



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Ciências Sociais e Humanas

# **A influência da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup> no arrasto hidrodinâmico na técnica de crol**

**Daniel Queirós Novais**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Ciências do Desporto**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Daniel Marinho

**Covilhã, Junho de 2011**

# Agradecimentos

Um estudo desta natureza nunca é fruto do trabalho de uma só individualidade. É antes um produto resultante da confluência de vontades, empenho, dedicação e abnegação, mas sobretudo o triunfo da vontade de conhecer, crescer, progredir pessoal e colectivamente.

O conhecimento é próprio de mentes inquietas que não se contentam com aquilo que possuem, mas que antes desafiam aquilo que poderão vir a possuir. Cabe-me portanto prestar aqui o mais profundo dos agradecimentos a todos aqueles que, de forma explícita ou não, tornaram este trabalho possível.

Gostaria de começar por agradecer ao Professor Doutor Daniel Marinho, orientador desta dissertação, pelo seu tacto peculiar no referente ao modo como nos faz mover pelo caminho do conhecimento. Fico grato por todas as sugestões, esclarecimentos, críticas e ajudas, mas nunca facilidades, por ele apresentadas.

À Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, na pessoa do Professor Doutor Ricardo Fernandes, pela disponibilidade e apoio oferecidos.

Ao FOCA - Clube Natação de Felgueiras, mais concretamente, o Francisco Xavier e Nuno Carvalho, pela palavra sempre encorajadora e pela ajuda sempre sentida. Sem eles as tarefas experimentais jamais seriam conseguidas.

Ao Clube Fluvial Vilacondense, pela disponibilidade oferecida pelo treinador, Professor Doutor Daniel Marinho.

A todos os nadadores.

Por fim, o meu muito obrigado aos meus pais.

## Resumo

O objectivo do presente estudo foi verificar o arrasto hidrodinâmico ( $D$ ) provocado pela válvula *Aquatrainer*®, utilizada na determinação do consumo de oxigénio ( $\text{VO}_2$ ) do nadador, no nado da técnica de crol. A amostra foi constituída por 33 sujeitos, 18 do sexo masculino e 15 do sexo feminino, sendo que 21 são de nível nacional e 12 de nível regional. Numa distancia de 13m, à intensidade máxima de nado, foi determinada a velocidade de deslocamento ( $v$ ), o arrasto activo ( $D_a$ ), o coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) e a potência de nado ( $Pot$ ), segundo o método da perturbação da velocidade, com a ajuda de um corpo hidrodinâmico adicional (Kolmogorov e Duplischeva, 1992; Kolmogorov et al, 1997).

Como principais resultados verificamos que apesar de se verificar a tendencia para o aumento do  $D$  com a utilização da válvula, do ponto de vista estatístico tal alteração não é relevante (Total:  $p=0.24$ ; Rapazes:  $p=0.24$ ; Raparigas:  $p=0.77$ ). Por sua vez, tanto a velocidade máxima de deslocamento ( $v_{\text{máx}}$ ) como o  $C_D$  parecem ser fortemente condicionados pela utilização do aparelho ( $p \leq 0.05$ ).

Concluimos que o  $D$  extra, provocado pela válvula poderá não ser o único responsável pela diminuição da  $v_{\text{máx}}$ . Factores de ordem técnica poderão ter desempenhado aqui um papel importante.

## Palavras-chave

Natação Pura Desportiva, Consumo de oxigénio, Arrasto hidrodinâmico, Válvula respiratória, Crol.

# Abstract

The purpose of this study was to determine the drag caused by the Aquatrainer® snorkel, used in the determination of the swimmers oxygen consumption ( $\text{VO}_2$ ), in front crawl swimming. The sample consisted of 33 subjects, 18 males and 15 females, of which 21 are from national level and 12 from regional level. In a 13m distance, at maximum swimming intensity, speed, active drag, drag coefficient and power were determined, according to the velocity perturbation method, with the help of an additional hydrodynamic body (Kolmogorov e Duplischeva, 1992; Kolmogorov et al, 1997).

Has main results we found that, although it exists a tendency for the hydrodynamic drag ( $D$ ) to increase with the use of the mask, from a statistical point of view such a change is not relevant (Total:  $p=0,24$ ; Boys:  $p=0,24$ ; Girls:  $p=0,77$ ). In turn, the maximum velocity of displacement ( $v_{\text{max}}$ ) and  $C_D$  appear to be strongly conditioned by the use of the apparatus ( $p \leq 0,05$ ).

We concluded that the extra  $D$ , caused by the use of the snorkel, may not be solely responsible for the decrease in  $v_{\text{max}}$ . Technical factors may have played an important role in this decrease.

## Keywords

Competitive swimming, Oxygen consumption, Hydrodynamic drag, Swimming snorkel, Crawl.

# Índice

1. Introdução .....	1
2. Revisão da literatura.....	2
2.1. Enquadramento teórico.....	2
2.2. Bioenergética e controlo de treino .....	2
2.2.1. Consumo de oxigénio .....	4
2.2.2. Métodos de medição do $\text{VO}_2$ em natação pura desportiva .....	4
2.2.3. Caracterização da válvula <i>Aquatrainner</i> ® .....	8
2.2.4. Influência das válvulas respiratórias em diferentes parâmetros do nado .....	8
2.3. Arrasto hidrodinâmico.....	9
2.3.1. Arrasto de pressão, arrasto de onda e arrasto de fricção.....	10
2.3.2. Avaliação da Força de Arrasto Hidrodinâmico.....	14
3. Material e Métodos .....	18
3.1. Caracterização da Amostra.....	18
3.2. Metodologia .....	18
3.3. Procedimentos Estatísticos.....	19
4. Apresentação dos Resultados.....	20
5. Discussão dos Resultados.....	23
6. Conclusão .....	27
7. Referências Bibliográficas .....	28

# Lista de Figuras

Figura 1 - Representação esquemática da área de secção máxima do nadador em deslize ventral, identificada no seu plano transversal em relação à direcção da aplicação de D, oposta à direcção de aplicação da força (adaptado de Clarys, 1979). .....	10
Figura 2 - Efeito da profundidade no arrasto total (adaptado de Toussaint, 2002).....	12
Figura 3 - MAD-System (System to measure active drag). Método de determinação do arrasto activo proposto por Hollander et al. (1986) .....	16
Figura 4 - Média e desvio padrão da velocidade de nado na técnica de crol para o grupo total, grupo masculino e grupo feminino, sem e com a utilização da válvula <i>Aquatrainner</i> <sup>®</sup> . * $p < 0,05$ .....	21
Figura 5 - Média e desvio padrão do coeficiente de arrasto na técnica de crol para o grupo total, grupo masculino e grupo feminino, sem e com a utilização da válvula <i>Aquatrainner</i> <sup>®</sup> . * $p \leq 0,05$ .....	21
Figura 6 - Média e desvio padrão do arrasto na técnica de crol para o grupo total, grupo masculino e grupo feminino, sem e com a utilização da válvula <i>Aquatrainner</i> <sup>®</sup> . .....	22
Figura 7 - Média e desvio padrão da potência mecânica externa máxima de nado na técnica de crol para o grupo total, grupo masculino e grupo feminino, sem e com a utilização da válvula <i>Aquatrainner</i> <sup>®</sup> .....	22

# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Média e desvio-padrão da idade, altura e massa corporal para o grupo masculino, feminino e total. ....	18
Tabela 2 - Média e desvio padrão da velocidade, coeficiente de arrasto, arrasto e potência do nado na técnica de Crol, para o grupo total, sem e com a utilização da válvula <i>Aquatrainer</i> <sup>®</sup> . ....	20
Tabela 3 - Média e desvio padrão da velocidade, coeficiente de arrasto, arrasto e potência do nado na técnica de Crol, no grupo masculino, sem e com a utilização da válvula <i>Aquatrainer</i> <sup>®</sup> . ....	20
Tabela 4 - Média e desvio padrão da velocidade, coeficiente de arrasto, arrasto e potência do nado na técnica de Crol, no grupo feminino, sem e com a utilização da válvula <i>Aquatrainer</i> <sup>®</sup> . ....	20

# Lista de Acrónimos

NPD	Natação Pura Desportiva
CP	Fosfocreatina
ATP	Adenosina Trifosfato
O <sub>2</sub>	Oxigénio
VO <sub>2</sub>	Consumo de oxigénio
VO <sub>2máx</sub>	Consumo máximo de oxigénio
Lan	Limiar anaeróbio
b <sup>2</sup>	Respiração a respiração
v	Velocidade de deslocamento
v <sub>máx</sub>	Velocidade máxima de deslocamento
D	Arrasto hidrodinâmico
D <sub>p</sub>	Arrasto hidrodinâmico passivo
D <sub>a</sub>	Arrasto hidrodinâmico activo
S	Área de secção transversal
C <sub>D</sub>	Coefficiente de arrasto hidrodinâmico
Pot	Potência mecânica externa



# 1. Introdução

O controlo de treino tem vindo a ser considerado como um processo fundamental na planificação de qualquer desporto (Villanueva, 1994), constituindo há já vários anos, uma tarefa primordial no processo de treino em natação pura desportiva (NPD) (Vilas-Boas, 1998). Este é caracterizado por um conjunto de procedimentos que se exigem específicos, individualizados, eficientes e, naturalmente, mais consequentes (Vilas-Boas, 1998), de forma a responder da melhor forma às necessidades singulares do indivíduo e da modalidade.

Como sabemos, a NPD desenvolve-se num meio físico com características mecânicas específicas, colocando aos agentes desportivos problemas igualmente específicos (Vilas-Boas, 2001). Desta forma, particularmente em nadadores, os parâmetros cardiorespiratórios, entre outros, devem ser avaliados no terreno para que sejam recolhidos os dados que melhor reflectam as condições reais, os quais podem diferir substancialmente quando obtidos em laboratório (Meyer et al., 2005a; Fernandes et al., 2003; Roels et al., 2005).

Presentemente, o analisador de gases portátil K4 b<sup>2</sup> (Cosmed, Roma, Itália) é um dos mais utilizados em investigação, assim como, no controlo e avaliação do treino. A sua utilização em NPD é descrita em diversos artigos publicados nos últimos anos (Barbosa et al., 2005; Barbosa et al., 2006; Barbosa et al., 2008; Machado et al., 2006; Novais, 2005). Nesses trabalhos o K4 b<sup>2</sup> foi acoplado a uma válvula de Toussaint (1987). A utilização da válvula com o dito analisador foi descrita como tendo uma boa validade e fiabilidade em diversos parâmetros fisiológicos (Keskinen et al., 2003; Rodriguez et al., 2008). Porém, no mercado está também disponível uma válvula respiratória específica para o meio aquático que é comercializada enquanto equipamento opcional do K4 b<sup>2</sup> e que se intitula de *Aquatrainer*<sup>®</sup> (Cosmed, Roma, Itália).

A utilização deste tipo de dispositivos durante o nado é susceptível de provocar constrangimentos de variada ordem. Daqui emerge a pertinência de averiguar as hipotéticas alterações no arrasto hidrodinâmico (D) decorrentes da utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup> e clarificar qual a validade ecológica dos dados recolhidos.

Assim sendo, o estudo teve como objectivo determinar a influência provocada pela válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup> (Cosmed, Roma, Itália), durante um esforço máximo na técnica de crol, no arrasto activo (D<sub>a</sub>) do nadador.

Iniciaremos por realizar uma breve revisão da literatura, onde iremos procurar conhecer o estado do conhecimento actual acerca dos conceitos em questão. Sistematizaremos, gradualmente, o problema do nosso estudo, bem como a definição dos seus objectivos. Após a descrição do material e dos métodos utilizados, passaremos a apresentar e a discutir os resultados obtidos, confrontando-os entre si e com a literatura consultada. Terminaremos com as principais conclusões.

## 2. Revisão da literatura

### 2.1. Enquadramento teórico

A NPD poderá ser definida como uma modalidade individual, cíclica, fechada e mista. Mista porque a NPD não deverá ser entendida como uma modalidade eminentemente condicional (Vilas-Boas, 2000). Muito pelo contrário. Apesar do seu sucesso ser determinado pelo tempo dispendido por um nadador para completar uma distância, no meio aquático, utilizando para tal uma técnica ou uma combinação delas (Termin e Pendergast, 2000), vários factores de ordem bioenergética, mas também de ordem biomecânica, são para ele intervenientes.

Para uma análise mais detalhada destes factores, remetamos para a “equação geral da performance do nadador”, a qual o seu desenvolvimento teórico se ficou a dever, principalmente, aos trabalhos de di Prampero et al. (1974), Rennie et al. (1975), Pendergast et al. (1977, 1978) e Holmér (1983):

$$v = E (e_{pt} \cdot D^{-1}) \quad (1)$$

Tal como referimos, de acordo com a equação (1) conclui-se que a performance em NPD é determinada por dois factores: (i) o dispêndio energético (E), proveniente das três fontes fundamentais de energia: metabolismo oxidativo, glicólise anaeróbia e reserva de fosfatos de alta energia; e (ii) a razão entre a eficiência mecânica propulsiva total ( $e_{pt}$ ), definida como percentagem da potência total produzida pelo nadador, que é efectivamente utilizada para a propulsão, e a intensidade de D, isto é, força resultante oposta ao deslocamento do nadador. (Vilas-Boas, 2000).

Assim, de acordo com o acima postulado, uma diminuição no custo energético do nado pela melhoria técnica (biomecânica) e um aumento da capacidade e potência metabólica através do treino efectivo, deverão actuar no sentido de promover a melhoria de performance em NPD (Termin e Pendergast, 2000).

Assim, tem sido na área da bioenergética e da biomecânica que se tem centrado de facto a investigação científica e controlo de treino em NPD.

### 2.2. Bioenergética e controlo de treino

A bioenergia existe sob várias formas, sendo que o processo de conversão de energia química em mecânica requer uma série de reacções químicas muito controladas (Powers e Howley, 2000).

A energia disponível para o trabalho muscular é predominantemente proveniente de duas fontes de energia, uma aeróbia e uma anaeróbia (Vilas-Boas, 2000). A estas acrescem quantidades reduzidas de energia, armazenadas sob a forma de fosfagénios, que na perspectiva de Vilas-Boas

a Duarte (1994), não é entendida como um sistema, mas como um meio de transferência de energia dos sistemas metabólicos, onde é transformada.

Assim, o ATP (Adenosina Trifosfato) existente em reservas musculares muito reduzidas, poderá ser ressintetizado através da degradação da fosfocreatina (CP), glicólise anaeróbia e do metabolismo oxidativo (Powers e Howley, 2000).

A fonte mais rápida para a produção de energia é através da CP. No entanto, as células musculares armazenam quantidades reduzidas de CP, o que limita a quantidade de ATP formado por essa reacção, catalisada pela creatina quinase, proporcionando energia para a contracção muscular apenas no início do exercício, com duração aproximada de 5 segundos (Powers e Howley, 2000).

A glicólise é uma segunda via metabólica capaz de fornecer energia para a reposição de ATP rapidamente, sem utilização de oxigénio ( $O_2$ ), transformando o glicogénio em ácido pirúvico (Maglischo, 1999).

A síntese aeróbia de ATP decorre no interior das mitocôndrias, só sendo possível mediante a utilização de  $O_2$ , sendo a produção de energia assegurada pela oxidação mitocôndrial da glícose e dos lípidos, e ainda dos aminoácidos, embora de uma forma menos significativa.

Os sistemas energéticos e a reserva de fosfagénios funcionam simultaneamente, ainda que se verifique a preponderância de um, relativamente aos restantes, dependendo de factores como a duração e a intensidade do esforço, a quantidade de reservas disponíveis em cada sistema, as proporções entre os vários tipos de fibras e a presença de enzimas específicas.

Como principais factores bioenergéticos influenciadores do rendimento desportivo, Vilas-Boas (2000) destaca os dois sistemas de energia para o trabalho muscular, a reserva de fosfagénios, a capacidade de cada sistema e da reserva de fosfagénios e a potência máxima a que em cada circunstância e em cada ambiente celular, cada sistema e a reserva de fosfagénios conseguem operar (Vilas-Boas, 2000).

Assim, grande parte do treino é direccionada para a melhoria dos distintos sistemas produtores de energia.

Os conceitos de potência e capacidade dos sistemas energéticos e da reserva de fosfagénios assumem uma importância fundamental, quando analisamos a condição aeróbia dos indivíduos, na medida em que esta é determinada por estes mesmos factores (Santos, 2004). Assim, a potência máxima aeróbia traduz-se pela quantidade máxima de energia que pode ser transformada oxidativamente nas fibras musculares activas, por unidade de tempo, expressa pelo consumo máximo de oxigénio ( $VO_{2máx}$ ), enquanto a capacidade reflecte a energia disponível para o trabalho aeróbio, relacionando-se com a capacidade de manter uma determinada intensidade de exercício durante um período de tempo prolongado, com baixas lactatemias, traduzindo-se pelo limiar anaeróbio (Lan).

Neste sentido, Vilas-Boas (1989b) destaca o facto do rendimento aeróbio ser constituído por duas componentes: a potência máxima aeróbia, ou  $VO_{2máx}$ , e a capacidade aeróbia, ou Lan.

### **2.2.1. Consumo de oxigénio**

O  $\text{VO}_2$ , entre outros parâmetros cardiorespiratórios, tem vindo a ser cada vez mais utilizado em estudos da fisiologia do nadador (Holmér, 1972, di Prampero et al., 1974; Lavoie e Montpetit, 1986; Keskinen et al., 2003). A avaliação  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  é largamente aceite como o principal método de determinação da potência aeróbia máxima na população geral, atletas e sujeitos com diferentes tipos de patologias cardiovasculares, pulmonares ou metabólicas. (ATS/ACCP, 2003; Meyer et al., 2005a,b).

A avaliação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  e dos parâmetros fisiológicos associados, incluindo a frequência cardíaca máxima e as concentrações de lactato no sangue, é fundamental em processos de controlo e prescrição de treino, tanto em atletas como na população geral. (Meyer et al., 2005b; American College of Sports Med Position Stand, 1998).

Para a sua determinação vários métodos têm vindo a ser utilizados ao longo dos tempos.

### **2.2.2. Métodos de medição do $\text{VO}_2$ em natação pura desportiva**

Ao longo do tempo, diversos métodos têm vindo a ser utilizados para mensurar o  $\text{VO}_2$  em NPD. Esses métodos têm vindo a ser melhorados, pouco a pouco, uma vez que, fruto da adversidade do meio aquático e dos gestos técnicos dos nadadores, este processo é confrontado com o nível de exigência bastante maior (Holmér, 1979) do que a pesquisa em laboratório e em meio seco. Assim, as metodologias desenvolvidas tentam, com o objectivo de superar essas condições adversas, adequar a mensuração do consumo de oxigénio em condições mais próximas possíveis da realidade específica da modalidade, para pudermos obter os dados que, de forma mais fiel, reflectam as condições reais do trabalho e competição. (Meyer et al., 2005a; Fernandes et al., 2003; Roels et al.; 2005).

Tal como foi referido, a avaliação cardiorespiratória e metabólica de nadadores tem-se caracterizado sempre pelas dificuldades impostas pelo meio e pelo equipamento necessário para operar nas condições especiais de realização do gesto desportivo. Assim, a investigação da resposta fisiológica em natação tem, nos últimos anos, motivado vários estudiosos a debruçarem-se sobre esta temática (Costill et al, 1992; Troup, 1990b; Troup et al., 1992b; Vilas-Boas, 1993; Rodriguez, 1999).

A avaliação do consumo de oxigénio pode ser realizada recorrendo a vários métodos, que passamos a destacar: (1) durante a recuperação: (a) retroextrapolação; (b) durante os primeiros 20 segundos e (c) durante os primeiros 40 segundos; (2) durante o exercício: (d) saco de Douglas ou similar (balões meteorológicos); (e) directo em swimming flume e (f) directo em nado livre.

### Retroextrapolação dos valores sucessivos de $\text{VO}_2$ para o início da recuperação

Este método, segundo Lavoie e Montpetit (1986), foi utilizado pela primeira vez por di Prampero et al. (1974), onde eram recolhidas quatro amostras de ar expirado logo após a prova, com intervalos de 20 segundos. Foi também utilizado mais tarde por Montpetit et al. (1981), Lavoie et al. (1983), Costill et al. (1985) e por Rodríguez (1999). Segundo Lavoie e Montpetit (1986), a retroextrapolação da curva de consumo de  $\text{O}_2$  durante a recuperação, tem demonstrado ser um método válido para a estimação do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Por outro lado, Lavoie et al. (1983) afirmam que tal procedimento sobrestima o  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  após uma prova máxima de 400 metros. Os mesmos autores e Costill et al. (1985) demonstraram que o método de retroextrapolação após uma prova máxima de 400 metros pode ser usado para se obter uma fácil estimativa do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ . Rodríguez (1999) também faz referência ao facto do uso da retroextrapolação dos valores de recuperação para o final do exercício, sobrestimar o consumo de  $\text{O}_2$ . O autor refere a existência de um atraso nos primeiros 3 a 10 segundos de recuperação. Por outras palavras, os valores estimados tendo em conta este método, apontam para valores de  $\text{VO}_2$  mais elevados que aqueles que se encontram fazendo uso da oximetria directa.

### Determinação do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ recorrendo a amostras de ar expirado nos primeiros 20 ou 40 segundos de recuperação

Vários autores utilizaram este método, tais com Costill et al. (1985), Rinehardt et al. (1992) e Costill et al. (1992). Estes últimos encontraram uma correlação bastante elevada ( $r = 0,98$ ), entre o  $\text{VO}_2$  durante o nado e após 20s de recuperação. Igualmente alta foi a correlação entre os 20s e os 40s de recuperação ( $r = 0,97$ ). Costill et al. (1985) e Rinehardt et al. (1992), concluíram que uma única amostra de ar expirado obtida nos primeiros 20s de recuperação se assume como uma boa predição do  $\text{VO}_2$  durante um esforço máximo e submáximo. Naturalmente que os valores de correlação não são suficientes para determinar se os métodos de determinação do  $\text{VO}_{2\text{max}}$  são idênticos entre si, pois as correlações podem ser elevadas e apresentarem diferenças significativas.

### Saco de Douglas ou similar (balões meteorológicos)

O instrumento mais antigo utilizado na determinação dos valores ventilatórios é o da recolha de gás através de saco de Douglas onde, após recolha do volume de ar expirado, é analisado o conteúdo de  $\text{O}_2$  e dióxido de carbono. Vários autores utilizaram este método, como por exemplo, Karpovich e Le Maistre (1940), Van Huss e Cureton (1955), Costill et al. (1985, 1992), Montpetit (1981), Montpetit et al. (1983). Como pontos negativos deste processo podemos apontar a dificuldade imposta pelo manuseamento do gás expirado no momento da recolha e análise das concentrações relativas, o que aumenta o risco de erros de medição (Alves, 1995); permitir apenas a determinação do  $\text{VO}_2$  médio no período de colheita escolhido, sendo normalmente

recolhido o ar expirado nos últimos momentos da prova. Assim, este método, tal como os métodos baseados nos valores de recuperação, parece limitar-se à avaliação dos valores de  $\text{VO}_2$  em estado de equilíbrio fisiológico ou dos valores máximos registados no final de uma prova (Vilas-Boas, 1993), os quais são fundamentalmente condicionados pelos últimos 30 a 60s de exercício (Basset et al., 1991).

#### Oximetria directa em Swimming flume

Dentro deste método, e dependendo da capacidade do oxímetro, temos aqueles com uma frequência de amostragem de 20 em 20 segundos, de 10 em 10 segundos e, por último, os mais sofisticados, com uma frequência contínua de amostragem respiração a respiração ( $b^2$ ). Estes aparelhos, alguns dos quais de grandes dimensões, acarretam consigo alguns inconvenientes, quer ao nível do seu manuseamento, quer como para o nadador ao qual ele está conectado. Uma das maiores limitações em colher amostras de ar expirado durante o nado livre ou em *swimflume*, prende-se com o instrumento utilizado, isto é, a válvula e o tubo, que implica um aumento do D e uma possível alteração da posição do corpo durante a prova (Costill et al., 1992). Até 1993, segundo Vilas-Boas (1993), a oximetria directa em natação só havia sido realizada em condições experimentais muito específicas, nomeadamente nos testes realizados em ergómetro de água: (i) swimming flume (Troup, 1990a, b; 1991; d'Acquisto et al., 1991; Sardella et al., 1992; d'Acquisto et al., 1992a, b; Barzeducas et al., 1992; Cappaert et al., 1992a, b; Takahashi et al., 1992a, b; Troup et al., 1992a, b); (ii) um tanque para testes de modelos de barcos (200x4x4m) dotado de uma plataforma móvel colocada sobre a água (Kemper et al., 1976, 1983); (iii) uma piscina anelar de 60m de circunferência, onde os nadadores nadavam a uma determinada velocidade, regulada por uma plataforma que se movia à superfície da água (di Prampero et al., 1978).

#### Oximetria directa em nado livre

Este método contribuiu em larga escala para alguns avanços na ciência em NPD e, além das vantagens e inconvenientes enunciados no ponto anterior, reveste-se de especial importância na avaliação do  $\text{VO}_2$ , ao proporcionar ao nadador condições mais aproximadas da realidade, do que aquelas proporcionadas pelo nado em *swimming flume*.

Vilas-Boas (1993) foi pioneiro neste tipo de investigação. Para implementar o método de avaliação do  $\text{VO}_2$  por oximetria directa em natação livre foi necessário adoptar um conjunto de procedimentos, de entre os quais é importante destacar a acopulação ao oxímetro de uma válvula especialmente concebida para oximetria em natação (Toussaint et al., 1987) e o aumento do tubo de captação do ar expirado. A utilização de uma válvula especialmente concebida para a utilização em natação deveu-se à necessidade de, por um lado, minimizar o previsível efeito das válvulas mais tradicionais na intensidade da força de arrasto hidrodinâmico oposto ao deslocamento do nadador (Toussaint et al., 1987) e, por outro, de atenuar o constrangimento

imposto pelos dispositivos oximétricos tradicionais à capacidade individual de execução motora do gesto (Léger et al., 1980).

Após o trabalho desenvolvido por Vilas-Boas (1993), investigadores como Keskinen et al. (2000, 2002) têm direccionado a sua atenção para o melhoramento e desenvolvimento dos instrumentos utilizados na oximetria directa em nado livre em NPD. Assim, estes autores desenvolveram um novo válvula e sistema de válvula (K4 b<sup>2</sup>), adaptado da válvula desenvolvida por Toussaint et al. (1987) para sistema de b<sup>2</sup>, validado em laboratório (Keskinen et al. 2000, 2002) e usado durante nado livre (Rodríguez et al. 2001). Segundo Rodríguez et al. (2001), este desenvolvimento permitiu, pela primeira vez, a investigação da cinética das trocas gasosas durante o nado, usando a tecnologia b<sup>2</sup>, ultrapassando, assim, algumas das limitações técnicas encontradas em estudos anteriores (Demarie et al., 2001).

Rodríguez et al. (2003) referem como problemas inerentes à obtenção de medidas dos parâmetros das trocas gasosas válidas durante o nado livre, as dificuldades relacionadas, basicamente, com a validade de: 1) o instrumento de espirometria; 2) a válvula e o sistema de válvula usado para a medição durante o nado e 3) o impedimento de condições de nado livre. Os mesmos autores consideram que o sistema de medição metabólico K4 b<sup>2</sup> (Cosmed, Roma, Itália) parece ser um instrumento válido para a medição do VO<sub>2</sub>, ao longo de um considerável intervalo de intensidades de exercício, quando comparado com o método do saco de Douglas (McLaughlin et al., 2001) e com dois sistemas standard de analisadores de mistura de gases (Doyon et al., 2001; Pinnington et al., 2001).

Desta forma, presentemente, o analisador de gases portátil K4 b<sup>2</sup> (Cosmed, Roma, Itália) é um dos mais usados em investigação, assim como no controlo e avaliação do treino. Isto poderá ser atribuído a algumas das características técnicas deste equipamento, tais como: 1 - a sua portabilidade devido ao seu tamanho e peso reduzidos; 2 - as alterações não significativas da localização do centro de gravidade, quando o sujeito transporta o equipamento; 3 - a possibilidade de realizar movimentos livres, característica que se relaciona com as suas características telemétricas, e; 4 - a possibilidade de recolha de dados b<sup>2</sup>. (Barbosa et al., 2010). Muitos estudos têm demonstrado que este equipamento recolhe com precisão, fiabilidade e validade, dados relativos ao VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, FEO<sub>2</sub>, FECO<sub>2</sub>, VE entre outros parâmetros cardiorespiratórios, em diferentes tipos de actividade (Duffield et al, 2004; Hausswirth et al., 1997; Maiolo et al., 2003; McLaughlin et al., 2001, 2006; Pinnington et al., 2001). O K4 b<sup>2</sup> possui um conjunto de equipamentos que podem ser a ele adicionados de forma a recolher dados cardiorespiratórios nos mais diversos tipos de actividades e sujeitos, com validade, precisão e fiabilidade (Art et al., 2006; Pinnington et al., 2001).

Em NPD, tem vindo a ser utilizado em vários estudos recentes (Barbosa et al, 2005, 2006a, b, 2008; Machado et al, 2006; Novais, 2005). Nestes estudos o k4 b<sup>2</sup> foi conectado à chamada “válvula de Toussaint” (Toussaint et al., 1987). Foi demonstrado uma boa validade e precisão dos parâmetros cardiorespiratorios quando a “válvula de Toussaint” foi ligada ao k4 b<sup>2</sup> (Keskinen et al., 2003; Rodriguez et al., 2008).

Um dos equipamentos opcionais existentes para o k4 b<sup>2</sup> é uma válvula desenvolvida pela COSMED<sup>®</sup>, específica para ser utilizada no meio aquático, designada de *Aquatrainner*<sup>®</sup>.

### **2.2.3. Caracterização da válvula *Aquatrainner*<sup>®</sup>**

A válvula *Aquatrainner*<sup>®</sup> tem a geometria, o volume, a densidade e as dimensões similares à “válvula de Toussaint” (Keskinen et al., 2003; Barbosa et al., 2005, 2008). Possui um tubo de recolha de 210cm, pode ser operado até 400cm de distância e possui uma válvula respiratória com um volume de 45ml. O construtor descreve-a como sendo uma válvula leve, hidrodinâmica, ergonómica e confortável, com design à prova de água, alta sensibilidade e fiabilidade. Contudo, pouco é ainda hoje sabido acerca da influência da sua utilização em alguns parâmetros do nado, nomeadamente no D e, conseqüentemente, no custo energético do nado. Assim, será de enorme importância para futuras investigações onde seja utilizado a válvula *Aquatrainner*<sup>®</sup>, saber das possíveis implicações para o nadador, advindas da sua utilização.

### **2.2.4. Influência das válvulas respiratórias em diferentes parâmetros do nado**

Segundo Costill e seus colaboradores (1992), a utilização da válvula e tubo de recolha implica um aumento do D e uma possível alteração da posição do corpo durante o nado.

Em 1987, Toussaint e seus colaboradores procuraram validar uma válvula por eles desenvolvida. Neste estudo, o efeito da válvula no arrasto activo foi testado em 4 sujeitos. Não se verificou um acréscimo significativo no arrasto activo ( $D_a$ ) aquando do nado com a válvula, comparado com o nado livre. Contudo, algumas dúvidas ficaram no referente aos efeitos do nado com válvula na alteração da técnica de nado.

Em 2003, Kjendlie e seus colaboradores procuram descobrir quais as implicações advindas da utilização de uma válvula, similar à utilizada por Toussaint et al. (1987), na técnica de nado. Com uma amostra constituída por 7 sujeitos, verificaram não existir uma diferença significativa na técnica de nado aquando do nado com válvula, concluindo que o nado com este tipo de válvula reflecte o nado normal. Contudo, para velocidades submáximas, verificaram um aumento do deslocamento da mão relativamente a um ponto fixo, na fase propulsiva, bem como a um encurtamento da braçada, com a utilização da válvula. Segundo o autor, tal poderá dever-se a um aumento do  $D_a$  do nadador, quando lhe é acoplado a válvula e tubagens adjacentes. Referem também que os dados encontrados por Toussaint e colaboradores (1987) poderão ter sido condicionados pelo tamanho reduzido da sua amostra.

Costa e colaboradores (2010) estudaram o constrangimento mecânico provocado pela válvula *Aquatrainner*<sup>®</sup> na cinemática de braços. Ao nível da performance, o verificaram que durante o nado à intensidade máxima, com e sem válvula, os tempos foram  $115,94 \pm 3,31\%$  e  $109,09 \pm 2,23\%$  do recorde pessoal. Segundo os autores, tal resultará da diminuição da duração e



profundidade dos deslizes subaquáticos, provocado pelo nado constrangido. No referente à mecânica da braçada, não encontraram diferenças estatisticamente significativas. No entanto, no nado com válvula, a frequência gestual foi superior. O período de ciclo, distância por ciclo e a velocidade de nado diminuíram relativamente ao nado livre. Relativamente à eficiência de nado, esta não sofreu diferenças estatisticamente significativas com o nado constrangido. As flutuações intracíclicas de  $v$  diminuíram ligeiramente no nado com válvula, fruto, segundo eles, de uma  $v$  média de nado inferior.

Neste estudo, a válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup> induziu alterações significativas na performance durante uma prova máxima na técnica de bruços. A cinemática da técnica de bruços não apresentou diferenças significativas, apesar de se verificar uma tendência para a subestimação da maioria das variáveis analisadas. Assim, parece que as principais restrições impostas pelo equipamento ocorrerão noutras fases da prova, como no momento da partida e da viragem.

Noutro estudo, metodologicamente similar ao anterior, Barbosa et al. (2010) estudaram as alterações cinemáticas advindas da utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup>, durante o nado de Bruços e Crol. No referente à performance, o tempo dispendido para percorrer 100m foi significativamente superior no nado constrangido relativamente ao nado livre na técnica de bruços e crol. Tal como Costa e colaboradores (2010), aqui também foi sugerido que tal se deveria à alteração das viragens (aberta para Crol) e dos deslizes (menos profundos e duradouros) na situação de teste. Na mecânica da braçada não encontraram diferenças estatisticamente significativas para a técnica de Bruços. No entanto, no nado com válvula a frequência gestual foi superior. O período de ciclo, distância por ciclo e a velocidade de nado diminuíram relativamente ao nado livre. Em Crol, a frequência gestual, a distância por ciclo, a  $v$  de nado e o período de ciclo não apresentaram diferenças significativas entre o nado livre e o nado com válvula respiratória.

Referindo-se à eficiência de nado, o autor enuncia não ter havido diferenças estatisticamente significativas no referente ao índice de braçada e às flutuações intracíclicas da velocidade de deslocamento. O mesmo foi verificado para a técnica de crol.

A principal descoberta deste estudo foi que o nado com a válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup>, em ambos as técnicas, alterou negativamente a  $v$  de nado, mas não as variáveis mecânicas do nado que foram avaliadas. Ligeiras alterações cinemáticas foram verificadas na técnica de nado devido, segundo o autor, ao  $D$  adicional.

Assim, surge a pertinência de quantificar qual a resistência oposta ao deslocamento do nadador criada pela utilização adicional deste dispositivo.

## 2.3. Arrasto hidrodinâmico

Quando um nadador se desloca na água, o seu corpo sofre uma força frenadora devido à resistência que aquela proporciona (Toussiant et al., 2000). Esta força é, por sua vez, dependente da  $v$  de nado (Marinho et al., 2009).

Assim, o  $D$  é a força externa que o nadador terá de superar para se deslocar no meio aquático e é influenciado pela  $v$ , forma, tamanho e área de secção transversal ( $S$ ) (Kjendlie e Stallman, 2008).

Desta forma,  $D$  depende de um conjunto de factores, dos quais se destacam quatro grandes categorias: (1) as características morfológicas do sujeito, (2) as características dos equipamentos desportivos (óculos, toucas e fatos), (3) as características físicas do meio e (4) a técnica de nado propriamente dita (Vilas-Boas, 1997a). Ao segundo ponto poderíamos facilmente adicionar a utilização de válvulas hidrodinâmicas.

O  $D$  pode ser calculado pela seguinte equação:

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2 \quad (2)$$

Onde  $\rho$  representa a massa volúmica da água,  $C_D$  o coeficiente de arrasto,  $v$  a velocidade de deslocamento e  $S$  a área de secção transversal máxima do corpo.

A  $S$  ao vector de  $D$  é um dos factores determinantes do arrasto hidrodinâmico e corresponde, na sua maioria, à área de projecção do corpo no seu plano transversal (Figura 1) (Vilas-Boas, 1997).

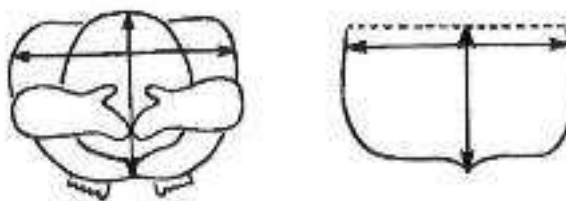


Figura 1 - Representação esquemática da área de secção máxima do nadador em deslize ventral, identificada no seu plano transversal em relação à direcção da aplicação de  $D$ , oposta à direcção de aplicação da força (adaptado de Clarys, 1979).

O coeficiente de arrasto do corpo ( $C_D$ ), é uma grandeza adimensional que, ao depender dos números de Strouhal, Froude, Euler e Reynolds, expõe a dependência da força relativamente às variáveis independentes (massa volúmica da água -  $\rho$ ,  $v$ ,  $S$ ), sendo por sua vez função do comprimento do corpo, de  $\rho$ , de  $v$ , da pressão, da aceleração da gravidade, do coeficiente de viscosidade do fluido, da forma e orientação do corpo relativamente às direcções de deslocamento (Fédiaevski et al., 1979).

O  $D$  é a força resultante da confluência de 3 componentes.

### 2.3.1. Arrasto de pressão, arrasto de onda e arrasto de fricção

Durante o nado, os nadadores enfrentam três componentes de arrasto: arrasto de pressão, arrasto de onda e arrasto de fricção (Toussaint *et al.*, 1990).

### Arrasto de pressão

De acordo com Sanders *et al.* (2001), um fluido que passa ao longo do corpo de um nadador separa-se num ponto dependendo da forma, tamanho e  $v$  do nadador. Este ponto designa-se por ponto de separação e poderá dar origem a uma esteira (Clarys, 1979). Deste modo, podem-se gerar diferenças de pressão entre a parte anterior do nadador (ponto ou região de estagnação - zona de altas pressões) e a porção posterior deste (esteira - zona de elevada vorticidade traduzindo-se numa zona de baixas pressões), que resultam na criação de forças, denominadas arrasto de pressão (Vilas-Boas, 1997a).

Segundo Sanders *et al.* (2001) estas forças são proporcionais ao diferencial de pressão criado em função da  $S$  do nadador. O arrasto de pressão de um corpo é proporcional ao quadrado da  $v$  do fluido, tornando-se cada vez mais importante à medida que a  $v$  de nado aumenta. Para minimizar este tipo de  $D$  o nadador deverá manter uma posição corporal mais alinhada possível enquanto se desloca na água - posição hidrodinâmica.

Sanders *et al.* (2001) afirmam que, regra geral, para a maioria das técnicas de nado, consiste em fazer com que a área oferecida, pelo peito e ombros do nadador, à água seja o ponto de referência para a passagem da anca e pernas.

Tal explicará os resultados encontrados por Kolmogorov e Duplischeva (1992). Estes autores mostraram que nadadores com a mesma dimensão corporal (peso e altura) poderão demonstrar diferenças drásticas nos seus valores de arrasto, durante o nado.

Vilas-Boas (1997a) refere que a forma mais hidrodinâmica é a forma de uma gota de água. No caso do corpo do nadador, que oferece um perfil menos hidrodinâmico, poderão ser encontrados vários pontos de estagnação decorrentes de alterações súbitas de forma: cintura escapular, região glútea, etc.

### Arrasto de onda

O corpo do nadador, ao deslocar-se na superfície de separação da água e do ar, dois meios fluidos com densidades diferentes, provoca perturbações dessa superfície, que se traduzem numa oscilação de partículas em torno da sua posição de equilíbrio (Vilas-Boas, 1997a). O corpo do nadador com os seus vários pontos de estagnação (cabeça, cintura escapular, região glútea e pés), causa alterações na pressão hidrodinâmica. Dado que, cada ponto cria o seu próprio sistema de ondas, com uma velocidade de propagação igual, poder-se-á dizer que a onda resultante é caracterizada por rápidos aumentos dos valores de pressão ao nível da cabeça e cintura escapular (onda anterior), da região glútea (onda média) e dos pés (onda posterior) (Clarys, 1979). A energia necessária para a formação de um sistema total de ondas é transferida para a massa líquida pelo movimento do corpo. Este processo de transferência de energia designa-se por arrasto por produção de ondas (Clarys, 1979).

Sanders *et al.* (2001), destacam o facto de movimentos verticais acentuados aumentarem o arrasto de onda, como por exemplo, “voar” para fora de água em mariposa e elevar a cabeça no

momento da inspiração em crol. Qualquer acção que produza uma força não orientada no eixo longitudinal do corpo, na direcção de nado, irá provocar movimentos laterais e verticais do corpo, ancas ou pernas, a não ser que o movimento seja compensado por outra acção. A anatomia humana não permite que todas as forças se desenrolem neste eixo; no entanto, alguns nadadores evidenciam técnicas que lhes permitem minimizar estes movimentos laterais, mais do que outros (Sanders *et al.*, 2001).

Numa investigação em torno do arrasto de onda, Ohmichi *et al.* (1983) verificaram que a altura das ondas parece estar positivamente relacionada com a  $v$  de nado. Verificaram ainda que, a altura da onda produzida por um nadador, nadando a  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  em cada técnica, decresce de crol para costas, desta para bruços e finalmente mariposa. Os autores classificaram estes resultados como difíceis de explicar.

Takamoto *et al.* (1985) mediram a potência das ondas produzidas pelos nadadores e verificaram que, à mesma  $v$  de nado, os nadadores de elite produzem ondas de potência significativamente menor em relação às produzidas pelos nadadores de nível médio e recreio. Este facto poderá ser devido a uma postura corporal mais hidrodinâmica, bem como a uma técnica de nado mais optimizada dos nadadores de elite, permitindo uma redução do número e dimensão dos pontos de pressão que dão origem aos sistemas primários de onda (Vilas-Boas, 1997a).

Toussaint (2002) refere que o arrasto de onda se torna negligenciável a profundidades três vezes superiores ao diâmetro do objecto mergulhado na água (Figura 2). À superfície, o arrasto total aumenta consideravelmente devido ao arrasto de onda.

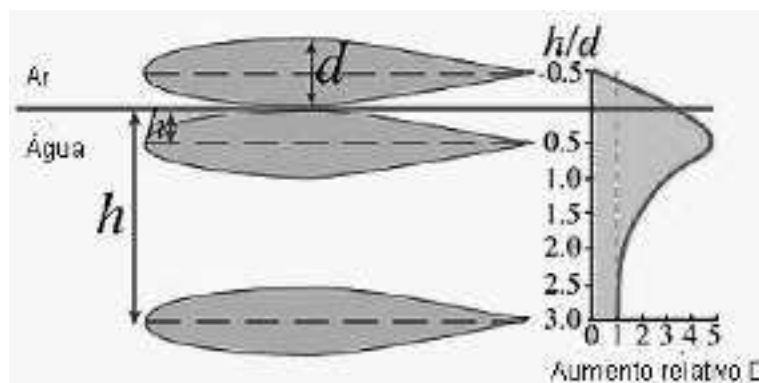


Figura 2 - Efeito da profundidade no arrasto total (adaptado de Toussaint, 2002)

### Arrasto de Fricção

Segundo Clarys (1979), o arrasto de fricção resulta das características de viscosidade e escoamento de um líquido. Em líquidos como a água, na interface do líquido e do corpo, a velocidade de fluxo das partículas de água é reduzida a zero (Clarys, 1979). Este efeito considera-se, como já vimos, condição fundamental da hidrodinâmica e designa-se por condição de não deslocamento (Vilas-Boas, 1997a).

A magnitude do arrasto de fricção depende da  $v$  do fluido relativamente à do corpo, à área de superfície corporal e às características da superfície (Toussaint, 2002). Quanto mais viscoso for o

líquido, mais turbulento o regime de escoamento, e quanto mais rugosa e extensa a superfície corporal em contacto com a água, mais importante será a componente de fricção do arrasto hidrodinâmico (Vilas-Boas, 1997a).

Esta componente é superior para valores superiores de  $Re$  (Douglas *et al.*, 1979). À medida que a  $v$  aumenta, verifica-se um aumento proporcionalmente menor nos valores de arrasto de fricção, em função dos valores que dizem respeito ao arrasto de pressão e de onda (Sanders *et al.*, 2001). A velocidades muito baixas, o arrasto de fricção será importante desde que a velocidade das partículas da água permitam um escoamento laminar ao longo do corpo. Por esta razão, não ocorre uma pressão pendente na parte posterior do nadador e o arrasto de pressão é negligenciável. Quando a velocidade de nado aumenta, a pressão decrescerá na parte posterior e aumentará na parte anterior do nadador e, o arrasto de pressão dominará. O arrasto de onda será também cada vez mais importante à medida que a velocidade aumenta. Por exemplo, a uma velocidade de  $2 \text{ m.s}^{-1}$  a contribuição relativa para o arrasto total será: arrasto de fricção cerca de 3%, arrasto de onda 20% e arrasto de pressão 77% (Toussaint, 2002).

Segundo Clarys (1978b), face à elevada percentagem dos valores de arrasto de pressão, o arrasto de fricção é desprezável em natação, uma vez que o escoamento da água, em torno do corpo do nadador, é quase sempre turbulento.

Clarys (1978a), e Miyashita e Tsunoda (1978) não encontraram uma correlação estatisticamente significativa entre a intensidade da força de  $D$  e a superfície corporal. No entanto, Clarys (1978a) verificou o oposto para a área máxima de secção transversal à direcção do deslocamento e, para a razão altura/volume, que se constituem como elementos determinantes, respectivamente, do arrasto de pressão e do arrasto de onda.

Um outro argumento que poderá justificar o reduzido significado do arrasto de fricção em natação está relacionado com  $Re$  que, para valores elevados, como presumivelmente ocorre no caso do corpo humano, “implica” que o escoamento é supostamente turbulento (Clarys, 1979 e Douglas *et al.*, 1979). Nestas condições, para que se respeite a condição de não deslocamento das partículas de fluido, adjacentes à superfície do corpo, é imprescindível que se estabeleça uma subcamada laminar no interior de cada camada limite, na zona imediatamente adjacente à superfície do corpo, o que o tornaria hidraulicamente liso, conduzindo à possível desvalorização do efeito resistivo da componente de fricção da força de arrasto (Douglas *et al.*, 1979).

Como já referido Ungerechts (1983) questiona, no entanto, a validade de  $Re$  como indicador rigoroso do regime de escoamento de fluidos em torno de corpos que mudam continuamente de forma. Clarys (1978a) realça que, devido às constantes variações de forma e posição do corpo, muitos dos princípios fundamentais da hidrodinâmica dos corpos rígidos não podem ser directamente aplicados ao estudo do nadador. Miyashita e Tsunoda (1978) referem este tipo de preocupações, apontando as dificuldades de aplicação da equação 2 à determinação do  $D$  para corpos não rígidos. Deste modo, para Vilas-Boas (1997a), os valores de  $Re$  apresentados na literatura para o corpo humano podem não corresponder, necessariamente, a um regime de escoamento turbulento, situação que conferiria maior importância ao arrasto de fricção.

Chatard *et al.* (1990a, b) encontraram correlações positivas entre a intensidade da força de  $D$  e a superfície corporal, ao avaliarem um nadador em posição de deslize ventral. Contudo, como já referido, Clarys (1978a) e Miyashita e Tsunoda (1978) não encontraram uma correlação estatisticamente significativa entre  $D$  e a superfície corporal.

Para Vilas-Boas (1997a) independentemente da maior ou menor expressão do arrasto de fricção na determinação do  $D$  total, a que se sujeita um nadador, torna-se sempre justificável garantir a sua minimização.

### 2.3.2. Avaliação da Força de Arrasto Hidrodinâmico

Desde há muito que se procura avaliar a intensidade de  $D$  em nadadores, mas a complexidade da tarefa determinou que se fossem desenvolvendo métodos, ou muito distantes das situações de nado, ou que implicavam procedimentos complexos e morosos que envolviam equipamentos delicados e de grande custo e sofisticação (Vilas-Boas, 2001a).

A determinação objectiva da intensidade da força de  $D$  tem como objectivo fundamental clarificar, quando conjugado com outros parâmetros, o problema da natureza do próprio  $D$  (Alley *et al.*, 1952).

A determinação de  $D$  tornou-se cada vez mais importante em NPD, no sentido de se atingir um entendimento mais correcto dos valores de trabalho mecânico externo propulsivo que é realizado, bem como efectuar um cálculo que nos permita conhecer a eficiência de nado (Karpovich, 1933).

Contudo, os estudos efectuados com base na determinação objectiva do  $D$ , têm-se limitado à procura da determinação da intensidade, independentemente da importância relativa que as suas componentes assumem entre si (Vilas-Boas, 1997a). Para Lavoie e Nadeu (1980), este facto relaciona-se com a complexidade dos procedimentos, imprescindíveis à obtenção deste objectivo.

Na literatura distinguem-se, fundamentalmente, duas grandes categorias de arrasto: o arrasto passivo e o arrasto activo (Vilas-Boas, 2001a).

#### Arrasto Passivo

O arrasto passivo ( $D_p$ ) é a quantidade de resistência provocada pela água que um corpo humano experimenta, numa postura imóvel (Kolmogorov *et al.*, 1997).

Assim, os primeiros estudos neste domínio consistiram na determinação de  $D$  rebocando os nadadores (Toussaint *et al.* 2004) de forma mais ou menos criativa. Dubois-Reymond (1905) rebocou pessoas na parte de trás de um barco a remos medindo a resistência com um dinamómetro. Liljestrand e Stenstrom (1919) mediram a resistência rebocando nadadores através de um guindaste na margem.

A posição de decúbito ventral com os membros superiores estendidos à frente foi de todas as posições aquela onde  $D_p$  foi mais estudado. Em contrapartida  $D_p$  em decúbito dorsal foi menos

estudado. Os valores de  $D_p$  em decúbito ventral revelaram-se inferiores aos obtidos em decúbito dorsal (Clarys, 1979). O  $D_p$  poderá, assim, ser determinado, calculando a força necessária para rebocar um nadador a uma dada  $v$  numa dada posição. Poderá ainda ser calculado através da modelação da curva de desaceleração do nadador após impulso na parede seguido de deslize (em posição hidrodinâmica ou outra) (Vilas-Boas, 1997b). Neste segundo caso, geralmente utiliza-se um dispositivo chamado “swim-meter” que mede o decréscimo na  $v$  instantânea, quando o sujeito desacelera passivamente desde a  $v_{máx}$  inicial (Mollendorf *et al.*, 2004).

### **Arrasto Activo**

Segundo Kolmogorov *et al.* (1997), o arrasto activo ( $D_a$ ) é a resistência provocada pela água associada ao movimento de nado.

De acordo com a literatura, as tentativas de determinação de  $D_a$  podem-se classificar em duas categorias: (i) métodos indirectos, onde se destacam as metodologias propostas por Di Prampero *et al.* (1974), Rennie *et al.* (1975), Holmér (1974, 1975), Pendergast *et al.* (1977, 1978), Clarys (1978a, b, 1979), Kemper *et al.* (1976) e Kemper *et al.* (1983) e, (ii) métodos directos, onde se destacam os propostos por Shleihau (1984), Hollander *et al.* (1986), Kolmogorov e Duplischeva (1992), e Ungerechts e Niklas (1994), este último adaptado do método de Di Prampero *et al.* (1974).

### **Métodos Indirectos**

O modelo de Di Prampero *et al.* (1974), teve o mérito de proporcionar o desenvolvimento do primeiro método de avaliação do  $D_a$  do nadador (Vilas-Boas, 2000). Esta metodologia baseia-se na regressão, para uma dada  $v$ , entre o consumo energético líquido e a carga adicional, positiva ou negativa, a que um nadador está sujeito a uma dada  $v$  de nado. Extrapolando a recta de regressão para consumo energético líquido zero obtém-se a intensidade de  $D$  à  $v$  considerada.

O método de Clarys (1978a, b, 1979) é muito semelhante ao proposto por Di Prampero *et al.* (1974), diferindo, sobretudo, na forma de aplicar as cargas adicionais negativas e positivas ao nadador.

### **Métodos Directos**

Schleihau (1984) propõe a determinação matemática de  $D$ , tendo por base os resultados dos seus estudos acerca dos valores da força propulsiva produzidos pelos membros superiores e outros recolhidos na literatura relacionada com as forças produzidas por outros segmentos (Hay, 1988).

O MAD - System foi inicialmente descrito por Hollander *et al.* (1986) e consiste na avaliação da força média que o nadador realiza num conjunto de apoios fixos montados sequencialmente ao longo da piscina, cerca de 80 cm abaixo da superfície da água. O nadador desloca-se a uma  $v$

constante, limitado à acção dos membros superiores, uma vez que, os membros inferiores são suportados por um *pull-buoy*. Assumindo a  $v$  como constante, o valor médio de  $D$  é calculado em função da média das forças horizontais que foram registadas (Figura 3).

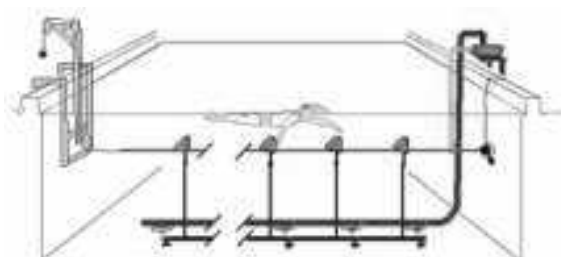


Figura 3 - MAD-System (System to measure active drag). Método de determinação do arrasto activo proposto por Hollander et al. (1986)

O método proposto por Kolmogorov e Duplischeva (1992) foi o utilizado no nosso trabalho. É designado por técnica do corpo hidrodinâmico adicional ou VPM (método de perturbação da velocidade).

Este método apresenta a vantagem de poder ser aplicado às diferentes técnicas de nado, ao contrário do que ocorre no MAD-System. Trata-se de um método que consiste na realização de dois esforços máximos: um nadando livremente e outro nadando ligado a um objecto hidrodinâmico, de  $D$  conhecido, sendo comparadas as situações de  $v_{\text{máx}}$  em cada percurso (com e sem corpo hidrodinâmico suplementar). Vilas-Boas (1997b) salienta o facto de, neste método, a determinação de  $D$  pressupor a determinação de  $S$  com base na fórmula matemática de elevação do peso a uma potência determinada. Assim,  $S$  é assumida como constante ao longo do ciclo para cada sujeito o que parece adulterar a noção de  $D_a$ , ou seja, variando ao longo de cada ciclo gestual em função das alterações sucessivas da configuração do corpo do nadador. Apesar desta limitação, este método apresenta grande utilidade, nomeadamente devido à sua muito simples operacionalização.

Ungerechts e Niklas (1994) criaram uma nova metodologia através de uma adaptação do método proposto por Di Prampero *et al.* (1974), para uma *swimming flume*.

As vantagens, comparativamente ao método original, baseiam-se no menor constrangimento dos movimentos dos nadadores, em situação de teste, quando se sujeitam às cargas positivas e negativas. Assim, é permitido ao nadador a execução de movimentos livres em todas as direcções, o que permitiu determinar valores de  $D$  próximos dos verificados através do MAD - System.

### Arrasto activo vs arrasto passivo

A controvérsia do  $D_p$  e  $D_a$  na natação tem sido discutida há muitos anos na literatura. Os estudos mais antigos, que envolviam o cálculo indirecto de  $D_a$ , baseados nas alterações de  $\text{VO}_2$ , com  $D$  adicional exercido sobre o nadador, revelavam que o  $D_a$  era cerca de duas ou três vezes superior



ao  $D_p$  (Kolmogorov *et al.*, 1997). Mais recentemente, com o desenvolvimento dos métodos directos de avaliação de  $D_a$  essa superioridade veio a reduzir-se (Kolmogorov *et al.*, 1997).

Segundo Clarys (1979) as dimensões e forma do corpo do nadador influenciam  $D_p$ , mas não  $D_a$ , levando-o a concluir que a técnica biomecânica de nado exerce a maior parte da influência no  $D$ . Deste modo, um  $D_a$  reduzido ou elevado é maioritariamente determinado por uma correcta ou incorrecta execução técnica de nado.

Toussaint *et al.* (1988) encontraram, num campeão olímpico, um  $D_a$  mais baixo do que num nadador de nível médio, num conjunto de  $v$  diferentes. Kolmogorov e Duplischeva (1992) caracterizam como paradoxais os resultados obtidos no seu estudo, uma vez que o  $D_a$  se mostrou inferior ao  $D_p$ , nas diferentes técnicas de nado, excepto em bruços.

Kolmogorov *et al.* (1997) afirmam que, na literatura, se tem vindo a especular que a mulher tem um baixo valor de  $D_a$  e, conseqüentemente, um baixo  $C_{Da}$  comparativamente ao homem, porque consegue manter uma posição corporal mais horizontal devido às diferenças de composição corporais. Contudo, os seus resultados não suportam esta possibilidade, uma vez que não encontraram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de  $C_{Da}$  de homens e mulheres, sendo levados a concluir que a técnica é mais importante na redução do  $D_a$  do que a composição corporal.

Todavia, Vilas-Boas *et al.* (2001a) obtiveram um  $D_a$  superior nos nadadores comparativamente com as nadadoras, obtendo, igualmente, valores de  $C_{Da}$  superiores em nadadores pré juniores relativamente às nadadoras do mesmo escalão, não variando com o escalão etário e nível desportivo.

No que concerne ao  $D_p$ , Havriluk (2005) não encontrou, igualmente, diferenças entre géneros relativamente aos valores de  $C_{Dp}$ , apesar dos nadadores possuírem uma  $S$  superior às nadadoras.

O mesmo autor refere que os nadadores de elevada performance, apresentam  $C_{Dp}$  inferiores comparativamente com nadadores de nível médio e inferior.

Takagi *et al.* (2001), ao compararem os  $C_{Dp}$  e  $C_{Da}$ , na técnica de crol, não encontraram uma relação estatisticamente significativa entre os dois coeficientes, apesar dos valores médios de  $C_{Da}$  serem significativamente superiores aos valores médios de  $C_{Dp}$ . Obtiveram ainda uma correlação negativa entre  $C_{Da}$  e a performance de nado.

Kolmogorov e Duplischeva (1992), ao analisarem os  $C_{Dp}$  e  $C_{Da}$  nas diferentes técnicas de nado, não obtiveram qualquer correlação entre ambos. Os valores de  $C_{Dp}$  mostraram menor variação e apresentaram valores inferiores comparativamente aos de  $C_{Da}$ .

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Caracterização da Amostra

O grupo amostral é constituído por 33 nadadores jovens de ambos os sexos (18 rapazes e 15 raparigas), pertencentes a dois clubes portugueses representativos da natação pura desportiva nacional. A média da idade, altura e massa corporal é de  $13,52 \pm 1,35$  anos,  $160,70 \pm 8,25$  cm e  $51,42 \pm 3,46$  kg, respectivamente (cf. Tabela 1). A amplitude de idades situa-se entre os 11 e os 16 anos. Os pais dos nadadores foram informados de todos os procedimentos e deram consentimento formal para a aplica o dos testes.

Tabela 1 - Média e desvio-padrão da idade, altura e massa corporal para o grupo masculino, feminino e total.

	<i>Idade (anos)</i>	<i>Altura (cm)</i>	<i>Massa Corporal (kg)</i>
Rapazes	$13,89 \pm 1,23$	$162,53 \pm 10,18$	$54,06 \pm 10,22$
Raparigas	$13,07 \pm 1,39$	$158,60 \pm 4,54$	$48,24 \pm 7,61$
Total	$13,52 \pm 1,35$	$160,70 \pm 8,25$	$51,42 \pm 3,46$

### 3.2. Metodologia

A medi o do  $D_a$  na técnica de crol, em nado livre e em nado com a válvula *Aquatrainer*<sup> </sup>, foi efectuada através do método da perturba o da velocidade, com a ajuda de um corpo hidrodinâmico adicional (Kolmogorov e Duplischeva, 1992; Kolmogorov et al, 1997). Desta forma, o  $D_a$  durante o nado livre e o  $D_a$  durante o nado com a válvula *Aquatrainer*<sup> </sup> foi obtido pelas diferenças de  $v$  verificadas entre um *sprint* máximo sem e um *sprint* máximo com o reboque do corpo hidrodinâmico adicional. Desta forma, cada nadador realizou quatro *sprints* máximos de 13m: (i) sem válvula e sem corpo hidrodinâmico adicional; (ii) sem válvula e com corpo hidrodinâmico adicional; (iii) com válvula e sem corpo hidrodinâmico adicional e, por fim, (iv) com válvula e com corpo hidrodinâmico adicional. Para assegurar uma potência mecânica externa máxima ( $Pot$ ) entre os quatro *sprints*, os nadadores foram instr idos para realizarem a tarefa no seu máximo. Os *sprints* foram realizados numa piscina interior de 25m.

O  $D_a$  foi calculado sendo (Kolmogorov e Duplischeva, 1992):

$$D = \frac{D_b v_b v^2}{v^3 - v_b^3} \quad (3)$$

Em que  $D$    o arrasto activo do nadador    $v_{máx}$ ,  $D_b$  é o arrasto do corpo hidrodinâmico adicional, e  $v_b$  e  $v$  são as velocidades de nado com e sem o corpo hidrodinâmico adicional, respectivamente.

O  $D$  do corpo hidrodinâmico adicional foi calculado através da calibração fornecida pelo construtor (Kolmogorov e Duplischeva, 1992). O  $C_D$  foi calculado segundo a equação 3:

$$C_D = \frac{2D}{\rho S v^2} \quad (4)$$

Em que  $\rho$  é a densidade da água e  $S$  a área de secção transversal frontal do nadador.

A  $S$  foi calculada de acordo com a predição de Clarys (1979), em que:

$$S = \frac{6,93BM + 3,50H - 377,2}{10000} \quad (5)$$

Em que  $BM$  é a massa corporal e  $H$  é a altura dos sujeitos.

Como referimos acima, cada sujeito realizou quatro sprints de 25m no estilo crol, com partida dentro de água. Os sujeitos realizaram os testes numa pista livre, para que os efeitos de alteração do arrasto e ritmo de nado fossem minimizados. A velocidade de nado foi medida num espaço de 13m (entre o metro 11 e o metro 24 da parede de partida). O tempo dispendido para cobrir esta distância foi medido com um cronómetro (Golfinho Sports MC 815, Aveiro, Portugal) por um técnico experiente.

### 3.3. Procedimentos Estatísticos

A verificação da normalidade da distribuição da amostra foi verificada pelo teste Shapiro-Wilk (SPSS Statistics 19, 2010). Os valores de  $D$ ,  $C_D$ ,  $v_{m\acute{a}x}$  e  $Pot$  são apresentados em média e desvio-padrão. A comparação entre nado com e sem válvula *Aquatrainer*® foi efectuada através da utilização do T-test de student de medidas repetidas, com  $p \leq 0,05$ .

## 4. Apresentação dos Resultados

Na Tabela 2 são apresentadas as médias e desvios-padrão da  $v$ ,  $C_d$ ,  $D$  e  $Pot$  de nado, em nado livre e com a utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup>, para a totalidade do grupo. É apresentado também a diferença absoluta e relativa das variáveis nas duas situações em estudo. Por fim, podemos verificar o significado estatístico destas diferenças.

Nas Tabelas 3 e 4 a amostra total foi dividida em grupo masculino e feminino, respectivamente, sendo os dados apresentados conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Média e desvio padrão da velocidade, coeficiente de arrasto, arrasto e potência do nado na técnica de Crol, para o grupo total, sem e com a utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup>.

	<i>s/ Aquatrainer</i>	<i>c/ Aquatrainer</i>	$\Delta$	% $\Delta$	$p$
$V (m.s^{-1})$	$1,51 \pm 0,13$	$1,48 \pm 0,14$	$0,04 \pm 0,05$	-2,31%	0,00
$C_D$	$0,30 \pm 0,72$	$0,34 \pm 0,98$	$-0,04 \pm 0,10$	13,58%	0,03
$D (N)$	$48,16 \pm 19,37$	$51,22 \pm 21,40$	$-3,05 \pm 14,79$	6,34%	0,24
$Pot (W)$	$74,70 \pm 34,75$	$77,64 \pm 38,31$	$-2,94 \pm 22,83$	3,93%	0,47

Tabela 3 - Média e desvio padrão da velocidade, coeficiente de arrasto, arrasto e potência do nado na técnica de Crol, no grupo masculino, sem e com a utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup>.

	<i>s/ Aquatrainer</i>	<i>c/ Aquatrainer</i>	$\Delta$	% $\Delta$	$p$
$V (m.s^{-1})$	$1,58 \pm 0,11$	$1,54 \pm 0,13$	$0,39 \pm 0,49$	-2,47	0,00
$C_D$	$0,30 \pm 0,78$	$0,35 \pm 0,11$	$-0,05 \pm 0,10$	17,49	0,05
$D (N)$	$54,99 \pm 21,68$	$59,80 \pm 24,40$	$-4,81 \pm 16,74$	8,75	0,24
$Pot (W)$	$88,60 \pm 38,17$	$94,08 \pm 43,15$	$-5,47 \pm 26,81$	6,18	0,40

Tabela 4 - Média e desvio padrão da velocidade, coeficiente de arrasto, arrasto e potência do nado na técnica de Crol, no grupo feminino, sem e com a utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup>.

	<i>s/ Aquatrainer</i>	<i>c/ Aquatrainer</i>	$\Delta$	% $\Delta$	$p$
$V (m/s)$	$1,43 \pm 0,11$	$1,40 \pm 0,12$	$0,30 \pm 0,05$	-2,10	0,04
$C_D$	$0,29 \pm 0,07$	$0,32 \pm 0,08$	$-0,03 \pm 0,10$	8,75	0,33
$D (N)$	$39,97 \pm 12,44$	$40,92 \pm 10,73$	$-0,95 \pm 12,28$	2,37	0,77
$Pot (W)$	$58,01 \pm 21,08$	$57,91 \pm 18,14$	$0,11 \pm 17,37$	-0,18	0,98

Assim, ao nível da  $v$ , verificamos uma diminuição estatisticamente significativa com a utilização da válvula (Total:  $1,51 \pm 0,13$  para  $1,48 \pm 0,14$  m/s (-2,31%); Rapazes:  $1,58 \pm 0,11$  para  $1,54 \pm 0,13$  m/s (-2,47%); Raparigas:  $1,43 \pm 0,11$  para  $1,40 \pm 0,12$  m/s (-2,10%);  $p < 0,05$ ) (cf. Figura 4).

No respeitante ao  $C_D$  e  $D$ , a tendência é inversa. Para a totalidade do grupo o  $C_D$  e o  $D$  aumentaram com a utilização da válvula, embora só estatisticamente relevante para o  $C_D$ . Quando dividimos o grupo amostral, os rapazes apresentam resultados idênticos à amostra total. ( $C_D$ :  $0,30 \pm 0,78$  para  $0,35 \pm 0,11$  (17,49%),  $p \leq 0,05$ ; e  $D$ :  $54,99 \pm 21,68$  para  $59,80 \pm 24,40$  N (8,75%)). Já no grupo feminino as diferenças do  $C_D$  e  $D$  para o nado sem e com a válvula são bastante reduzidas, notando-se, contudo, a tendência incremental com a utilização da válvula ( $C_D$ :  $0,29 \pm 0,07$  para  $0,32 \pm 0,08$  (8,75%); e  $D$ :  $39,97 \pm 12,44$  para  $40,92 \pm 10,73$  N (2,37%)) (cf. Figura 5 e Figura 6).

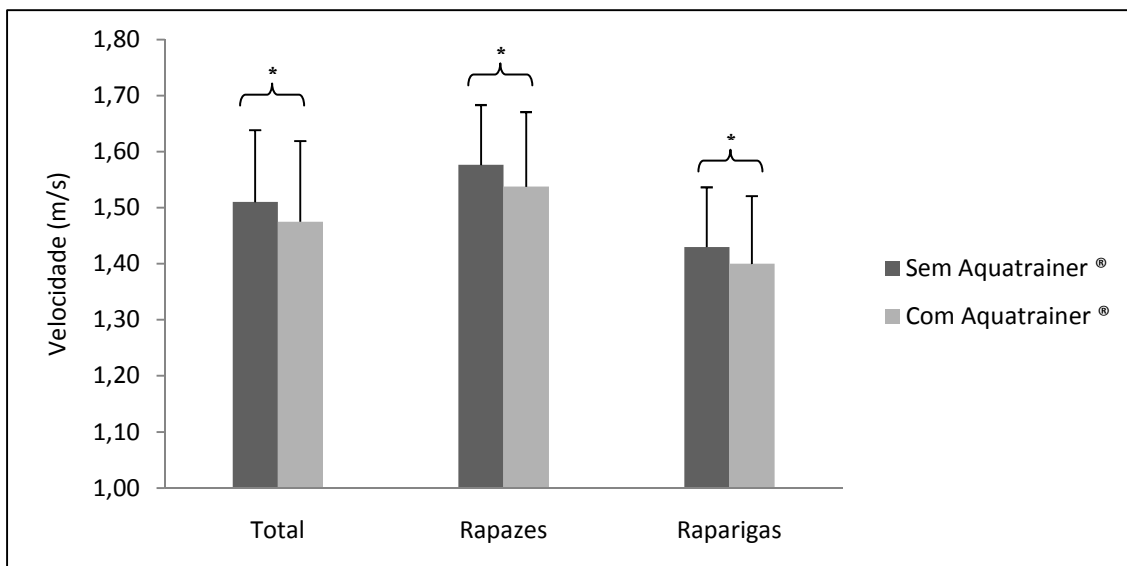


Figura 4 - Média e desvio padrão da velocidade de nado na técnica de crol para o grupo total, grupo masculino e grupo feminino, sem e com a utilização da válvula *Aquatrainer*®. \*  $p < 0,05$

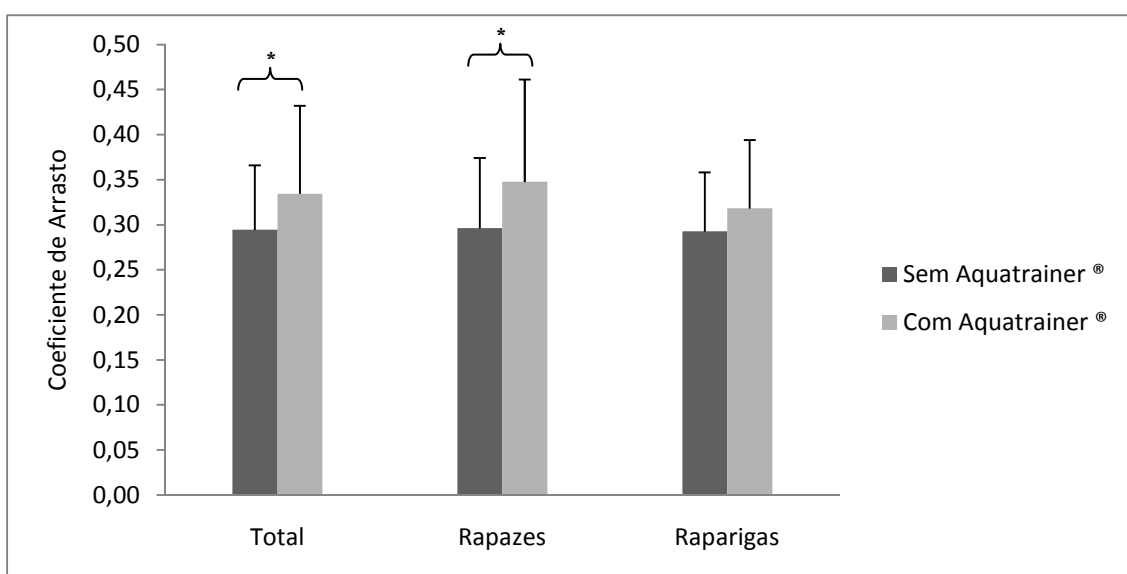


Figura 5 - Média e desvio padrão do coeficiente de arrasto na técnica de crol para o grupo total, grupo masculino e grupo feminino, sem e com a utilização da válvula *Aquatrainer*®. \*  $p < 0,05$

Por fim, relativamente à potência de nado, não se verificaram diferenças estatisticamente relevantes para os 3 grupos amostrais, tendo esta se mantido praticamente constante no grupo feminino e incrementado no grupo masculino, com a utilização da válvula (Total:  $74,70 \pm 34,75$  para  $77,64 \pm 38,31$  W (3,93%); Rapazes:  $88,60 \pm 38,17$  para  $94,08 \pm 43,15$  W (6,18%); e Raparigas:  $58,01 \pm 21,08$  para  $57,91 \pm 18,14$  (-0,18%)) (cf. Figura 7).

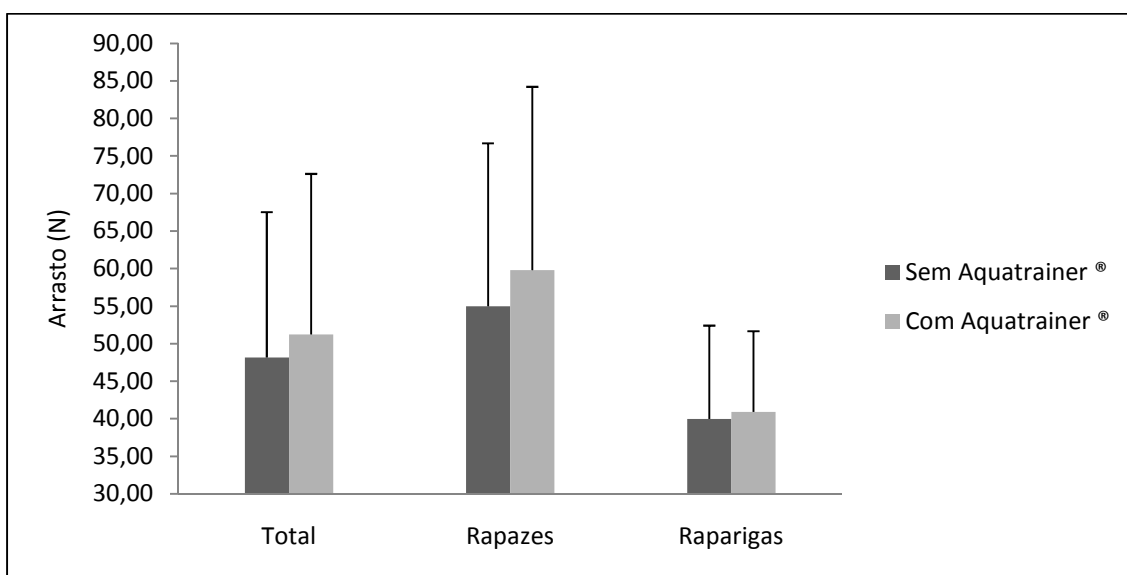


Figura 6 - Média e desvio padrão do arrasto na técnica de crol para o grupo total, grupo masculino e grupo feminino, sem e com a utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup>.

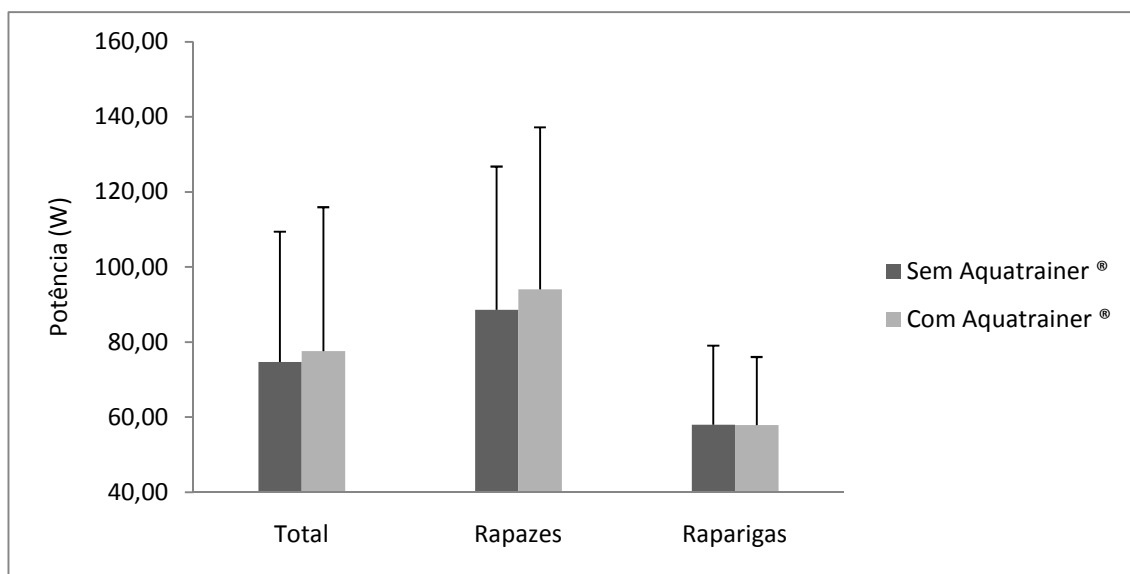


Figura 7 - Média e desvio padrão da potência mecânica externa máxima de nado na técnica de crol para o grupo total, grupo masculino e grupo feminino, sem e com a utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup>.

## 5. Discussão dos Resultados

O nosso estudo procurou descobrir qual a interferência que a utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup> poderia ter no  $D_a$  do nadador, durante o nado de crol. Apesar de termos escolhido esta técnica de nado, todo o protocolo utilizado é exequível nas restantes técnicas. Contudo, o maior número de provas competitivas existentes, a maior  $v_{m\acute{a}x}$  e eficiência de nado proporcionada (Holmér, 1974,1983; Smith et al., 1988; Klentrou e Montpetit, 1992; Alves et al., 1995; Capelli et al., 1992), e a sua maior utilização nas unidades de treino em detrimento das restantes técnicas, foram motivos que nos levaram ao seu estudo. Contudo, seria interessante alargar a temática dos efeitos da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup> no  $D_a$  das restantes técnicas de nado.

Apesar de se verificar um aumento de  $D$  com a utilização da válvula, este aumento não apresenta relevância estatística (Total:  $p=0,24$ ; Rapazes:  $p=0,24$ ; Raparigas:  $p=0,77$ ), sendo de facto este aumento reduzido no grupo feminino ( $\Delta=2,37\%$ ). Toussaint et al. (1987), Kjendlie et al. (2003) e Barbosa et al. (2010) sugeriram também um aumento desta variável com a utilização de válvulas respiratórias.

Relativamente à magnitude dos valores de  $D$  apresentados na nossa pesquisa, podemos afirmar que estes são superiores àqueles encontrados na literatura, para idades semelhantes, em que foi utilizado o método de perturbação de  $v$  para determinar  $D$ . Kjendlie e Stalman (2008) apresentaram valores de  $D$  de  $28,5 \pm 8,8N$  a uma  $v_{m\acute{a}x}$  de  $1,42 \pm 0,12$  m/s. Barbosa et al. (2010), para uma amostra masculina, definiram a intensidade de  $D$  como sendo  $38,1 \pm 13,14$  N à  $v_{m\acute{a}x}$  de  $1,40 \pm 0,12$  m/s. Marinho et al. (2010) encontraram um valor máximo de  $D$  de  $38,30 \pm 17,49N$ , para rapazes, e um mínimo de  $27,50 \pm 10,36N$ , para raparigas.

Relembremos neste ponto que, apesar de grande parte da nossa amostra se encontrar na amplitude etária destes estudos, também fazem parte da nossa amostra nadadores mais velhos, que de alguma forma parecem ter interferido nos valores obtidos. De facto, os valores por nós encontrados parecem ir de encontro aos apresentados por vários outros autores, quando estudaram nadadores mais velhos ou uma amostra com heterogeneidade de idades semelhante à verificada no nosso estudo. Kolmogorov et al. (1997), com uma amostra com um leque de idades superior à nossa (dos 10 aos 28 anos) encontraram valores de  $43,2 \pm 15,9$  N para  $D$  à  $v_{m\acute{a}x}$  entre 1,5 e 1,6m/s. Toussaint et al. (2004), com uma amostra de 6 nadadores de alto nível, encontraram o valor de 53,2 N a uma  $v_{m\acute{a}x}$  de 1,64m/s. Ribeiro (2006) definiu a intensidade de  $D$  em  $53,23 \pm 14,01$  N à  $v_{m\acute{a}x}$  de 1,60m/s. Por outro lado, Vilas-Boas (2001) encontrou uma intensidade de  $D$  de 44 N, para raparigas, e 88 N, para rapazes, à  $v_{m\acute{a}x}$  de 1,44m/s e 1,64m/s, respectivamente. O facto dos valores de  $D$  do presente estudo se aproximarem dos valores apresentados por nadadores mais velhos pode dever-se ao menor nível competitivo e, consequentemente menor nível técnico (Marinho et al., 2010), da amostra.

Relativamente aos valores de  $C_D$ , continuamos a encontrar algumas discrepâncias na literatura. Kjendlie e Stallman (2008) encontraram valores muito superiores aos nossos (Adultos:  $0,84 \pm 0,46$ ; Crianças:  $0,66 \pm 0,14$ ). Da mesma forma, Toussaint et al. (1990) encontraram valores de

0,64 e 0,54, para dois momentos distintos de avaliação, numa amostra de crianças. Já os valores encontrados por Kolmogorov e Duplischeva (1992) ( $0,28 \pm 0,09$ ), Barbosa (2010) ( $0,31 \pm 0,09$ ), Vilas-Boas (2001) (rapazes-0,44; raparigas-0,29), Ribeiro (2006) (total-0,30; rapazes-0,36 e raparigas-0,25), Zamparo et al. (2009) ( $0,32 \pm 0,07$ ) e Marinho (2010) ( $0,35 \pm 0,23$  a  $0,30 \pm 0,09$ ) vão de encontro aos por nós descobertos.

Apesar de nos referirmos sempre aos valores populacionais, importa referir que encontramos, para 13 sujeitos, uma diminuição de D com a utilização da válvula (7 rapazes e 6 raparigas). Como tem vindo a ser sugerido por alguns autores, a acção da respiração lateral própria da técnica de crol pode induzir um aumento de D (Di Prampero et al., 1974; Pendergast et al., 1977). Assim, a não existência desta acção com a utilização da válvula, permitiu a melhoria da técnica de nado, nomeadamente pela diminuição de alterações no alinhamento do corporal, especialmente naqueles nadadores que mais prejuízo tem nesta fase.

Como podemos constatar, para alguns estudos, apesar de verificarmos semelhanças nos valores de  $C_D$ , tal não acontece para os valores de D. Atentamos aos valores encontrados por Marinho et al. (2010). Para valores de  $C_D$  semelhantes (Total:  $0,34 \pm 0,16$  vs  $0,30 \pm 0,71$ ; Rapazes:  $0,33 \pm 0,11$  vs  $0,30 \pm 0,08$ ; Raparigas:  $0,35 \pm 0,23$  vs  $0,29 \pm 0,06$ ) encontramos valores de D muito diferentes (Total:  $34,66 \pm 16,84N$  vs  $48,16 \pm 19,37N$ ; Rapazes:  $38,30 \pm 17,49N$  vs  $54,99 \pm 21,68$ ; Raparigas:  $29,18 \pm 15,24N$  vs  $39,97 \pm 12,44N$ ). Situação similar acontece com o trabalho publicado por Barbosa et al. (2010). Nestes casos, a principal justificação parece residir nas diferenças ao nível da  $v_{m\acute{a}x}$ , que como já referimos tem uma relação inversa com o D.

Diferenças notórias são encontradas para valores de D, entre rapazes e raparigas, na amostra em estudo. Esta diferença entre médias ronda os 15N, quando os valores médios de  $C_D$  se mantêm idênticos. Como afirmou Kolmogorov et al. (1997), tal sugere que o factor mais importante para a eficiência hidrodinâmica é a correcta execução técnica do estilo de nado. Vários autores têm suposto que as mulheres possuem um menor D e, consequentemente, um menor  $C_D$  do que os homens, porque conseguem manter uma posição corporal mais horizontal durante o nado, devido a diferenças na composição corporal (McLean e Hinrichs, 1995; Pendergast et al., 1977). Assim, os nossos dados vão de encontro ao defendido por Clarys (1979), ao afirmar que a técnica de nado é mais importante na redução de D, do que a composição corporal. Assim, as diferenças entre os valores de D poderão estar justificados pela  $v_{m\acute{a}x}$ , em que foi obtida, já que este parâmetro, para um mesmo sujeito ou corpo, varia com v, seja com o seu quadrado, para escoamentos newtonianos, seja simplesmente de forma linear, para escoamentos de Stokes (Fédiaevsky et al., 1979).

Para o grupo total e para o grupo masculino, verificamos um aumento significativo no  $C_D$ , com a utilização da válvula ( $p=0,03$  e  $p=0,05$ ). No grupo feminino esta tendência, apesar de se verificar, não revela significado estatístico ( $p=0,33$ ). Assim, a válvula parece acarretar prejuízo ao nível hidrodinâmico. Por um lado, a sua utilização pode implicar um aumento em S, que desempenha uma papel forte no aumento do arrasto de pressão, e por outro, factores de ordem técnica podem sofrer distúrbios com a utilização deste dispositivo, o que não foi aqui estudado.



Para a determinação de  $D$  e  $C_D$ , segundo o método determinado por Kolmogorov e Duplischeva (1992), utilizamos a equação desenvolvida por Clarys (1979), a qual tem por base o estudo de uma amostra constituída por nadadores adultos de nível olímpico. Pouca clareza existe sobre a possibilidade de aplicar esta equação nos nadadores hodiernos, especialmente em idades mais jovens. Para além disso, a qualidade da predição de Clarys não foi muito elevada ( $r^2=0,70$ ). Assim, defendemos o proposto por Marinho et al. (2010), ao sugerir atenção nesta temática em futuros trabalhos, de forma a procurar desenvolver uma equação melhorada para determinação de  $S$ .

Para além do aumento de  $D$  e  $C_D$ , a utilização da válvula implicou a diminuição da  $v_{m\acute{a}x}$ , como seria de esperar, com base no princípio da conservação da potência mecânica propulsiva máxima do nadador, imposto pelo método da perturbação da  $v$ . Esta alteração verifica-se para rapazes ( $p=0,00$ ), raparigas ( $p=0,04$ ) e para o grupo total ( $p=0,00$ ), de forma significativa. Resultados semelhantes foram encontrados por Barbosa et al. (2010) e Kjendlie et al. (2003). Contudo, esta alteração pode não ser directamente dependente da utilização do aparelho, nomeadamente no  $D$  acrescido ao nadador. Outros factores poderão advir da sua utilização, nomeadamente, os factores de ordem técnica, como atrás referimos.

Contudo, Kjendlie et al. (2003) não encontraram diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros técnicos estudados, entre o nado com e sem válvula respiratória, à  $v_{m\acute{a}x}$ . Os autores sugerem que à  $v$  de “sprint” não existem alterações da técnica nem de  $D$ , com a utilização de uma válvula respiratória.

Também Barbosa et al. (2010) verificaram que a utilização da válvula *Aquatrainer*® não acarretou alterações significativas nos parâmetros técnicos de nado estudados.

Assim, não parecem ser as questões de ordem técnica responsáveis pela alteração do  $C_D$ . Em investigações futuras seria interessante, em avaliações do  $D$  com o método da perturbação da  $v$ , estudar também alguns indicadores técnicos como a frequência gestual, a distância de ciclo, o índice de braçada e as flutuações intracíclicas de  $v$ .

Como seria de esperar, os 13 sujeitos que viram o seu  $D$  diminuir com o uso da válvula, experimentaram um consequente aumento da  $v$ , pelas razões já descritas.

A potência mecânica propulsiva máxima masculina surge bastante superior à feminina, o que parece ser resultado das diferenças intersexuais largamente descritas no domínio das capacidades físicas reportadas à potência mecânica, nomeadamente no domínio da força (Kolmogorov e Duplischeva, 1992).

Entre as repetições, esta variável tendeu a crescer com a utilização da válvula, para o grupo total e para o masculino, embora de forma pouco relevante. No grupo feminino verifica-se a conservação da potência mecânica entre repetições.

O método de determinação de  $D$  utilizado baseia-se no princípio da conservação da potência propulsiva máxima do nadador (Kolmogorov e Duplischeva, 1992), em duas situações de nado distintas, ambas à  $v_{m\acute{a}x}$ : uma em nado livre e outra em nado rebocando um dispositivo de arrasto adicional conhecido. Assim, verificamos no grupo masculino a possibilidade de não existência da

condição de partida do teste de determinação de D, podendo, de alguma forma, ter comprometido alguns dos resultados alcançados.

## 6. Conclusão

Como conclusão, é possível referir que a utilização da válvula *Aquatrainer*<sup>®</sup> parece implicar uma diminuição da  $v_{\text{máx}}$  de nado e um aumento do CD, quando comparado com o nado livre na técnica de crol. Estes dados devem ser tidos em consideração quando se planeia a avaliação do processo de treino recorrendo a estes recursos.

## 7. Referências Bibliográficas

Alley, L. E. (1952). An analysis of water resistance and propulsion in swimming. *Res. Quart.*, 23: 253-270.

Alves, F. (1995). Economia de nado e prestação competitiva. Determinantes mecânicas e metodológicas nas técnicas alternadas. Dissertação de Doutoramento. FMH-UTL. Lisboa. \*

American College of Sports Medicine Position Stand (1998). The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 30:975-991.

Art, T.; Duvivier, D.H.; van Erck, E.; de MoVarts, B.; Votion, D.; Bedoret, D.; Lejeune, J.P.; Lekeux, P. e Sertheyn, D. (2006). Validation of a portable equine metabolic measurement system. *Equine Vet J Suppl*, 36:557-561.

ATS/ACCP (2003). Statement on cardiopulmonary exercise testing *Am J Respir Crit Care Med* 167:211-277

Barbosa, T.M.; Fernandes, R.J.; Keskinen, K.L.; Colaço, P.; Cardoso, C.; Silva, J. e Vilas-Boas, J.P. (2006a). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *Int J Sports Med*, 27:894-899.

Barbosa, T.M.; Keskinen, K.L.; Fernandes, R.J. e Vilas-Boas, J.P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *Eur J Appl Physiol*; 103: 139-149,

Barbosa, T.M.; Keskinen, K.L.; Fernandes, R.J.; Colaço, P.; Lima, A.B. e Vilas-Boas, J.P. (2005). Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol*; 93: 519-523.

Barbosa, T.M.; Lima, F.; Portela, A.; Novais, D.; Machado, L.; Colaço, P.; Gonçalves, P.; Fernandes, R.J.; Keskinen, K.L. e Vilas-Boas, J.P. (2006b). Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes. In Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds). *Porto: Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6(supl 2): 192-194.

Barbosa, T.M.; Silva, A.J.; Reis, A.; Costa, M.; Garrido, N.; Policarpo, F. e Reis, V. (2010). Kinematical changes in swimming front Crawl and Breaststroke with the AquaTrainer® snorkel. *Eur J Appl Physiol*; XXX:XXX-XXX

Barzeducas, A.; Franciosi, P.; Trappe, S.; Letner, C. e Troup, J. (1992). Adaptations to interval training at common intensities and different work: rest ratios. In: Maclaren, T. Reilly e A. Lees (eds.), *Biomechanics and medicine in Swimming, Swimming Science VI*: 189-194. E & FN Spon, London.

Basset, D.; Flohr, J.; Duey, W.; Howley, E. e Pein, R. (1991). Metabolic responses to drafting during front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc*, 23(6): 744-747. \*

- Capelli, C.; Cogalotto, A.; Girardis, M.; Zamparo, P.; Francescato, M. e Soule, R. (1992). Underwater torque and energy cost of front crawl swimming. *VIII Meeting of the European Society of Biomechanics*, June, 21-24. Rome, Italy. \*
- Cappaert, J.; Bone, M. e Troup, J. (1992a). Intensities and performance related differences in propelling and mechanical efficiencies. In: Maclaren, T. Reilly e A. Lees (eds.), *Biomechanics and medicine in Swimming, Swimming Science VI*: 49-52. E & FN Spon, London.
- Cappaert, J.; Franciosi, P.; Laughans, G. e Troup, J. (1992b). Indirect calculation of mechanical and propelling efficiency during freestyle swimming. In: Maclaren, T. Reilly e A. Lees (eds.), *Biomechanics and medicine in Swimming, Swimming Science VI*: 53-56. E & FN Spon, London.
- Chatard, J. C.; Collomp, C.; Maglisho, E. e Maglisho, C. (1990b). Swimming Skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *Journal Sports Medicine*. 11(2): 116-161.
- Chatard, J.C.; Lavoie, J. M.; Bourgoin, B. e Lacour, J. R. (1990a). The contribution of Passive Drag as a Determinant of Swiming Performance. *International Journal Sports Medicine*. 11(2): 367-372.
- Clarys, J. (1979). Human Morfology and Hidrodinamics. In: J. Terauds (Eds), *Swimming science III*, 3-41. University Park Press, Baltimore.
- Clarys, J. P. (1978a). An experimental investigation of the application of fundamental hydrodynamics to the human body. In: B. Eriksson e B. Furberg (eds.), *Swimming Medicine IV*, pp. 386-394. University Park Press, Baltimore.
- Clarys, J. P. (1978b). Relationship of human body form to passive and active hydrodynamic drag. In: E. Asmussen e K. Jorgensen (eds.), *Biomechanics VIB*, pp. 120-125. University Park Press, Baltimore.
- Costa, M.; Reis, A.; Reis, V.M.; Silva, A.J.; Garrido, N.; Louro, H.; Marinho, D.A.; Baldari, C. e Barbosa, T.M. (2010). Constrangimento mecânico provocado pela válvula Aquatrainer® associada ao sistema de oximetria directa (K4 b<sup>2</sup>) na cinemática de bruços.
- Costill, D.; Kovalski, J.; Porter, D.; Kirwan, J.; Fielding, R. e King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle distance events. *Int J Sports Med*, 6:266-270.
- Costill, D.; Maglisho, E. e Richardson, A. (1992). *Handbook of Sports Medicine and Science in Swimming*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- d'Acquisto, L.; Barzdukas, A.; Dursthoff, P.; Letner, C. e Troup, J. (1992a). Physiological adaptations to 60 vs 20 minuts of swim training at 76%  $VO_{2max}$ . In: Maclaren, T. Reilly e A. Lees (eds.), *Biomechanics and medicine in Swimming, Swimming Science VI*: 195-200. E & FN Spon, London.
- d'Acquisto, L.; Bone, M.; Takahashi, G.; Langhans, A.; Barzdukas, A. e Troup, J. (1992b). Changes in aerobic power and swimming economy as a result of reduced training volume. In:

- Maclaren, T. Reilly e A. Lees (eds.), Biomechanics and medicine in Swimming, *Swimming Science VI*: 201-206. E & FN Spon, London.
- d'Acquisto, L.; Troup, J. e Holmberg, S. (1991). Stroke related differences in economy as result of long course and flume swimming. In: J.M. Cameron (ed.), *Aquatic Sports Medicine*, 1991: 98-101. Farrand Press, London.
- Demarie, S.; Sardella, F.; Magini, W. e Faina, M. (2001). The Vo2 slow component in swimming. *Eur J Appl Physiol*, 84: 95-99.
- Di Prampero, P.E.; Pendergast, D.; Wilson, D.W. e Rennie, D. (1978). Blood lactic acid concentrations in high velocity swimming. In: B. Eriksson e B. Furberg (eds.), *Swimming Medicine IV*: 249-261. University Park Press, Baltimore.
- Di Prampero, P.E.; Pendergast, D.R.; Wilson, D.W. e Rennie, D. (1974). Energetics of Swimming in Man. *J App Physiol*, 37(1): 1-5.
- Douglas, P. F.; Gasiorek, J. M. e Swaffienl, J. A. (1979). Fluid mechanics. Pitman, Londres.\*
- Doyon, K.; Perrey, S.; Abe, D. e Hughson, R. (2001). Field testing of VO2 peak in cross-country skiers with portable breath-by-breath system. *Can J Appl Physiol*, 26(1): 1-11.
- Dubois-Reymond, R. (1905). Zum physiologie des schwimmens. *Archive für anatomye und physiologie (abteilung physiologie)*, XXIX: 252-274.\*
- Duffield, R.; Dawson, B.; Pinnington, H.C. e Wong, P. (2004). Accuracy and reliability of a Cosmed K4b<sup>2</sup> portable gas analysis system. *J Sci Med Sport*, 7:11-22.
- Fédiaevski, C.; Voitkounski, I. e Faddéev, Y. (1979). *Mecânica dos fluidos*. Lopes da Silva. Porto.
- Fernandes, R. J.; Cardoso, C.S.; Soares, S.M.; Ascensão, A.; Colaço, P.J.; Vilas-Boas, J.P. (2003b). Time limit and VO2 slow component at intensities corresponding to VO2max in swimmers. *Int J Sports Med*. 24: 576-581.
- Gayda, M.; Bosquet, L.; Juneau, M.; Guiraud, T.; Lambert, J.; Nigam, A. (2010). Comparison of gas exchange data using the Aquatrainer® system and the facemask with Cosmed K4b2 during exercise in healthy subjects. *Eur J Appl Physiol*; 109:191-199.
- Hauswirth, C.; Bigard, A. e Le Chevalier, J. (1997). The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. *Int J Sports Med*, 18: 449-453.
- Havriluk, R. (2005). Performance Level Differences in Swimming: A Meta - Analysis of Passive Drag. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 76(2): 112-118.
- Hay, J.G. (1988). The status of research on the biomechanics of swimming. In B.E. Ungerechts, K. Reischle, e K. Wilke (Eds.) *Swimming science V*: 3-14. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hollander, A.P.; De Groot, G. e Van Ingen Schenau, G.J. (1986). Active Drag in female swimmers. In: *Biomechanics X*. Human Kinetics Publishers. Campaign, Illinois.
- Holmér, I. (1972). Oxygen uptake during swimming in man. *J Appl Physiol*, 33(4): 502-509.

- Holmér, I. (1974). Physiology of swimming man. *Acta Physiol. Scand.*, (supl 407).
- Holmér, I. (1975). Efficiency of breaststroke and freestyle swimming. In: J. P. Clarys e Lewillie (eds.), *Swimming II*, pp. 130-136. University Park Press. Baltimore.
- Holmér, I. (1979). Analysis of acceleration as a measure of swimming proficiency. In: J. Terauds e E.W. Bedingfield (eds.), *Swimming III*: 118-124. University Park Press, Baltimore.
- Holmér, I. (1983). Energetics and mechanical work in swimming. In: A.P. Hollander, P.A. Huijing e G. de Groot (eds.), *Biomechanics and medicine in swimming*, pp.155-164. Human kinetics Publishers. Illinois.
- Karpovich, P. e Le Maistre, H. (1940). Prediction of time in swimming breaststroke based on oxygen consumption. *Res Quart*, 11: 40-44.\*
- Karpovich, P. V. (1933). Water resistance in swimming. *Res. Quart.*, 4: 21-28.
- Kemper, H.; Verschuur, R.; Clarys, J. e Jiskoot, J. (1983). Total efficiency and swimming drag in swimming the front crawl. In A.P. Hollander, P.A. Huijing e G. de Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*: 199-206. Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois.
- Kemper, H.; Verschuur, R.; Clarys, J.; Jiskoot, J. e Rijken, H. (1976). Efficiency of swimming the front crawl. In: P.V. Komi (ed.), *Biomechanics V*: 243-249. University Park Press, Baltimore. \*
- Keskinen, K.; Rodríguez, F. e Keskinen, O. (2000). Comparative validity of a modified respiratory valve system for breath-by-breath gas analysis during swimming (abstract). In: J. Avela, P. Komi e J. Kumolainen (eds.), *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Annual Congress of the European Collage of Sport Science*, 392. Jyväskylä: ECCS, University of Jyväskylä.
- Keskinen, K.; Rodríguez, F. e Keskinen, O. (2003). Respiratory snorkel and valve system for breath-by-breath gas analysis in swimming. *Scand J Med Sci Sports*; 13: 322 - 329.
- Keskinen, K.; Rodriguez, F.; Kusch, M. e Hoffman, U. (2002). Validity of breath-by-breath spirometric measurements with two swimming snorkels assessed by a gas exchange simulation system (abstract). In: *Proceedings of the IX World Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming*. Saint-Etienne, France (in press).
- Kjendlie, P.L. e Stallman, R. (2008). Drag characteristics of competitive swimming children and Adults. *Journal of Applied Biomechanics* 24: 35-42.
- Kjendlie, P.L.; Stallman, R.; Stray-Gundersen, J. (2003). Influences of breathing valve on swimming technique. In: J.C. Chatard (ed). *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. Saint-Etienne: University of Saint-Etienne, 69-73.
- Klentrou, P. e Montpetit, R. (1992). Energetics of backstroke swimming in males and females. *Med Sci Sports Exerc*, 24(3): 371-375.\*

- Kolmogorov, S. e Duplischeva, O. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamics force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics*. 25(3): 311-318.
- Kolmogorov, S.; Rumyantseva, O.; Gordon, B. e Cappaert, J. (1997). Hydrodynamics characteristics of Competitive Swimmers of Different Genders and Performance Levels. *Journal of Applied Biomechanics*. 13:88-97.
- Lavoie, J. M. e Nadeau, M. (1980). La natation. In: M. Nadeau e F. Péronnet (eds), *Physiologie Appliquée de L'Activité Physique*, pp. 95-106. Vigot, Paris.
- Lavoie, J.; Léger, L.; Montepetit, R. e Chabot, S. (1983). Backward extrapolation of  $\text{VO}_2$  from the  $\text{O}_2$  recovery curve after a voluntary maximal 400m swim. In: A.P. Hollander, P.A. Huijing e G. de Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*: 222-227. Human Kinetics Publishers.
- Lavoie, J.M. e Montpetit, R.R. (1986). Applied physiology of swimming. *Sports Med*, 3:165-189.
- Liljestrand G. e Stenström, N. (1919). Studien über die physiologie des schwimmers. *Scand. Arch. Physiol*. 39: 1-63.\*
- Machado, L.; Querido, A.; Keskinen, K.L.; Fernandes, R. e Vilas-Boas, J.P. (2006). Mathematical modelling of the slow component of oxygen uptake kinetics in front crawl. In J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (eds). *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6(supl 2): 144-146.
- Maglischo, E. (1999). *Nadando ainda mais rápido*. Manole. São Paulo, Brasil.
- Maiolo, C.; Melchiorri, G.; Lacopino, L.; Masala, S. e De Lorenzo, A. (2003) Physical activity energy expenditure measured using a portable telemetric device in comparison with a mass spectrometer. *Br J Sports Med*, 37:445-447.
- Marinho, D.A.; Barbosa, T.M.; Costa, M.J.; Figueiredo, C.; Reis, V.M.; Silva, A.J. e Marques, M.C. (2010). Can 8-weeks of training affect active drag in young swimmers? *J Sports Science and Medicine*, 9: 71-78.
- Marinho, D.A.; Reis, V.M.; Alves, F.B.; Vilas-Boas, J.P.; Machado, L.; Silva, A.J. e Rouboa, A.I. (2009). The hydrodynamic drag during gliding in swimming. *J App Biomech*, 25(3): 253-257.
- McLaughlin, J.; King, G.; Howley, E.; Bassett Jr, D. e Ainsworth, B. (2001). Validation of the Cosmed K4b<sup>2</sup> portable metabolic system. *Int J Sports Med*, 22: 280-284.
- McLaughlin, J.E.; King, G.A.; Howley, E.T.; Bassett, D.R. Jr e Ainsworth, B.E. (2006). Accuracy and reliability of the ParvoMedics TrueOne 2400 and MedGraphics VO2000 metabolic systems. *Eur J Appl Physiol*, 98:139-151.
- Meyer, T.; Davison, R. C.; Kindermann, W. (2005a) Ambulatory gas exchange measurements - current status and future options. *Int J Sports Med*. 26 (Suppl 1): S19-S27.



- Meyer, T.; Lucia, A.; Earnest, C.P. e Kindermann, W. (2005b). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters-theory and application. *Int J Sports Med*, 26(Suppl 1):S38-S48.
- Miyashita, M. e Tsunoda, R. (1978). Water resistance in relation to body size. In: B. Eriksson e B. Furberg (eds.), *Swimming Medicine IV*, pp. 395-401. University Park Press, Baltimore.
- Mollendorf, J. C.; Albert, C. T.; Eric, O. e Pendergast, D. R. (2004). Effect os Swim Suit Design on Passive Drag. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36(6): 1029-1035.
- Montpetit, R. (1981). Efficiency, economy and energy expenditure in swimming. *ASCA World Clinic Yearbook*: 83-92.\*
- Montpetit, R.; Lavoie, J. e Cazorla, G. (1983). Aerobic energy cost of swimming the front crawl at high velocity in international class and adolescent swimmers. In: A.P. Hollander, P.A. Huijing e G. de Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*: 228-234. Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois.
- Montpetit, R.; Léger, L.; Lavoie, J. e Carzola, G. (1981).  $\dot{V}O_2$  peak during free swimming using the backward extrapolation of the  $O_2$  recovery curve. *Eur J Appl Physiol*, 47: 385-391.\*
- Novais, D. (2005). Custo energético e variação intracíclica da velocidade de deslocamento do centro de massa na técnica de crol. Monografia de Licenciatura. Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física, Universidade do Porto. Porto.
- Ohmichi, H.; Takamoto, M. e Miyashita, M. (1983). Measurement of the waves caused by swimmers. In: A. P. Hollander, P. A. Huijing e G. De Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 136-141. Human Kinetics Publishers. Campaign, Illinois.
- Pendergast, D.; di Prampero, P.E.; Craig, A. e Rennie, D. (1978). The influence of certain of selected biomechanical factors on the energy cost of swimming. In: B. Eriksson e B. Furberg (eds.). *Swimming Science IV*, pp.367-378. University Park Press. Baltimore.
- Pendergast, D.; di Prampero, P.E.; Craig, A.; Wilson, D. e Rennie, D. (1977). Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J App Physiol*, 43(3): 475-479.
- Pinnington, H.; Wong, P.; Tay, J.; Green, D. e Dawson, B. (2001). The level of accuracy and agreement in measures of  $F_{E}O_2$ ,  $F_{E}CO_2$  and  $V_E$  between the Cosmed K4b<sup>2</sup> portable respiratory gas analysis system and metabolic cart. *J Sci Med Sports*, 4(3): 324-335.
- Powers, S. e Howley, E. (2000). Fisiologia do exercício: Teoria e aplicação do condicionamento ao desempenho. Manole. Brasil.
- Rennie, D.; Pendergast, D.R. e di Prampero, P.E. (1975). Energetics of Swimming in Man. In: L. Lewillie e J.P. Clarys (eds.), *Swimming II*, pp.97-104. University Park Press. Baltimore.
- Rinehardt, K.; Rinehardt, N.; Begley, J.; Price, J. e Feyerherm, A. (1992). Physiological change in novice swimmers during short term swim training. *J Swim Research*, 8: 18-23. \*

Rodriguez, F. (1999). Nuevos métodos de valoración funcional en natación y waterpolo: conceptos fisiológicos y aplicaciones prácticas. *XIX Congresso International AETN*. Coruña '99.

Rodriguez, F.; Keskinen, K. e Keskinen, O. (2001). Aerobic cost of crawl swimming during an incremental pool test measured breath-by-breath gas analysis (abstract). In: J. Mester, G. King, H. Strüder, E. Tsolakidis e A. Osterburg (eds.), *Livro de resumos do 6<sup>th</sup> Annual Congress of the European Collage of Sports Science and 15<sup>th</sup> Congress of the German Society of Sport Science*: 532. Cologne: ECCS, Sport and Buch Strauss.

Rodriguez, F.; Keskinen, K.; Keskinen, O. e Malvela, M. (2003). Oxygen uptake kinetics during free swimming: a pilot study. In: J-C. Chatard (ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, 379-384. University of Saint-Etienne. Saint-Etienne. France.

Rodríguez, F.A.; Keskinen, K.L.; Kusch, M. e Hoffmann, U. (2008). Validity of a swimming snorkel for metabolic testing. *Int J Sports Med*; 29:120-128

Sanders, R.; Rushall, B.; Toussaint, H. M.; Stager, J. e Takagi, H. (2001). Bodysuit yourself: but first think about it. *Journal of Turbulence*: [Http://www.iop.org/journals/s/3/138/jot/estra/20.d](http://www.iop.org/journals/s/3/138/jot/estra/20.d)

Sardella, F.; Faina, M.; Gallozzi, C.; DiCave, P.; Guidi, G. e Dal Monte, A. (1992). Specific physiological adaptations of top level swimmers. In: J.M. Cameron (ed.), *Aquatic Sports Medicine*, 1991: 101-106. Farrand Press. London. \*

Schleihau, R.E. (1984). *The biomechanical analysis of swimming propulsion in the sprint front crawl stroke*. Tese de Doutorado. Teachers College, Columbia University. \*

Smith, H.; Montpetit, R. e Perrault, H. (1988). The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *Eur J Appl Physiol*, 58: 182-188.\*

Takagi, H.; Shimizu, Y.; Onogi, H. e Kusagawa, Y. (2001). The relationship between coefficients of drag and swimming performance. *Bulletin of Faculty of Education Mie University (Natural Science)* 52:13-21.

Takahashi, S.; Bone, M.; Cappaert, J.; Barzdukas, A.; d'Acquisto, L.; Hollander, A. e Troup, J. (1992b). Validation of a dry and swimming-specific measurement of anaerobic power. In: Maclaren, T. Reilly e A. Lees (eds.), *Biomechanics and medicine in Swimming, Swimming Science VI*: 301-306. E & FN Spon, London.

Takahashi, S.; Bone, M.; Spry, S.; Trappe, S. e Troup, J. (1992a). Differences in the anaerobic power of age group swimmers. In: Maclaren, T. Reilly e A. Lees (eds.), *Biomechanics and medicine in Swimming, Swimming Science VI*: 289-294. E & FN Spon, London.

Takamoto, M.; Ohmichi, H.; Miyashita, M. (1985). Wave height in relation to swimming velocity and proficiency in front crawl stroke. In: D. A. Winter, R. W. Norman, R. P. Wells, K. C. Hayes e A. E. Patla (eds.), *Biomechanics IX*. Pp. 486-491. Human Kinetics Publishers.ampaign, Illinois.

- Termin, B. e Pendergast, R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *J. Swimming Research*, 14: 9-17.
- Toussaint, H. M. (2002). The "Fast-Skin" body suit: hip, hype but does it reduce drag during front crawl swimming? In: K.E. Gianikellis, B.R. Mason, H.M. Toussaint, R. Arellano e R.H. Sanders (eds.) *Scientific Proceedings - Applied Program - XXth International Symposium on Biomechanics in Sports - Swimming*, pp. 15-24. Caceres, Spain, University of Extramedura.
- Toussaint, H. M. ; De Groot, G. ; Savelberg, H. H. C. M. e Vervoorn, K. (1988). Active drag related to velocity in male and female swimmers. *Journal of Biomechanics*, 21 (5): 435-438.
- Toussaint, H. M. ; Roos, P. E. e Kolmogorov, S. (2004). The determination of drag in front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*. 37:1655-1663.
- Toussaint, H. M.; Looze, M.; Rossem, B.; Leijdekkers, M. e Dignum, H. (1990). The effect of Growth on Drag in Young Swimmers. *International Journal of Sport Biomechanics*. 6: 18-28.
- Toussaint, H.; Meulemans, A.; De Groot, G.; Hollander, A.P.; Schreurs, A. e Vervoon, K. (1987). Respiratory valve for oxygen uptake measurement during swimming. *Eur J Appl Physiol*; 56: 363-366, 1987.
- Troup, J. (1990a). International center for aquatic research annual, studies by the International Center for Aquatic research 1989-90. United States Swimming Press, Colorado Springs.
- Troup, J. (1990b). Energy contributions of competitive freestyle events. International Center for Aquatic Research 1990-1991: 13-19. United States Swimming Press, Colorado Springs.\*
- Troup, J. (1991). International center for aquatic research anual, studies by the International Center for Aquatic Research 1990-91. United States Swimming Press, Colorado Springs. \*
- Troup, J.; Barzdukas, A.; e Trappe, S. (1992a). Adjustment to maximal work intensity during interval swimming using various work: rest ratios. In: Maclaren, T. Reilly e A. Lees (eds.), *Biomechanics and medicine in Swimming, Swimming Science VI*: 263-270. E & FN Spon, London.
- Troup, J.; Hollander, A.; Bone, M.; Trappe, S. e Barzdukas, A. (1992b). Performance related differences in the anaerobic contribution of competitive freestyle swimmers. In: MacLaren, T. Reily e A. Lees (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI*: 271-278. E & FN Spon, London.
- Ungerechts, B. (1983). The validity of the Reynolds number for swimming bodies which change form periodically. In: A. P. Hollander, P. A. Huijing e G. De Groot (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 81-88. Human Kinetics Publishers. Campaign, Illinois.
- Ungerechts, B., Niklas, A. (1994). Factors of active drag estimated by flume swimming. In: Miyashita M, Mutoh M, Richardson R (eds.), *Medicine and science in aquatic sports, Med Sport Sci* 39: 137-142. Karger, Basel.
- Van Huss, W. e Cureton, T. (1955). Relationship of selected tests with energy metabolism and swimming performance. *Res Quart*, 26(2): 205-221.

- Vilas-Boas, J. P. (1997a). Bases mecânicas da natação. In: R. Fernandes, J. V. Santos Silva e J. P. Vilas-Boas (eds.), *Natação: vivências específicas e conhecimentos teóricos básicos. Colectânea de textos*, pp. 281-352. AE da FCDEF-UP. Porto.
- Vilas-Boas, J. P. (1997b). O estado actual da investigação científica sobre técnica desportiva em natação. *17º Congreso da Asociacion Española de Técnicos de Natación e 4º Congreso Ibérico*. Camargo, Cantabria, España.
- Vilas-Boas, J. P. (1998). A avaliação objectiva dos factores de rendimento em nadadores: contributo para o desenvolvimento da natação em Portugal. *Documento de apoio à disciplina Metodologia I - Natação*. FCDEF-UP, Porto.
- Vilas-Boas, J. P. (2001). Biomecânica hoje: enquadramento, perspectivas didácticas e facilidades laboratoriais. *Rev Port Ciênc Desp*, 1(1): 48-56.
- Vilas-Boas, J. P. e Santos (1994). Comparision of swimming economy in three breaststroke techniques. In: M. Miyashita, Y. Motoh e A. B. Richardson (eds.), *Medicine and Science in Aquatic Sports*: 48-54. Kyoto, Japan.\*
- Vilas-Boas, J.P. (1989). Controlo de treino em natação: considerações gerais, rigor e operacionalidade dos métodos de avaliação. *Comunicação apresentada às Jornadas Técnicas Galaico-Durienses de Natação*, Corunha, Espanha.
- Vilas-Boas, J.P. (1993). Caracterização biofísica de três variantes da técnica de bruços. Tese de Doutoramento. FCDEF-UP, Porto.
- Vilas-Boas, J.P. (1996). *Economia de nado e avaliação de nadadores em treino de alto rendimento*. Documento de apoio à disciplina Metodologia I - Natação, Opção de Deseporto de Rendimento da Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. Gabinete de Natação.
- Vilas-Boas, J.P. (2000). Aproximação biofísica ao desempenho e ao treino de nadadores. Ver *Paul Educ Fís*, 14(2): 107-117.
- Vilas-Boas, J.P. e Duarte, J.A. (1994). Factores de eficiência no treino de nadadores. *Comunicações do XVII Congresso Técnico da Associação Portuguesa de Técnicos de Natação*, pp.1-9.
- Vilas-Boas, JP.; Fernandes, R. e Kolmogorov, S. (2001). Arrasto hidrodinâmico activo e potência mecânica máxima em nadadores pré - juniores de Portugal. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*. 1(3): 14-21.
- Villanueva, L. (1994). El control del entrenamiento - teoria y práctica. *Comunicaciones Técnicas*. 6: 7-26. Federación Española de Natación.

\* referência indirecta