do percurso subaquático (m.s ⁻¹)	2.51 ± 0,45*	3.06±0.41
Velocidade média do percurso subaquático (m.s ⁻¹)	1.64 ± 0,20*	2.01±0.12
Velocidade máxima de nado (m.s ⁻¹)	2.59±0.29	2.86±0.26
Velocidade média de nado (m.s ⁻¹)	1.69±0.21*	1.98±0.17
Coeficiente de variação (%)	19.03±3.72*	14.25±2.74
Índice de fadiga (%)	0.32±3.35*	4.33±2.68
Decaimento da velocidade de nado	-0.01±0.01	-0.02±0.01
Ciclos de nado	12.71±1.78*	8.64±0.69

* Diferente de nadadores da pura (p≤0.05)

Após a aplicação da rotina *MatLab*, identificaram-se os limiares de fadiga para os nadadores da natação adaptada e da natação pura e fez-se uma comparação das variáveis nos dois intervalos de tempo estabelecidos (tabela 1). Registaram-se diferenças entre os intervalos temporais para os nadadores de adaptada na variável do tempo de ciclo, sendo o valor do primeiro intervalo menor que o do segundo. Nos nadadores de natação pura registaram-se diferenças entre os dois intervalos temporais nas variáveis de tempo de nado total, distância de nado total e número de ciclos, tendo os valores do primeiro intervalo sido menores que os do segundo. Não se encontraram diferenças nos intervalos das restantes variáveis.

Tabela 2 – Valores médios e respectivos desvios-padrão das variáveis velocimétricas e afins, obtidas depois de aplicada a rotina *MatLab* às curvas velocimétricas de nado de cada nadador.

	Nadadores adaptada x±sd	Nadadores pura x±sd
Limiar de fadiga (s)	7.71±1.25*	6.36±0.90
Tempo de nado total (s)	11.29±5.53*	7.87.1.41
Distância de nado total (m)	18.60±2.07*	15.79±2.42
Número de ciclos em 25 m (nº)	11.57±1.90*	8.14±0.90
Tempo de ciclo (s)	0.97±0.11	0.96±0.08
Distância de ciclo (m)	1.62±0.12*	1.93±0.14
Frequência gestual (Hz)	1.11±0.14	1.05±0.08
Índice de ciclo (m*m/s)	2.74±0.51*	3.88±0.50
Velocidade média (m/s)	1.68±0.21*	2.04±0.13
Coeficiente de variação	0.18±0.04	0.14±0.03

Diferente de nadadores da pura (p≤0.05)

Na tabela 3 são apresentados os valores globais médios e respectivos desvios-padrão das variáveis para natação adaptada e pura. Registaram-se diferenças no limiar de fadiga, número de ciclos, tempo de nado total, distância de nado total, velocidade média, distância de ciclo e índice de ciclo correspondentes aos nadadores dos dois grupos. Os valores são maiores nas variáveis, limiar de fadiga, número de ciclos, tempo de nado total e distância de nado total para os nadadores de adaptada comparativamente com os da pura. Os valores são menores nas variáveis de velocidade média, distância de ciclo e índice de ciclo para os nadadores de adaptada comparativamente com os da pura.

Tabela 3 – Valores médios e respectivos desvios-padrão das variáveis velocimétricas e afins obtidas nos dois intervalos temporais definidos pelo limiar de fadiga.

	Nadadores adaptada	Nadadores pura
	x±sd	x±sd
Limiar de fadiga (s)	7.71±1.25	6.29±0.99
Tempo de nado total 1ºint (s)	3.89±1.49	1.89±1.56*
Tempo de nado total 2ºint (s)	6.33±2.11	4.89±0.87
Distância de nado total 1ºint (m)	6.47±2.11	3.91±3.10*
Distância de nado total 2ºint (m)	10.35±2.88	9.61±1.66
Número de ciclos em 25 m (nº)1ºint	3.71±1.25	1.71±1.38*
Número de ciclos em 25 m (nº) 2ºint	5.86±1.86	4.43±0.98
Tempo de ciclo 1ºint (s)	1.04±0.09	0.78±0.54
Tempo de ciclo 2ºint (s)	1.08±0.13	1.12±0.09
Distância de ciclo 1ºint (m)	1.76±0.17	1.65±1.13
Distância de ciclo 2ºint (m)	1.80±0.17	2.22±0.16
Frequência gestual 1ºint (Hz)	0.97±0.09	0.65±0.45
Frequência gestual 2ºint (Hz)	0.94±0.11	0.90±0.07
Índice de ciclo 1ºint (m*m.s ⁻¹)	3.02±0.58	3.50±2.46
Índice de ciclo 2ºint (m*m.s ⁻¹)	3.03±0.64	4.43±0.59
Velocidade média 1ºint (m.s ⁻¹)	1.69±0.18	2.03±0.24
Velocidade média 2ºint (m.s ⁻¹)	1.68±0.23	1.99±0.17
Coeficiente de variação 1ºint	0.17±0.03	0.08±0.06
Coeficiente de variação 2ºint	0.18±0.04	0.13±0.03

* Diferente nos dois intervalos temporais (p≤0.05)

Discussão

De acordo com Vilas-Boas (1989) a obtenção de resultados de excelência obriga à objetivação do processo de treino, pelo que o papel do controlo do treino e da avaliação de nadadores é extremamente relevante. Para Fernandes & Vilas-Boas (2006), a excelência comporta a aceitação dos fatores bioenergéticos e biomecânicos como parte primordial de um complexo conjunto de parâmetros influenciadores do rendimento na modalidade de natação. No que concerne os aspetos bioenergéticos, a prática da natação pura desportiva, como da natação adaptada, terá, teoricamente, influências fisiológicas semelhantes nos seus praticantes. (Maglischo, 2003) observaram que o nível de rendimento desportivo na natação está diretamente relacionado com fatores fisiológicos, como a superação da fadiga provocada pelos esforços anaeróbios lácticos. Assim, a avaliação do potencial anaeróbio aparenta ser primordial para um melhor

desenvolvimento do processo e controlo de treino, tanto para a natação pura, como para a natação adaptada.

Com vista a um melhor controlo do treino na natação adaptada, procurou aplicar-se um método inovador de avaliação do potencial anaeróbio. Soares (2007) desenvolveu um método alternativo de avaliação do potencial anaeróbio em nadadores de natação pura, baseado na análise de curvas da variação intracíclica da velocidade de nado, com resultados promissores em nadadores dos dois sexos e de nível de maturação distinto. Este teste nunca havia sido aplicado em nadadores da natação adaptada, pelo que o objetivo da presente dissertação foi avaliar o potencial anaeróbio de nadadores de natação adaptada com recurso àquele método, de forma a concluir sobre a sua valia quando aplicado a esta população.

Os resultados correspondentes à análise do perfil de velocidade *all out* de nadadores de elite de natação adaptada e de natação pura mostraram que os valores de velocidade máxima e média do percurso subaquático, da velocidade média de nado e do índice de fadiga foram menores para os nadadores de adaptada em comparação com os da pura, algo que já havia sido indiciado num estudo que serviu de piloto ao aqui discutido (anexo). Estes resultados não foram surpreendentes, dado que se espera que as deficiências motoras condicionem a técnica de nado nesta população. Tendo os nadadores de adaptada uma mobilidade mais reduzida, os valores das velocidades tenderão a ser menores e nadando de forma mais lenta, também a fadiga lhes será mais facilmente suportável. Poderá acontecer que os nadadores de adaptada, ainda que fisiologicamente possam ter uma capacidade de resposta semelhante, estejam limitados mecanicamente ao ponto de a limitação não permitir a expressão total dessa capacidade. Verifica-se que é visualmente possível observar que muitos nadadores de natação adaptada são pouco explosivos e potentes quando comparados com os seus pares da natação pura. Adicionalmente, o perfil do treino pode influenciar a resposta dos nadadores ao esforço. Se o treino tiver dominância aeróbia, com uso frequente de intensidades de nado baixas, os nadadores tenderão a ser menos responsivos em termos de potência.

O coeficiente de variação da velocidade média, enquanto indicador de variabilidade na velocidade intracíclica [algo observável em nadadores tecnicamente muito proficientes (Lima, 2006)] foi superior nos nadadores de natação adaptada. A maior variação da velocidade intracíclica não será, contudo, para estes nadadores, decorrente de uma particular capacidade de alterar a velocidade nas diferentes fases constituintes do ciclo de nado (como fazem os nadadores da natação pura de muito alto nível), mas mais talvez pela forte limitação mecânica de alguns gestos de nado [como acontece com nadadores muito jovens e com a técnica ainda instável (Soares, 2007)]. O número de ciclos de nado realizados no teste de 25m foi a outra variável que apresentou valores superiores nos nadadores de adaptada, o que também não constitui um resultado surpreendente, por estes nadadores estarem limitados na produção de força propulsiva por maior dificuldade de apoio dos segmentos afetados e terem um arrasto aumentado por questões de forma.

A literatura parece corroborar as explicações sugeridas para as diferenças observadas nos resultados desta dissertação. Hogarth et al. (2020b) examinaram a contribuição dos segmentos de membros para o desempenho de nadadores com deficiência motora nas suas provas. Da análise percebe-se que a braçada e a distância da prova influenciam as contribuições dos segmentos dos membros no desempenho em prova. Numa outra pesquisa, refere-se que na natação, por ser um evento realizado dentro de água, a capacidade de superar o arrasto é determinante no desempenho (Payton et al., 2020). O estudo conclui que nadadores da modalidade de natação adaptada com deficiências motoras e neuromusculares centrais estão predispostos a um alto arrasto ativo durante o nado de crol, o que afeta o seu desempenho. De forma resumida, estes resultados poderão, então, ser explicados pelo facto de as imposições no comportamento motor da população de adaptada obrigarem a maiores mudanças de variação de velocidade durante o percurso de nado e um maior número de ciclos de braçadas.

Quando comparados os valores globais médios das variáveis calculadas nos traçados posteriormente sujeitos a análise para determinação de limiares de fadiga, observou-se que apenas o tempo de ciclo, a frequência gestual e o coeficiente de variação são semelhantes para os dois grupos. Dado que o que se suprime aos traçados da velocidade, para posterior aplicação da análise das *wavelets*, é o impulso e, eventualmente, parte do percurso subaquático e a parte final da prova (chegada), suspeita-se que a partida e a chegada são fortemente influenciadoras dos valores médios das mesmas variáveis quando calculadas para o percurso total. Neste sentido, o facto de o valor da distância total de nado ser superior para os nadadores de adaptada é potencialmente revelador de partidas e chegadas mais condicionadas e de menor duração (traçados velocimétricos menos cortados no processo de análise). Para comparar apenas o nado entre os dois grupos, sugere-se assim que aquando da aplicação do método se possa isolar apenas a parte do traçado correspondente ao nado efetivo, o que obrigaria a aumentar a distância de teste para os 50m. Aliás, como já foi referido, esta foi a distância originalmente utilizada por Soares (2007).

A ocorrência do limiar de fadiga (ainda que ele nos tenha parecido difícil de reconhecer como tal) foi mais tardia nos nadadores de natação adaptada, o que poderia significar uma mudança mais tardia para uma dominância da glicólise sobre o sistema ATP-CP para estes nadadores. Contudo, tal afirmação carece da confirmação de que o esforço desenvolvido por aqueles nadadores teve, de facto, carácter anaeróbio. A tê-lo sido, uma mudança mais tardia poderia ser justificada pelo facto de as limitações motoras da população de adaptada a impedirem de atingir uma fadiga mais rápida comparativamente com nadadores sem deficiências motoras.

A distância de nado total também se mostrou superior para os nadadores de natação adaptada, o valor médio dos nadadores de adaptada é superior aos nadadores de natação pura. Este fenómeno indica que a distância do traçado de

velocidade analisado durante a rotina *MatLab* foi maior para a amostra de adaptada que para a amostra da pura. Constrangimentos motores da amostra de adaptada farão com que a partida dos nadadores de adaptada não seja tão explosiva como para os nadadores de nataação pura. Assim, de acordo com a metodologia aplicada, a parte referente ao período da partida no traçado de velocidade terá sido mais expurgada na amostra da pura, levando a valores menores na sua variável da distância total de nado.

Os valores médios menores nas variáveis de velocidade média, distância de ciclo e índice de ciclo para os nadadores de adaptada comparativamente com os da nataação pura revelam que a fraca mobilidade corporal, que é característica das deficiências da amostra de adaptada, faz com que este tipo de população tenha mais dificuldades de locomoção em regime aquático, comparativamente com indivíduos sem deficiências, o que justificará um valor menor da variável da velocidade média em nadadores de nataação adaptada. A menor distância percorrida durante um ciclo de braçada para a população com deficiência motora, pode ser explicada pelo facto destes nadadores apresentarem uma menor força dos seus segmentos corporais e um posicionamento corporal pouco hidrodinâmico, podendo influenciar a sua eficácia de nado. Um estudo de Osborough et al. (2010) examinou a coordenação entre os membros superiores e outros parâmetros de braçada, num grupo de nadadores competitivos com amputação unilateral do braço (ao nível do cotovelo). Os nadadores amputados parecem adotar uma estratégia assimétrica para coordenar seu membro superior afetado em relação ao membro superior não afetado para manter uma repetição estável de seu ciclo geral de braçada. Este estudo parece exemplificar um posicionamento corporal pouco hidrodinâmico durante o nado de nadadores de adaptada.

O índice de ciclo é obtido a partir da multiplicação das variáveis de distância de ciclo e do tempo ciclo. Com um tempo de ciclo quase idêntico para as duas populações e com valores de distância de ciclo claramente inferiores para a população de nadadores de adaptada, será justificável um diferente e inferior valor médio para a variável índice de fadiga em nadadores de adaptada. A literatura mostra que os impedimentos motores dos nadadores da modalidade de nataação adaptada têm de facto influência na velocidade e hidrodinâmica de nado. A posição corporal é um dos aspetos fulcrais da execução técnica correta do crol e costas (Marinho & Fernandes, 2003). Uma incorreção num dos aspetos que compõem uma boa técnica (alinhamento horizontal, alinhamento lateral e rotação do corpo sobre o eixo longitudinal) levará a alterações profundas no trajeto motor dos membros superiores, modificando significativamente a produção da força propulsiva, e podendo provocar o aumento do arrasto hidrodinâmico. Marinho & Fernandes (2003) julgam ser pertinente alertar os técnicos de nataação para a procura do desenvolvimento do rendimento do nadador atendendo à sua eficiência do nado.

A amostra de população de adaptada em estudo nesta dissertação científica apresenta deficiências motoras, com exemplos de atrofia muscular e inexistência de segmentos corporais em alguns dos nadadores. Este tipo de restrições corporais, impede que os aspetos que compõe uma boa técnica de crol descritos por Marinho & Fernandes (2003) sejam atingíveis pelos nadadores da modalidade de natação adaptada. A dificuldade técnica da amostra de adaptada tem repercussões no seu padrão nado e justificará as diferenças encontradas nas variáveis de limiar de fadiga, número de ciclos, tempo de nado total e distância de nado total.

A identificação de limiares de fadiga indicadores de perda de velocidade de nado ao longo do teste *all out* foi possível para os dois grupos. A comparação das variáveis nos dois intervalos temporais estabelecidos pelos limiares evidenciou que os limiares determinados para os nadadores de natação adaptada não discriminam intervalos temporais de comportamento diferente. Para os nadadores da natação pura, três variáveis (tempo, distância total de nado e número de ciclos nadados) discriminaram os intervalos por revelarem um comportamento diferente no segundo intervalo temporal (valores superiores quando comparados com os do primeiro intervalo). A ausência de diferenças nos valores das variáveis nos dois intervalos temporais, para os nadadores de adaptada, indica que o método permite o cálculo de limiares de fadiga ou zonas de alteração do comportamento da velocidade, mesmo que possa não ser um limiar evidente. A inexistência de diferenças nas variáveis entre os intervalos temporais será uma indicação de que o padrão de nado ao longo de 25m *all out* não sofreu grandes modificações, pelo que há que ponderar a possibilidade de o limiar não expressar de forma evidente uma alteração metabólica.

O que se observa nos nadadores de adaptada é que a velocidade é mais estável ao longo do *all out*, comparativamente com os da pura, pelo que talvez essa alteração esperada alteração metabólica não chegue a ocorrer. Estes nadadores parecem ser menos explosivos e potentes, o que poderá dever-se ao conteúdo do treino a que são submetidos ou às próprias limitações impostas pelas suas deficiências, ou até pelo efeito conjunto das duas. É possível que para a aplicação do método de Soares (2007) tenham de ser consideradas distâncias de nado superiores, até aos 50m Soares et al. (2014) encontraram diferenças entre os dois intervalos temporais em maior número de variáveis, em nadadores de natação pura, num teste de velocimetria de 50m), desde que o esforço dos nadadores seja efetivamente anaeróbio, o que poderá ser comprovado com um teste simples de mensuração da lactatemia pós-esforço, que não foi considerado neste estudo e que constitui uma das suas limitações.

O funcionamento do metabolismo anaeróbio, como descrito por (Powers & Howley, 1997), está associado à ocorrência de um esforço máximo de curta duração, como uma prova de 50m em natação. A hidrólise do ATP disponível a nível muscular assegura as primeiras contrações (via ATP-CP). No final deste

tempo, que pode variar entre os 8 e os 12s, a via anterior deixa de ser capaz de sustentar a máxima intensidade de esforço em regime de predominância, acabando por ser necessário o contributo do sistema anaeróbio lático, que pode acontecer através de uma transição mais ou menos abrupta da via alática para uma maior dependência da glicólise anaeróbia.

Esta descrição do metabolismo anaeróbio pode justificar as diferenças entre os dois intervalos temporais nas variáveis de tempo de nado total, distância de nado total e número de ciclos para a população de natação pura. O padrão de nado da população da pura ao longo dos 25m *all out* parece ter sofrido mais modificações em relação à amostra de adaptada. As modificações do padrão de nado são mais evidentes por um maior número de diferenças entre intervalos temporais das variáveis em comparação com a amostra de adaptada. É assim mais esclarecedora a contribuição do sistema anaeróbio láteo para a amostra de nadadores de natação pura do que para a de adaptada e a possibilidade de o limiar calculado se constituir como um indicador do potencial anaeróbio dos nadadores, que deverá, então, ser responsivo ao treino, desviando-se para a esquerda (ocorrência mais prematura) ou para a direita (ocorrência mais tardia) em relação à curva de variação instantânea da velocidade de nado. A suspeição relativa à ocorrência destes desvios ainda não foi empiricamente testada.

Conclusão

Foi objetivo desta dissertação avaliar o potencial anaeróbio de um grupo de nadadores da adaptada através do método proposto por Soares (2007). Concluiu-se que a determinação do potencial anaeróbio por via da análise das curvas de variação intracíclica da velocidade, com determinação de limiares de fadiga, apesar de possível, tem de ser assumida com algum cuidado para os nadadores de natação adaptada. O perfil dos resultados conduz à suspeição de que o *sprint all out* parece ser mais estimulante dos processos metabólicos anaeróbios nos nadadores da pura, sendo os nadadores da adaptada caracterizados por um nado mecanicamente mais afetado, claramente menos potente e mais estável. O método de Soares (2007) apesar de permitir determinar limiares de fadiga, parece não ser sensível o suficiente para os comprovar ou esse limiar poderá mesmo ser inexistente, pelo que o seu uso para determinar o potencial anaeróbio dos nadadores da adaptada carece ainda de desenvolvimento. Em estudos futuros, seria também importante validar o carácter anaeróbio do esforço realizado.

Referências

- Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2006). Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. *Review of general psychology*, 10(3), 229-240.
- Bell, R., MacDougall, J., Billeter, R., & Howald, H. (1980). Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal muscle in six-year-old children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(1), 28-31.
- Campos, E. Z., Kalva-Filho, C. A., Gobbi, R. B., Barbieri, R. A., Almeida, N. P., & Papoti, M. (2017). Anaerobic Contribution Determined in Swimming Distances: Relation with Performance. *Frontiers in Physiology*, 8(755).
- Di Prampero, P., Pendergast, D., Wilson, D., & Rennie, D. (1974). Energetics of swimming in man. *Journal of applied physiology*, 37(1), 1-5.
- Fellmann, N., Bedu, M., Spielvogel, H., Falgairette, G., Van Praagh, E., & Coudert, J. (1986). Oxygen debt in submaximal and supramaximal exercise in children at high and low altitude. *Journal of Applied Physiology*, 60(1), 209-215.
- 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), 214-220.
- Gastin, P. (1994). Quantification of anaerobic capacity. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 4(2), 91-112.
- Gastin, P., & Lawson, D. (1994). Variable resistance all-out test to generate accumulated oxygen deficit and predict anaerobic capacity. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 69(4), 331-336.
- Green, P. J., & Suls, J. (1996). The effects of caffeine on ambulatory blood pressure, heart rate, and mood in coffee drinkers. *Journal of behavioral medicine*, 19(2), 111-128.
- Hancock, C. R., Brault, J. J., Wiseman, R. W., Terjung, R. L., & Meyer, R. A. (2005). ³¹P-NMR observation of free ADP during fatiguing, repetitive contractions of murine skeletal muscle lacking AK1. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 288(6), C1298-C1304.
- Hogarth, L., Payton, C., Van de Vliet, P., & Burkett, B. (2020a). The impact of limb deficiency impairment on Para swimming performance. *Journal of Sports Sciences*, 38, 1-9.
- Hogarth, L., Payton, C., Van De Vliet, P., & Burkett, B. (2020b). The impact of limb deficiency impairment on Para swimming performance. *Journal of Sports Sciences*, 38(8), 839-847.
- Lima, A. (2006). *Concepção, desenvolvimento de resultados e eficiência no treino da técnica em Natação*. Dissertação apresentada às provas de doutoramento no ramo de Ciências do Desporto. Faculdade de Desporto, Universidade do Porto.
- Magel, J., & McArdle, W. (1970). Propelling force and metabolic and circulatory considerations in swimming. *Scholastic Coach*, 40, 58-67.
- Magel, J. R. (1970). Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 41(1), 68-74.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest*. Human kinetics: Champaign, IL.
- Marinho, D., & Fernandes, R. (2003). A posição corporal nas técnicas alternadas em natação pura desportiva. *Lecturas: Educación física y deportes*(63), 31.
- Navarro, N. V., & Arsenio, O. (1999). *Natación II. La natación y su entrenamiento: técnica, planificación del entrenamiento, análisis y desarrollo de los principios pedagógicos*: Gymnos.
- Olbrecht, J., & Mader, A. (2006). *Individualization of training based on metabolic measures*. First International Symposium Sciences and practices in Swimming. Atlantica: Paris.

- Osborough, C. D., Payton, C. J., & Daly, D. J. (2010). Influence of swimming speed on inter-arm coordination in competitive unilateral arm amputee front crawl swimmers. *Hum Mov Sci*, 29(6), 921-931.
- Payton, C., Hogarth, L., Burkett, B., Van de Vliet, P., Lewis, S., & Oh, Y.-T. (2020). Active Drag as a Criterion for Evidence-based Classification in Para Swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52, 1.
- Powers, S., & Howley, E. (1997). *Exercise Physiology—Theory and Application to Fitness and Performance USA: Brown & Benchmark*.
- Ribeiro, J., Figueiredo, P., Guidetti, L., Alves, F., Toussaint, H., Vilas-Boas, J., Baldari, C., & Fernandes, R. (2016). AquaTrainer® snorkel does not increase hydrodynamic drag but influences turning time. *International Journal of Sports Medicine*, 37(04), 324-328.
- Rodriguez, F., & Mader, A. (2011). World Book of Swimming From Science to Performance. *Energy systems in swimming*. New York: Nova, 225-240.
- Rodríguez, F. A., & Mader, A. (2011). Energy systems in swimming. *World Book of Swimming. From Science to Performance*. New York: Nova, 225-240.
- Rowland, T. W. (1996). *Developmental Exercise Physiology: Human Kinetics*, Champaign, IL.
- Rushall, B. (1991). The lactate debate-one more time. *Journal of Australian Swim Coaches' Association*, 8(3), 8-12.
- Simon, G. (1997). *The role of lactate testing in swimming*. Proceedings of the XII FINA World Congress on Sports Medicine, FINA, Göteborg, Sweden.
- Smith, D. J., Norris, S. R., & Hogg, J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers. *Sports medicine*, 32(9), 539-554.
- Soares, S. (2007). *Avaliação Indirecta da Funcionalidade Anaeróbia de Nadadores de Diferente Estatuto Maturacional com Recurso a Testes Laboratoriais e de Terreno*. Dissertação apresentada às provas de doutoramento no ramo de Ciências do Desporto. Faculdade de Desporto, Universidade do Porto.
- Soares, S. M., Fernandes, R. J., Machado, J. L., Maia, J. A., Daly, D. J., & Vilas-Boas, J. P. (2014). Assessment of fatigue thresholds in 50-m all-out swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 959-965.
- Troup, J. P. (1999). The physiology and biomechanics of competitive swimming. *Clinics in sports medicine*, 18(2), 267-285.
- Vandewalle, H., Péerès, G., & Monod, H. (1987). Standard anaerobic exercise tests. *Sports medicine*, 4(4), 268-289.
- Vilas-Boas, J. (1989). Controlo do treino em Natação: considerações gerais, rigor e operacionalidade dos métodos de avaliação. *Comunicação apresentada às Jornadas Técnicas Galaico-Durienses de Natação*. Corunha, Espanha.

Anexo

Resumo da participação na 13ª edição do encontro *Investigação Jovem da Universidade do Porto*.

- **17037 | Para swimmers velocity profile**

Rocha, Pedro, Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, Portugal

Fernandes, Ricardo J., Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, Portugal

Soares, S., Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, Portugal

Knowing the velocity profile of a swimmer allows training him/her more specifically. This is something already performed in different swimming age-groups, but not being so evident in para swimming. The study aims to analyse the velocity profile of disable swimmers and comparing it with able-body swimmers profiles. Seven competitive para swimmers (23.1 ± 4.7 years old) performed a 25 m maximum front crawl bout attached to a speedometer. Starts were performed in water. Maximal and mean impulsion speeds (I_{max} and I_{mean}), impulsion velocity slope (I_{slope}), maximal and mean underwater swimming speed (U_{max} and U_{mean}), maximal and mean swimming speed (V_{max} and V_{mean}), fatigue index (FI), variation coefficient of swimming velocity (VC) and the number of swimming cycles (Cy) were measured. The para swimmers related data and the reference values for able-bodied swimmers (minimum and maximum values obtained by our research group in previous data collections) are displayed in table I. No reference values were found for I_{slope} (-5.97 ± 2.05), U_{max} (2.51 ± 0.45) and U_{mean} (1.64 ± 0.20). I_{max} , I_{mean} and V_{max} values attained by para swimmers are within the reference values, and V_{mean} and Cy were lower (as expected). In addition, FI is higher and positive, meaning that a 25 m exertion is enough for para swimmers loose speed, but not for able-bodied swimmers that are able to keep or accelerate during all the distance. CV is higher for the para swimmers, probably due to their more unstable technique that is conditioned by each swimmer disability. As far as we know, this was the first comparison of a velocity profile of para swimmers with able-bodied swimmers. Para swimmers, when compare to able-bodied counterparts, seem to need to improve mean swimming velocity, slow fatigue and stabilize technique. More studies are needed with gender, disability and swimming technique clusters to better define goals for para swimmers training.

Table I. Para swimming velocity profile and able-bodied swimmers reference values

	$I_{max} (m.s^{-1})$	$I_{mean} (m.s^{-1})$	$V_{max} (m.s^{-1})$	$V_{mean} (m.s^{-1})$	FI (%)	VC (%)	Cy
Para Sw	2.98 ± 0.66	1.81 ± 0.40	2.59 ± 0.29	1.69 ± 0.21	0.32 ± 3.35	19.03 ± 3.72	12.71 ± 1.78
Reference	[2.77-3.67]	[1.66-1.97]	[2.52-3.10]	[1.80-2.12]	[(-2.3)-(-13.14)]	[13.68-17.07]	[7.5-11]