



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Ciências Sociais e Humanas

Departamento de Ciências do Desporto

## **O Arrasto Hidrodinâmico em Natação Pura Desportiva**

**Trabalho de revisão da literatura**

**Rui Miguel Martins dos Santos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Ciências do Desporto**

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Daniel Marinho

**Covilhã, Outubro de 2010**

## **Agradecimentos**

Este estudo marca mais uma etapa importante na minha vida pessoal e profissional.

Ao Prof. Doutor Daniel Marinho, orientador da presente dissertação, por toda a colaboração, paciência, orientação, competência, encorajamento, disponibilidade e acima de tudo a persistência que revelou para comigo, mostrando toda a sua humildade e competência.

A todos os meus colegas de trabalho, treinadores e professores, por toda colaboração durante as fases de recolhas de amostra, assim como disponibilidade para me ajudarem nas alturas em que o tempo era curto.

A todos os atletas e pais dos mesmos, pela disponibilidade demonstrada em participar neste estudo.

Aos meus pais e irmã, pelo encorajamento e ajuda a todos os níveis.

Por último, à minha esposa Eliana, que tanto me ajudou a encontrar a paz e equilíbrio necessário para a realização deste estudo.

## Resumo

O arrasto hidrodinâmico é um dos factores fundamentais que influenciam a performance do nadador. Este trabalho pretende ilustrar a literatura existente sobre o Arrasto Hidrodinâmico na Natação Pura Desportiva, abordando alguns dos factores condicionantes no desempenho do nadador tais como: as características do meio aquático; as características morfológicas do sujeito; as características da técnica de nado. Neste trabalho é ainda realizada uma abordagem aos vários métodos de avaliação/determinação da força de arrasto, descrevendo as suas vantagens, limitações e relações entre os mesmos. Nos vários métodos usados pelos autores para determinação da força de arrasto, é possível concluir que a área de superfície frontal assume um papel importante, assim como a técnica parece ser um factor determinante na diminuição da força de arrasto e aumento da força propulsiva.

**Palavras-Chave:** Natação; Arrasto; Nadadores; Performance; Área de Secção Transversal.

## **Abstract**

The drag is one of the key factors that influence the performance of the swimmer. This paper aims to illustrate the existing literature on the Hydrodynamic Drag in Swimming Pure Sport, addressing some of the decisive factors in the performance of the swimmer such as the characteristics of the aquatic environment, the morphological characteristics of the subject and the characteristics of swimming technique. This work is still carried an approach to various methods of assessment / determination of drag force, describing their advantages, limitations and relationships between them. In the various methods used by authors to determine the drag force, we conclude that the frontal surface area plays an important role, as well as the technique appears to be a major factor in reducing the drag force and increase the propulsive force.

**Keywords:** Swimming; Drag; Swimmers; Performance; Cross-sectional area

# Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
Índice .....	iv
Índice de Figuras .....	vi
1 Introdução .....	1
2 O Desempenho na Natação .....	2
2.1 Potencia Metabólica .....	3
2.2 Eficiência Mecânica .....	4
2.3 O trabalho mecânico e a potência relacionada com o arrasto .....	5
3 Conceitos fundamentais de hidrodinâmica .....	6
3.1 Mecânica dos Fluidos.....	6
3.2 Os fluidos e as suas propriedades .....	7
3.2.1 Fluido, Fluidez e Fluxo .....	7
3.2.2 Massa volúmica, peso volúmico e densidade .....	8
3.2.3 Viscosidade .....	8
3.2.4 Tipo de Escoamento.....	9
4 Arrasto Hidrodinâmico .....	10
4.1 Introdução.....	10
4.2 Factores que condicionam o arrasto hidrodinâmico.....	12
4.2.1 Características Morfológicas do Nadador .....	12
4.2.2 Efeito da forma e do tamanho do corpo do nadador .....	13
4.2.3 Características da Técnica de Nado .....	14
4.3 Arrasto de pressão, arrasto de onda e arrasto de fricção .....	15
4.3.1 Arrasto de Pressão .....	15
4.3.2 Arrasto de Onda.....	16
4.3.3 Arrasto de Fricção .....	17
5 Força de arrasto activo e força de arrasto passivo .....	18
5.1 Arrasto Activo.....	18
5.1.1 Métodos de avaliação de Arrasto Activo .....	19
5.2 Arrasto passivo .....	22

5.2.1	Métodos de avaliação do arrasto passivo .....	23
6	Área de Superfície Frontal .....	26
7	Conclusões .....	29
8	Bibliografia.....	30

## Índice de Figuras

**Figura 1** – Determinantes da velocidade de nado em Natação Pura (adaptado de Toussaint, 1992).

**Figura 2** – Fluido laminar e turbulento em natação (adaptado de Costill et al, 1992)

**Figura 3** – 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).

**Figura 4** – O efeito do espaço dos objectos no arrasto hidrodinâmico (adaptado de Costill et al., 1992)

**Figura 5** – Figura 5 : Sistema de ondas formado por um ponto de pressão em movimento (adaptado de Clarys, 1979).

**Figura 6** – Representação esquemática do método proposto por di Prampero *et al.* (1974), para a determinação do arrasto activo ( $D$ ).  $D_+$  e  $D_-$  são cargas adicionais acopladas ao nadador, respectivamente resistivas e propulsivas.  $V_1$  e  $V_2$  são duas velocidades de nado diferentes e mantidas constantes, sendo  $D_1$  e  $D_2$ , respectivamente, as intensidades do arrasto hidrodinâmico activo calculado para as referidas velocidades  $V_1$  e  $V_2$ . E constitui uma medida do dispêndio energético líquido total, estimado através do consumo de oxigénio líquido determinado para velocidades de nado  $V_1$  e  $V_2$  submáximas.

**Figura 7** – Representação do corpo hidrodinâmico usado no VPM. 1-Porção flutuante; 2-linha de água; 3-orifício de enchimento; 4-suporte do cilindro; 5-locais de ancoragem do cabo; 6-cilindro hidrodinâmico (adaptado de Vilas-Boas *et al.*, 2001)

**Figura 8** – O sistema de reboque e a determinação do arrasto.

## 1 Introdução

Nas actividades físicas e desportivas, principalmente quando estão directamente relacionadas com a preocupação por otimizar os resultados, a noção de tempo intervem como factor essencial de êxito. Os conhecimentos científicos que surgem normalmente do método experimental permitem ganhar tempo precioso pois devido às suas explicações científicas conseguimos resolver os problemas criados (Chollet, 2003).

Na natação, como em qualquer outro desporto, o atleta pode tentar melhorar o seu tempo, através da precisão, eficiência (Mcintyre, 2003). A eficiência expressa uma relação objectiva e quantitativa entre o trabalho mecânico realizado e o gasto energético que se encontra associado (Barbosa & Vilas-Boas, 2000).

A performance da natação humana é pobre quando comparada com as espécies cujo o habitat é aquático. Uma velocidade máxima de nado de aproximadamente  $2\text{ms}^{-1}$  representa apenas 16% da velocidade máxima obtida em terra. Uma das razões óbvias para esta diferença de velocidade é a maior resistência que encontramos quando nos movimentamos pela água (Toussaint, Roos, & Kolmogorov, The determination of drag in front crawl swimming, 2004).

A velocidade de nado, em dado momento, é o resultado da interacção entre a força de arrasto e a propulsão. Um nadador poderá incrementar a sua velocidade de deslocamento a partir de três estratégias: i) diminuindo a força de arrasto a que se encontra submetido; ii) aumentando a produção de força propulsiva ou, iii) realizando uma combinação das duas situações atrás descritas (Barbosa, 2005).

Neste sentido, é essencial minimizar o arrasto hidrodinâmico, devendo o nadador adoptar a melhor posição hidrodinâmica possível (Guimarães & Hay, 1985). A área de superfície frontal tem assim um papel fundamental na

determinação da resistência hidrodinâmica, para compreender/melhorar a performance na natação (Zamparo, 2009).

## 2 O Desempenho na Natação

Um dos propósitos dos nadadores, em situação competitiva, é o de atingirem elevadas velocidades de deslocamento (Barbosa, 2005).

Craig (1984) refere que existem vários factores determinantes para o incremento da velocidade de nado:

$$V = \frac{P_{met} \cdot e}{D}$$

Onde **V** é a velocidade de deslocamento do nadador, **P<sub>met</sub>** a potência metabólica, **e** a eficiência e **D** a força de arrasto hidrodinâmico, considerando em todas as variáveis a análise do centro de massa do sujeito.

Já Toussaint (1992) refere que a velocidade de nado depende de cinco factores fundamentais: a força de arrasto hidrodinâmico, a taxa de entrada de energia no sistema (potência metabólica), a eficiência propulsiva e a taxa de energia produzida pelo sujeito (potência metabólica externa).

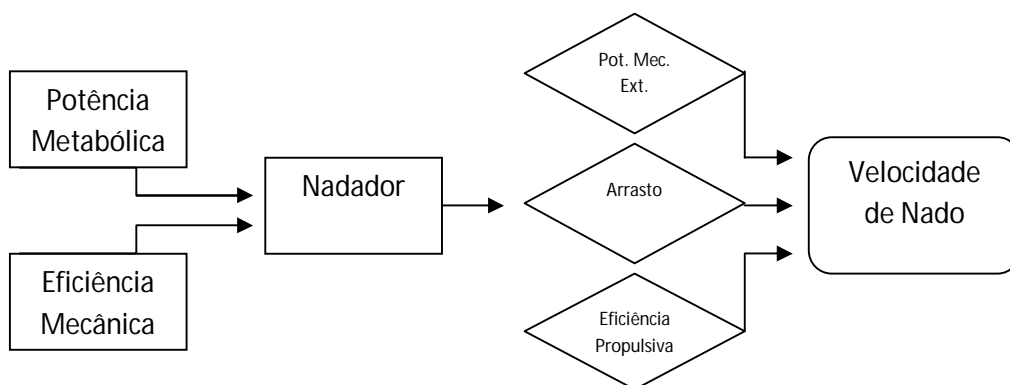


Figura 1 – Determinantes da velocidade de nado em Natação Pura (adaptado de Toussaint, 1992).

## 2.1 Potencia Metabólica

Seguindo a teoria de Toussaint (1992), qualquer gesto técnico realiza-se fundamentalmente devido à capacidade do organismo extrair energia dos alimentos (energia química) e de os transformar em energia mecânica. É a partir da potência metabólica que ocorre a entrada de energia no sistema.

Os músculos têm de produzir potência para deslocar o corpo. A produção total de potência metabólica determina-se a partir do somatório da produção energética decorrente da degradação do ATP-CP, da glicólise anaeróbia e do sistema aeróbio (Pendergast et al. 1978; Toussaint & Hollander, 1994a) em que:

$$Paer = Paermáx (1 - e^{-\lambda t})$$

e

$$Pan = Panmáx * e^{-\lambda t}$$

Onde ***Paer*** é a potência aeróbia, ***Pan*** a potência anaeróbia, ***Paermáx*** é a potência aeróbia máxima, ***Panmáx*** é a potência anaeróbia máxima, ***t*** é o tempo,  $\lambda$  uma constante que expressa o aumento ou a diminuição da potência e ***e*** a eficácia. Para a maioria das provas que constituem o quadro competitivo da Natação Pura Desportiva, o contributo do sistema ATP-CP para a ***Pmet*** é negligenciável (Rodriguez, 1999).

Deste modo a potência metabólica decorre do somatório da potência aeróbia com a potência anaeróbia:

$$Pmet = Paer + Pan$$

## 2.2 Eficiência Mecânica

Para a realização de trabalho mecânico, nem toda a produção da ***Pmet*** será utilizada (Billat, 1998). Em virtude deste ser um processo endotrópico, parte da ***Pmet*** é utilizada para a produção de energia térmica (Billat, 1998; Cavanagh & Kram, 1985). Assim, só uma fracção da ***Pmet*** é que será dispensada para a produção de potência mecânica externa (***Pext***) (Barbosa, 2005).

Visto que só uma porção da ***Pmet*** é utilizada em ***Pext***, é possível determinar a taxa de ***Pmet*** utilizada para esse mesmo fim. Consequentemente, a eficiência mecânica ***em*** expressa a razão entre a ***Pext*** e a ***Pmet*** (Toussaint et al., 1990a, Toussaint, 1992):

$$Em = \frac{P_{ext}}{P_{met}} * 100$$

Toussaint (1990b, 1992) e Toussaint *et al.* (1990a), demonstraram que na técnica de Crol, a ***Pext*** e a ***Pmet*** se correlacionavam positivamente e com elevado significado estatístico (entre os  $r=0.89$  e os  $r=0.94$ ) e que ainda os valores da ***em***, nessa mesma técnica de nado, oscilavam entre os 8,5% e os 9,7%. Conclui-se assim que, de toda a ***Pmet***, apenas 10% são utilizados em ***Pext***, sendo que os restantes 90% são despendidos fundamentalmente através de processos associados à termoregulação.

Di Prampero et al. (1974) avaliaram o consumo líquido de oxigénio, a diferentes velocidades, à medida que os nadadores eram puxados para a frente (arrasto negativo) ou para trás (arrasto positivo) através de um sistema de cargas e roldanas por onde passava um cabo ligado ao nadador. Através da recta de regressão entre o consumo líquido de oxigénio e o valor das diferentes cargas, foi possível extrapolar o valor do arrasto para um consumo nulo. Esse valor define o arrasto a que o nadador está sujeito a uma dada velocidade. Assumindo que a velocidade é constante, a ***em*** pode ser calculada a partir do declive da recta de regressão previamente definida e pela velocidade de deslocamento. Os mesmos autores verificaram que a ***em*** variou entre 1,0% e os 7,5%.

Mais tarde, Kemper et al. (1976), ao estudarem 50 estudantes universitários de educação física, verificaram que a **em** variou entre os 1,99% e os 8,33%. Assim, parece ser consensual o facto da **em** em Natação Pura Desportiva ser bastante reduzida.

Uma outra característica da **em** é que não é um parâmetro fortemente discriminativo do nível de desempenho dos sujeitos. Não se verificaram diferenças significativas da **em** entre nadadores de competição e de recreio, tal como Kemper et al. (1976) observou ao comparar dois grupos de nadadores de desempenhos diferentes e como Toussaint (1990b) observou entre nadadores de elite e triatletas.

Estudando a variação da **em** com base nas diferenças técnicas de nado, o valor mais elevado surgiu na técnica de crol, variando entre os 6,7% (di Prampero et al., 1974; Holmér, 1983) e os 15% (Pendergast et al., 1978).

### 2.3 O trabalho mecânico e a potência relacionada com o arrasto

Para existir deslocamento de um corpo biológico é necessário que ele realize trabalho mecânico externo. Acresce que no meio aquático também é necessário vencer a força de arrasto hidrodinâmico. Logo, neste meio, o trabalho necessário para vencer o arrasto é igual ao produto da intensidade desta força pelo deslocamento (Nigg, 1983):

$$W = D * d$$

Onde **W** é o trabalho mecânico, **D** a força de arrasto hidrodinâmico e o **d** o deslocamento.

O arrasto hidrodinâmico é condicionado por diversos factores, os quais são apresentados na expressão newtoniana:

$$D = \frac{1}{2} * \rho * A * C_D * v^2$$

Onde **D** é a força de arrasto hidrodinâmico,  **$\rho$**  a densidade do fluido, **v** a velocidade de deslocamento do corpo, **A** a área de secção transversa máxima

do corpo na direcção do deslocamento e  $C_D$  o coeficiente de arrasto (grandeza que exprime a dependência da força relativamente às variáveis independentes  $\rho$ ,  $v$  e  $A$ ).

Deste modo, segundo Nigg (1983), o trabalho mecânico efectuado por  $D$  é:

$$W = D * d = \frac{1}{2} * \rho * A * C_D * v^2 * d$$

Portanto, a potência requerida para vencer a força de arrasto hidrodinâmico depende fundamentalmente do cubo da velocidade de deslocamento.

### **3 Conceitos fundamentais de hidrodinâmica**

A água é o meio que rodeia o nadador enquanto pratica a actividade, e como tal, a deslocação na água envolve interacções específicas entre o nadador e o meio aquático. Seguidamente abordaremos alguns conceitos gerais sobre as características e propriedades dos fluidos, que são importantes para a compreensão dos fenómenos de arrasto e propulsão no meio aquático.

#### **3.1 Mecânica dos Fluidos**

A mecânica dos fluidos é a parte da física que estuda o efeito das forças em fluidos. Os fluidos em equilíbrio estático são estudados pela hidroestática e os fluidos sujeitos a forças externas são estudados pela hidrodinâmica. Segundo Vilas-Boas (1997a), é importante o estudo do comportamento dos fluidos, que se escoam sobre corpos sólidos, para a compreensão do gesto técnico e das suas repercussões, quer na capacidade propulsiva, quer na intensidade da força de arrasto.

## **3.2 Os fluidos e as suas propriedades**

### **3.2.1 Fluido, Fluidéz e Fluxo**

Um fluido é uma substância que pode entrar em escoamento quando sujeito a forças externas, observando-se uma mudança contínua das partículas que o constituem (Marinho, 2007b).

Novais-Barbosa (1985) refere que um fluido poder-se-á definir como sendo um corpo que experimenta deformações que vão aumentando indefinidamente, quando submetidos a esforços tangenciais, por mais pequenos que sejam.

A fluidéz é a principal característica dos Fluidos e, consubstancia-se no facto dos fluidos apresentarem grandes deformações não elásticas, quando submetidos a forças externas de pequena intensidade; e é função da grande mobilidade das partículas que o constituem a substância em questão. Diz-se portanto, que um fluido o é porque escoar quando sujeito a forças externas. Nesta circunstância, o fluido apresenta um determinado padrão de movimento, que se designa por fluxo (Vilas Boas, 1997).

Os fluidos podem dividir-se em gases e líquidos e, na análise do comportamento destes, existe uma diferença importante, visto que os líquidos são difíceis de comprimir, enquanto que os gases podem ser comprimidos com facilidade (Massey, 2002). No entanto e devido às velocidades típicas de escoamento em natação, torna-se desprezável essa compressibilidade (Vilas Boas, 1997).

O mesmo autor refere que existem dois tipos de regime de escoamento de fluido: fluidos permanentes ou estáveis, quando apresentam uma velocidade constante em cada ponto, sendo um escoamento sem aceleração, no entanto, se o fluido apresenta uma aceleração positiva ou negativa é designado por fluido variado ou instável.

### 3.2.2 Massa volúmica, peso volúmico e densidade

A massa volúmica ou massa específica ( $\rho$ ) é a razão entre a massa ( $m$ ) de uma dada porção de substância e o volume ( $V$ ) por ela ocupado (Massey, 2002):

$$\rho = m/V$$

O produto da massa volúmica pela aceleração da gravidade designa-se por peso volúmico (Vilas Boas, 1997). Se a massa volúmica de um fluido permanece constante de um ponto para o outro trata-se de um fluido homogéneo, se aquela variar em pelo menos dois pontos diferentes, o fluido será heterogéneo.

A densidade relativa é a razão entre a massa volúmica da substância e uma massa volúmica padrão. O padrão adoptado pela comparação de massas volúmicas de líquidos é a água a 4°C, que assume o valor de 1000Kg m<sup>-3</sup>. Deste modo, considera-se que a densidade relativa da água, nas condições enunciadas, assume o valor unitário (Vilas Boas, 1997).

Os parâmetros que descrevem o comportamento e o estado de um fluido (como sejam a velocidade, massa volúmica, etc.) não são, em geral, constantes num dado conjunto de circunstâncias (Massey, 2002). O nadador pelos movimentos dos membros superiores e de membros inferiores, pode modificar temporariamente a densidade da água por meio de introdução de bolhas de ar em áreas localizadas próximas do corpo (Bixler, 2008).

### 3.2.3 Viscosidade

A viscosidade é uma propriedade do fluido e, por sua vez, a mecânica dos fluidos serve-se de dois modelos distintos: quando se consideram desprezáveis os efeitos da viscosidade – o fluido é designado de perfeito ou ideal; no entanto, quando aqueles são considerados, o fluido designa-se viscoso ou real (Vilas Boas, 1997).

### 3.2.4 Tipo de Escoamento

Pode-se considerar que existem dois tipos de escoamento do fluido: laminar e turbulento.

O escoamento laminar é aquele que se observa a velocidades baixas, no qual os elementos do fluido deslocam-se ordenadamente segundo linhas bem definidas. O outro tipo de escoamento denomina-se de turbulento, no qual os trajectos individuais das partículas deixam ser rectilíneos e passam a ser sinuosos, com oscilações e, aparentemente, até cruzamento dos filamentos, que se deslocam de uma maneira desordenada. O escoamento turbulento é assim caracterizado, pelo facto de existir uma infinidade de pequenos movimentos irregulares, em sobreposição ao movimento principal do fluido. Cada elemento do fluido segue uma trajectória errática, com componentes de movimento segundo as três direcções do espaço. Em geral, um fluido escoar-se laminarmente quando a velocidade média não é muito elevada e a superfície sobre a qual se escoar é lisa, sem evidenciar protuberâncias. Contudo, se a velocidade do fluido atingir valores superiores a um dado valor crítico, passa a escoar-se de forma turbulenta (Marinho, 2007).

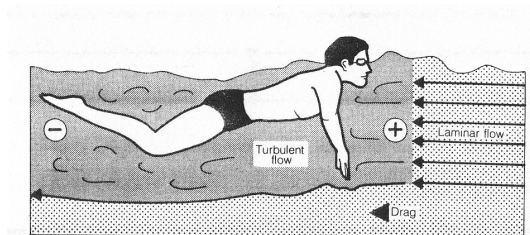


Figura 2 – Fluido laminar e turbulento em natação (adaptado de Costill et al, 1992)

## 4 Arrasto Hidrodinâmico

### 4.1 Introdução

O objectivo de um nadador de competição é nadar uma determinada distância no mínimo tempo possível. Com esse objectivo, o nadador deve conseguir atingir a sua velocidade máxima. Para atingir essa velocidade o nadador depende da sua habilidade técnica (a eficiência de propulsão do sujeito mais a capacidade de superar o arrasto (**D**)) e da sua eficiência geral. (Barbosa, 2005).

Segundo Counsilman (1967), a velocidade de nado, em dado momento, é o resultado da interacção entre a força de arrasto e a propulsão. Um nadador poderá incrementar a sua velocidade de deslocamento a partir de três estratégias: i) diminuindo a força de arrasto a que se encontra submetido; ii) aumentando a produção de força propulsiva ou, iii) realizando uma combinação das duas situações atrás descritas.

A resistência da água ou arrasto ( $D, N$ ) é definido como a força sobre um objecto em movimento num fluido devido à taxa de mudança da dinâmica dos fluidos, influenciada pelo objecto que se move através do fluido. O arrasto é a maior determinante no custo de energia do nado a uma velocidade especifica e é reflectido na seguinte equação:

$$C = (W_d / n_p) n_0^{-1}$$

onde o **C** representa a energia despendida para andar uma unidade de distância a uma determinada velocidade,  $n_p$  e  $n_0$  são a propulsão e a eficiência geral, repectivamente, e  $W_d$  é o trabalho despendido por unidade de distância para vencer a resistência hidrodinâmica. Assim a uma determinada velocidade:

$$D = W_d \text{ (J m}^{-1}\text{=N)} \text{ (Zamparo, 2009).}$$

Vilas-boas (2001) refere que, para que um nadador se desloque no meio aquático, é necessário que, a cada momento, produza uma força propulsiva de intensidade pelo menos igual à da força de arrasto hidrodinâmico.

Amar (1920) assume que a resistência está directamente relacionada com o quadrado da velocidade de nado, como demonstra a equação:

$$D=Kv^2$$

em que **D** diz respeito ao arrasto, **K** é uma constante, e **v** traduz a velocidade de nado.

O arrasto hidrodinâmico de um nadador pode ser calculado pela seguinte equação:

$$D = \frac{1}{2} * C_D * \rho * S * v^2$$

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 máxima do corpo transversal à direcção da força.

A secção transversal máxima  $S$  ao vector de  $D$  é um dos factores determinantes do arrasto hidrodinâmico que assume especial importância em biomecânica da natação, nomeadamente na correcção da técnica de nado.

No caso do arrasto hidrodinâmico,  $S$  corresponde na sua maioria à área de projecção do corpo, no seu plano transversal (figura 3).

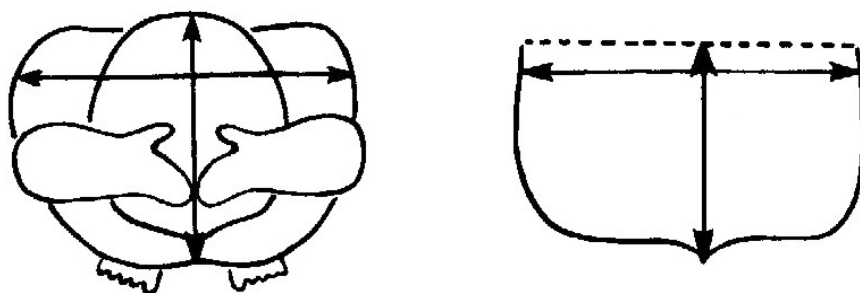


Figura 3 – Representação esquemática da área de secção máxima do nadador em deslize ventral, identificada no seu plano transversal em relação à direcção da aplicação de  $D$ , oposta à direcção de aplicação da força (adaptado de Clarys, 1979).

## 4.2 Factores que condicionam o arrasto hidrodinâmico

A intensidade da força de arrasto depende de um complexo de factores, tais como: (i) características físicas do meio aquático, (ii) as características morfológicas do sujeito, (iii) as características da técnica de nado e (iv) as características dos equipamentos desportivos (Vilas-Boas, 1996).

### 4.2.1 Características Morfológicas do Nadador

Kjendlie & Stallman (2008) referem que a força de arrasto em natação é influenciada pela área de superfície frontal, forma, tamanho e velocidade, aproximando-se das equações de resistência de pressão universais:

$$F_D = \frac{1}{2} * d * FSA * C_D * v^2$$

$$F_D = K * v^2$$

Onde  $F_D$  é a força de arrasto,  $d$  a densidade da água,  $FSA$  é a área de superfície frontal projectada e  $C_D$  é o coeficiente de arrasto (que varia mediante a forma, orientação e o número de Reynolds),  $v$  é a velocidade e  $K$  é uma constante do arrasto.

É importante salientar que a área de superfície frontal não é o único factor a ter em conta. A técnica de nado também influencia a força de arrasto: os movimentos laterais do corpo ou os movimentos excessivos de batimentos dos pés podem causar a redução da hidrodinâmica do corpo e aumentar por conseguinte a força de arrasto (Zamparo, 2009), e por acaso foi demonstrado que o treino efectivo diminui a resistência hidrodinâmica, até em nadadores de elite (Pendergast, 2005). Isto sucede porque os nadadores ocupam espaço a mais do que o necessário, provocando uma interrupção no fluxo de um elevado número de moléculas de água (Costill et al.1992).

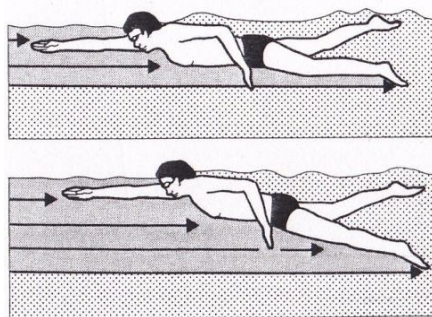


Figura 4 - O efeito do espaço dos objectos no arrasto hidrodinâmico (adaptado de Costill et al., 1992)

Nesta última figura, o nadador da imagem superior ocupa um menor espaço do que o nadador da imagem inferior pois todo o seu corpo encontra-se próximo da horizontal com a superfície da água. Assim, o nadador desloca um menor número de moléculas de água do que o nadador da imagem inferior, o qual apresenta um posição corporal oblíqua, com uma inclinação descendente desde a cabeça aos pés. Este último nadador, ao tentar manter a cabeça e os ombros elevados, gera uma pernada mais funda, aumenta ainda mais a inclinação do seu corpo e provoca uma maior força de arrasto. Com algumas excepções, os nadadores deveriam permanecer o mais horizontal possível quando se deslocam na água (Costill et al, 1992).

#### 4.2.2 Efeito da forma e do tamanho do corpo do nadador

Num estudo efectuado por Kjendlie et al. (2004a) verificou-se que o tamanho do corpo parece ser o factor mais importante na influência do custo energético em adultos e crianças. As diferenças no comprimento do corpo entre crianças e adultos reflectem-se na forte relação linear ( $r = 0,74$ ) entre este e o custo de nado.

Toussaint & Hollander (1994b) referem que o custo de nado está dependente da força de arrasto e da eficiência do impulso. Descobriu-se que a eficiência do impulso aumenta a sua magnitude, tendo em conta não só estudos empíricos (Toussaint et al. 1991), como também considerações teóricas (Toussaint & Beek 1992).

Vilas-Boas (1997) refere que quanto maior for o comprimento total do corpo menor será a força de arrasto hidrodinâmico, pelo que se deverá privilegiar as

posições alongadas na água, não só no deslize após partidas e viragens, como durante o nado propriamente dito.

#### **4.2.3 Características da Técnica de Nado**

Nas técnicas de nado torna-se difícil definir qual a melhor posição geral do corpo a adoptar (Marinho & Fernandes, 2003). Souto (2000) justifica esta dificuldade com o facto de o nadador assumir diferentes posições corporais durante as diferentes fases do ciclo gestual dos membros superiores. Estas diferenças são mais visíveis nas técnicas simultâneas e descontínuas (Mariposa e Bruços), do que nas técnicas alternadas e contínuas (Crol e Costas).

Nistri (1982) e Colwin (1992) referiam que ao longo da técnica global, a posição corporal deveria manter-se o mais próximo possível da posição hidrodinâmica fundamental, com vista à redução da força de arrasto hidrodinâmico, durante os momentos de aplicação de força e a propulsão daí resultante.

Colwin (1992) refere que a maioria dos nadadores de elite assume, naturalmente, alinhamentos corporais hidrodinâmicos, ou seja, o mais horizontal possível, de modo a que apresente uma pequena superfície frontal de contacto com a água, reduzindo assim o arrasto hidrodinâmico.

Para Maglisho (1993), para que o nadador preserve um correcto alinhamento lateral, é necessário aproximar as acções propulsivas do eixo longitudinal de deslocamento, o que é facilmente conseguido através da rotação ao longo do eixo longitudinal. Por exemplo, em crol e costas, a água flui suavemente pelo corpo com pequenas alterações relativamente às linhas de curvatura do corpo do nadador. Isto reduz a força de arrasto porque a acção de rotação faz com que uma menor área de secção transversa do corpo esteja em contacto com a água (Colwin, 1992). Ainda para o mesmo autor, uma baixa ondulação e esteiras com pouca amplitude que se criam à volta do nadador são indicadores de uma “boa hidrodinâmica”. O oposto é caracterizado por um desperdiçar de energia, movimentação forte e por uma massa de água confusa e turbulenta.

### **4.3 Arrasto de pressão, arrasto de onda e arrasto de fricção**

Segundo Zamparo (2009), o arrasto hidrodinâmico tem três componentes: Arrasto de Fricção (Df), Arrasto de Pressão ou de Forma (Dpr) e Arrasto de Onda (Dw).

#### **4.3.1 Arrasto de Pressão**

De acordo com Sanders et al. (2001), um fluido que passa ao longo do corpo de um nadador pode separar-se num certo ponto dependendo da forma, tamanho e velocidade do nadador. Este ponto designa-se por ponto de separação e poderá dar origem a uma esteira (Clarys J. , 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), o arrasto de pressão de um corpo é proporcional ao quadrado da velocidade do fluido, tornando-se cada vez mais importante à medida que a velocidade de nado aumenta.

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 pressão decorrentes de alterações súbitas de forma: cintura escapular, região glútea, etc.

Toussaint (2006) define o arrasto de pressão com uma maior complexidade, sendo resultante da distorção, do fluido na parte externa da camada limite. Para além do ponto de separação ou de inflexão como também é designado, o fluxo inverte enrolando-se em turbilhões (vórtice). O arrasto de pressão é causado pelo diferencial de pressão entre a frente e a retaguarda do nadador e é proporcional à velocidade de nado, à densidade da água e à área de secção transversal do nadador (Novais, et al., 2009), bem como da posição que o nadador adopta na água.

### 4.3.2 Arrasto de Onda

O corpo do nadador, ao deslocar-se na superfície da 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 pressão (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).

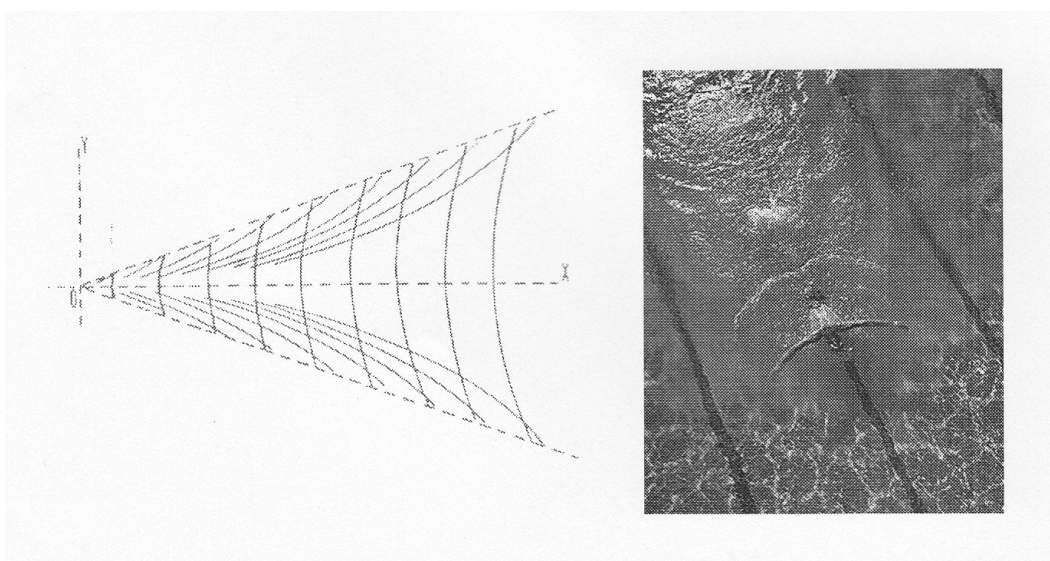


Figura 5 : Sistema de ondas formado por um ponto de pressão em movimento (adaptado de Clarys, 1979).

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).

O arrasto pela produção de ondas de um nadador está dependente do número de Froude ( $Fr$ ), ou seja, da razão entre a velocidade do nadador e a de uma onda com o comprimento idêntico ao do nadador, sendo determinado pela

$v$ , pelo comprimento do nadador e pela aceleração da gravidade (Toussain & Beek, 1992; Vogel, 1996), que se traduz pela seguinte equação:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Onde  $v$  é a velocidade do nadador,  $g$  a aceleração da gravidade ( $g = 9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e  $L$  o comprimento do nadador.

Toussaint et al. (2002c) conclui que o aumento da velocidade provoca como consequência o aumento da onda, o que indica que esta forma de arrasto não deva ser negligenciada pois terá um contributo determinante no somatório das forças de arrasto.

Vários esforços têm sido feitos para quantificar o arrasto de onda nos nadadores. Vorontsov e Romyantsev (2000) sugerem que 5% do arrasto se deve à formação de ondas a uma velocidade de  $2.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Toussaint et al. (2002c), usando o MAD-system, estimou que o arrasto de onda tem uma grande contribuição para o arrasto total, cerca de 21% para uma velocidade de  $1.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Já Wilson & Thorp (2003) estimaram que o arrasto de onda contribui entre 10% a 20% para o arrasto activo total a uma velocidade igual a  $1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e entre 35% a 45% a uma velocidade de  $2.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

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

#### 4.3.3 Arrasto de Fricção

Clarys (1979) refere que 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.

Costill et al. (1992) e Maglischo (1993) referem que esta componente do arrasto hidrodinâmico – arrasto de fricção é o resultado da fricção entre a pele dos nadadores e a água, fazendo com que transportem algumas moléculas de água com eles, colidindo com outras imediatamente à sua frente. Estas moléculas vão-se acumulando em correntes adjacentes causando um cada vez mais vasto padrão de turbulência, que aumenta o arrasto hidrodinâmico total. Para os mesmos autores existem três factores principais que influenciam directamente a quantidade de arrasto de fricção, são eles: a área de superfície, a velocidade e a rugosidade da superfície corporal.

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

## **5 Força de arrasto activo e força de arrasto passivo**

Enquanto o nadador nada, o corpo nunca está numa posição fixa, já que é necessário criar algumas forças propulsivas. Foi conjecturado que o movimento necessário para criar propulsão podia induzir resistência adicional. Assim, arrasto activo é a resistência que o nadador sente quando se encontra a nadar. Arrasto passivo é a resistência que o nadador sente quando não mexe nem os membros superiores nem os membros inferiores (Mcintyre, 2003).

### **5.1 Arrasto Activo**

Segundo Kolmogorov et. al (1997), o arrasto activo é a resistência da água associada com o movimento do nado.

Zamparo (2009) refere que a determinação do arrasto durante o nado ( $D_a$ - Arrasto Activo), é a chave para a avaliação da performance do nadador.

Toussaint et al. (2004), referiu que os movimentos necessários para gerar força propulsiva poderiam induzir uma força de arrasto adicional, pois durante o nado, o corpo nunca se encontra numa posição estável de pronação, desde que são geradas forças propulsivas. Assim, uma dos parâmetros mais importantes no conhecimento do nado hidrodinâmico é a determinação/cálculo da força de arrasto corporal durante o nado efectivo.

### 5.1.1 Métodos de avaliação de Arrasto Activo

Nos anos 70, foram desenvolvidas por vários grupos, técnicas para determinar o arrasto activo, ou seja, enquanto um nadador se encontra activamente a nadar, e uma característica comum entre todos os métodos desenvolvidos foi a avaliação por técnicas de extrapolação (Toussaint, 2004).

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

Este método baseia-se no método desenvolvido por Webb (1971) para a determinação da força de arrasto a que se sujeitam os peixes, nomeadamente a truta. Através deste método procura-se determinar o  $F_D$  considerando que, sendo **V** constante, o custo energético varia na razão directa da força de arrasto hidrodinâmico que o nadador tem de vencer.

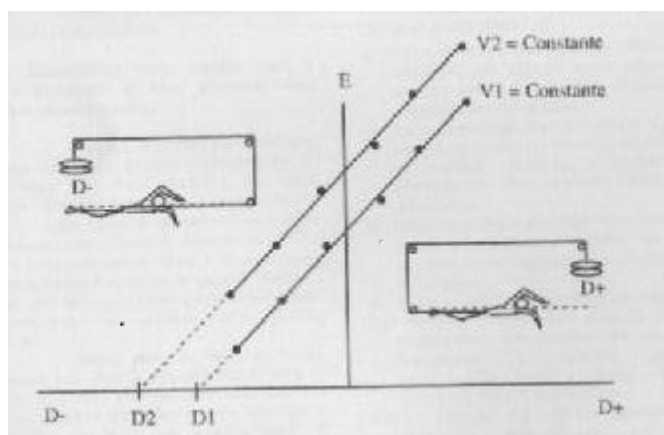


Figura 6: Representação esquemática do método proposto por di Prampero *et al.* (1974), para a determinação do arrasto activo (D). D+ e D- são cargas adicionais acopladas ao nadador, respectivamente resistivas e propulsivas. V1 e V2 são duas velocidades de nado diferentes e mantidas constantes, sendo D1 e D2, respectivamente, as intensidades do arrasto hidrodinâmico activo calculado para as referidas velocidades V1 e V2. E constitui uma medida do dispêndio energético líquido total, estimado através do consumo de oxigénio líquido determinado para velocidades de nado V1 e V2 submáximas.

O nadador realizava percursos sucessivos de nado a uma determinada velocidade sustentando cargas adicionais (D+), ou sendo auxiliado por cargas propulsivas (D-). Em qualquer das situações foi avaliado o consumo de O<sub>2</sub> para além dos valores basais, tendo ainda procurado complementar a correcção da avaliação de **E** (consumo energético líquido) através da determinação do equivalente energético, da lactatemia líquida que tivesse sido consequência do exercício (Vilas-Boas, 1993; Vilas-Boas e Santos, 1994).

Hollander et al. (1986) desenvolveram uma forma de medir o arrasto activo (MAD-system). Esta técnica assentava na medição directa da força durante a braçada, durante o nado no Crol. O MAD-system foi realizado numa piscina de 25m e permite ao nadador puxar umas palas que se encontram fixas, numa pista de 22m. A distância entre as palas pode ser ajustada (normalmente 1,35m). A calha é montada  $\pm 0,8m$  abaixo da superfície da água. A calha está ligada a um medidor de forças que permite a saber a força real realizada em cada braçada. Os sujeitos apenas usaram para o nado os membros superiores, sendo que os membros inferiores flutuavam com a ajuda de um pequeno pull-boy.. O nadador é instruído a nadar a uma velocidade constante. Assim sendo, a uma velocidade constante de nado, a média da força de propulsão é igual à média da força de arrasto (Hollander et al., 1986).

Tendo em conta os inúmeros fenómenos que ocorrem durante o nado, este novo método apresentou-se como o mais pertinente, para a época, uma vez que consistia em medir as forças e coeficientes de arrasto em condições de nado reais (Hollander et al., 1986).

Segundo Vilas-Boas (1993), este método apresenta algumas limitações na medida em que apenas permite a determinação da força de arrasto activo para a técnica de crol executada apenas com os membros superiores. Numa situação de nado ideal, a mão não se desloca ( $v=0 \text{ m.s}^{-1}$ ), é a contração dos grupos musculares da cintura escapular que fazem deslocar o corpo do nadador na direcção pretendida. Neste sistema não existe interacção entre a mão e o fluido circundante, ao passo que em situação real a mão interacciona com o fluido e a sua velocidade de deslocamento aumenta progressivamente.

Mais tarde, Kolmogorov e Duplisheva desenharam outro método para determinar o arrasto activo (Kolmogorov e Duplisheva, 1992). O método de perturbação de velocidade (VPM) ou método de baixas perturbações. Consiste num sujeito a nadar um percurso de 30 m, duas vezes à máxima velocidade: uma vez o nadador nada livremente; e uma segunda vez, amarrado a um objecto hidrodinâmico que cria uma determinada resistência. Depois em função da velocidade de cada percurso é calculado o arrasto.

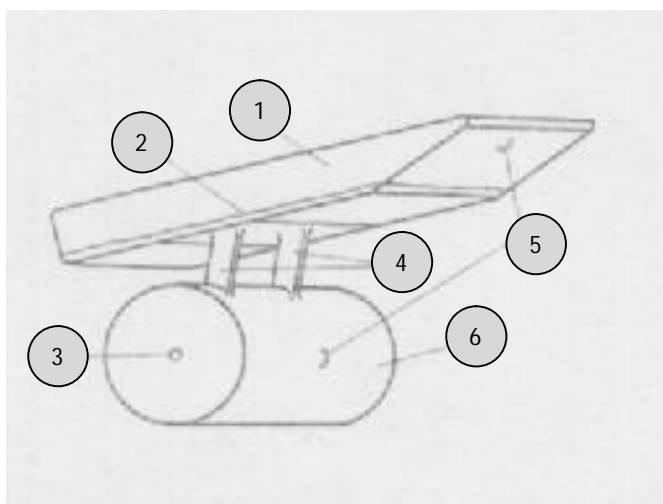


Figura 7 – Representação do corpo hidrodinâmico usado no VPM. 1-Porção flutuante; 2-linha de água; 3-orifício de enchimento; 4-suporte do cilindro; 5-locais de ancoragem do cabo; 6-cilindro hidrodinâmico (adaptado de Vilas-Boas *et al.*, 2001)

Ao contrário das técnicas de interpolação e do MAD-system que exigiam procedimentos experimentais complicados e dispendiosos, o método da perturbação da velocidade apenas requer o uso de um corpo hidrodinâmico e de um cronómetro para avaliar a força de arrasto activo. Para além disso, esta abordagem pode ser aplicada para calcular a força de arrasto activo nas quatro técnicas de nado. Os outros métodos apenas permitem ser aplicados à técnica de nado de crol, apresentando o nadador algumas limitações de nado, uma vez que os membros inferiores não eram tidos em conta, encontrando-se suspensos por um pull-boy (Marinho, et al., 2010).

Estes dois métodos foram usados mais tarde por Toussaint et al. (2004), em que avaliaram as diferenças na força de arrasto activo medido com o MAD-system e o método VPM. Neste estudo concluíram que existem diferenças significativas entre os valores apresentados para o arrasto, mas isto não significava que os dois métodos medissem diferentes fenómenos. As diferenças encontradas nos resultados observados poderiam ser explicados pela violação dos pressupostos do teste, nomeadamente, devido a uma desigual potência mecânica no nado “livre” relativamente ao nado com o corpo hidrodinâmico acoplado no método VPM.

Uma comparação dos dois métodos descritos anteriormente sugere que os resultados de arrasto são idênticos desde que o pressuposto de potência mecânica igual seja respeitado no método VPM (Toussaint et al., 2004).

## **5.2 Arrasto passivo**

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

A avaliação do arrasto produzido durante o deslocamento de um corpo rebocado, sem movimento relativo dos segmentos corporais no meio aquático, reporta-se há mais de um século (Pendergast, et al., 2006) e é designado por arrasto passivo.

Na natação existem alguns momentos que o corpo do nadador permanece sem alterações, nomeadamente no deslize. Após as partidas e

viragens o deslize (arrasto passivo) pode desempenhar um importante papel sobre o rendimento final numa prova de natação, tendo este sido alvo de diversos estudos experimentais (Lyttle et al, 1998; Lyttle et al, 2000; Ugolkova, 1999; Goya et al., 2002).

Guimarães e Hay (1985) referem que, por exemplo, é essencial minimizar o arrasto hidrodinâmico durante o deslize. O nadador deve adoptar a melhor posição hidrodinâmica possível.

### **5.2.1 Métodos de avaliação do arrasto passivo**

No início do século XX, Duboi-Reymond (1905) rebocou nadadores por um cabo preso a um barco deslocado a remos, medindo a força de arrasto ao deslocamento com um dinamómetro.

Karpovich (1933) usou um “natograph” para registar a dependência do arrasto relativamente à velocidade de deslocamento. Tanto Amar (1920) e Karpovich (1933) usaram técnicas de medição para determinar a resistência dos nadadores enquanto se deslocavam passivamente sobre a água. A relação entre a resistência (N) e a velocidade ( $\text{ms}^{-1}$ ) baseado nas suas experiências foi de aproximadamente  $D = 29v^2$ .

No corpo humano, completamente submerso a 0.6m e em reboque passivo, para uma amplitude de velocidades entre 1.5m e 1.9m, Jiskoot & Clarys (1975) encontraram uma variação inversa do coeficiente de arrasto  $C_D$  com a velocidade, sendo estes valores calculados a partir de  $D$  e das dimensões corporais médias da amostra reportadas em Clarys (1978). Os valores de  $C_D$  oscilaram entre os 0.95 e 1.0 com um declive na regressão com a velocidade de -0.17, valor este muito próximo do que foi encontrado em Lyttle et al. (1999) de 0.16, ao calcular o  $C_D$  a partir de valores do arrasto passivo ( $F_D$ ), reportados para nadadores em reboque passivo, a uma profundidade igualmente de 0.6m. O carácter regressivo de  $C_D$  com o aumento da velocidade de deslocamento parece corresponder ao que ocorre em situação experimental.

No presente, os estudos das forças de arrasto passivo são bem mais elaborados e complexos. Benjanuvatra et al. (2002) comparam a flutuabilidade, durante o arrasto passivo e activo, em função de dois fatos de banho de natureza distinta. Um calção de banho tradicional e um fato completo de natação da Speedo® designado “FastSkin™”

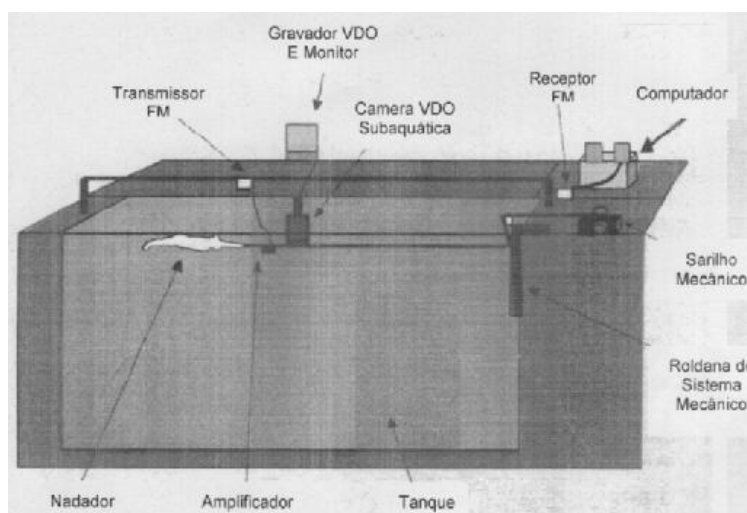


Figura 8 – O sistema de reboque e a determinação do arrasto.

Recorrendo a um Set-up experimental (figura 8), o arrasto passivo foi medido a diferentes velocidades e profundidades, recorrendo a uma amostra de nove nadadores de nível nacional dos campeonatos australianos.

O protocolo exigia que os nadadores assumissem uma posição estática de pronação com os membros superiores estendidos no prolongamento dos ombros, seguida de uma expiração máxima. Este procedimento foi repetido cinco vezes para os dois modelos de fato de banho, para velocidades de 1.6, 2.2 e 2.8 m.s<sup>-1</sup>, e para uma profundidade a 0.4 m da superfície e à superfície, tendo apenas sido registado a média dos dois últimos ensaios.

Os resultados obtidos indicaram que o arrasto hidrodinâmico é superior para o fato tradicional quando comparado com o FastSkin™, bem como, nos deslizes realizados a 0.4 m abaixo da superfície. Este estudo demonstrou que o FastSkin™ revela ser, para toda as velocidades e profundidades, uma ajuda no decréscimo do arrasto passivo.

Marinho et al. (2009), no seu estudo em que o objectivo principal foi analisar o efeito no coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) de duas posições ventrais distintas durante a fase subaquática no nado, aplicando a dinâmica computacional de fluidos. Na análise e discussão dos resultados obtidos, conclui-se que a relação inversa entre o coeficiente de arrasto e a velocidade encontrada no estudo parece corresponder ao experimentado em situações em que o corpo humano se encontra totalmente submerso. Ainda concluiu que a posição de deslize com os braços estendidos à frente é a que apresenta um  $C_d$  menor, sendo que a posição de deslize com os membros superiores ao longo do tronco apresenta um  $C_d$  maior.

Esta variação inversa do  $C_d$  com a velocidade não foi só verificada no estudo de Clarys e Jiskoot (1975), mas também se verificou no estudo de Chatard et al. (1990a), onde puderam constatar que, para valores idênticos da superfície corporal, o arrasto passivo relaciona-se inversa e significativamente com o rendimento em natação.

Podemos referir que o desempenho na natação parece estar associado às diferenças de arrasto passivo entre os indivíduos, explicando assim as diferentes capacidades durante as fases de deslize na natação (Chatard et al. 1990a,b).

Chatard e Wilson (2003) estudaram o efeito da distância de fila entre nadadores seguindo em fila, sobre as respostas metabólicas e hidrodinâmicas do nadador colocado directamente atrás. As distâncias avaliadas foram: 0, 0.5, 1.0 e 1.5 m. A força de arrasto hidrodinâmico foi explorado a partir de uma situação de reboque passivo. Foram encontradas reduções de 20 a 21% para as distâncias entre 0 e 0.5 m, as mais vantajosas para o nadador sujeito ao efeito de sucção. À medida que a distância aumentou, o valor do  $C_d$  do segundo nadador aproximou-se do primeiro.

Num estudo de Zamparo (2009), os nadadores foram rebocados passivamente a uma velocidade de 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6 e 1.8  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , na superfície da água, numa piscina de 25 m, tendo adoptado uma posição de pronação com os braços completamente flectidos pelos ombros e estendidos pelos cotovelos e pulsos. Os nadadores mantiveram os membros superiores

em contacto com a cabeça (colocando uma mão sobre a outra com os braços estendidos à frente), os pés unidos e em flexão plantar e deveriam efectuar uma inspiração completa e sustentar a respiração. Os valores do arrasto passivo encontrados apresentaram uma consistência admirável mesmo em condições experimentais.

## 6 Área de Superfície Frontal

A área de superfície frontal tem um papel fundamental na determinação da resistência hidrodinâmica, para compreender/melhorar a performance na natação (Zamparo, 2009).

Cappaert (1998) refere que a área de superfície frontal tem sido considerada constante durante o nado e assim facilmente derivada de equações matemáticas. No entanto, tem sido demonstrado através de medições da rotação da anca e do ombro, bem como da baixa oscilação lateral do corpo, que os nadadores de elite têm uma elevada posição corporal quando comparados com os nadadores medianos.

O mesmo Cappaert, em 1998, realizou um estudo que visava a medição da área de superfície frontal durante o nado de crol e compará-lo para calcular valores da área de superfície frontal. A amostra do estudo era constituída por 26 nadadores (15 homens e 11 mulheres), qualificados para os “1996 U.S. Swimming Olympic Trials”. Para a medição da área de Superfície frontal durante um ciclo de braçada de crol foi digitalizado a linha de fora apenas do tronco (TRONCO), e secundariamente, a linha de fora da cabeça, tronco, braços e pernas (CORPO). Cada área foi calibrada com base no movimento dentro da calibração do espaço e a medição da área de superfície frontal do Tronco e Corpo foi medida durante todo o ciclo de braçada. A área de superfície frontal ( $A$ ) também foi calculada usando dois métodos adicionais:

1 Clarys (1979); (CLARYS):

$$A = (6,9256 \times \text{peso}) + (3,5043 \times \text{altura}) - 377,156$$

2 Kolmogorov & Duplishcheva (1992); ( $VOLUME^{2/3}$ ):

$$A = (\text{volume do corpo humano})^{2/3}$$

Nas conclusões do seu estudo, o autor refere que os vários métodos utilizados para calcular a área de superfície frontal na natação são significativamente correlacionadas umas com as outras, mas também significativamente diferentes entre elas, no que diz respeito às médias. Para as mulheres, todos os métodos correlacionaram-se significativamente, à excepção do TRONCO, que não se correlacionou com os resultados de qualquer outro método. Também nas mulheres, todos os métodos foram significativamente diferentes uns dos outros à excepção dos métodos do TRONCO e do CLARYS. Os diferentes valores da área de superfície frontal podem ter um grande impacto em futuros cálculos do arrasto. As diferenças do Cd que são demonstradas na literatura da natação podem ser parcialmente explicadas por esta variação de métodos de cálculo da área de superfície frontal. O autor refere ainda que é difícil avaliar a quantidade real da área de superfície frontal, que cria o arrasto durante o nado do nadador na técnica de crol, logo será difícil recomendar um método para calcular a área de superfície frontal. No entanto, não recomenda o cálculo através do  $VOLUME^{2/3}$ , durante o nado de crol, já que os valores apresentados estariam bem acima do máximo medido na área de superfície frontal (CORPO).

Zamparo (2009) realizou um estudo em que o objectivo principal era investigar o papel da inclinação do tronco e da área de superfície frontal, na determinação do arrasto passivo/activo. Neste mesmo estudo, para calcular a área de superfície frontal ( $A_{eff}$ , m<sup>2</sup>), usou o método proposto por Mollendorf et al. (2004), usando a seguinte equação:

$$A_{eff} = A_f \cos \alpha - (BSA/2) \sin \alpha$$

Onde  $A_f$  é a área de superfície frontal quando o nadador se encontra na horizontal ( $\alpha = 0$ ) e BSA é a área de superfície do corpo.

O grupo A composto apenas por 6 nadadores de elite dos Estados Unidos, tinham que nadar: (1) apenas “batendo as pernas” (L) a velocidades de 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 e 1.0 m.s<sup>-1</sup>; (2) em crol (AL) a velocidades de 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4 m.s<sup>-1</sup>.

O grupo B composto por 25 sujeitos (14 homens e 11 mulheres) tinham que nadar na técnica de crol a quatro velocidades distintas (de 1.0 m.s<sup>-1</sup> a 1.6 m.s<sup>-1</sup>). Foi também referido que tinham de começar sem mergulho da plataforma de partidas e tinham de manter a velocidade sempre constante. A velocidade real foi calculada através de um cronómetro que media o tempo que demoravam a fazer 10 m ( entre os 10 m e os 20 m iniciais).

Nas suas conclusões refere que o corpo humano muda de forma com o aumento da velocidade de nado; esta alteração de forma deve-se principalmente à alteração da área de superfície frontal do nadador; não existe variação do coeficiente de arrasto em função da velocidade. Estas descobertas suportam portanto a hipótese que a variabilidade do rácio  $D/v^2$  é essencialmente devido a variabilidade das posições do corpo na água. Ainda neste estudo refere que a área de projecção frontal é menor durante a medição do arrasto passivo do que durante o nado, o que sugere que o arrasto activo deverá ser maior do que o arrasto passivo.

## 7 Conclusões

Deste estudo é possível concluir três aspectos essenciais:

1. Para que exista um melhor desempenho por parte do nadador, terá que ser potenciada a força propulsiva, e, ao mesmo tempo, minimizando a força de arrasto. Este equilíbrio permite ao nadador atingir maiores velocidades de nado, obtendo desta forma uma melhor performance.
2. A intensidade da força de arrasto depende de alguns factores, dos quais é possível realçar a técnica de nado e as características morfológicas do sujeito. A área de superfície frontal surge como principal característica morfológica do sujeito, tendo um papel preponderante na determinação da intensidade da força de arrasto, com influências distintas nos dois tipos de arrasto: passivo e activo.
3. Na realização deste estudo torna-se óbvio que é cada vez mais comum estudar-se as questões relacionadas com o arrasto, tanto passivo, como activo. No entanto, talvez se verifique a necessidade de maior reflexão por parte dos investigadores no que diz respeito às questões mais directamente relacionadas com o arrasto activo. Estudos recentes assentam em métodos computacionais, o que reflecte uma nova tendência na investigação científica e que são, sem dúvida, uma mais valia, no estudo desta área da Natação, contudo, parecem ser ainda insuficientes.

## 8 Bibliografia

- Amar, J. (1920). *The Human Motor*. London: G. Routledge & Sons, Ltd.
- Barbosa, T. M., & Vilas-Boas, J. P. (2000). Estudo de diversos conceitos de eficiência da locomoção humana no meio aquático. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto* , 337-349.
- Barbosa, T., & Vilas-Boas, J. (2005). Estudo dos diversos conceitos de eficiência da locomoção humana no meio aquático. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto* , 337,349.
- Benjanuvatra, N., Dawson, G., Blanksby, B., & Elliot, B. (2002). Comparioson of buoyoncy, passive and net active drag forces between Fastskin™ and standard swimsuits. *Journal of Science and Medicine in Sport* 5 , 115-123.
- Billat, V. (1998). *Physiologie et méthodologie de l'entrainement*. Paris: De Boek Université Amsterdam.
- Bixler, B. (2008). *Natação: Manual de Medicina e Ciência do Esporte*. São Paulo, Brasil: Editora Manole.
- Cappaert, J., & Gordon, B. (1998). Frontal surface area measurements in national calibre swimmers. *Sports Engineering*, 1 , 51-55.
- Cavanagh, P., & Kram, R. (1985). The efficiency of human movement - a statement of the problem. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17 , 304-308.
- Chatard, J., & Wilson, B. (2003). Drafting distance in swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise* , 1176-1181.
- Chatard, J., Bourgoïn, B., & Lacour, J. (1990b). Passive drag is still a good evaluetor of swimming aptitude. *European Journal Applied Physiology*, 59 , 399-404.
- Chollet, D. (2003). *Natación deportiva*. Barcelona: INDE Publicaciones.
- Clarys, J. (1978). An experimental investigation of the application of fundamental hydrodynamics to the human body. In B. Erikson, & Furberg, *Swimming and Medicine IV* (pp. 386-394). Baltimore: University Park Press.
- Clarys, J. (1979). Human Morphology and Hydrodynamics. In J. T. Bedingfield, *Swimming III* (pp. 3-41). Baltimore: University Park Press.
- Colwin, C. (1992). *Swimming into 21 st Century*. Champaign, Illinois: Leisure Press.
- Costill, D., Maglisho, E., & Richardson, A. (1992). *Swimming: Handbook of Sports Medicine and Science*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Counsilman, J. (1967). *The science of swimming*. New York: Prentice Hall: Englewood cliffs.

- Craig, A. (Feb-Apr de 1984). The basics of swimming. *Swim Tech* , pp. 22-27.
- di Prampero, P., Pendergast, D., Wilson, D., & Rennie, D. (1974). Energetics of swimming in man. *Journal of Applied Physiology*, 37 , 1-5.
- Dubois-Reymond, R. (1905). Zum Physiologie des schwimmens. *Archive fur anatomie und phsysiologie* , 252-279.
- Goya, T., Sugiura, K., Matsui, A., Hideki, T., Oghi, Y., Tsurunime, O., et al. (2002). *Forces and image analysis on gliding motion for beginning and competitive swimmers*. Saint-Etienne, France: Book of abstrats of the Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming.
- Guimarães, A., & Hay, J. (1985). A mechanical analysis of the grab starting tecnhique in swimming. *J. of Sports Biomechanics* , 25-35.
- Hollander, A., de Groot, G., van Ingen Schenau, G., Toussaint, H., de Best, H., Peeters, W., et al. (1986). Measurement of active drag forces during swimming. *Journal of Sports Sciences* , 21-30.
- Hólmer, & I. (1983). Energetics and mechanical work in swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming* , 154-164.
- Jiskoot, J., & Clarys, J. (1975). Body resistance on and under the water surface. In J. Lewillie L. & Clarys, *Swimming II* (pp. 105-109). Baltimore: University Park Press.
- Karpovich, P. (1933). Water resistance in swimming. *Research Quaterly* , 21-28.
- Kemper, H., Verschuur, R., Clarys, J., Jjiskoot, J., & Rijken, H. (1976). Efficiency in swimming in front crawl. In K. PV, *Biomechanics V-B* (pp. 243-249). Baltimore: University Park Press.
- Kjendlie, P., & Stallman, R. (2008). Drag characteristics of competitive swimming children and adults. *Journal of Applied Biomechanics* , 35-42.
- Kjendlie, P., Ingjer, F., Stallman, R., & Stray-Gundersen, J. (2004a). Factors afectting swimming economy in children and adults. *European Journal od Applied Physiology* , 65-74.
- Kolmogorov, S., & Duplisheva, O. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in diferent swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics* , 311-318.
- Kolmogorov, S., Rummyantseva, O., Gordon, B., & Cappaert, J. (1997). Hydrodynamic characteristics of comptitive swimmers of different genders and performance levels. *Journal os Applied Biomachanics* , 311-318.
- Lyttle, A. B., Elliot, B., & Lloyd, D. (2000). Net forces during tetherred simulation of underwater streamline gliding and kicking techniques of the freestyle turn. *Journal of Sports Sciences*, 18 , 801-807.
- Lyttle, A. B., Elliot, B., & Lloyd, D. (1998). The effect of depth and velocity on drag during the streamline glide. *Journal of Swimming Research* 13 , 15-22.

- Lyttle, A., Blanksby, B., Elliot, B., & Lloyd, D. (1999). Optimal depth for streamline gliding. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* , 165-170.
- Maglisho, E. (1993). *Swimming Even Faster*. California: Mayfield Publishing Company.
- Maglisho, E. (2003). *Swimming Fastest. The essencial reference on technique, training and program design*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.
- Marinho, D., & Fernandes, R. (2003). A posição corporal nas técnicas alternadas em natação pura desportiva. *Revista Digital* , nº63.
- Marinho, D., Barbosa, T., Costa, M., Figueiredo, C., Reis, V., Silva, A., et al. (2010). Can 8-weeks of trainnig affect active drag in yong swimmers? *Journal of Sports Science & Medicine* , 71-78.
- Marinho, D., Reis, V., Alves, F., Vilas-Boas, J., Machado, L., Silva, A., et al. (2009). The hydrodynamic drag during the gliding in swimming. *Journal of applied Biomechanics*, 25 , 253-257.
- Marinho, D., Reis, V., Sousa, L., Leal, L., Alves, F., Vilas-Boas, J., et al. (2007b). *O arrasto hidrodinâmico durante o deslize em natação*. Évora: Actas: 2º Encontro Nacional de Biomecânica.
- Marinho, R. A.-B. (2007). *Modelos Propulsivos: Novas teorias Velhas Polémicas*. Vila Real: Minfo Gráfica.
- Massey, B. (2002). *Mecânica dos Fluidos*. Lisboa: Fundação Calouste Golbenkian.
- Mcintyre, E. (2003). Velocity Profile in Streamline Simming: Drag Quantification. *Summer Bioengineering Conference*, (pp. 971-972). Florida.
- Mollendorf, J., Termin, A., Oppenheim, E., & Pendergast, D. (2004). Effect of swim suit design on passive drag. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36 , 6: 1029-1035.
- Nigg, B. (1983). Selected methodology in biomechanics with respect to swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming* , 72-80.
- Nistri, M. (1983). Resistenza frontal e forma del corpo. *La tecnica del Nuoto*. 4-7.
- Novais, L., Marinho, D., Sousa, L., Leal, L., Reis, V., Barbosa, T., et al. (2009). A análise do arrasto de forma e de fricção durante o deslize em natação. *3º Congresso Nacional de Biomecânica*. Bragança.
- Novais-Barbosa, J. (1985). *Mecânica dos Fluidos e Hidráulica geral Vol. 1*. Porto: Porto Editora.
- Pendergast, D., Capelli, C., Craig Jr., A., di Prampero, P., Minetti, A., Mollendorf, J., et al. (2006). Biophysics in swimming. . *Biomechanics and Medicine in Swimming. Revista Portugues de Ciências do Desporto.* , 185-189.
- Pendergast, D., Di Prampero, P., Craig, A., & Rennie, D. (1978). The influence of some selected biomechanical factors on the energy cost of swimming. *Swimming Medicine IV* , 367-378.

- Pendergast, D., Mollendorf, J., Zamparo, P., Termin, A. 2., Bushnell, D., & Paschke, D. (2005). The influence of drag on human locomotion in water. *Undersea Hyperb* , 45-58.
- Platanov, V. N., & Fessenko, S. L. (2004). *Sistema de Treinamento dos Melhores Nadadores do Mundo*. São Paulo: Zamboni Books e Editora Sprint.
- Rodriguez, F. (1999). Cardiorespiratory and metabolic field testing in swimming and water polo: from physiological concepts to practical methods. *Biomechanics and Medicine in Swimming* , 219-226.
- Sanders, R., Rushall, B., Toussaint, H. M., Stager, J., & TaKagi, H. (2001). Bodysuit yourself: but first think about it. *Journal of Turbulence*: , [Http://www.iop./journals/s/3/138/jot/estra/20.d](http://www.iop./journals/s/3/138/jot/estra/20.d).
- Souto, S. (2000). *Análise Cinemática TRidimensional da Técnica de Crol. Caracterização do padrão de execução motora em momentos distintos de fadiga. Monografia de Licenciatura na área do desporto de rendimento - Natação*. Porto: FCDEF-UP.
- Toussaint, H. (1990b). Differences in properlling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22 , 409-415.
- Toussaint, H. (1992). Performance determining factors in front crawl swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming VI* , 13-32.
- Toussaint, H. (2006). Technology applied to optimize training for improvement of front-crawl swimming performance. *Biomechanics and Medicine in Swimming. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto* , 201-210; 279-282.
- Toussaint, H., & Beek, P. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine* , 8-24.
- Toussaint, H., & Hollander, A. (1994b). Energetics of competitive swimming: implications for training programmes. *Sports Medicine* , 384-405.
- Toussaint, H., & Hollander, A. (1994a). Mechanics and energetics of front crawl swimming. *Medicine and science in aquatic sports* , 107-116.
- Toussaint, H., Janssen, T., & Kluft, M. (1991). Effects of properlling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming. *Journal of Biomechanics* , 205-211.
- Toussaint, H., Knops, W., de Groot, G., & Hollander, A. (1990a). The mechanical efficiency of crawl swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22 , 402-408.
- Toussaint, H., Roos, P., & Kolmogorov, S. (2004). The determination of drag in front crawl swimming. *Journal of Biomechanics* , 1655-1663.
- Toussaint, H., Truijen, M., Elzinga, M., Van der ven, A., de Best, H., Snabel, B., et al. (2002a). Effect of a fast-skint body suit on drag during front crawl swimming. *Sports Biomechanics Vol. 1* , 1-10.

- Toussaint, H., van Stralen, M., & Stevens, E. (2006). Wave drag in front crawl swimming performance. *Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports. Universidade de Extremadura, Spain.* , 279-282.
- Ugolokova, I. (1999). Biomechanical analyses of interaction between swimmer and water during take off and gliding. *4th Congress of the European College os Sports Science*, (pp. 37-52). Rome.
- Vilas Boas, J. (1997). Bases Mecânicas da Natação. In R. Fernandes, J. Santos Silva, & J. P. Vilas-Boas, *Natação: vivências específicas e conhecimentos teóricos básicos. Colectânea de Textos* (pp. 281-352). Porto: AE da FCDEF-UP.
- Vilas Boas, J., Fernandes, R., & Kolmogorov, S. (2001). Arrasto hidrodinâmico activo e potência mecânica máxima em nadadores. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto* .
- Vilas-Boas, J. P. (2000). Aproximação biofísica ao desempenho e ao treino de nadadores. *Revista Paulista de Educação Física* , 107-117.
- Vilas-Boas, J. P. (1996). *Bases Mecânicas da Natação*. Porto: Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.
- Vilas-Boas, J. P. (1997a). Bases mecânicas da Natação. *Natação: vivências específicas e conhecimentos teóricos básicos* , 281-352.
- Vilas-Boas, J., & Santos, P. (1994). Comparison of swimming economy in three breaststroke techniques. In M. Miyashita, & A. Richardson, *Medicine and science in aquatic sports* (pp. 48-54). Karger, Basel.
- Vogel, S. (1996). *Life in moving fluids. The physical biology of flow*. Princeton: Princeton University Press.
- Vorontsov, A., & Rumyantsev, V. (2000). Resistive forces in swimming. In V. Zatsiorsky, *Biomechanics in Sports: performance enhancement and injury prevention*. (pp. 184-204). Blackwell, Oxford.: IX Encyclopaedia of Sports Medicine.
- Webb, P. W. (1971). The swimming energetic of trout II: Oxygen consumption and swimming efficiency. *Journal of Experimental Biology* , 169-230.
- Wilson, B., & Thorp, R. (2003). Active Drag in Swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming* , 15-20.
- Zamparo, P., Gatta, G., Pendergast, D., & Capeli, C. (2009). Active and Passive drag: the role of trunk incline. . *European Journal Applied Physiology* , 106(2):195-205.